موسوعة العمري

في المخاطر الطبيعية

عبدالله بن محمد العمري

زلازل

براكين

فيضانات

ⓒ عبد الله بن محمد العمري، ١٤٤٥هـ

فهرسة مكتبة الملك فهد الوطنية أثناء النشر

العمري ، عبدالله بن محمد

موسوعة العمري في المخاطر الطبيعية. / عبدالله بن محمد العمري

- ط١ ..- الرياض، ١٤٤٥هـ

١١١٢ صفحة ، ٢١ X ٢٧ سم

ردمك: ٨-٧٩٥٢-٠٤-٦٠٣-٩٧٨ رقم الإيداع ١٧٠٨٧ / ١٤٤٥

حقوق الطبع محفوظة للمؤلف

الطبعة الأولى

١٤٤٥هـ / ٢٠٢٤م

العبيكان للنشر
Obeikan Publishing

للاستفسارات والملاحظات: الاتصال على المؤلف

alamri.geo@gmail.com

www.alamrigeo.com

هاتف : +966505481215

جميع الحقوق محفوظة، ولا يسمح بإعادة إصدار هذه الموسوعة أو نقلها في أي شكل أو واسطة، سواء أكانت إلكترونية أو ميكانيكية بما في ذلك التصوير بالنسخ (فوتوكوبي)، أو التسجيل، أو التخزين والاسترجاع، دون إذن خطي من المؤلف.

بسم الله الرحمن الرحيم

شكر وتقدير

الحمد والشكر لله الذي ساعدني في إنجاز هذا المجهود المتواضع المرتبط بتأليف **موسوعة المخاطر الطبيعية**. ربّما لا تُسعفني الكلمات في قول كلمة الحق في زملائنا الأفاضل، فأنتم خيرة الخيرة، ولولا جهودكم الحثيثة ومشاركتكم الدؤوبة ودعمكم اللامحدود ما كان لهذه الموسوعة أن تخرج بهذا الشكل، ونخص بالشكر د. ساير بصمجي، د. مشاعل آل سعود، د. عبدالله المسند، د. ثامر الدعجاني، د. خالد الأحمدي، د. علي القحطاني، د. مفرح القرادي د. ثامر الرفاعي، الاستاذ يوسف العمري، والاستاذ مشعل آل كدم والاستاذ حسن العمري، الأستاذة غادة العمري على مساهماتهم ومشاركتهم المميزة في الإضافة والتعديل في فصول هذه الموسوعة كل حسب اختصاصه.

الشكر موصول أيضاً لكل من ساهم في المراجعة والإخراج والتصميم ونخص بالشكر م. عبد الرزاق الحربي، أ. يحيى إبراهيم، أ. حسام تفاحة، أ. عمرو محي الدين.

أما عائلتي الصغيرة - الوالدة والزوجة والأبناء - فهم في سويداء القلب ولهم من الشكر أخلصه على وقوفهم ودعمهم اللامحدود.

موسوعة المخاطر الطبيعية
Encyclopedia of Natural Hazards

تمهيد

تم بحمد الله الانتهاء من تأليف **خمس موسوعات** علمية متخصصة وشاملة ترتبط بتاريخ العلوم بصفة عامة وعلاقة علوم الأرض بصفة خاصة بالفضاء والبيئة والمياه والتعدين والطاقة والمخاطر الطبيعية. تهدف هذه الموسوعات المدعمة بالصور والأشكال التوضيحية إلى خدمة الباحثين وطلاب التعليم العام والجامعات وفئات المجتمع كافة، نظرا لندرة المراجع العربية في هذا المجال.

تغطي الموسوعات تحديدًا المجالات التالية:

الموسوعة	الوصف
تاريخ العلوم	في 1080 صفحة، تبحث التسلسل التاريخي والزمني في أصول عشرة علوم معرفية مزودة بالمخطوطات والوثائق القديمة عن تاريخ الطب والصيدلة، تاريخ علم الأرض (الجيولوجيا)، تاريخ الكيمياء، تاريخ الفيزياء، تاريخ الفلك، تاريخ الرياضيات، تاريخ الجغرافيا، تاريخ النبات، تاريخ الحيوان، وأخيرًا تاريخ فن العمارة والهندسة.
الأرض والفضاء	في 965 صفحة، تناقش علوم الأرض والفضاء والعلاقة بينهما ودور المساهمات العلمية في استكشاف الفضاء والرحلات المكوكية. تغطي عمر الأرض وشكلها وحركاتها وتركيبها الداخلي وثرواتها المعدنية والتعدينية والجاذبية الأرضية بالإضافة إلى علاقة الأرض بالمجموعة الشمسية وبالأخص دور القمر ومنازله في ظاهرة المد والجزر وعلاقته بظاهرتي الخسوف والكسوف. دور البحار والمحيطات في الحفاظ على النظام الأرضي والبيئي.
البيئة والمياه	في 988 صفحة، تناقش كل ما يتعلق بالبيئة والمياه والمشاكل البيئية وحلولها والتفاعلات بين الأغلفة الجوية والمائية والحيوية المحيطة بالأرض، التغيرات المناخية وأهمية التشجير ومعالجة الاحتباس الحراري ودور الأمطار والسيول والسدود في النظام المائي. تقنين الإدارة المتكاملة للموارد المائية والاستفادة منها وتطوير أساليب تنميتها والحفاظ عليها.

الموسـوعـة	الوصـــف
المخاطر الطبيعية	في 1112 صفحة، تغطي كل ما يتعلق بالمخاطر الطبيعية وإدارتها وكيفية التعامل معها والتقليل من مخاطرها بالتركيز على الزلازل والبراكين والتسونامي والفيضانات والانزلاقات والانهيارات الأرضية والتصحر والجفاف ودورها في التأثير على بنية الأرض وبيئتها.
التعدين والطاقة	في 1008 صفحة، تناقش مصادر الثروات المعدنية والتعدينية والطاقة الغير متجددة (طاقة النفط والفحم والصخر الزيتي) والمتجددة صديقة البيئة (طاقة الشمس وطاقة الرياح والطاقة الكهرومائية والطاقة الحرارية الأرضية وطاقة من البحار) بالإضافة الى الطاقة النووية وطاقة الهيدروجين ومدى تأثير هذه المصادر على الطبيعة اقتصاديا وبيئيا والتحديات التي تواجه الاستثمار الأمثل لها.

الموسوعات والكتب والأبحاث العلمية والتقارير الفنية والمحاضرات وغيرها في متناول الجميع على الروابط:

www.alamrigeo.com/encyclopedia/
www.alamrigeo.com/books/
www.alamrigeo.com

المؤلف / عبدالله بن محمد العمري

www.alamrigeo.com

المقدمة

المخاطر الطبيعية Natural Hazards جزء لا يتجزأ من تاريخ كوكبنا وهي عملية أو ظاهرة طبيعية قد تتسبب في إزهاق الأرواح أو الإصابة أو التسبب في آثار صحية أخرى أو إلحاق الضرر بالممتلكات أو الاضطرابات الاجتماعية والاقتصادية أو الإضرار بالبيئة. العواصف والأعاصير والفيضانات وموجات الحرارة والانفجارات البركانية والزلازل وأمواج تسونامي والانهيارات الأرضية وسقوط النيزك، كلها ظواهر طبيعية تساهم في تطور الأرض المستمر.

لا ينبغي الخلط بين مصطلح المخاطر الطبيعية والكوارث الطبيعية. يمكن أن تؤدي المخاطر الطبيعية لاحقًا إلى كوارث طبيعية. يعتبر الخطر الطبيعي كارثة طبيعية عندما يتجاوز حدًا معينًا، أي عندما يتسبب في ضرر كبير للمجتمع أو المجتمع المحلي ولم يعد المجتمع قادرًا على التعامل مع موارده. ويشمل الآثار الضارة ذات الطبيعة البشرية أو المادية أو البيئية، مثل الخسائر في الأرواح والإصابات والأضرار التي تلحق بالبنية التحتية. قد تكون العتبة عبارة عن عدد معين من الوفيات أو عدد معين من الخسائر الاقتصادية.

قد تكون هذه المخاطر مفاجئة نسبيًا، مثل الزلزال أو تسرب النفط، أو قد تتكشف على مدى فترة أطول، مثل آثار جائحة مستمر أو اضطراب مناخي. غالبًا ما تعتبر حالات الجفاف الشديد وحرائق الغابات والفيضانات والانهيارات الأرضية والانفجارات البركانية أمثلة على المخاطر الطبيعية، كثيرا ما تصنف الحوادث الصناعية الكبيرة، وانهيار المباني، وحرائق المباني الشاهقة، وتحطم الطائرات، وغرق السفن، على أنها مخاطر من صنع الإنسان.

بعض المخاطر الطبيعية الثمانية عشر المدرجة في مؤشر المخاطر الوطني للوكالة الفيدرالية لإدارة الطوارئ (FEMA) لديها حاليًا احتمالية أكبر لحدوثها، وبكثافة أعلى، بسبب آثار تغير المناخ. وينطبق هذا على موجات الحر والجفاف وحرائق الغابات والفيضانات الساحلية.

تعد منطقة آسيا والمحيط الهادئ أكثر مناطق العالم عرضة للمخاطر. إن الشخص في منطقة آسيا والمحيط الهادئ أكثر عرضة بخمس مرات للإصابة بالمخاطر الطبيعية مقارنة بالشخص الذي يعيش في مناطق أخرى.

بين عامي 1995م و2015م، وقع أكبر عدد من المخاطر الطبيعية في أمريكا والصين والهند. وفي عام 2012م، كان هناك 905 مخاطر طبيعية في جميع أنحاء العالم، 93 % منها كانت مخاطر مرتبطة بالطقس. كان عام 2012م عامًا معتدلًا. 45 % منها أرصاد جوية (عواصف)، 36 % هيدرولوجية (فيضانات)، 12 % مناخية (موجات الحر، موجات البرد، الجفاف، حرائق الغابات) و7 % أحداث جيوفيزيائية (الزلازل والانفجارات البركانية). بين عامي 1980م و2011م، شكلت الأحداث الجيوفيزيائية 14 % من جميع المخاطر الطبيعية.

تحدث المخاطر الطبيعية عبر فترات زمنية مختلفة وكذلك على نطاقات المناطق. تعتبر الأعاصير والفيضانات المفاجئة من الأحداث السريعة الحدوث، مما يعني أنها تحدث مع وقت تحذير قصير وتكون قصيرة العمر. كما يمكن أن تكون الأحداث البطيئة الحدوث ضارة جدًا، على سبيل المثال، يعد الجفاف من المخاطر الطبيعية التي تتطور ببطء، وأحيانًا على مدار سنوات.

لقد أثرت المخاطر البيئية تاريخيًا على الزراعة والتنوع البيولوجي بما في ذلك الحياة البرية والاقتصاد وصحة الإنسان. تشمل الأسباب الأكثر شيوعًا

التلوث الذي يتسرب إلى المياه الجوفية أو المسطحات المائية، والانبعاثات في الغلاف الجوي، واستنزاف الموارد الطبيعية، أو النشاط الصناعي أو الممارسات الزراعية.

تتناول هذه الموسوعة كل ما يتعلق **بمفهوم المخاطر الطبيعية** إداريًا وعلميًا وسبل مجابهتها والتقليل من أثارها. ففي **الفصل الأول** تطرقنا الى ماهية المخاطر الطبيعية وادارتها واستراتيجية تحليل مخاطرها وأوجه الشبه والاختلاف بين الكوارث والأزمات، وفي **الفصل الثاني** تناولنا تأثيرات الطقس الفضائي والعواصف الشمسية وفي **الفصل الثالث** تكلمنا عن المخاطر المناخية وبالأخص ظاهرة النينيو وموجات الحر والبرد والتصحر والجفاف. أما الظواهر الجوية من عواصف وأعاصير ورياح وتلوث الهواء الجوي وتأثيره على طبقة الأوزون تمت مناقشتها في **الفصل الرابع**. ونظرا لأن المخاطر الأرضية من زلازل وبراكين وانهيارات أرضية من أشد الكوارث فتكا بالبشرية فقد أسهبنا في شرحها في **الفصل الخامس** شرحنا في **الفصل السادس** المخاطر المائية الناجمة عن الأمطار والسيول والفيضانات والتسونامي. وأخيرًا غطى **الفصل السابع** المخاطر البيولوجية من بكتيريا وفطريات وأوبئة والية التعامل معها ومجابهتها. آمل أن يسد هذا العمل ثغرة في مكتباتنا العربية ويكون سراجا تستضيء به الأجيال القادمة في مختلف تخصصاتهم العلمية.

والله الموفق

موسوعة المخاطر الطبيعية
Encyclopedia of Natural Hazards

المحتويـــات

• شـــكر وتقديـــر	v
• تمهيـــد	vii
• مقدمـــة	ix
الفصل الأول **المخاطـــر الطبيعيـــة**	1
مقدمـــة	3
• ماهيـــة المخاطـــر	4
• أنـــواع المخاطـــر	8
• تصنيف المخاطر الطبيعية	9
• أنماط التردد والمخاطر	11
• آثـــار المخاطـــر الطبيعيـــة	12
• الكـــوارث والأزمـــات	21
• تحول المخاطر الطبيعية إلى أزمات	31
• أبعاد المخاطر الطبيعية والعوامل التي تزيد من آثارها	34
• منهجية دورة القدرة على الصمود	41
• إدارة المخاطـــر	43
• إجراءات واستراتيجيات الحد من المخاطر	51
• استراتيجية تخفيف مخاطـــر الـــزلازل	57
• المراحل الأساسية لإدارة الكارثـــة الطبيعيـــة	68
• نظـــام المصفوفـــة لإدارة الكـــوارث	74
• اتخـــاذ القـــرار	77
• حالة تاريخية المخاطر الطبيعية في المملكة العربية السعودية	79
• الإجراءات الوقائية للحد من الكوارث في المملكة	87
• أشهر الكوارث الطبيعية والبيئية في العالم	88

الفصل الثاني **مخاطـــر الطقـــس الفضائـــي**	97
مقدمـــة	99
• ما هو الطقـــس الفضائـــي؟	101
• الشـــمس المتغـــيرة	123
• النـــــــــواة	132
• الغـــلاف الجـــوي الشمـــسي	136
• الديناميـــات والعمليـــات	141
• البيئـــة الفضائيـــة للأرض	150
• العـــواصـــف	166
• تأثيرات العواصف الفضائية	180
• تأثر مدارات الأقمار الصناعية	182
الفصل الثالـث **المخاطـــر المناخيـــة**	199
مقدمـــة	199
• ظاهـــرة النينـــو	201
• موجـــات الحـــر والبـــرد	213
• التأثيرات على صحة الإنسان	218
• التصحـــر والجفـــاف	228
• آثـــار التصحـــر والجفـــاف	259
• الآثـــار البيئيـــة	272
• استراتيجيات مواجهـــة التصحـــر والجفـــاف	273
• استراتيجيـــات إدارة الجفـــاف	277

الموضـــــوع	الصفحة
• حـــرائـــق الغابـــات	292
• ما هية حرائق الغابات؟	294
• تعلـــم التدريبـــات	301
• حرائـــق الغابات والطقس	310
• تقييم مخاطـــر حرائق الغابات	315
• كيف نخفف من مخاطر حرائق الغابات؟	334
• كيفية البقاء على قيد الحياة عند حدوث حريق	337
• كيفية التعافي من الحريق	341
الفصل الرابـــع **المخاطـــر الجـــويـــة**	345
مقدمـــة	347
العواصف والأعـاصـير	347
• العواصـــف	348
• الأعاصـــير	357
• تلـــوث الهـــواء وطبقـــة الأوزون	397
• المصـــادر الطبيعيـــة لتلـــوث الهـــواء	399
• الريـــاح والغبـــار	413

الفصل الخامس المخاطـــر الأرضيـــة	421
مقدمـة	423
الـــزلازل	423
• ماهيـة الـــزلازل	427
• أنـــواع الـــزلازل	431
• أســـباب الـــزلازل	433
• الأحزمـة الزلزاليـة	436
• مسـار الأطـوار السيزمية في باطـن الأرض	438
• مقاييس الـــزلازل	441
• العـزم الزلزلـي	447
• الطـاقة الـزلزالية	448
• هـــل يمكـن التنبـــؤ بالـــزلازل؟	455
• نظـــام الإنـــذار المبكـــر بالـــزلازل	461
• دور الموجات الزلزالية في أنظمة الإنذار المبكر	467
• الـــزلازل المستحثة والتفجـــيرات	474
• معامـــلات الخطـر الزلـزالي	481
• الحـــد من ضعف الحصانـــة	486
• الاستجابة الأرضيـة للـــزلازل	489
• أضـــرار الـــزلازل	491
• الأضـــرار المباشـــرة للـــزلازل	493

الفهـــرس

الموضـــــوع	الصفحة
• الأضـــرار غير المباشـــرة للـــزلازل	498
• الفشـــل الأرضـــي	502
• الحركـة الأرضيـة	507
• طيف الاستجابة	514
• تقييم المخاطر الزلزالية	515
• التمنطـــق الزلزالـــي	521
• التمنطق الزلزالي الدقيق	523
• درء مخاطـــر الـــزلازل	525
• تحليـل مصـــدر الخطـــر الـــزلـزالـــي	531
• الخطوات الأربع لتحليل مصدر الخطر الزلزال الاحتمالي	537
• طـــرق الشـــجرة المنطقيـــة	540
• التصميـــم المقـــاوم للـــزلازل	546
• متطلبات تصميم عناصر المبنى المقاوم للزلازل	552
• العـوامل التي تحدد الأضـرار الهيكليـة للـزلازل	563
• تأثيـرات الـــزلازل على المبـاني	565
• التعديـل التحديثي الـزلزالي	568
• كيفيـة تقليـل آثار الـــزلازل على المبـاني	571
• خطـوات أساسية لحمايـــة منزلك من الـزلـزال	575
• كـود البنـــاء المقـاوم للـــزلازل	579

الفهـــرس

الموضـــــوع	الصفحة
• الاحتياطـــات الوقائيـــة	584
• إرشـــادات قبل حـــدوث الزلـزال	587
• إرشادات أثناء وبعد حدوث الزلـزال	590
• دروس مستفادة من حالات تاريخية	592
البـراكـــين	611
• ما هـو البـركـــان؟	613
• مكونـــات البركـــان	615
• مقذوفـــات البركـــان	617
• أسـباب النشـــاط البـركـاني	619
• أنواع الثـوران البركانيـة	621
• تصنيف الصخور البركانية	624
• أنـــواع الـبراكـين	629
• أشـــكال البراكـــين	637
• مناطـق النشـاط البـركـاني	644
• طـرق إثـارة البـركـان	650
• أنـواع الحمم والطفـوح البركانيـة	652
• الطفـــوح (الانفجـــارات) البركانيـة	656
• النشـاط البركاني فـي شـبه الجزيرة العربية	660

الموضـــــوع	الصفحة
• الحـــــرّات	668
• السجل الزمني للنشاطات البركانية	672
• بركـان المدينـــة المنـــورة التاريـخي	678
• توقع النشاط البركاني	683
• إجراءات مواجهة مخاطر البراكين	686
• الفوائد والأضـرار الناجمـة عـن الـبراكين	687
الإنـــزلاقات والإنهيـــــارات الأرضيـــة	689
• مفهـوم الإنزلاقات والإنهيـارات	692
• تصنيـف الانهيـارات الأرضيـــة	694
• أنـــواع الإنهيـــارات الأرضية	706
• المتغيرات البيئية الموضعية للانزلاق الأرضي (عوامل التكييف)	714
• التصنيـــف العـــام	716
• نُهـج نمذجـــة قابليـــة الانهيـار الأرضـــي	720
• ميكانيكـــا الانهيـــارات الأرضيـــة	729
• المنحـــدرات المحـــدودة	761
• التخفيف من آثار مخاطر الانزلاقات والانهيارات الأرضية	774
• اســـتخدام الاحتمـــالات والإحصـــاء	776
• الســـلامة العامـــة	778

الفصل السادس المخاطـــر المائيـــة	789
مقدمـــة	791
الأمطار والسـيول	791
• الأمطـــار	792
• أنـــواع الأمطـــار	793
• الـــدورة المائيـــة	800
• الســـيول وكيفيـــة التحكـم بهـا	805
• كيفيـــة التحكـــم في الســـيول	818
• الســـدود المائيـــة	826
• أنـــواع الســـدود	829
• الـــزلازل والســـدود	837
• الآثـــار البيئيـــة لبنـاء الســـدود	854
الفيضـــانـــات	858
• ماهيـــة الفضيـــان	859
• مشـكلة الفيضانـــات العالميـــة	863
• الفيضانـــات وتغير المُنـــاخ	870
• مخاطـــر الفيضـــانات	881
• كيف نتعامل مع مخاطر الفيضانات؟	884
• إدارة مخاطر الفياضانات	888
• الفيضانـات وخصـائصها الطبيعيـة	893
• الفيضـــانات والســـكان	902
• الآثـــار الصحيـــة للفيضانـــات	911
• وبائيـــات الآثـــار الصحية للفيضانـــات	914
• التخفيف من آثـــار مخاطـــر الفيضانـــات	917

الموضـــــوع	الصفحة
التســـونامي	943
• ماهية موجات الميناء (التسونامي)	945
• أسباب حدوث التسونامي	947
• خصائص التسونامي	958
• الإشـــتقاق الرياضـــي	964
• ميكانيكية التسونامي	967
• مقياس حجم وشدة التسونامي	975
• أنواع موجات التسونامي	980
• أعنف موجات التسونامي تاريخيا	982
• حالة تاريخية : تسونامي سومطره	986
• مدى تأثير ظاهرة التسونامي على الوطن العربي	991
• كيفية التصرف في حال حدوث تسونامي	996
• كيفية التصرف في حال حدوث تسونامي	998
• تخفيف مخاطر التسونامي	999
• البرامج التعليمية والثقافية	1001
• نظام الإنذار المبكر بالتسونامي	1004
• النمذجة والمحاكاة لأمواج التسونامي	1010
• الجهات الدولية والمحلية المعنية بالتسونامي	1015

الفصل السـابع المخاطـــر البيـــولوجيـــة	1017
مقدمـــة	1019
المخاطـــر البيولوجيـــة	1019
• تصنيفات المخاطر البيولوجية	1021
• مستويات المخاطر البيولوجية	1024
• كيف يتأثر الجسم البشري بالمخاطر البيولوجية	1027
• البكتيريـــا	1027
• الفيروســـات	1029
• الفطريـــــات	1030
• السموم من المصادر البيولوجية	1031
• الأوليـــــات	1032
• التأثيـــرات الصحيـــة	1033
• المخاطر البيولوجية في مكان العمل	1036
• إدارة المخاطر البيولوجية	1039
• الحساسية للتغيرات المناخية أو البيئية أو استخدام الأراضي	1044
• الجـــــراد	1051
• كيف تحمي نفسك من المخاطر البيولوجية؟	1058
• التدابـــير الوقائيـــة والرقابيـــة	1061
• المراجـــع	1079
المراجـــع العربيـــة	1079
المراجـــع الأجنبيـــة	1082

الفصل الأول

المخاطر الطبيعية

مفهومهـــا | تصنيفهـــا | إدارتهـــا

موسوعة المخاطر الطبيعية
Encyclopedia of Natural Hazards

مُقَدِّمَة

ترتبط **المخاطر الطبيعية** عموما بالتفاعلات بين الأرض والمحيطات والغلاف الجوي، وتأثيراتها على المجتمعات البشرية وزادت هذه العمليات مؤخرا بسبب النمو السكاني والأنشطة البشرية، التي أثرت بدورها على التغيرات المناخية. تُعد الزلازل والبراكين والرياح والأعاصير والانزلاقات الأرضية والتصحر وغيرها أحد مظاهر الحياة على كوكب الأرض كما أنها أحد أهم أدوات البناء والهدم التي تتطلبها مقومات التجديد لحفظ التوازن على هذا الكوكب. وتُعد الزلازل أكثر الكوارث الطبيعية تأثيراً على الإنسان، لحدوثها المفاجئ والسريع ولما ينجم عنها من خسائر بشرية ومادية. إن التجارب البشرية اكتسبت خبرات جيدة في التعامل مع هذه الظاهرة المقلقة سواء من حيث إعداد المواصفات الهندسية للمباني أو من حيث تهيئة المرافق والخدمات لتكون على أهبة الاستعداد لمواجهة الكارثة إلا أن السيطرة الفعلية وتوقع الزلازل قبل حدوثها مازالت خارج نطاق القدرة البشرية وانحصرت في التقليل من آثار الكارثة.

لقد صار واضحًا أن **العرض التقليدي** لمفهوم المخاطر وعملية اتخاذ القرار بشأن الحد منها غير مناسب تمامًا 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 ازدراء 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 الطبيعية على درايةٍ بالطرائق الإحصائية.

ماهيـــة المخاطـــر

الخطر الطبيعي هو أي حدث مأساوي ناتج عن تأثيرات الظواهر الطبيعية، وليس يكون سببها الإنسان، والتي تؤدي إلى خسائر فادحة في الأرواح البشرية أو تدمير البيئة الطبيعية أو الملكية الخاصة أو البنية التحتية العامة.

قد تحدث المخاطر الطبيعية بسبب أحداث الطقس والمناخ أو بسبب الزلازل والانهيارات الأرضية وغيرها من الأحداث التي تنشأ على سطح الأرض أو داخل الكوكب نفسه. لا توجد بقعة على وجه الأرض محصنة ضد المخاطر الطبيعية؛ ومع ذلك، غالبًا ما تقتصر أنواع معينة من المخاطر على مناطق جغرافية محددة أو تحدث بشكل متكرر.

وقد قال العلماء إن مصطلح «الكوارث الطبيعية» غير مناسب ويجب التخلي عنه. وبدلاً من ذلك، يمكن استخدام مصطلح «المخاطر الطبيعية» الأبسط، مع تحديد فئة (أو نوع) الخطر أيضًا. الخطر الطبيعي هو نتيجة لخطر طبيعي أو من صنع الإنسان يؤثر على مجتمع ضعيف. إن الجمع بين الخطر وتعرض المجتمع الضعيف هو الذي يؤدي إلى الكارثة.

في العصر الحديث، من الصعب جدًا رسم الفجوة بين المخاطر الطبيعية، والمخاطر التي من صنع الإنسان، والمخاطر التي يتسبب فيها الإنسان. من المحتمل أن تؤدي الخيارات والأنشطة البشرية مثل الهندسة المعمارية والحرائق وإدارة الموارد وتغير المناخ دورًا في التسبب في المخاطر الطبيعية. في الواقع، أطلق على مصطلح «الكوارث الطبيعية» تسمية خاطئة بالفعل في عام 1976م.

يمكن أن تتفاقم المخاطر الطبيعية بسبب عدم كفاية معايير البناء، وتهميش الناس، وعدم المساواة، والإفراط في استغلال الموارد، والزحف العمراني الشديد، وتغير المناخ.

وقد أدى النمو السريع لسكان العالم وزيادة تركزهم في كثير من الأحيان في بيئات خطرة إلى تفاقم وتيرة المخاطر وشدتها. إن المناخات المتطرفة (مثل تلك الموجودة في المناطق الاستوائية) والتضاريس غير المستقرة، إلى جانب إزالة الغابات، وانتشار النمو غير المخطط له والإنشاءات غير الهندسية، تخلق واجهات أكثر عرضة للخطر بين المناطق المأهولة بالسكان والمساحات الطبيعية المعرضة للمخاطر.

غالبًا ما يكون لدى البلدان النامية التي تعاني من المخاطر الطبيعية المزمنة أنظمة اتصالات غير فعالة بالإضافة إلى عدم كفاية الدعم للوقاية من المخاطر وإدارتها.

لن يرقى الحدث السلبي إلى مستوى الخطر إذا وقع في منطقة لا يوجد بها سكان معرضون للخطر. بمجرد أن يتعرض السكان الضعفاء لخطر، يمكن أن يستغرق المجتمع سنوات عديدة لإصلاحها ويمكن أن تؤدي فترة الإصلاح هذه إلى مزيد من الضعف والأزمات.

تؤثر العواقب الوخيمة للمخاطر الطبيعية أيضًا على الصحة العقلية للمجتمعات المتضررة، مما يؤدي غالبًا إلى ظهور أعراض ما بعد الصدمة. ويمكن دعم هذه التجارب العاطفية المتزايدة من خلال المعالجة الجماعية، مما يؤدي إلى المرونة وزيادة المشاركة المجتمعية.

للمخاطر عدة تعريفات نوردها فيما يأتي:

❖ حسب الاتحاد الدولي لجمعيات الصليب الأحمر والهلال الأحمر

المخاطر هي اضطرابات خطيرة في عمل المجتمع تتجاوز قدرته على التكيّف باستخدام موارده الخاصة. يمكن أن تحدث المخاطر بسبب الأخطار الطبيعية، والتكنولوجية، وتلك التي من صنع الإنسان، فضلاً عن العوامل المختلفة التي تؤثر على ضعف المجتمع وتعرّضه للخطر.

يمكن أن تحدث المخاطر بسبب العديد من أنواع المخاطر المختلفة – سنتكلم لاحقاً عن بعض الأمثلة – ويمكن أن يكون لها آثار مدمرة على الناس والمجتمعات.

من المرجح أن يزداد تواتر وتعقيد وشدة آثار هذه المخاطر في المستقبل بسبب عوامل مثل تغير المناخ والنزوح والصراع والتحضر السريع وغير المخطط له والمخاطر التكنولوجية وحالات الطوارئ الصحية العامة.

لذلك يمكن ويجب منع المخاطر. يمكننا منع تحوّل المخاطر إلى كوارث من خلال مساعدة المجتمعات على التأهب لها والتقليل من مخاطرها وزيادة قدرتها على الصمود.

❖ حسب تعريف مكتب الأمم المتحدة للحد من مخاطر الكوارث

الخطر اضطراب مؤثر في سير الحياة في جماعة أو مجتمع على أي نطاق بسبب أحداث خطيرة تتفاعل مع ظروف التعرض للأخطار والضعف والقدرة، بما يؤدي إلى واحدة أو أكثر من الخسائر والآثار التالية: الخسائر والآثار البشرية والمادية والاقتصادية والبيئية.

ويمكن أن يكون تأثير الخطر فوريًا ومحصورًا في موقع معين، ولكنه عادةً ما يكون واسع النطاق ويمكن أن يستمر لفترة زمنية طويلة. وقد يشكل التأثير تحديًا لقدرة الجماعات أو المجتمعات على المواجهة باستخدام مواردها الخاصة أو يتجاوز حدود هذه القدرة، وبالتالي قد يستدعي المساعدة من مصادر خارجية، قد تشمل سلطات المناطق المجاورة أو المستويات الوطنية أو الدولية.

أ. الطـــــوارئ

تُستخدم الطوارئ أحيانًا باعتبارها مرادفًا لمصطلح الخطر، كما هو الحال مثلًا في سياق الأخطار البيولوجية والتكنولوجية أو حالات الطوارئ الصحية، والتي يمكن مع ذلك أن تتعلق أيضًا بأحداث خطيرة لا تفضي إلى اضطراب خطير في سير الحياة في الجماعة أو المجتمع.

ب. ضـــــرر الخطـــر

يقع أثناء وقوع الخطر أو بعده مباشرة. ويُقاس هذا الضرر عادة بوحدات مادية (مثل الأمتار المربعة من المساكن، أو كيلومترات الطرق، وما إلى ذلك)، ويصف التدمير الكلي أو الجزئي للأصول المادية، وتعطل الخدمات الأساسية والأضرار التي تلحق بسبل العيش في المنطقة المتضررة.

ج. أثـــــر الخطـــــر

هو التأثير الكلي، بما في ذلك الآثار السلبية (مثل الخسائر الاقتصادية) والآثار الإيجابية (مثل المكاسب الاقتصادية) التي تنجم عن حدث خطير. ويشمل هذا المصطلح الآثار الاقتصادية والإنسانية والبيئية، ويمكن أن يشمل الوفيات والإصابات والأمراض وغير ذلك من الآثار السلبية التي تمس بالرفاه البدني والعقلي والاجتماعي للإنسان.

أنـــــواع المخاطـــــر

❖ المخاطـــــر المحـــــدود

نوع من المخاطر يؤثر فقط في المجتمعات المحلية ويتطلب مساعدة من خارج المجتمع المحلي المتضرر.

❖ المخاطـــــر الكبيـــــرة

نوع من المخاطر يؤثر على المجتمع ويتطلب مساعدة وطنية أو دولية.

❖ المخاطـــــر المتكـــــررة وغير المتكـــــررة

تتوقف على احتمالات حلول خطر معين ووقوع آثاره ووتيرة تكرر حلوله وقوع آثاره. ويمكن أن يكون أثر المخاطر المتكررة تراكميا أو أن يصبح مزمنا بالنسبة للمجتمع المحلي أو المجتمع.

❖ المخاطـــــر البطيئـــــة الظهـــــور

يعرف بأنه خطر يظهر تدريجيًا بمرور الوقت. ويمكن أن ترتبط المخاطر البطيئة الظهور مثلا بالجفاف والتصحر وارتفاع مستوى سطح البحر والمرض الوبائي.

❖ المخاطـــــر المفاجئـــــة الظهـــــور

هو خطر يفجره حادث خطير يظهر بشكل سريع أو مفاجئ. ويمكن أن ترتبط المخاطر المفاجئة الظهور مثلا بزلزال أو ثورة بركان أو فيضان مفاجئ أو انفجار كيميائي أو شلل في البنية التحتية الحيوية أو حادث من حوادث النقل.

تصنيف المخاطر الطبيعية

تشمل المخاطر الطبيعية الناجمة عن الطقس والمناخ الفيضانات الناجمة عن الأمطار الغزيرة المرتبطة بالأعاصير والأعاصير المدارية وغيرها من العواصف الشديدة؛ والجفاف والمجاعة وحرائق الغابات الناجمة عن موجات الحر والتغيرات في أنماط هطول الأمطار؛ والدمار الناجم عن الرياح و الأعاصير، والعواصف و والأضرار والخسائر في الأرواح الناجمة عن العواصف الثلجية وتساقط الثلوج بكثافة.

تشمل المخاطر الطبيعية الناجمة عن الأرض الانفجارات البركانية الكبيرة (التي تنتج تدفقات الحمم البركانية، والانفجارات، وسحب الغاز السام، وتساقط الرماد، وتدفقات الحمم البركانية التي تلحق الضرر بالمناطق المأهولة بالسكان) والزلازل القوية (التي تنتج عن الكسر المفاجئ لقشرة الأرض) قوية بما يكفي لإحداث أضرار. أو تدمير المناطق المبنية بالقرب من نقاطها الأصلية.

بعض الظواهر التي تنتج المخاطر الطبيعية قد تكون ناجمة عن مزيج من عدة قوى مختلفة. على سبيل المثال، قد تكون الانهيارات الأرضية (حركة كتل كبيرة من الصخور والحطام ومنحدر التربة) ناجمة عن الأمطار التي تشبع التربة على منحدر غير مستقر، أو قد تكون ناجمة عن الزلازل.

وبطريقة مماثلة، فإن تراكم الثلوج على المنحدرات الجبلية يزيد من مخاطر الانهيارات الجليدية المحلية. تسونامي هي موجات محيطية كارثية يمكن أن ترتفع إلى 30 مترًا فوق مستوى سطح البحر الطبيعي، وتنتج عن الزلازل البحرية أو الانهيارات الأرضية تحت الماء أو الساحلية أو الانفجارات البركانية أو تأثيرات النيزك أو المذنب.

وفقاً للاتحاد الدولي لجمعيات الصليب الأحمر والهلال الأحمر، فإن المخاطر الطبيعية هي ظواهر مادية تحدث بشكل طبيعي وتنجم إما عن أحداث سريعة أو بطيئة الحدوث ولها آثار فورية على صحة الإنسان وآثار ثانوية تسبب المزيد من الوفيات والمعاناة.

يصف مكتب الأمم المتحدة للحد من مخاطر الكوارث أن المخاطر الطبيعية تتعلق بحجمها أو شدتها، وسرعة ظهورها، ومدتها ومساحة انتشارها، على سبيل المثال. تكون الزلازل قصيرة المدة وعادة ما تؤثر على منطقة صغيرة نسبيًا، في حين أن حالات الجفاف بطيئة في التطور وتتلاشى وغالبًا ما تؤثر على مناطق كبير، يمكن تصنيف المخاطر، وفق المخطط الآتي:

تصنيف المخاطر الطبيعية

- **الطقس الفضائي**
  - العواصف الشمسية
  - العواصف الجيومغناطيسية
  - التوهـج الشمسي
- **المناخيـة**
  - ظاهرة النينو El Nino
  - موجات الحر والبرد
  - التصحر والجفاف
  - حرائـق الغابات
- **الجويـة**
  - العواصف والأعاصير
  - تلوث الهـواء
  - الرياح والغبار
- **الأرضيـة**
  - الـزلازل
  - الـبراكين
  - الإنزلاقات الأرضية
  - الإنهيارات الصخرية
- **المائيـة**
  - الأمطار والسيول
  - الفيضانات
  - التسونامي
  - الإنهيارات الثلجية
- **البيولوجية**
  - الأمراض الوبائية
  - أوبئة الحشرات
  - أوبئة الحيوانات

تصنيف المخاطر حسب زمن وقوعها

- **فجائية - غير متوقعة**
  - **طبيعيـة**
    - **فجائيـة**: زلازل - براكـين - انزلاقات - تسونامي
    - **موسميـة**: أمطـار - سـيول - فيضانـات - إنهيارات
  - **بشريـة**: إنهيـار سـدود - حرائـق - تسرب غازات - انشطار نووي
- **موسمية - يمكن توقعها**

أنماط التردد والمخاطر

من المرجح أن تحدث أنواع معينة من المخاطر الطبيعية في مناطق جغرافية محددة، وفي بعض الأماكن تحدث هذه الأحداث بانتظام موسمي، كما هو الحال في موسم الأعاصير الربيعي في الولايات المتحدة أو موسم أعاصير الصيف والخريف في المحيط الأطلسي، البحر الكاريبي، وخليج المكسيك.

أفادت المنظمة العالمية للأرصاد الجوية (WMO) وهي وكالة تابعة للأمم المتحدة تراقب الأرض والمياه والغلاف الجوي في عام 2021م أن عدد المخاطر الطبيعية لكل عقد أظهر زيادة بمقدار خمسة أضعاف من عام 1979م إلى عام 2019م، وتم جمع البيانات في وتشير EM-DAT، وهي قاعدة بيانات دولية للمخاطر يديرها مركز أبحاث وبائيات المخاطر في بروكسل، إلى أنه تم تسجيل أكثر من 300 خطر كل عام منذ عام 1998م.

وعلى الرغم من أن العديد من المخاطر الطبيعية لا يمكن الوقاية منها أو التنبؤ بها إلى حد كبير، فإن تقرير المنظمة العالمية للأرصاد الجوية يشير إلى أن ظاهرة الاحتباس الحراري - وهي ظاهرة يحركها الإنسان بشكل متزايد وتنتج عن انبعاث الغازات الدفيئة، وخاصة تلك المنبعثة من احتراق الوقود الأحفوري - تزيد من تواتر التغيرات المناخية. والمخاطر الطبيعية المرتبطة بالمناخ، مثل الجفاف، وموجات الحر، والأعاصير المتزايدة الشدة، والفيضانات الناجمة عن ارتفاع مستوى سطح البحر.

وتتسبب درجات الحرارة الأكثر دفئا في المزيد من الظواهر الجوية المتطرفة من خلال زيادة هطول الأمطار في بعض المناطق - والتي قد لا تكون معتادة على تلقي أمطار غزيرة وثلوج، مما يزيد من مخاطر الفيضانات - في حين تنخفض كمية الأمطار في المناطق الأخرى التي تعتمد عليها، مما يزيد من مخاطر الجفاف.

وبالإضافة إلى ذلك، أصبحت مصادر هطول الأمطار التي يمكن الاعتماد عليها، مثل الرياح الموسمية في جنوب آسيا، والتي اعتمدت عليها الزراعة في شبه القارة الهندية لفترة طويلة، أقل قابلية للتنبؤ بها، وأصبحت الأمطار أكثر عنفا وخطورة، مما أدى إلى إتلاف المحاصيل وإنتاج فيضانات أكثر شدة.

وقد أدى هذا التغيير إلى إخضاع بعض المناطق الواقعة تحت تأثير الرياح الموسمية لظروف جفاف ممتدة، في حين تتلقى مناطق أخرى كميات كبيرة من الأمطار، وهو النمط الذي يتوقع العلماء أنه سيتفاقم في القرن الحادي والعشرين.

• أنظمة الإنذار بالمخاطر

إن التقدم في التنبؤ بالطقس والتقدم في أجهزة الاستشعار الزلزالية الأرضية وأجهزة الاستشعار الموضوعة على متن الأقمار الصناعية والطائرات والعوامات الثابتة العائمة في محيطات العالم أدى إلى تطوير أنواع مختلفة من أنظمة الإنذار المبكر.

وفي بعض الحالات تكون هذه الأنظمة قادرة على التنبؤ أو التصنيف الدقيق لقوة القوى الفيزيائية التي تولد المخاطر الطبيعية قبل أن تسبب أضرارًا.

ولعل أكثر هذه الأنظمة انتشارًا والأكثر شهرة هي تلك التي تستخدمها مكاتب الأرصاد الجوية الوطنية التي تصنف مختلف الأحداث الجوية وتتبعها وتتنبأ بها وتصدر نشرات حول العواصف وغيرها من الظواهر الجوية والمناخية التي تؤثر على مناطقها البرية ومناطقها البحرية.

غالبًا ما تتكون مكاتب الأرصاد الجوية الوطنية من شبكة من المكاتب المحلية العديدة المنتشرة في جميع أنحاء الدولة والتي تقيس الظروف الجوية المحلية عدة مرات يوميًا. ويمكن استخدام البيانات التي تجمعها هذه المكاتب لتطوير نماذج الطقس التي تساعد على التنبؤ بقوة العاصفة، وكذلك موقعها، قبل أيام من وصولها إلى منطقة محلية.

بالإضافة إلى ذلك، تقوم وحدات متخصصة داخل الحكومات الوطنية – مثل إدارة الزلازل الصينية، ووكالة الأرصاد الجوية اليابانية، ومكتب الأرصاد الجوية في المملكة المتحدة، والمركز الوطني لعلم الزلازل في الهند، والإدارة الوطنية للمحيطات والغلاف الجوي في الولايات المتحدة، وهيئة المسح الجيولوجي الأمريكية – بمراقبة ظواهر فيزيائية محددة. وهي قوى قادرة على التسبب في أشد المخاطر الطبيعية ضرراً وفتكاً (أي الزلازل، وموجات التسونامي، والجفاف، والفيضانات، والرياح الناجمة عن الأعاصير والأعاصير المدارية).

تتعاون العديد من هذه المنظمات داخل بلدان محددة مع نظيراتها في بلدان أخرى أو تساعد المنظمات الدولية، مثل المنظمة العالمية للأرصاد الجوية والمركز الدولي لمعلومات تسونامي، على إصدار التحذيرات، وتطوير معايير السلامة الدولية، وتقييم المخاطر المرتبطة بالقوى التي تؤثر على العديد من البلدان أو الكوكب ككل.

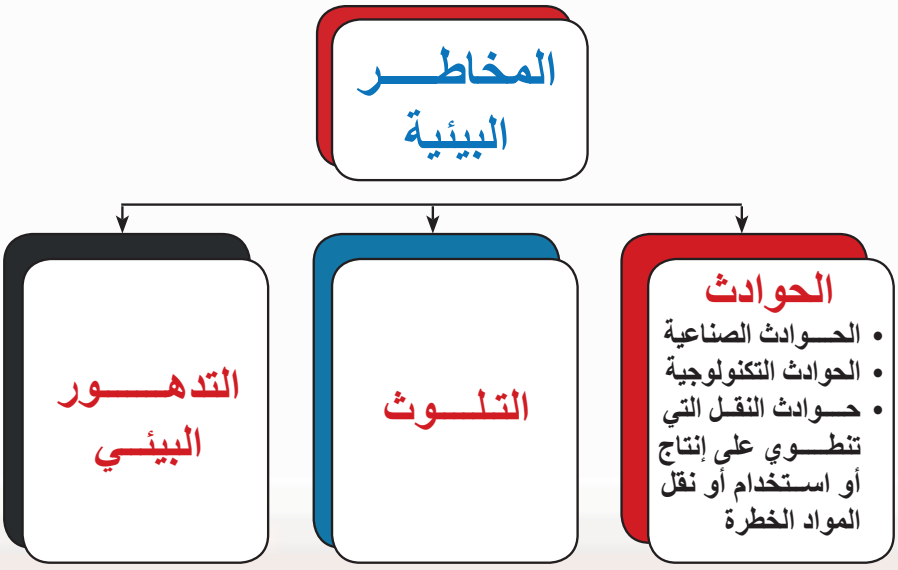
حتى أن بعض أنظمة الإنذار المبكر تنظر إلى ما هو أبعد من الغلاف الجوي للأرض؛ إن نظام الأجسام القريبة من الأرض الذي تديره وكالة الفضاء الأوروبية وأنظمة مخاطر الاصطدام الكشفية والحراسة التي تديرها وكالة ناسا في الولايات المتحدة هي عدد قليل من الأنظمة العديدة المصممة لاكتشاف وتتبع والتنبؤ بالمخاطر المرتبطة بالكويكبات والمذنبات والأجرام السماوية. أجسام أخرى خارج كوكب الأرض قادرة على ضرب الأرض.

• المخاطـــر البيئيـــة

تُعـرَّف المخاطـر البيئيـة Environmental Hazards بأنهـا حـدث كارثـي يتعلـق بالبيئـة الطبيعيـة نتيجـة للنشـاط البشـري. وتميـز هـذه النقطـة المخاطـر البيئيـة عـن الاضطرابـات الأخـرى مثـل المخاطـر الطبيعيـة وأعمـال الحـرب المتعمـدة مثـل القصـف النـووي.

تُظهـر المخاطـر البيئيـة كيـف أدى تأثيـر تغييـر البشـر لـلأرض إلـى عواقـب واسـعة النطـاق و/أو طويلـة الأمـد. وشـملت هـذه المخاطـر مـوت الحيوانـات البريـة والبشـر والنباتـات، أو الاضطـراب الشـديد في حيـاة الإنسـان أو صحتـه، ممـا قـد يتطلـب الهجـرة.

المخاطـر التـي مـن صنـع الإنسـان، كمـا يراهـا الاتحـاد الدولـي لجمعيـات الصليـب الأحمـر والهـلال الأحمـر، هـي أحـداث يسـببها البشـر وتحـدث في المسـتوطنات البشـرية أو بالقـرب منهـا غالبًـا مـا تكـون نتيجـة لحـالات الطـوارئ البيئيـة أو التكنولوجيـة. يمكـن أن يشـمل ذلـك:



ويمكن أن تنجم بعض المخاطر عن أخطار متعددة، أو في كثير من الأحيان، عن مجموعة معقدة من الأسباب الطبيعية والأسباب التي من صنع الإنسان والتي تنطوي على انهيار السلطة والنهب والهجمات على المنشآت الاستراتيجية، بما في ذلك حالات الصراع والحرب. يمكن أن تشمل هذه:

- انعدام الأمن الغذائي.
- الأوبئة.
- الصراعات المسلحة.
- السكان النازحون.

تتميز حالات الطوارئ المعقدة هذه عادةً بما يلي:

- عنف واسع النطاق.
- نزوح السكان.
- خسارة الحياة.
- أضرار واسعة النطاق على المجتمعات والاقتصادات.
- الحاجة إلى مساعدة إنسانية واسعة النطاق عبر وكالات متعددة.
- القيود السياسية والعسكرية التي تؤثر على المساعدات الإنسانية أو تمنعها.
- زيادة المخاطر الأمنية التي يتعرض لها عمال الإغاثة الإنسانية.

آثـــار المخاطـــر الطبيعيـــة

قد تتسبب المخاطر الطبيعية في خسائر في الأرواح أو إصابات أو آثار صحية أخرى، أو أضرار في الممتلكات، أو فقدان سبل العيش والخدمات، أو اضطراب اجتماعي واقتصادي، أو أضرار بيئية.

إن الظواهر المختلفة مثل الزلازل والانهيارات الأرضية والانفجارات البركانية والفيضانات والأعاصير والعواصف الثلجية وأمواج تسونامي وحرائق الغابات والأوبئة كلها أخطار طبيعية تقتل آلاف الأشخاص وتدمر بلايين الدولارات من الموائل والممتلكات كل عام.

ومع ذلك، فإن النمو السريع لسكان العالم وزيادة تركزهم في كثير من الأحيان في بيئات خطرة قد أدى إلى تفاقم وتيرة المخاطر وشدتها. ومع المناخ الاستوائي والتضاريس غير المستقرة، إلى جانب إزالة الغابات وانتشار النمو غير المخطط له، فإن الإنشاءات غير الهندسية تجعل المناطق المعرضة للمخاطر أكثر عرضة للخطر.

معدل الوفيات الناجمة عن المخاطر الطبيعية هو الأعلى في البلدان الفقيرة النمو بسبب انخفاض جودة تشييد المباني والبنية التحتية والمرافق الطبية.

على الصعيد العالمي، انخفض إجمالي عدد الوفيات الناجمة عن المخاطر الطبيعية بنسبة 75 % على مدى السنوات المائة الماضية، وذلك بفضل زيادة تنمية البلدان، وزيادة التأهب، والتعليم الأفضل، والأساليب الأفضل، والمساعدات من المنظمات الدولية. وبما أن عدد سكان العالم قد زاد خلال الفترة الزمنية نفسها، فإن الانخفاض في عدد الوفيات للفرد كان أكبر، حيث انخفض إلى 6 % من المبلغ الأصلي.

• على البيئة

خلال حالات الطوارئ مثل المخاطر الطبيعية والنزاعات المسلحة، قد يتم إنتاج المزيد من النفايات، في حين يجري إعطاء إدارة النفايات أولوية منخفضة مقارنة بالخدمات الأخرى. يمكن أن تتعطل خدمات إدارة النفايات والبنية التحتية القائمة، مما يترك المجتمعات المحلية تعاني من نفايات غير مدارة وزيادة في رمي النفايات. في ظل هذه الظروف غالبًا ما تتأثر صحة الإنسان والبيئة سلبًا.

المخاطر الطبيعية (مثل الزلازل والتسونامي والأعاصير) لديها القدرة على توليد كمية كبيرة من النفايات خلال فترة قصيرة. يمكن أن تكون أنظمة إدارة النفايات معطلة أو يجري تقليصها، مما يتطلب في كثير من الأحيان وقتًا طويلًا وتمويلًا كبيرًا لاستعادتها.

على سبيل المثال، أنتج تسونامي في اليابان عام 2011م كميات هائلة من الحطام: أفادت وزارة البيئة اليابانية بتقديرات قدرها 5 ملايين طن من النفايات. وقد جرفت الأمواج بعض هذه النفايات، ومعظمها من البلاستيك والستايروفوم، إلى سواحل كندا والولايات المتحدة في أواخر عام 2011م.

على طول الساحل الغربي للولايات المتحدة، أدى هذا إلى زيادة كمية القمامة بمعامل 10 وربما نقلت الأنواع الغريبة. تعتبر العواصف أيضًا من المولدات المهمة للقمامة البلاستيكية. دراسة أجراها لو وآخرون (2020م) أبلغ عن زيادة بنسبة 100 % في كمية المواد البلاستيكية الدقيقة على الشواطئ التي أمكن مسحها بعد إعصار في هونغ كونغ في عام 2018م.

يمكن إنتاج كمية كبيرة من النفايات البلاستيكية أثناء عمليات الإغاثة في حالات المخاطر. في أعقاب زلزال عام 2010م في هايتي، جرت الإشارة إلى توليد النفايات الناتجة عن عمليات الإغاثة على أنها «خطر ثانٍ». أفاد الجيش الأمريكي أنه جرى توزيع الملايين من زجاجات المياه وعبوات المواد الغذائية المصنوعة من مادة الستايروفوم مع عدم وجود نظام تشغيلي لإدارة النفايات.

كانت هناك حاجة إلى أكثر من 700000 قطعة من القماش المشمع البلاستيكي و100000 خيمة لملاجئ الطوارئ. وأدت الزيادة في النفايات البلاستيكية، إلى جانب سوء ممارسات التخلص منها، إلى انسداد قنوات الصرف المفتوحة، مما زاد من خطر الإصابة بالأمراض.

يمكن أن تؤدي الصراعات إلى نزوح المجتمعات على نطاق واسع. غالبًا ما يجري تزويد الأشخاص الذين يعيشون في ظل هذه الظروف بالحد الأدنى من مرافق إدارة النفايات. تُستخدم حفر الحرق على نطاق واسع للتخلص من النفايات المختلطة، بما في ذلك المواد البلاستيكية. تلوث الهواء يمكن أن يؤدي إلى أمراض الجهاز التنفسي وغيرها.

على سبيل المثال، يعيش اللاجئون الصحراويون في خمس مخيمات بالقرب من تندوف بالجزائر منذ ما يقرب من 45 عامًا. وبما أن خدمات جمع النفايات تعاني من نقص التمويل وعدم وجود مرافق لإعادة التدوير، فقد غمرت المواد البلاستيكية شوارع المخيمات والمناطق المحيطة بها. في المقابل، يتوفر في مخيم الأزرق في الأردن للاجئين القادمين من سوريا خدمات إدارة النفايات؛ من بين 20.7 طنًا من النفايات المنتجة يوميًا، 15 % منها قابلة لإعادة التدوير.

• على الفئات الضعيفة من المجتمع

بسبب السياق الاجتماعي والسياسي والثقافي للعديد من الأماكن في جميع أنحاء العالم، غالبًا ما تتأثر النساء بالمخاطر بشكل غير متناسب. في خطر تسونامي المحيط الهندي عام 2004م، مات عدد أكبر من النساء مقارنة بالرجال، ويرجع ذلك جزئيًا إلى حقيقة أن عددًا أقل من النساء يعرفن كيفية السباحة.

تعد النساء الحوامل إحدى المجموعات التي تتأثر بشكل غير متناسب بالمخاطر الطبيعية. ويمكن أن تؤدي عدم كفاية التغذية، وقلة فرص الحصول على المياه النظيفة، ونقص خدمات الرعاية الصحية، والضغط النفسي في أعقاب الخطر إلى زيادة كبيرة في معدلات الإصابة بالأمراض والوفيات النفاسية. علاوة على ذلك، فإن نقص موارد الرعاية الصحية خلال هذا الوقت يمكن أن يحول حتى مضاعفات الولادة الروتينية إلى حالات طوارئ.

الكـــوارث والأزمـــات

الكارثـــــة

- الكارثـة هـي حـدث مفاجـيء غالبـاً مـا يكـون بفعـل الطبيعـة يهـدد المصالـح القوميـة للبـلاد ويخـل بالتـواري الطبيعـي للأمـور وتشـارك في مواجهتـه كافـة أجهـزة الدولـة المختلفـة.
- الكارثة هـي حادثة محـددة ومنيـا ومكانيـاً ينجـم عنهـا تعـرض مجتمـع بأكملـه أو جـزء مـن مجتمـع إلـى أخطـار شـديدة ماديـة وخسـائر في أفـراده تؤثـر علـى البنـاء الإجتماعـي بإربـاك حياتـه وتوقـف توفيـر المسـتلزمات الضروريـة لإسـتمرارها.
- كذلـك قدمـت المنظمـة الدوليـة للحمايـة المدنيـة تعريفـاً دوليـا للكارثـة بأنهـا حـادث كبيـرة ينجـم عنهـا خسـائر كبيـرة في الأرواح والممتلـكات. وقـد تكـون طبيعيـة مردهـا فعـل الطبيعـة «زلازل - براكيـن - عواصـف ... ألـخ». وقـد تكـون كارثـة فنيـة أى مردهـا فعـل الإنسـان سـواءاً كان إراديًـا (عمـدًا) أو لا إراديًـا (بإهمـال)، وتتطلـب لمواجهتهـا معونـة الوطـن أو علـى المسـتوى الدولـي إذا كانـت قـدرة مواجهتهـا تفـوق القـدرات الوطنيـة.
- أمـا مكتـب الولايـات المتحـدة للمسـاعدة الأجنبيـة للكـوارث فإنـه يسـتخدم مؤشـرات أخـرى في تعريفـه للكارثـة وذلـك كالتالـي:
  - إذا أدى الزلزال أو الكمان إلى قتل 6 أشخاص على الأقل.
  - إذا كان إجمال الوفيات والجرحى 25 حالة على الأقل.
  - إذا وصل عدد المتضرين من هذا الحدث إلى ألف (1000) سواء شردوا أو تأثروا بما حدث.

❖ أما نظام الدفاع المدني بالمملكة العربية السعودية فقد عرف الكارثة في مادته الثامنة بأنها كل ما يحدث من حريق أو هدم أو سيل أو عاصفة أو المزال أو أى حادث آخر من شأنه أن يلحق الضرر أو يهدد بالخطر حياة الأفراد أو الممتلكات العامة أو الخاصة.

كـــوارث المنـــاخ

- إذا بلغ إجمالي الوفيات أو الجرحى خمسين حالة على الأقل.
- إذا وصل عدد المتضررين سواء بالتشريد أو خلافة إلى ألف (1000) شخص على الأقل.
- إذا بلغ إجمالي الخسائر مليون دولار أمريكي على الأقل.

التعريفات المشاركة للكارثة

- فجائية الحدوث
- تحدث خسائر كبيرة في الأرواح والممتلكات
- قد تكون طبيعة وقد تكون بفعل الإنسان عمدا أو إهمالاً.
- تطلب دعماً وطنياً أو إقليمياً وأحياناً مساعدات دولية.

الكارثة لها ثلاث ميزات

- صفة الحدة والقساوه.
- صفة الشيوع والعلنية.
- صفة المدى أو الحجم الذي تصل إليه الكارثة.

الأزمـــة لغـــويـــاً:

- الشدة والقحط.
- نقطة تحول وحالة متوترة للانتقال.
- فترة حرجة وخطرة وهى حالة علمية تطورية يحدث فيها انفصام توازن يعلن الانتقال الحتمي تقريباً إلى حالة أخرى.
- حالة خطيرة وحاسمة أو نقطة تحول.
- أوضاع غير مستقرة في الشئون السياسية أو الاقتصادية أو العالمية والتي يوشك أن يحدث فيها تغيير حاسم.
- تغيير فجائي في مرض مزمن إما للتحسن أو للتدهور

الأزمة اصطلاحاً:

- الأزمة خلل مفاجئ نتيجة لأوضاع غير مستقرة يترتب عليها تطورات غير متوقعة نتيجة عدم القدرة على احتوائها من قبل الأطراف المعنية وغالباً ما تكون بفعل الإنسان.
- الأزمة بمعناها العام والمجرد تلك النقطة الحرجة واللحظة الحاسمة التي يتحدد عندها مصير تطورها إما إلى الأفضل وإما إلى الأسوأ، الحياة أو الموت، الحرب أو السلم، لإيجاد حل لمشكلة ما أو انفجارها.
- الأزمة عبارة عن خلل يؤثر تأثيراً مادياً على النظام كله كما أنه يهدم الافتراضات الرئيسية التي يقوم عليها هذا النظام.
- الأزمة حالة توتر ونقطة تحول تتطلب قراراً ينتج عنه مواقف جديدة سلبية كانت أو إيجابية تؤثر على مختلف الكيانات ذات العلاقة.

أنــواع الكــوارث
الطبيعيــة
الصناعيــة
الــــــزلازل
الفيضـــــانات
البراكـــــين
الانزلاقـات الأرضية
الأعاصـــــير
الجفـــاف والتصحر
التســـونامي
الحروب
الإنفجارات
التلوث
الحرائق
الكوارث النووية والإشعاعية
الاستخدام الصـناعي
النفـايـات المشـــعة
التربـة
الميـــاه
الهـــواء

• أنواع الأزمـــات والكـــوارث

➢ طبيعـــة الحـــدوث

درجت معظم الدراسات على تقسيم الأزمات حسب طبيعة الحدوث إلى قسمين رئيسين هما:

أ. أزمـــة بشـــرية: وهى تلك الأزمات الناشئة عن فعل إنساني مثل:

- التهديد بالغزو العسكري.
- عمليات الإرهاب كخطف الطائرات والسفن وإحتجاز الرهائن والتفجيرات.
- الإضطرابات المختلفة.
- حوادث تلوث البيئة مثل تسرب الإشعاع أو المواد الكيميائية أو الصناعية إلى الهواء، والأرض والماء.
- الإهمال الذي ينتج عنه إنهيار السدود أو إنقطاع الكهرباء والماء.
- الحرائق الكبيرة.
- حوادث الطائرات والقاطرات وغرق السفن الضخمة.

ب. أزمـــة طبيعيـــة: الناتجـــة عـن كارثـة طبيعيـة لا دخـل للنشـاط الإنسـاني بحدوثهـا مثـل:

- الزلازل والبراكين والأعاصير.
- الجفاف ونضوب الموارد المائية.
- الفيضانات والتسونامي.

➢ من حيث المســـتهدف بالاعتـــداء:

- اعتداء على شخصيات.
- إعتداء على ممتلكات.

من حيث الهـــــدف:

- إرهاب الطرف الآخر .. كتفجير الطائرات دون تحديد مطالب وخلافهما.
- الإبتزاز .. كفرض مطالب معينة كشرط لإنهاء الأزمة.

من حيث مسرح الأزمـــــة :

- أزمة خلقتها الظروف في مسرح الحادث كالذي يحدث عندما يطلب مختطف طائرة الهبوط في مطار ما لتزويد بالوقود «أزمة ترانزيت».
- أزمة حدث فيها مسبقاً مسرح الحادث الذي وقعت فيه.

من حيث المصـــــدر :

- أزمة مصدره .. كالذي يحدث عندما يتم تفجير معين في بلد ما لاعتبارات معينة لها أهميتها في بلد آخر.
- أزمة لها جذورها في بلد الحادث سواء كانت هذه الجذور سياسية أو غيرها.

من حيث العمـــــق :

- أزمة سطحية غير عميقة هامشية التأثير.
- أزمة عميقة متغلغلة جوهرية هيكلية التأثير.

من حيث التكـــــرار :

- أزمة ذات طابع دوري متكرر الحدوث.
- أزمات فجائية عشوائية وغير متكررة.

من حيث المـــــدة :

- أزمات قصيرة الأمد يتم إخمادها والقضاء عليها في مدة قصيرة.
- أزمات طويلة الأجل وهي التي تستمر معالجتها لمدة طويلة.

من حيث مســـرح الأزمـــة :

- أزمات ذات آثار وخسائر بشرية.
- أزمات ذات آثار وخسائر مادية.
- أزمات ذات آثار وخسائر معنوية.
- أزمات ذات آثار وخسائر مختلطة.

من حيث المصـــــدر :

- أزمات عمدية تحبكها إحدى القوى وتنفذها لتحقيق أهداف معلومة.
- ازمات غير عمدية وانما نتيجة إهمال وسوء تقدير .. مثل بعض الكوارث الصناعية.
- أزمات قضاء وقدر لاحيلة للإنسان فيها أمثال الكوارث الطبيعية كالزلازل وأمواج التسونامي.

من حيث العمـــــق :

- أزمة إقليمية تتعلق بدولة واحدة أو منشأة بعينها داخل الدولة وتتطلب معالجة محلية.
- أزمة أقليمية تتعلق بعدة دول في المنطقة وتتطلب تنسيقا أقليميا لمواجهتها.
- أزمة دولية تتعلق بعدة دول أجنبية وتتطلب تنسيقاً وجهوداً دولية لمعالجتها .

عناصر المقارنة	الأزمة	الكارثة
المفاجأة	تصاعدية	كاملة
الخسائر	معنوية وقد يصاحبها خسائر بشرية ومادية	بشرية ومادية كبيرة
أسبابها	إنسانية	غالباً طبيعية وأحياناً إنسانية
التنبؤ بوقوعها	إمكانية التنبؤ	صعوبة التنبؤ
الضغط على متخذ القرار	ضغط وتوتر عال	تفاوت في الضغط تبعاً لنوع الكارثة
المعونات والدعم	أحياناً ... وبسرية	غالباً ... ومُعلَنَة
أنظمة وتعليمات المواجهة	داخلية	محلية وإقليمية ودولية (أنظمة الحماية المدنية)
التأييد	لها مؤيدين ومعارضين منهم مَن يحاول أطفائها ومنهم من يحاول إشعالها	متعاطفون

الإضراب : في حكم الأزمة وإذا قام المتظاهرون باضرام النار سببوا كوارث.

الزلزال : كارثه ونتيجة السرقات والعصابات والاختطاف بعد الزلازل سبب أزمات.

• أنـــواع الأزمـات حسب المسـببات

يصنف العلماء الأزمات أصنافا عديدة حسب مسبباتها منها:

- **أزمـــات طبيعية :**

وهي تلك التي تسببها مسببات طبيعية كالفيضانات وغيرها.

- **أزمـــات تقنية :**

وهي أزمات فشل التقنية كما في أزمات تشرنوبيل وذوبال.

- **أزمـــات المواجهة :**

وهي تحدث عندما تواجه الشركة جماعة تهاجمها وتنتقد منتجاتها.

- **أزمـــات الحقد أو تعمد إيذاء المؤسسة :**

مثل وضع منظمات إرهابية أو أفراد قنابل أو ملوثات أو سموم في منتجات المؤسسة.

- **أزمـــات الخداع :**

وهى تحدث عندما تستهدف المؤسسة خداع جهة معينة أو جمهور محدد.

• السمات المشتركة للأزمات

- إن مصدر الخطر أو الأزمة يمثل نقطة تحول أساسية في أحداث متعاقبة ومتسارعة.
- إنها تسبب في بداية حدوثها صدمة ودرجة عالية من التوتر مما يضعف إمكانات الفعل لمواجهتها.
- إن تصاعدها المفاجيء يؤدي إلى درجات عالية من الشك في الحلول المطروحة لمواجهة الأحداث المتسارعة نظراً للضغط النفسي ولندرة المعلومات أو نقصها.
- حيث أن الكارثة تمثل تهديدات لحياة الإنسان وممتلكاته فن مجابتها تمثل واجباً مصيريا.
- إن مواجهة الكارثة أو الأزمة تستلزم خروجا عن الأنماط التنظيمية المألوفة وإبتكار نظم أو نشاطات تمكن من إستيعاب ومواجهة الظروف الإجبارية المترتبة على التغيرات الفجائية.
- إن مواجة تستوجب درجة عالية من التحكم في الطاقات والإمكانات وحسن توظيفها في إطار مناخ تنظيمي يتسم بدرجة عالية من الإتصالات الفاعلة التي في التنسيق والفهم الموحد بين جميع الأطراف ذات العلاقة .

عموماً الأزمات والكوارث تتسم بالمفاجأة والسرعة والغموض.

تحول المخاطر الطبيعية إلى أزمات

يمكن أن تتحول المخاطر الطبيعية إلى أزمات والأزمات إلى مخاطر. ويختلف الخطر عن الأزمة Crisis بكون الأزمة أي حدث أو فترة تؤدي إلى وضع غير مستقر وخطير يؤثر على الفرد أو المجموعة أو المجتمع بكامله. الأزمات هي تغيرات سلبية في الشؤون الإنسانية أو البيئية، خاصة عندما تحدث فجأة، دون سابق إنذار أو دون سابق إنذار. وبشكل أكثر عمومية، الأزمة هي وقت اختبار لحالة الطوارئ.

في الأيام الأخيرة من نوفمبر 2021م، انتشرت أخبار متحول أوميكرون Omicron لفيروس كورونا – Covid 19 عبر شبكات الأخبار. فقد أغلق الاتحاد الأوروبي وغيره من البلدان حدودها في وجه الجنوب الأفريقي، وهوت أسواق الأوراق المالية العالمية.

يكاد يكون من المؤكد أن المتحول الجديد قد نشأ بسبب نقص اللقاحات في الجنوب العالمي، مما خلق أرضًا خصبة لسلالات جديدة من الفيروس، والتي تفاقمت بسبب فشل العالم الغني على مدى عقود من الزمن في معالجة المشكلة المتوطنة المتمثلة في متلازمة نقص المناعة الذاتية (الإيدز) في المنطقة. توفر أزمة الجهاز المناعي الجماعي بوابة مثالية لتطور الفيروسات التي تستغل الضعف، مما يدل مرة أخرى على أن عبارة «الصحة الخاصة» هي عبارة عن تناقض لفظي.

تتم إدارة الأزمة من خلال الإشارة إليها كقضية إقليمية، ونشر الحل السياسي والتكنولوجي المتمثل في الحدود، وإعادة تسمية أزمة سكان العالم بخطر محلي. يتم عرض لغة وممارسة إدارة المخاطر واستغلالها، باعتبارها عدوًا للغة البديلة للأزمات والنقد.

عشية الألفية، كتب باتريك وولف: «المستعمرون يأتون ليبقوا – الغزو هيكل وليس حدثًا». وضعنا مختلف. لقد أصبحت لحظة الغزو، كما يقول وولف، هي حالة الاستعمار عندما أصبحت بنية. لكن الاستعمار عبارة عن بنية لا تتخللها المخاطر مثل – Covid 19 فحسب، بل إنها منظمة لتعزيزها. إن الأوبئة والمجاعة والهجرة الجماعية والمخاطر البيئية تغذي عمليات الاستعمار.

تحافظ المخاطر على الاستقرار المربح للنظام الاستعماري: فهي البديل الثمين للأزمات السياسية والاقتصادية. يجادل هذا المقال بأن الخطر جزء لا يتجزأ من رأس المال والاستعمار في القرن الحادي والعشرين، وأن دفع النظام الذي يستحثهما ويستفيد منهما إلى الأزمة هو أفضل رد فعل ممكن على استغلالهما.

على مدى السنوات الخمس والعشرين الماضية، كان هناك انجراف مواز من العولمة نحو الليبرالية الجديدة، ومؤخرا نحو الشعبوية الجديدة ورأس المال المعلوماتي. إن تغيير البادئات لتحديد متغيرات الاستعمار «الجديد» و «ما بعد» لا يغير من المقدمات القديمة: يستمر رأس المال في العولمة، وتدمير السيطرة العامة وسيطرة الدولة، وتدمير المشاعات، والتوسع في المناطق التي لم تكن مستغلة سابقًا.

في الغرب، أدى ذلك إلى إدراج الاستهلاك الحقيقي تحت رأس المال من خلال أنظمة المعلوماتية التي تفرض الاستهلاك المنضبط المبني على التوسع الهائل للديون. على المستوى العالمي، لم تكن هناك نهاية للرأسمالية العنصرية.

إن فرض ما تسميه ناعومي كلاين «الفصل العنصري الكارثي» لم يؤد إلا إلى صدمة أولئك الذين يعيشون في المراكز الحضرية، كما حدث مع كلاين بعد أن دمر إعصار كاترينا نيو أورلينز ليس فقط، بل أيضًا بسبب الاستجابة

الكارثية للشركات التي أعقبته. إن الهيمنة الأطلسية والرأسمالية التي جلبتها إلى الوجود كانت دائما مبنية على العولمة والهجرة القسرية في كثير من الأحيان: وبعبارة أخرى على الاستعمار.

المخاطر ليست شيئًا جديدًا. لقد كانت الحروب والإبادة الجماعية والإبادة البيئية دائمًا محركات للربح. في عصرنا، أصبحت المخاطر الزلزالية مثل زلزال هايتي وزلزال لاكويلا، والمخاطر المناخية مثل إعصار كاترينا، أحداثًا عشوائية مربحة بالقدر نفسه.

على الرغم من أن التقدم في ظاهرة الاحتباس الحراري يجعل الحرائق والفيضانات أمرا محتملا بشكل متزايد، فإنه لا يمكن التنبؤ بأي حدث فردي مع تحذير أكثر من بضعة أيام. لقد كان الاستعمار في الجنوب العالمي بمثابة تاريخ من مثل هذه الصدمات.

في حين أن القول المأثور «لا تدع أي أزمة جيدة تذهب هدراً» يمكن تطبيقه على تاريخ طويل من جني الأرباح في مرحلة ما بعد المخاطر، فإن ما تغير مؤخراً هو أن المقامرة على المخاطر أصبحت عنصراً أساسياً في رأس المال المالي المعلوماتي الجديد.

أبعاد المخاطر الطبيعية والعوامل التي تزيد من آثارها

يمكن تحديد أبعاد الخطر في النقاط الآتية:

- مصدر الخطر والسباب التي أدت إلى حدوثها، هل هي طبيعية أم بشرية، مفاجئة أم سريعة، بطيئة داخلية أم خارجية.
- مدى تأثير الخطر وما تسببه من دمار وخراب وخسائر مادية وبشرية.
- نوع أو طبيعة الخطر، وهل توجد إجراءات يمكن أن تحد من أثارها، وهل هي شديدة أم بسيطة.
- زمن حدوث الخطر، أي الفترة الزمنية التِي يستغرقها الخطر ومدى تلاحق أحداثها مثل الزلازل التي تحدث لفترة قصيرة لأنها تتبعها هزات ارتدادية أو ينتج عنها أمواج تسونامِي عاتية، أو فيضانات تكون على شكل موجات متتالية.
- نطاق الخطر، أي الحيز الجغرافِي الذي يقع ضمَن نطاق تأثير الخطر، أو المساحة التِي أثرت فيها.
- مُوضع حدوث الخطر، أي تحديد مكان الحدوث بشكل دقِيق ضمن اليابسة أو البحر أو في الصحراء أو في المدن.
- نمط حدوث الخطر، لكل نوع من المخاطر نمط معين يتميز به عن غيره، أي لا يُوجد تشابه في خصائصها الطبيعية، وضمن النوع الُواحد توجد أنماط مختلفة.

يرى مستشار المخاطر توني تايج أنه «إذا لم تكن في منطقة صدع، أو منطقة نشطة بركانيًا، أو منطقة تسونامي، فمن المحتمل أنك في وادٍ معرض للفيضانات

أو سقوط الأشياء نحوك أسفل التلال». ويبرز هذا القول جانبًا مهمًا من الكيفية التي نحتاج بها إلى التفكير في المخاطر التي تشكلها الزلازل وغيرها من المخاطر الطبيعية على حياة الناس وسبل عيشهم. إن تقييم التأثير المحتمل لهذه الأحداث فقط من حيث حجمها وفترة تكرارها ليس سوى جزء من قصة الحل.

لا يتم إنشاء جميع الأحداث الشديدة على قدم المساواة: فالزلزال الذي تبلغ قوته 7 درجات على مقياس ريختر في براري سيبيريا هو اقتراح مختلف تمامًا عن زلزال بقوة 7 درجات يقع بالقرب من مدينة كبيرة أو في مثال أكثر موضوعية، فإن الدمار المحتمل الناجم عن زلزال بقوة 7.8 درجة يكون أكبر بكثير عندما يحدث التمزق على عمق 15 كيلومترًا تحت السطح، كما تم الإبلاغ عنه في البداية بالنسبة للزلزال الأخير في جنوب شرق إيران، من عمق 50–80 كيلومترًا الذي وقع على عمق 50–80 كيلومترًا. يبدو أنه قد حدث بالفعل في. الأمر كله يتعلق بالموقع، ثم الموقع، ثم الموقع: تحدث أسوأ المخاطر عندما تتقاطع المخاطر الطبيعية الكبيرة مع الأماكن التي يعيش فيها الكثير منا.

يمكن تمثيل ذلك بيانيًا، من خلال تحديد الأحداث من حيث شدتها الجوهرية (حيث يكون زلزال بقوة 8 درجات على مقياس ريختر وفيضان لمدة 100 عام أكثر شدة من زلزال سطحي بقوة 7 درجات وفيضان لمدة 50 عامًا)، على التوالي، وتعرض السكان والبنية التحتية (مثل المدن والطرق ومحطات الطاقة النووية).

بمعنى آخر، كم منا وما هي كمية أغراضنا، الموجودة داخل المنطقة المتأثرة؟ يؤدي رسم هاتين القيمتين على محاور متعامدة منفصلة إلى إنتاج مربع أو مستطيل تمثل مساحته التأثير البشري الإجمالي لحدث ما.

المربع الكبير يعني تأثيرًا كبيرًا بالطبع، ولكن الميزة الرائعة لهذا التمثيل هي أنه يوضح بوضوح كيف أنه إذا كان التعرض كبيرًا بدرجة كافية، فإن التأثير الإجمالي لحدث طبيعي متوسط الشدة يمكن أن يكون بنفس أهمية حدث أكثر شدة الذي يحدث في منطقة ذات تعرض أقل.

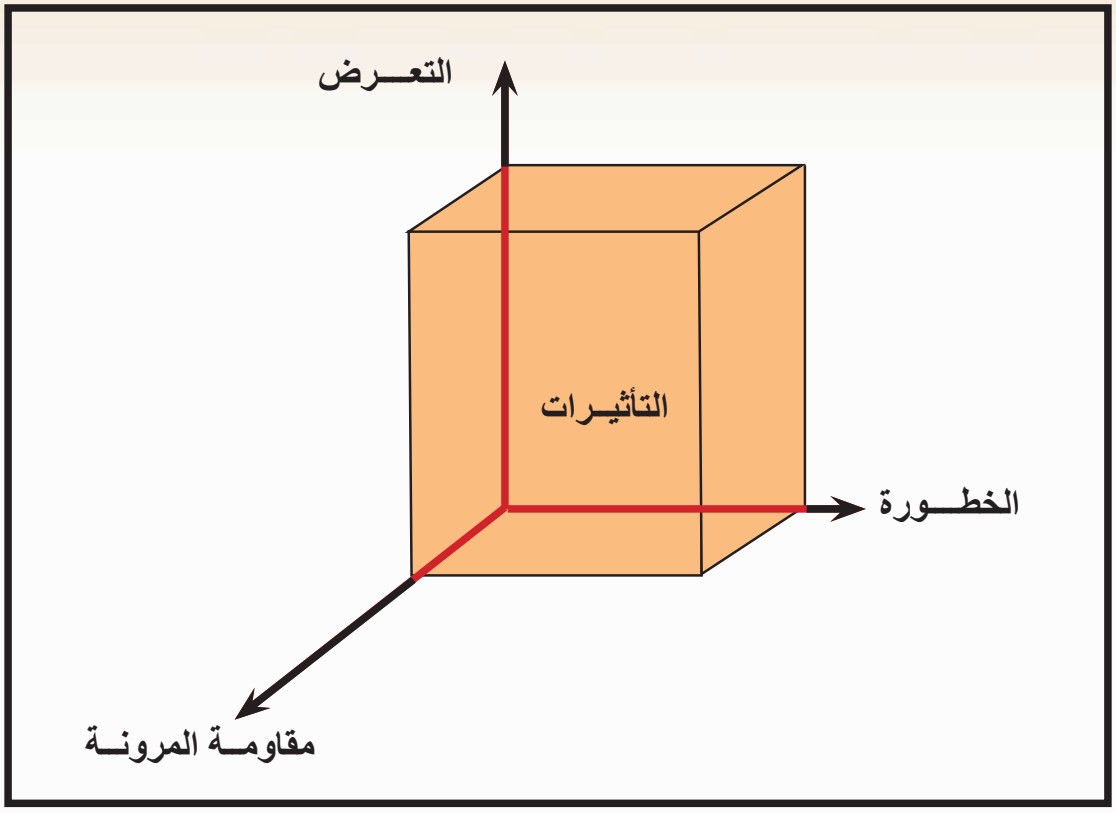
وعلى العكس من ذلك، يمكن لحدثين متساويين في الحجم أن ينتهي بهما الأمر إلى إحداث تأثيرات إجمالية مختلفة تمامًا، وذلك ببساطة بحكم موقعهما المختلف.

لكن هذا التمثيل يتجاهل عاملاً آخر يؤثر على التأثير الإجمالي لخطر طبيعي. ولنقارن بين زلزال بلغت قوته 7 درجات بالقرب من مدينة كبيرة تتمتع بقوانين بناء قوية ووعي عام مرتفع، وزلزال بقوة 7 درجات يقع تحت مدينة بها العديد من المباني الرديئة والوعي العام المحدود.

إن المرونة المختلفة بين السكان والبنية التحتية ستعزز بشكل كبير تأثير الحدث الأخير مقارنة بالأول، حتى لو كان تعرض هذه الأحداث هو نفسه تقريبًا.

ولتوضيح ذلك، نحتاج إلى محور آخر: محور يمثل المرونة المتغيرة لأجزاء مختلفة من العالم في مواجهة أنواع الدمار الجيولوجي الخاصة بها.

للعمل حقًا مع المحورين الآخرين، يجب أن يكون الأمر عكسيًا للمرونة – «مقاومة المرونة» (أو «الضعف»)؛ – بحيث تتوافق القيمة الصغيرة مع منطقة قوية ومجهزة جيدًا حيث يتم تقليل التأثير. باستخدام هذه المحاور الثلاثة، بدلاً من المربع الذي تزداد مساحته مع زيادة التأثير، نحصل على مكعب يزداد حجمه.



يمكن تمثيل أبعاد الخطر وفق ثلاثة محاور؛ حيث تعد مرونة منطقة ما في مواجهة المخاطر أيضًا عنصر تحكم مهم، مما يعني أن الأحداث ذات الخطورة نفسها يمكن أن يكون لها تأثيرات مختلفة جدًا.

سيتم التحكم في المرونة جزئيًا على الأقل من خلال شدة الحدث؛ على سبيل المثال، سيكون أي مبنى أقل مرونة في مواجهة الاهتزازات القوية في حالة حدوث زلزال كبير مقارنة بالاهتزازات الأضعف في حالة الهزات الصغيرة. لكن النقطة الأساسية هي أنه بالنسبة للأحداث ذات الخطورة المماثلة، ستكون هناك اختلافات صارخة في متوسط مرونة المباني في كرايستشيرش مقارنة ببورت أو برنس.

مما أدى إلى التأثيرات المختلفة إلى حد كبير التي شهدناها في هذه المدن نتيجة للزلازل التي بلغت قوتها 7 درجات. هناك طريقة أخرى للتفكير في هذا الأمر وهي أنه من المحتمل أن تكون هناك عتبة يتم بعدها التغلب على أي دفاعات أو استعدادات لمواجهة خطر طبيعي وتصبح القدرة على الصمود كبيرة جدًا، ولكن من المحتمل أن تكون هذه العتبة أعلى في الأماكن المحمية والمجهزة جيدًا.

لذا فإن التفكير بهذه المصطلحات يساعدنا على فهم السبب وراء عدم كون الأحداث الأقوى دائمًا هي الأكثر تدميراً، إذا وقع حدث أكثر اعتدالًا في الموقع الخطأ. يمكن أن يساعدنا أيضًا في التطلع إلى المستقبل: يمكننا تحديد الأماكن الأكثر عرضة للخطر من الأحداث ذات التأثير الكبير، من خلال الجمع بين معرفتنا (غير الدقيقة) بحدوث المخاطر الطبيعية وشدتها المحتملة في منطقة ما، والتعرض لمثل هذه الأحداث، وتقييم حول كيفية مواجهتنا لهم والبنية التحتية لدينا. من الواضح أنني كنت أتحدث بشكل أساسي عن الزلازل، لكنني أعتقد أن الأمر سينجح مع المخاطر الأخرى أيضًا.

من ناحيةٍ أخرى فإنه يعتمد مدى تعرض المنطقة للمخاطر الطبيعية على عوامل متعددة. تقوم جامعة الأمم المتحدة بحساب مؤشر المخاطر العالمية باستخدام أربعة عوامل: التعرض، والقابلية للتأثر، والقدرة على المواجهة، والقدرة على التكيف.

- التعرض هو مقدار المخاطر الطبيعية التي تتعرض لها المنطقة.
- تشير القابلية للتأثر إلى مستويات البنية التحتية والفقر والتغذية.
- القدرة على المواجهة هي القدرة على مقاومة تأثير المخاطر الطبيعية من خلال الاستعداد للمخاطر.
- القدرة على التكييف هي القدرة على إجراء تغييرات هيكلية للحد من تأثير المخاطر الطبيعية في المستقبل. عند أخذ كل هذه العوامل بعين الاعتبار، هناك عامل واحد فقط خارج عن سيطرتنا تمامًا وهو التعرض. وتتفاقم العوامل الثلاثة الأخرى بسبب الفقر.

ووفقًا لتقرير صدر عن الأمم المتحدة في أكتوبر 2020م، فإن معدل المخاطر المرتبطة بالطقس (مثل الأعاصير والأعاصير والجفاف) آخذ في الارتفاع. بين عامي 2005 و2014م، بلغ المتوسط السنوي للمخاطر المرتبطة بالطقس 335، بزيادة قدرها 14 في المائة من عام 1995م إلى عام 2004م، وتقريبا ضعف المتوسط المسجل في الفترة من 1985م إلى 1995م.

وفي السنوات العشرين الماضية، كان 90% من المخاطر الكبرى ناجمة عن 6,457 فيضانات وعواصف وموجات حارة وجفاف وغيرها من الأحداث المناخية المسجلة. وتعد إندونيسيا والهند والفلبين من بين الدول الخمس التي تعرضت لأكبر عدد من المخاطر، إلى جانب الولايات المتحدة والصين.

وقد نتساءل لماذا تعتبر البلدان النامية أكثر عرضة للمخاطر الطبيعية؟

إن البلدان المتقدمة أكثر استعداداً للتعامل مع آثار المخاطر وعواقبها. وفي الدول النامية، توقع المخاطر الطبيعية الناس في دائرة من الفقر لأنهم لا يملكون الموارد اللازمة لإعادة بناء منازلهم وتلبية الاحتياجات الأساسية الأخرى، مما يجعلهم أقل قدرة على التعافي على المدى الطويل. هناك عوامل معينة موجودة في بيئات الفقر ستحول الخطر الطبيعي إلى كارثة:

- **المباني المشيدة بشكل سيء.**
- **صرف صحي سيء.**
- **النمو السكاني السريع / الكثافة السكانية العالية.**
- **محدودية الموارد اللازمة للاستجابة للمخاطر وإعادة البناء.**
- **الافتقار إلى شبكات الأمان الاقتصادي.**

منهجية دورة القدرة على الصمود

إن دورة القدرة على الصمود تمثل مراحل لإدارة المخاطر والطوارئ واستمرارية الأعمال، وتتضمن: التوقع والتقييم، الوقاية، والاستجابة،. تتضمن المرحلة الأولى من الدور في تحديد الأخطار وتقييم المخاطر واحتمالية حدوثها، والآثار الناجمة عنها، وتقييم مدى التعرض لها ومواطن الضعف وقابلية التضرر بها. ما يؤدي في نهاية المطاف إلى اتخاذ الإجراءات والتدابير اللازمة للحد من المخاطر أو التقليل من احتمالية حدوثها، والتخفيف من الآثار الناجمة عنها حال حدوثها، والتي في مجملها تنظم أعمال الاستجابة المنطوية على الإجراءات المتخذة مباشرة قبل الطارئ، أو الأزمة، أو الكارثة، أو أثناءها أو فوراً بعد حدوثها؛ بهدف إنقاذ الأرواح، وضمان الصحة والسامة العامة، وتلبية الاحتياجات الأساسية للمتضررين، وتخفيف الآثار السلبية الناجمة عنها. وقد تتضمن أعمال الاستجابة: التحذير والإنذار والبحث والإنقاذ والإخلاء والإسعاف، والإغاثة والإيواء، وحماية الممتلكات العامة والخاصة.

تنطوي دورة القدرة على الصمود على عناصر يتم الاهتمام بها لتعزيز الصمود قبل وأثناء حدوث الخطر الطبيعي. هنالك عناصر أخرى تعنى بالفترة ما بعد الخطر الطبيعي وتتضمن التعافي، الاستعداد، واستمرارية الأعمال. بدأً من التعافي، فهو يركز على الإجراءات المتخذة لإعادة أوضاع: (الممتلكات العامة والخاصة والأنشطة الاقتصادية والاجتماعية والبيئية والثقافية) -في المناطق المتضررة- إلى طبيعتها، ومواءمتها مع مبادئ التنمية المستدامة ومبدأ «إعادة البناء بشكل أفضل»، لتجنب الآثار السلبية الناجمة عن الحالات الطارئة والأزمات والكوارث أو التخفيف من حدتها في المستقبل. بينما الاستعداد يتضمن

التخطيط الاستباقي للموارد والإمكانات والقدرات والإجراءات والأعمال، والتأكد من جاهزيتها، لضمان كفاءتها وكفايتها للاستجابة الفعالة والمنسقة للطوارئ والأزمات والكوارث والتعافي منها بشكل مستدام، وتطوير خطط الطوارئ واستمرارية الأعمال والتدريب عليها واختبارها. ختاماً استمرارية الأعمال تنطوي على تعزيز الموارد والإمكانات والقدرات والإجراءات والأعمال اللازمة للاستمرار في تقديم الخدمات الأساسية والمنتجات الضرورية بمستويات محددة مسبقًا وبإطار زمني مقبول في حال التعرض للتعطل أو حدوث انقطاع.

المصدر: «دليل مفاهيم ومصطلحات إدارة المخاطر والطوارئ واستمرارية الأعمال»،
الأمانة العامة لمجلس المخاطر الوطنية، 2023م

إدارة المخاطـــــر

إدارة المخاطـر Risk Management هـي الطريقـة التـي نتعامـل بهـا مـع الآثـار البشـرية أو الماديـة أو الاقتصاديـة أو البيئيـة للخطـر المذكـورة، وهـي عمليـة كيفيـة «الاسـتعداد والاسـتجابة والتعلـم مـن آثـار الإخفاقـات الكبـرى». علـى الرغـم مـن أن المخاطـر غالبًـا مـا تكـون ناجمـة عـن الطبيعـة، إلا أنهـا يمكـن أن تكـون ذات أصـول بشـرية.

ويُعـرّف الاتحـاد الدولـي لجمعيـات الصليـب الأحمـر والهـلال الأحمـر إدارة المخاطـر بأنهـا تنظيـم وإدارة المـوارد والمسـؤوليات للتعامـل مـع جميـع الجوانـب الإنسـانية لحـالات الطـوارئ، ولا سـيما الاسـتعداد والاسـتجابة والتعـافي مـن أجـل تقليـل تأثيـر المخاطـر.

يوضح الشكل بشكل تخطيطي المفاهيم الأساسية المتعلقة بإدارة مخاطر الكوارث والتكيف مع تغير المناخ، وتفاعلها مع التنمية المستدامة.

تعد إدارة المخاطر الوظيفة الإدارية المكلفة بإنشاء الإطار الذي تعمل المجتمعات من خلاله على تقليل التعرض للمخاطر والتعامل مع المخاطر.

في الواقع لا تركز إدارة المخاطر على إدارة حالات الطوارئ، والتي يمكن فهمها على أنها أحداث بسيطة ذات تأثيرات محدودة ويتم إدارتها من خلال الوظائف اليومية للمجتمع. وبدلاً من ذلك، تركز إدارة الطوارئ على إدارة المخاطر، وهي الأحداث التي تنتج تأثيرات أكثر مما يستطيع المجتمع التعامل معه بمفرده.

تتطلب إدارة المخاطر مزيجًا من الأنشطة من جانب الأفراد والأسر والمنظمات والمستويات الحكومية المحلية و/أو الأعلى.

مع وجود العديد من المصطلحات المختلفة على مستوى العالم، إلا أنه يمكن تصنيف أنشطة إدارة الطوارئ بشكل عام إلى التأهب والاستجابة والتخفيف والتعافي، على الرغم من شيوع مصطلحات أخرى مثل الحد من مخاطر الكوارث والوقاية منها. إن نتيجة إدارة الطوارئ هي منع المخاطر، وعندما لا يكون ذلك ممكنا، الحد من آثارها الضارة.

مراحـــل إدارة المخاطـــــر

01 التحديـد

حصر جميع المخاطر المحتملة التي تؤثر على تحقيق الأهداف، مع تحديد الأسباب المؤدية لحدوث الخطر والنتائج المتوقعة في حال وقوع الخطر

02 التقييـم

قيـاس مـدى احتمالية وقوع الخطر ودرجة الأثر وذلك لتصنيف درجة الخطر الكلية

03 المعالجـة

وضع الإجراءات وخطط المعالجة والاسـتجابة المناسبة للمخاطـر، لتفادي وقوع الخطـر أو التخفيف من آثاره عند الوقـوع

04 المراقبـة

المراجعة الدورية و التحـديث على المخاطرمن خلال إعادة مراحل إدارة المخاطر

عمليـة تقـييم المخاطـــــر

تحديد المخاطر

- العملية الشاملة لتحديد وتحليل وتقدير المخاطر
- عمليـة إيجـاد المخاطر والتعرف عليها ووصفها

تحليل المخاطر

- عمليـة فهـم طبيعـة المخاطـر وتحديد مستوى الخطر

تقدير المخاطر

- عملية مقارنة نتائج تحليل المخاطر مع معايير المخاطر لتحديد ما إذا كانت المخاطر أو حجمها مقبولة

• التخطيط للطوارئ

يهدف التخطيط لحالات الطوارئ إلى منع حدوث حالات الطوارئ، وفي حالة الفشل في ذلك، يبدأ خطة عمل فعالة للتخفيف من نتائج وآثار أي حالات طوارئ. يعد تطوير خطط الطوارئ عملية دورية، مشتركة بين العديد من تخصصات إدارة المخاطر، مثل استمرارية الأعمال وإدارة المخاطر الأمنية، حيث يكون التعرف على المخاطر أو تحديدها بالإضافة إلى تصنيف المخاطر أو تقييمها أمرًا مهمًا للتحضير. هناك عدد من الإرشادات والمنشورات المتعلقة بالتخطيط لحالات الطوارئ، والتي نشرتها المنظمات المهنية مثل ASIS، والجمعية الوطنية للحماية من الحرائق (NFPA)، والرابطة الدولية لمديري الطوارئ (IAEM).

ينبغي أن تتضمن خطط وإجراءات إدارة الطوارئ تحديد الموظفين المدربين بشكل مناسب والمسؤولين عن اتخاذ القرار عند حدوث حالة طوارئ. يجب أن تشمل خطط التدريب الأشخاص الداخليين والمقاولين وشركاء الحماية المدنية، ويجب أن تحدد طبيعة التدريب والاختبار وتكراره.

يجب أن يتم اختبار فعالية الخطة بشكل منتظم؛ في الحالات التي تشغل فيها العديد من الشركات أو المنظمات نفس المساحة، يجب وضع خطط طوارئ مشتركة، متفق عليها رسميًا من قبل جميع الأطراف.

غالبًا ما يتم إجراء التدريبات والتمارين استعدادًا للمخاطر المتوقعة، بمشاركة الخدمات التي ستشارك في التعامل مع حالة الطوارئ، والأشخاص الذين سيتأثرون. وتقام تدريبات للاستعداد لمخاطر الحرائق والأعاصير والإغلاق للحماية والزلازل وغيرها.

في الولايات المتحدة، تدعم خدمة اتصالات الطوارئ الحكومية موظفي الحكومة الفيدرالية وحكومات الولايات والحكومات المحلية والقبلية والصناعة والمنظمات غير الحكومية أثناء الأزمات أو حالات الطوارئ من خلال توفير إمكانية الوصول في حالات الطوارئ والتعامل مع الأولوية للمكالمات المحلية والبعيدة المدى عبر شبكة الهاتف العام.

• صحة وسلامة العمال

تتضمن عملية التنظيف أثناء التعافي من المخاطر العديد من المخاطر المهنية. وفي كثير من الأحيان، تتفاقم هذه المخاطر بسبب ظروف البيئة المحلية نتيجة للخطر الطبيعي.

يتحمل أصحاب العمل مسؤولية تقليل التعرض لهذه المخاطر وحماية العمال عندما يكون ذلك ممكنًا، بما في ذلك تحديد المخاطر المحتملة وتقييمها الشامل، وتطبيق معدات الحماية الشخصية المناسبة (PPE)، وتوزيع المعلومات الأخرى ذات الصلة من أجل تمكين الأداء الآمن للعمل.

• التعرضات الجسدية

غالبًا ما تعرض مخاطر الفيضانات العمال للصدمات الناجمة عن الأدوات الحادة وغير الحادة المخبأة تحت المياه العكرة والتي تسبب تمزقات وكسورًا مفتوحة ومغلقة. وتتفاقم هذه الإصابات أكثر مع التعرض للمياه الملوثة في كثير من الأحيان، مما يؤدي إلى زيادة خطر الإصابة بالعدوى.

يـزداد خطـر انخفـاض حـرارة الجسـم بشـكل ملحـوظ مـع التعـرض لفتـرات طويلة لدرجات حرارة الماء أقل من (24 درجة مئوية). قد تحدث أيضًا حالات جلدية غير معدية، بما في ذلك الدخنيات ومتلازمة القدم الغاطسة (بما في ذلك القدم الخندقية) والتهاب الجلد التماسي.

ترتبط الإصابات المرتبطة بالزلزال بمكونات البناء الهيكلية، بما في ذلك الحطام المتساقط مع احتمال الإصابة بالسحق، والحروق، والصدمات الكهربائية، والوقوع تحت الأنقاض.

• التعرضات الكيميائية

يمكن أن تشكل المواد الكيميائية خطراً على صحة الإنسان عند تعرضها للإنسان بكميات معينة. بعد وقوع خطر طبيعي، يمكن أن تصبح بعض المواد الكيميائية أكثر بروزًا في البيئة.

يمكن إطلاق هذه المواد الخطرة بشكل مباشر أو غير مباشر. غالبًا ما تحدث المخاطر الكيميائية التي يتم إطلاقها مباشرة بعد وقوع خطر طبيعي في نفس وقت وقوع الحدث، مما يعيق الإجراءات المخطط لها للتخفيف من آثارها. يمكن أن يتم إطلاق المواد الكيميائية الخطرة بشكل غير مباشر عن قصد أو عن غير قصد.

ومن الأمثلة على الإطلاق المتعمد المبيدات الحشرية المستخدمة بعد الفيضان أو معالجة المياه بالكلور بعد الفيضان. ويمكن التحكم في هذه المواد الكيميائية

من خلال الهندسة لتقليل إطلاقها عند وقوع خطر طبيعي؛ على سبيل المثال، المواد الكيميائية الزراعية الناتجة عن المستودعات المغمورة أو منشآت التصنيع تسمم مياه الفيضانات أو ألياف الأسبستوس المنبعثة من انهيار مبنى أثناء الإعصار.

• التعرضات البيولوجية

يُرى التعرض للعفن بشكل شائع بعد وقوع خطر طبيعي مثل الفيضانات أو الأعاصير أو الإعصار أو التسونامي. يمكن أن يحدث نمو العفن على كل من الجزء الخارجي والداخلي للمباني السكنية أو التجارية. الظروف الدافئة والرطبة تشجع نمو العفن.

في حين أن العدد الدقيق لأنواع العفن غير معروف، فإن بعض الأمثلة على العفن الداخلي الشائع هي: الرشاشية Aspergillus والطوقيات البوغية Cladosporium والنوباء Alternaria والبِنِسِيلِّيُوم Penicillium. يختلف رد الفعل تجاه العفن بين الأفراد ويمكن أن يتراوح من أعراض خفيفة مثل تهيج العين والسعال إلى تفاعلات الربو أو الحساسية الشديدة التي تهدد الحياة.

الأشخاص الذين لديهم تاريخ من أمراض الرئة المزمنة، والربو، والحساسية، ومشاكل التنفس الأخرى أو أولئك الذين يعانون من نقص المناعة يمكن أن يكونوا أكثر حساسية للعفن وقد يصابون بالالتهاب الرئوي الفطري.

تشمل بعض الطرق لمنع نمو العفن بعد وقوع خطر طبيعي فتح جميع الأبواب والنوافذ، واستخدام المراوح لتجفيف المبنى، ووضع المراوح لإخراج الهواء من النوافذ، وتنظيف المبنى خلال أول 24 إلى 48 ساعة، والتحكم في الرطوبة.

عند إزالة العفن، يجب استخدام أقنعة N-95 أو أجهزة التنفس ذات مستوى حماية أعلى لمنع استنشاق العفن إلى الجهاز التنفسي. يمكن إزالة القوالب من الأسطح الصلبة بواسطة الماء والصابون أو محلول التبييض المخفف أو المنتجات التجارية.

• التعرضات النفسية والاجتماعية

وفقًا لمركز السيطرة على الأمراض، قد تشمل مصادر التوتر لدى المستجيبين لحالات الطوارئ مشاهدة المعاناة الإنسانية، وخطر الأذى الشخصي، وأعباء العمل المكثفة، وقرارات الحياة والموت، والانفصال عن الأسرة. إدارة خدمات تعاطي المخدرات والصحة العقلية (SAMHSA) توفر موارد الوقاية من التوتر وإدارته للمستجيبين للتعافي من المخاطر.

إجراءات واستراتيجيات الحد من المخاطر

ينظر مكتب الأمم المتحدة الدولي للحد من المخاطر إلى الوقاية من المخاطر WCPT على أنها مفهوم المشاركة في الأنشطة التي تهدف إلى منع أو تجنب الآثار السلبية المحتملة من خلال الإجراءات المتخذة مسبقًا، وهي أنشطة مصممة لتوفير الحماية من وقوع المخاطر.

يسلط المكتب أيضًا الضوء بالمثل على أنه على الرغم من أنه لا يمكن منع جميع المخاطر، إلا أن الإدارة الجيدة للمخاطر وخطط الإخلاء والتخطيط البيئي ومعايير التصميم يمكن أن تقلل من مخاطر الخسائر في الأرواح وتخفيف الإصابات.

كان إطار عمل هيوغو HYOGO Framework أحد هذه الخطط العالمية للحد من آثار المخاطر الطبيعية، والذي تم اعتماده في عام 2005م كخطة عالمية مدتها 10 سنوات، تم التوقيع عليها بالاتفاق مع 168 حكومة والتي قدمت مبادئ توجيهية وأولويات للعمل ووسائل عملية لتحقيق القدرة على مواجهة المخاطر للمجتمعات الضعيفة.

التأهب للمخاطر

«المعرفة والقدرات التي طورتها الحكومات ومنظمات الاستجابة والتعافي المهنية والمجتمعات والأفراد للتنبؤ والاستجابة والتعافي بشكل فعال من تأثيرات الأحداث أو الظروف الخطرة المحتملة أو الوشيكة أو الحالية»

وفقا للجنة الدولية للصليب الأحمر، يشير التأهب للمخاطر إلى التدابير المتخذة للتأهب للمخاطر والحد من آثارها، سواء كانت طبيعية أو من صنع الإنسان.

يتم تحقيق ذلك من خلال البحث والتخطيط لمحاولة التنبؤ بالمناطق أو المناطق التي قد تكون معرضة لخطر الكوارث ومنع حدوثها و/أو تقليل تأثير تلك المخاطر على السكان الضعفاء الذين قد يتأثرون حتى يتمكنوا من التصدي بشكل فعال لذلك.

يمكن لأنشطة الاستعداد للمخاطر المتضمنة مع تدابير الحد من المخاطر أن تمنع حالات الخطر وتؤدي أيضًا إلى إنقاذ أكبر عدد ممكن من الأرواح وسبل العيش خلال أي حالة خطر، مما يمكّن السكان المتضررين من العودة إلى حياتهم الطبيعية خلال فترة زمنية قصيرة.

التقليل من الخسائر في الأرواح والأضرار التي تلحق بالممتلكات من خلال تسهيل الاستجابة الفعالة للمخاطر وخدمات إعادة التأهيل عند الحاجة. إن الاستعداد هو الوسيلة الرئيسية للحد من تأثير المخاطر. يجب أن يكون الاستعداد والإدارة المجتمعية أولوية عالية في إدارة ممارسة العلاج الطبيعي.

الاستجابة للمخاطر / الإغاثة

إن توفير خدمات الطوارئ والمساعدة العامة أثناء وقوع الخطر أو بعده مباشرة من أجل إنقاذ الأرواح وتقليل الآثار الصحية وضمان السلامة العامة وتلبية الاحتياجات المعيشية الأساسية للأشخاص المتضررين.

ومع التركيز في الغالب على الاحتياجات الفورية والقصيرة الأجل، فإن التقسيم بين مرحلة الاستجابة/الإغاثة هذه ومرحلة التعافي اللاحقة ليس واضحًا تمامًا. وقد تمتد بعض إجراءات الاستجابة، مثل توفير السكن المؤقت وإمدادات المياه، إلى مرحلة التعافي.

إن الإنقاذ من الخطر المباشر وتحقيق استقرار الحالة الجسدية والعاطفية للناجين هو الأهداف الأساسية للاستجابة/الإغاثة في حالات المخاطر، والتي تسير جنبًا إلى جنب مع انتشال الموتى واستعادة الخدمات الأساسية مثل المياه والطاقة.

تعد الاستجابة المنسقة بين الوكالات المتعددة أمرًا حيويًا لهذه المرحلة من إدارة المخاطر من أجل الحد من تأثير الخطر ونتائجه طويلة المدى بما في ذلك أنشطة الإغاثة:

- الإنقاذ.
- النقل.
- توفير الغذاء والماء.
- توفير الرعاية الصحية الطارئة.
- الوقاية من الأمراض والإعاقة.
- إصلاح الخدمات الحيوية على سبيل المثال. الاتصالات السلكية واللاسلكية والنقل.
- توفير المأوى المؤقت.

الإجراءات القانونية والتشريعية

على الرغم من إمكانية الوقاية منها، فإن المخاطر الناجمة عن الأخطار الطبيعية تمثل واحدة من أكبر التهديدات للتنمية المستدامة وسلامة الإنسان اليوم. بلغ عدد الوفيات الناجمة عن المخاطر سنوياً في العقد الماضي، في المتوسط، 97,954 شخصاً على مستوى العالم. وفي عام 2013م وحده، بلغت تكلفة المخاطر 118.6 مليار دولار أمريكي، ومع ذلك فهي لا تزال واحدة من أدنى الأرقام المسجلة في السنوات العشر الماضية.

ومن الواضح أنه يمكن القيام بالمزيد لضمان عدم تحول المخاطر الطبيعية إلى مخاطر، وخاصة من خلال الحد من المخاطر وتعزيز قدرة الأشخاص المعرضين للمخاطر الطبيعية على الصمود. وتعمل القوانين واللوائح كأساس لبناء هذه القدرة على الصمود. فهي ضرورية لتهيئة بيئة تمكينية للحد من المخاطر التي تشكلها المخاطر الطبيعية، ومنع ظهور مخاطر جديدة وجعل المجتمعات أكثر أمانا.

منذ اعتماد إطار عمل هيوغو 2005–2015م: بناء قدرة الأمم والمجتمعات على مواجهة المخاطر، وفي أعقاب الآثار المدمرة للمخاطر واسعة النطاق الأخيرة، سعت العديد من البلدان إلى مراجعة وتحسين أطرها القانونية لمواجهة المخاطر والحد من آثارها، وخاصة من خلال اعتماد قوانين جديدة لإدارة آثار المخاطر (قوانين إدارة آثار المخاطر).

خلال هذه العملية، كانت العديد من الحكومات تتساءل: ما الذي ينجح؟ كيف يمكننا أن نتعلم من الدول الأخرى التي تمر بنفس العملية؟ وفي الوقت نفسه، أشارت العديد من التقارير المتعلقة بتنفيذ إطار عمل هيوجو إلى بطء التقدم في الحد من آثار المخاطر على مستوى المجتمع، ونقص المعلومات والتحليلات الواضحة حول دور التشريعات.

ولمعالجة هذه الفجوة، شرع الاتحاد الدولي لجمعيات الصليب الأحمر والهلال الأحمر (IFRC) وبرنامج الأمم المتحدة الإنمائي (UNDP) في عام 2012م في مبادرة مشتركة تهدف إلى دعم تعزيز التشريعات المحلية للحد من آثار المخاطر (DRR). 3. يتضمن المشروع تطوير منتجين:

- تقرير متعدد البلدان حول التشريعات المتعلقة بالحد من آثار المخاطر في 31 دولة.
- قائمة مرجعية من عشر نقاط حول القانون والحد من آثار المخاطر.

تم إطلاق تقرير تجميعي لأكبر دراسة مقارنة للتشريعات المتعلقة بالحد من آثار المخاطر التي تم إجراؤها حتى الآن، بعنوان القانون والتنظيم الفعال للحد من آثار المخاطر: تقرير متعدد البلدان (الاتحاد الدولي لجمعيات الصليب الأحمر والهلال الأحمر، برنامج الأمم المتحدة الإنمائي 2014م)، في يونيو 2014م إلى جانب معظم من دراسات الحالة القطرية التي استند إليها. تم بعد ذلك استخدام نتائج التقرير التجميعي ودراسات الحالة، بالإضافة إلى آراء وخبرات أصحاب المصلحة التي تم جمعها من خلال عشر مشاورات عقدت حول العالم، لوضع القائمة المرجعية بشأن القانون والحد من آثار المخاطر (القائمة المرجعية).

توفر القائمة المرجعية قائمة محددة الأولويات وموجزة تضم عشرة أسئلة رئيسية يتعين على المشرعين والمسؤولين التنفيذيين ومن يدعمونهم أخذها في الاعتبار من أجل ضمان أن قوانينهم توفر أفضل دعم للحد من آثار المخاطر. وهو لا يغطي القوانين المخصصة لإدارة آثار المخاطر فحسب، بل يشمل أيضًا القوانين واللوائح القطاعية الأخرى التي تعتبر بالغة الأهمية لبناء السلامة والقدرة على الصمود، فضلاً عن إدارة البيئة والأراضي والموارد الطبيعية.

تم تصميم قائمة المراجعة من أجل:

- العمل كأداة تقييم لتوجيه عملية مراجعة القوانين واللوائح الوطنية والمحلية التي يمكن أن تعزز الحد من آثار المخاطر.

- تقديم إرشادات حول كيفية مواءمة الأطر القانونية الوطنية مع المعايير الدولية القائمة، ولا سيما إطار سينداي Sendai Framework للحد من آثار المخاطر 2015-2030م.

وتهدف القائمة المرجعية أيضًا إلى تعزيز نهج أكثر تكاملاً للحد من آثار المخاطر من خلال مراعاة تغير المناخ واعتبارات التنمية المستدامة في إطار مراجعة التشريعات.

لماذا نستخدم القائمة المرجعية بشأن القانون والحد من آثار المخاطر؟

تم الاعتراف بدور الأطر القانونية في توفير الإطار التمكيني للحد من آثار المخاطر من قبل 168 دولة عضو في الأمم المتحدة في عام 2005م عندما اعتمدت إطار عمل هيوغو، كما تم الاعتراف به وتعزيزه في إطار سينداي للحد من آثار المخاطر 2015-2030م (إطار سينداي للحد من آثار المخاطر 2015-2030م).

يدرج إطار سينداي للحد من آثار المخاطر «تعزيز إدارة آثار المخاطر لإدارة الكوارث» كواحدة من أولويات العمل الأربع. وتتمثل الخطوة الأولى الواضحة لتعزيز إدارة أقوى للحد من آثار المخاطر في تحسين القوانين واللوائح ذات الصلة فضلا عن تعزيز تنفيذها. وبالتالي فإن إطار سينداي للحد من آثار المخاطر يدعو إلى اتخاذ عدد من الإجراءات الهامة لتعزيز الأطر القانونية.

لن تدعم القائمة المرجعية تنفيذ الالتزامات التي تم التعهد بها بموجب إطار سينداي للحد من آثار المخاطر فحسب، بل ستسمح للبلدان بالاستفادة من أكثر من عامين من البحث الشامل من خلال عملية تقييم عملية واحدة.

استراتيجية تخفيف مخاطـر الـــزلازل

الـزلازل جـزء مأسـاوي مـن حيـاة البشـر ورغـم مخاطرهـا لـم تسـتطع يومـا أن تهـزم في الإنسـان غريـزة البقـاء والدليـل اسـتمرار الحيـاة رغـم الماسـي العديـدة التـي خلفتهـا في أجـزاء متعـددة مـن العالـم. إن التجـارب العمليـة اكتسـبت خبـرات جيـدة في التعامـل مـع هـذه الظاهـرة المقلقـة سـواء مـن حيـث إعـداد المواصفـات الهندسـية للمبانـي أو مـن حيـث تهيئـة المرافـق والخدمـات لتكـون علـى أهبـة الاسـتعداد لمواجهة الكارثـة إلا أن السـيطرة الفعليـة وتوقـع الـزلازل قبـل حدوثهـا مازالـت خـارج نطـاق القـدرة البشـرية وانحصـرت في التقليـل مـن آثـار الكارثـة.

إن الـزلازل ومـا ينجـم عنهـا مـن إزهـاق للأرواح وهـدم لمقومـات الحيـاة بصـورة آنيـة – قـد لا تتجـاوز ثـوانٍ معـدودة – لاسـيما في المجتمعـات المعاصـرة التـي تداخلـت فيهـا مقومـات الحيـاة بصـورة معقـدة، أدى إلـى تطويـر العديـد مـن الحلـول الهندسـية لتقليـل الآثـار التـي قـد تسـببها هـذه الهـزات الأرضيـة. ومـع أن أي حـل هندسـي للتقليـل مـن آثـار الـزلازل يعتمـد علـى تصميـم المنشـآت وتنفيذهـا بـدون إغفـال القـوى الناجمـة عـن الهـزات الأرضيـة، فـان خيـار التصميـم الهندسـي المناسـب لمقاومـة الـزلازل يبقـى هـو الحـل الوحيـد ويتمثـل في اعتمـاد مواصفـات البنـاء الهندسـي الـذي يحقـق تفـادي انهيـار المبانـي حتـى عنـد وقـوع زلـزال شـديد وبالتالـي تفـادي وقـوع نسـبة عاليـة مـن الوفيـات.

تعتبـر الاسـتراتيجيات الخاصـة بالـزلازل عنصـرًا أساسـيًا في إدارة مخاطـر الكـوارث (DRM) تتمحـور اهدافهـا حـول آثـار التخفيـف مـن آثـار الكـوارث وإدارة التعـافي و إلـى التنسـيق بـين الجهـات ذات العلاقـة لضمـان الفاعليـة لمواجهـة ظـروف وتداعيـات الـزلازل والتأكـد مـن إعـداد خطـط تنفيذيـة لتمكـين الجهـات المعنيـة

بالتعامل مع الزلازل بكفاءة عالية، وإعداد خطة توعوية وتثقيفية بمخاطر الزلازل، وضمان توفر بنى تحتية بمواصفات هندسية عالية، وتشمل الخطة أيضًا التخفيف من آثار الزلازل من خلال تحديث المعايير والاشتراطات على المباني قيد الإنشاء وتطبيقها، وتدعيم المباني المُنشأة، وخصوصًا المرافق الحيوية، وإعداد وتحديث قواعد بيانات شاملة ومنصات وطنية تُسهم في إدارة الكارثة بشكل فعال وسلس. في الجداول المرفقة قامت مؤسسة Desktop Research, Oliver Wyman Analysis (2023) في تقريرها الفني لدى مجلس المخاطر الوطنية باختيار 7 دول لها باع طويل في التعامل مع الزلازل، بناءً على مؤشرات أداء EPM (إدارة أداء الزلازل)، وتكرار الأحداث الزلزالية، وتوافر البيانات. تم اختيار البلدان على أساس تكرار وشدة الأحداث الزلزالية وكذلك على موثوقية مؤسساتها الحكومية والمؤسسات ذات الصلة بالزلزال وتوافر البيانات العامة.

لخص التقرير الذي استند على 11 معيارًا (الحوكمة الوطنية والسياسات والتشريعات – كود البناء الزلزالي – تقييم الخطر الزلزالي – قدرات الاستعداد للزلازل – استجابة مخاطر الكوارث وقدرات التعافي – الأبحاث والدراسات – التقنية والأدوات – قنوات الاتصال والمعلومات – الوعي والشراكة المجتمعية – البرامج التدريبية والتعليمية – الشراكة الإقليمية والدولية) الى انه يوجد العديد من نماذج الحوكمة مع مستويات مختلفة من المركزية حيث تمتلك تركيا والولايات المتحدة الأمريكية النماذج الأكثر مركزية ولامركزية، على التوالي. وأن لدى بعض البلدان كيان واحد فقط لإدارة مخاطر الكوارث يعالج جميع حالات الطوارئ، في حين أن لدى بلدان أخرى كيانات مختلفة يتولى كل منها التعامل مع نوع مختلف من المخاطر.

على نحو فعال، قامت اليابان بمراجعة لوائح تقسيم المناطق الخاصة بها بعد الزلزال المدمر الذي ضرب عام 2011م، واعتمدت أساليب جديدة لتقليل الخسائر في الأرواح والممتلكات إلى الحد الأدنى. يتضمن تقييم مخاطر الزلازل تقييم المخاطر الزلزالية المحتملة من خلال تحديد الأخطاء والتحقق منها. يتطلب التحليل جمع البيانات بشكل مستمر وتحديثها ومراقبتها عبر شبكة من محطات رصد الزلازل المتصلة.

تشير قدرات الاستعداد إلى مدى استعداد الأفراد والمجتمعات والمنظمات للاستجابة بفعالية للزلازل فهو يتطلب موارد وتخطيطًا كافيين مثل خدمات الطوارئ، وتوافر أماكن الإيواء، وإدارة سلسلة التوريد. تستلزم قدرات الاستعداد للزلازل أيضًا تقييمًا للبنية التحتية الحيوية لتقليل الاضطرابات وضمان الصحة والسلامة العامة، ويعد التعديل التحديثي أمرًا بالغ الأهمية، ولكن تحفيز أصحاب المنازل على التحديث التحديثي يتطلب أكثر من مجرد الحوافز والبرامج.

تتكون الاستجابة لمخاطر الكوارث الناجمة عن الزلازل من تبادل المعلومات المتعلقة بالسلامة والتدابير الوقائية بالإضافة إلى التعاون الدولي. أما قدرات التعافي اشتملت على التعامل مع الاستجابة لحالات الطوارئ الوشيكة، وقيادة عمليات البحث والإنقاذ، وتوفير الدعم في مرحلة ما بعد الكوارث، وإعادة تأهيل مواقع الضرر. وتهدف هذه القدرات إلى تعزيز سلامتها ومرونتها الثقافية والحفاظ على أهميتها التاريخية.

يتم إجراء تقييم المخاطر من خلال الأدوات التكنولوجية بالإضافة إلى أنظمة الإنذار المبكر التي تشمل الشبكات والأنظمة التي تكتشف النشاط الزلزالي وتحلله لتوفير تحذيرات مسبقة. يتم بعد ذلك نشر التحذيرات من خلال نظام التنبيه متعدد المستويات وصفارات الإنذار والقنوات العامة الأخرى.

تغطي برامج التعليم النطاق الكامل من المدارس الثانوية إلى الأبحاث الجامعية وتهدف إلى تخفيف التأثيرات. تشير برامج التدريب العملي إلى عمليات المحاكاة وورش العمل وبرامج المشاركة المجتمعية لمحاكاة عمليات الإخلاء الحقيقية أثناء الزلازل. وأخيرًا، تتكون الشراكات الدولية والإقليمية من برامج التعاون الثنائي وتوحيد المبادئ التوجيهية العالمية الخاصة بالزلازل والتي تتجلى من خلال التعاون العلمي وتبادل المعرفة وبناء القدرات التدريبية.

البلدان المدرجة في نطاق إدارة الأداء الزلزالي EPM.
اليابان وإيطاليا هي أفضل الدول تقييمًا.

اختيار البلدان على أساس التكرار والشدة الزلزالية

النشاط الزلزالي العالي

	Mexico	China	Indonesia	Italy	Turkey	USA	Japan	KSA
خط الصدع Fault Line	• تقع على حزام حلقة النار في المحيط الهادي مع عدد كبير من الزلازل والنشاطات البركانية	• تقع على عدة صدوع مع ما لا يقل عن 130 خط صدع في 21 مدينة كبيرة	• تقع داخل حزام حلقة النار في المحيط الهادئ، إندونيسيا لديها أكثر من 295 صدع نشط.	• تقع على عدة صدوع مثل طية أبنين-المغاربية وحزام الدسر وقوس كالابريا	• تقع في منطقة نشطة زلزاليا يحدها صدع شمال الأناضول وصدع شرق الأناضول، وكذلك بحر ايجه كونه أبرز الصدوع	• تقع على عدة صدوع مثل صدع سان أندرياس، ومنطقة نيو مدريد الزلزالية، وصدع هايوارد وصدع واساتش، و أكثر	• تقع على حزام حلقة النار عند تقاطع صفيحة المحيط الهادئ مع صفيحة الفلبين والصفيحة الأوراسية	• تقع على الصفيحة العربية ومحاطة بعدد من الصدوع الكبيرة مثل أخدود البحر الأحمر وصدع البحر الميت التحولي
التكرارية Frequency	• ~ 30.000 الزلازل لكل سنة، أغلبيتها تذهب بدون ملاحظة	• ~18 زلازل بحجم 5.0+ درجات كل سنة	• ~10 زلازل بحجم 6.0+ درجة لكل سنة • ~113 زلزال بحجم 5.0+ درجة كل سنة	• ~4 الزلازل بحجم 5.0+ درجة لكل سنة • ~ 85 زلازل حجم 4.0+ درجة لكل سنة	• ~ 25000 زلزال كل سنة • ~300 زلزال بحجم 4.0+ درجات لكل سنة	• ~1 زلزال بحجم 8.0+ درجات سنويا • ~ 15 زلازل حجم 7.0+ درجات سنويا	• ~ 15 زلازل بحجم 7.0+ درجات لكل سنة • ~ 150 زلزالا بحجم 6.0+ لكل سنة	• ~25 زلزال بحجم 4.0+ درجات سنويا
عدد القتلى والخسائر الاقتصادية Death Toll & Economic Losses	• زلزال مدينة مكسيكو عام 1985 كان الأقوى • تجاوز عدد القتلى 30+ ألف بينما كانت الخسائر الاقتصادية حوالي 5 مليار دولار	• زلزال تانغشان الكبير واحد من الأقوى على الإطلاق سجلت بحجم 7.5 درجة • تجاوز عدد القتلى 242+ ألف بينما الخسائر اقتصادية تم تقديرها بـ ~ 10 مليار دولار	• زلزال وتسونامي المحيط الهندي 2004 كان الأكثر دموية في إندونيسيا، بلغ حجمه 9.1 درجة • تجاوز عدد القتلى 200+ ألف بينما كانت الخسائر الاقتصادية بنحو 4.5 مليار دولار	• زلزال وتسونامي ميسينا كان الأقوى على الإطلاق بحجم 7.5 درجة • بلغ عدد القتلى 80+ ألف • الزلزال بشكل كامل تقريبًا دمر ميسينا والعشرات من المدن الساحلية القريبة	• كان زلزال فبراير 2023 الأكبر منذ عام 1939 و بقوة 7.8 درجة • بلغ عدد القتلى 48+ ألف بينما قدرت الخسائر الاقتصادية ب ~ 80 مليار دولار • ما لا يقل عن 13.5 شخص أصيبوا و4 مليون مبنى تأثر.	• زلزال ألاسكا العظيم كان الأقوى على الإطلاق بحجم 9.2 درجات • بلغ عدد القتلى 131 ألف بينما تم تقدير الخسائر الإقتصادية بسعر 350 مليون دولار تقريبًا (~ 2.5 ترليون هذا اليوم).	• كان زلزال شرق اليابان هو الأقوى على الإطلاق سجلت بحجم 9.0 درجات • تجاوز عدد القتلى 15+ ألف بينما وكانت الخسائر الاقتصادية يقدر بنحو 210$~ مليار دولار • أسفر الزلزال عن كارثة فوكوشيما النووية	• زلزال خليج العقبة في نوفمبر 1995 كان الأقوى خلال 123 سنة الماضية، وبلغت قوته 7.2 • قتل شخصان و 120 مصاب

النقاط الرئيسية والحالات التاريخية والتوصيات الخاصة بأفضل ممارسات إدارة كوارث الزلازل

	ملخص النقاط	الحالة التاريخية	أفضل الممارسات
1 الحوكمة الوطنية والسياسات والتشريعات	▪ الحكومات تملي الحوكمة من خلال إنشاء أطر إدارة الطوارئ التي تحدد الأدوار و آليات التنسيق بين الجهات الحكومية المختلفة. ▪ الحكومات أيضا تنفذ قوانين ومعايير البناء ودمج مبادئ التصميم الزلزالي. ▪ كما يقومون بتنفيذ واستخدام لوائح التخطيط وتقسيم المناطق لتوجيه التنمية في المناطق المعرضة لمخاطر الزلازل.	▪ التعاون بين الجهات الحكومية والعلمية و القطاع الخاص والمجتمعات المحلية ضرورية لوضع سياسات شاملة. ▪ السياسات والتشريعات تتطلب مراجعة منتظمة وتحديث المعرفة الجديدة والدروس المستفادة من أحداث الزلزال. ▪ اعتماد الحكم اللامركزي من خلال تعزيز دور الحكومات المحلية لإدارة الأزمات بشكل فعال.	▪ يُرسّخ أطر واضحة للاستجابة لحالات الطوارئ وإعادة التأهيل. ▪ إنفاذ قوانين البناء تقييم البنية التحتية الحيوية والتحديثية المباني المعرضة للخطر، وتأمين السلامة غير الإنشائية مكونات لضمان القدرة على مقاومة الزلازل. ▪ مراجعة وتعديل التشريعات بعد كل كارثة عن طريق ملء الفجوات المتبقية على أساس الدروس المستفادة ▪ يطور الآليات المالية ، مثل برامج التأمين لتخفيف الآثار الاقتصادية للزلازل
2 كود البناء الزلزالي	▪ تقوم وكالات الحكومة بتطوير وصيانة كود المباني الزلزالية. ▪ تهدف الكودات إلى تقليل الأضرار التي تلحق بالمباني وحمايتها وحماية حياة الإنسان أثناء الأحداث الزلزالية. ▪ التقسيم والتخطيط الحضري وتخطيط الأراضي في المناطق المعرضة للزلازل أمر بالغ الأهمية قبل القيام بأي تطورات جديدة. ▪ هؤلاء يتم تحديث الكودات ومراجعتها بانتظام بناءً على التقدم في المعرفة الهندسية والدروس المستفادة من الزلازل الماضية.	▪ تصميم المبنى المقاوم للزلازل لمنع انهيار المباني وحماية حياة البشر. ▪ المباني ذات العزل القاعدي الزلزالي الميزات تعاني قليلا الضرر أثناء الزلازل. ▪ مكونات البناء الغير هيكلية يمكن أن تسبب خطورة وضرر. ▪ اللجوء إلى خطوط متعددة تجمع بين الهيكلية (مثل الجسور) والعنصر غير الهيكلي (مثل الطرق). البدائية لمواجهة التسونامي.	▪ تنفيذ قوانين البناء وإجراء عمليات التفتيش قبل، أثناء وبعد البناء. ▪ يستخدم المبادئ التوجيهية للتصميم الزلزالي التي تناسب الظروف المحلية والقدرة على تعزيز مرونة المباني. ▪ تعزيز عزل القاعدة الزلزالية وخاصة بالنسبة للمباني التي سيتم استخدامها لأنشطة الإغاثة في حالات الطوارئ واستجابة الطوارئ.
3 تقييم الخطر الزلزالي	▪ تقوم معاهد البحوث الزلزالية والجيوفيزيائية بجمع البيانات الزلزالية ذات الصلة وإجراء دراسات شاملة لفهم الخطر الزلزالي. ▪ يتم جمع البيانات من خلال العديد من المحطات الزلزالية والتي تراقب الإشارات بشكل مستمر ▪ تساعد هذه الأفكار إبلاغ السياسات واللوائح والتصميم ممارسات للحد من المخاطر المرتبطة بالزلازل لحماية الأرواح والممتلكات	▪ يستخدم نماذج المخاطر الزلزالية المتعددة ودمج الموقع تحقيقات محددة لتعزيز دقة المخاطر وتقديرها . ▪ دمج تقييم المخاطر في عملية صنع القرار المتعلقة. ▪ تخطيط استخدام الأراضي، وقوانين البناء، وتطوير البنية التحتية، والتخطيط للطوارئ بانتظام. ▪ تحديث وتحسين خرائط المخاطر كبيانات جديدة، تصبح البحوث والمنهجيات متاحة	▪ يستخدم نماذج المخاطر الزلزالية المتعددة ودمج الموقع تحقيقات محددة لتعزيز دقة المخاطر وتقديرها . ▪ دمج تقييم المخاطر في عملية صنع القرار المتعلقة. ▪ تخطيط استخدام الأراضي، وقوانين البناء، وتطوير البنية التحتية، والتخطيط للطوارئ. ▪ بانتظام تحديث وتحسين خرائط المخاطر كبيانات جديدة، تصبح البحوث والمنهجيات متاحة.

النقاط الرئيسية والحالات التاريخية والتوصيات الخاصة بأفضل ممارسات إدارة كوارث الزلازل

	أفضل الممارسات	الحالة التاريخية	ملخص النقاط
4 قدرات الاستعداد للزلازل	▪ تطوير خطط الطوارئ الشاملة والتواصل بوضوح للأفراد والمنظمات والمستجيبين لحالات الطوارئ ▪ خلق الوعي التحديثي وإدخال الحوافز (على سبيل المثال، ▪ الإعانات والقروض منخفضة الفائدة وضريبة الدخل المنخفضة) للبدء وتحفيز أصحاب المنازل ▪ تصميم مراكز الإخلاء في أماكن آمنة وتجهيزها مع إمدادات الطوارئ. ▪ يحسن مرونة البنية التحتية الحرجة.	▪ تأسيس قنوات اتصال واضحة، وتحديد الأدوار وتحسين المسؤوليات وإجراء التدريبات المنتظمة قدرات التنسيق والاستجابة. ▪ تأسيس طرق الإخلاء والطوارئ المحددة مسبقًا تسمح نقاط الملاجئ بالاستجابة السريعة والمنظمة أثناء الزلزال. ▪ إعادة تأهيل المباني المعرضة للخطر وتقديم الدعم ومن الضروري الحد من تدابير مكافحة آثار التسونامي.	▪ تضمن الحكومات والوكالات المعنية الأخرى الاستعداد للأفراد والمجتمعات والمنظمات بشكل فعال الاستجابة للزلازل. ▪ تتطلب قدرات الاستعداد موارد كافية والتخطيط مثل خدمات الطوارئ وبيوت الإيواء التوفر، وإدارة سلسلة التوريد والخدمات اللوجستية. ▪ تحديث المرونة الزلزالية للبنية التحتية فعالة لقياس تخفيف المخاطر.
5 استجابة مخاطر الكوارث الرد وقدرات التعافي	▪ تعزيز التنسيق عبر المستويات الحكومية كذلك بين المنظمات المشاركة في أنشطة الاستجابة والتعافي. ▪ تدريب الوكالات المتخصصة مثل الشرطة وإدارات الإطفاء، والمستشفيات خلال الأوقات العادية للتعبئة في حالات الطوارئ. ▪ إنشاء إطار واضح لإدارة مخاطر الكوارث تحفيز الإدارة الفعالة للأزمات.	▪ التنسيق مع وكالات إدارة الطوارئ وأول المستجيبين أمر بالغ الأهمية لضمان التنسيق وفعالية الاستجابة للتحذيرات. ▪ وجود خطة طوارئ مرنة لسلسلة التوريد أمر ضروري لتقليل الاضطرابات بعد وقوع الكارثة. ▪ لا تقتصر إدارة مخاطر الكوارث على استجابة الزلازل. البلدان المعرضة للخطر لديها أطر شاملة لمواجهة كافة أنواع المخاطر.	▪ تؤسس الحكومات آليات الاستجابة للطوارئ وهياكل التنسيق للاستجابة بشكل فعال والتعافي من الزلازل. ▪ الهدف هو حشد الخبراء وفرق البحث والإنقاذ والفرق الطبية والمهندسين. ▪ تهدف هذه المبادرات إلى تخفيف الآثار المباشرة من الزلازل، وتقديم المساعدة الطارئة للمتضررين المجتمعات، وتسهيل التعافي على المدى الطويل.
6 الأبحاث والدراسات	▪ تشجيع التعاون والبحوث متعددة التخصصات للحصول على فهم شامل للزلازل وتأثيراتها. ▪ إنشاء برامج بحثية على المدى الطويل لتحسين فهم وإبلاغ صناع القرار والممارسات. ▪ مراجعة الدراسات المنجزة بانتظام لضمان الشمولية من حيث النطاق والتغطية، والجودة، والتوقيت، والمنفعة.	▪ تعزز البرامج البحثية تعزيز فهم سلوك الزلازل، وبالتالي تعزيز تقييم أفضل لمخاطر الزلازل. ▪ تسهل الدراسات العلمية التعاون الدولي وتبادل المعرفة، مما يساعد على إعلام عملية صنع القرار السياسي، تحسين قدرات التنبؤ، وتعزيز الاستعداد ▪ والتدابير في جميع أنحاء العالم.	▪ تقوم معاهد البحث العلمي والتقني بإجراء البحوث لفهم المخاطر بشكل أفضل، وتطوير استراتيجيات التخفيف، وتعزيز مرونة المجتمع. ▪ تساعد برامج وتقنيات البحث في التنبؤ بالزلازل وبالتالي التخفيف من تأثير الكوارث على الحياة والممتلكات. ▪ يتم تمويل أبحاث الزلازل من خلال مزيج من الوكالات الحكومية، المنظمات الدولية، الخاصة والمؤسسات الأكاديمية.

النقاط الرئيسية والحالات التاريخية والتوصيات الخاصة بأفضل ممارسات إدارة كوارث الزلازل

	أفضل الممارسات	الحالة التاريخية	ملخص النقاط
7 التقنية والأدوات	▪ توسيع كثافة شبكات الرصد الزلزالي والاستثمار فيتقنيات الاستشعار المتقدمة لتعزيز الحساسية وموثوقية أنظمة الإنذار. ▪ تعزيز البنية التحتية للاتصالات لضمان موثوقة & تسليم إنذارات الإنذار المبكر في الوقت المناسب. ▪ إنشاء بروتوكولات موحدة لنشر التنبيهات ▪ تثقيف الجمهور حول كيفية التفسير والاستجابة لتنبيهات التحذير المبكر بشكل فعال.	▪ أنظمة الإنذار المبكر تقلل الأضرار الاقتصادية بشكل كبير وخسارة في الحياة. ▪ يمكن تركيب أنظمة الإنذار المبكر على مستويات مختلفة اعتمادا على شدة النشاط الزلزالي والموارد المتاحة . ▪ تشمل تطبيقات نظام الإنذار المبكر مختلف تطبيقات المخاطر، وبالتالي توفير نهج شامل لإدارة مخاطر الكوارث.	▪ يتم إجراء تقييم المخاطر من خلال الأدوات التقنية وخدمات الإنذار المبكر (EWS) التي تشتمل على شبكات وأنظمة تكتشف وتحلل النشاط الزلزالي لتقديم تحذيرات مسبقة. ▪ أنظمة الإنذار المبكر تصدر تنبيهات في الوقت المناسب مما يسمح للناس للاحتماء أو البدء في إجراءات الإخلاء. ▪ يتم أيضًا دمج الأنظمة مع البنية التحتية الحيوية لتحقيق وتفعيل بروتوكولات السلامة الآلية. ▪ يسمح الإشعار المسبق للمستجيبين للطوارئ للتعبئة وتنسيق عمليات الإنقاذ.
8 قنوات الاتصال والمعلومات	▪ تأسيس أنظمة شاملة لضمان وصول التحذيرات للمجتمعات المعرضة للخطر. ▪ تحسين موثوقية شبكات الاتصالات كشبكة الأعطال بعد وقوع الكارثة. ▪ سلوك التواصل التفاعلي بشأن المخاطر وفهم آليات مواجهة المجتمعات.	▪ استخدام قنوات اتصال متعددة تضمن تسليم تحذيرات لكل شخص معرض للخطر. ▪ الممارسة المنتظمة للتواصل بشأن مخاطر الكوارث أمر مهم حتى يفهم الناس المعلومات والوكالات تفهم الآليات التي يستخدمها السكان المحليون للتعامل مع الكوارث.	▪ تهتم الحكومات والسلطات المعنية الأخرى بإنشاء أنظمة تنبيه عامة على المستوى الوطني لنشرها المعلومات الدقيقة وفي الوقت المناسب، وزيادة الوعي، وتسهيل استجابة منسقة. ▪ يتم توصيل المعلومات من خلال قنوات، مثل البث التلفزيوني والإذاعي، وإخطارات الهاتف المحمول، صفارات الإنذار وأنظمة العناوين العامة. ▪ والهدف هو إعلام المواطنين بالإجراءات الوقائية والصحية واجراءات السلامة.
9 الوعي والشراكة المجتمعية	▪ تعزيز التعاون بين الوكالات الحكومية، المؤسسات التعليمية، منظمات المجتمع، المستجيبون لحالات الطوارئ والمنظمات غير الحكومية لتقديم خدمات شاملة والبرامج المنسقة. ▪ رفع مستوى الوعي العام عبر القنوات الإعلامية المختلفة للوصول إلى جمهور أوسع وتوزيع المواد ا لتعليمية .	▪ برامج التوعية العامة مطلوب أن تكون مدعومة من قبل إجراءات عملية لتشجيع الإخلاء. ▪ تعزز المشاركة المجتمعية الملكية وتمكين المجتمعات المحلية للقيام بدور نشط في الحد من مخاطر الكوارث. ▪ حملات توعية للقادة عبر مختلف القطاعات تلعب دورا حيويا في تعزيز فعالية الإنذار بالزلزال.	▪ تتكون برامج المشاركة المجتمعية والتوعية من نشر المعلومات، وبرامج تدريب المواطنين والجمهور إعلانات الخدمة . ▪ المؤسسات التعليمية والحكومات والجهات المعنية الأخرى تجري حملات بحثية وتثقيفية حول مخاطر الزلازل وتدابير السلامة. ▪ تهدف هذه المبادرات إلى إعداد المجتمعات للأحداث الزلزالية ونشر الوعي حول إمكاناتها وتأثير الزلزال على الحياة والمجتمع والاقتصاد.

النقاط الرئيسية والحالات التاريخية والتوصيات الخاصة بأفضل ممارسات إدارة كوارث الزلازل

	أفضل الممارسات	الحالة التاريخية	ملخص النقاط
10 البرامج التدريبية والتعليمية	▪ تطوير برامج تدريبية شاملة تغطي مختلف جوانب الاستعداد للزلازل والاستجابة لها والتعافي منها. ▪ تطوير إطار رصد قوي لتقييم فعالية البرنامج التدريبي. ▪ التأكيد على أهمية المشاركة المجتمعية و الوعي.	▪ يركز البرنامج التدريبي على توفير شامل لفهم مخاطر الزلازل وتدابير السلامة. ▪ التعامل مع المجتمعات المحلية ضروري لنجاح التخفيف من مخاطر الزلازل. ▪ بدون تدريبات منتظمة خلال المعتاد في بعض الأحيان، يفشل الناس في الإخلاء بشكل صحيح وفي الوقت المناسب.	▪ تشير برامج التدريب العملي إلى المحاكاة و ورش عمل لتقليد عمليات الإخلاء الحقيقية أثناء الزلازل. ▪ برامج التدريب العملي تركز على تجهيز الأفراد والمجتمعات بالمعرفة والمهارات اللازمة لتنفيذ تدابير التخفيف الفعالة ▪ بتوفير التدريب العملي والتمارين العملية، تهدف برامج التدريب العملي إلى تعزيز الاستعداد، تعزيز قدرات الاستجابة وتعزيز السلامة والضمان وتدابير الإخلاء الفعالة.
11 الشراكة الإقليمية والدولية	▪ التعاون بين أصحاب المصلحة من أجل تعزيز الثنائية المشتركة وتبادل المعلومات بين الحكومات، المجتمعات والخبراء. ▪ نشر المعرفة والتدريب على بناء القدرات لمساعدة المهنيين في جميع أنحاء العالم لتعزيز الاستعداد لمواجهة الكوارث وقدرات الاستجابة.	▪ البرامج التعاونية والشبكات العلمية والثنائية تعزز تبادل المعرفة والموارد والقدرات. ▪ الوكالات الحكومية الوطنية، بما في ذلك إدارة الكوارث تلعب دورًا حيويًا في التشكيل والتنظيم التعاوني. ▪ تقود العديد من المنظمات الدولية الوطنية هذه الجهود في أبحاث الزلازل وسبل متعددة لخروج الشراكات.	▪ تتمثل الشراكات الدولية والإقليمية في إنشاء برامج التعاون الثنائي، فضلا عن توحيد المبادئ التوجيهية الزلزالية العالمية ▪ يتعاون أصحاب المصلحة الدوليون والإقليميون لتحسين قدرة البلاد على مواجهة المخاطر الزلزالية وزيادة كفاءة الاستعداد للكوارث.

تقسيم المناطق والتخطيط الحضري وتخطيط الأراضي في المناطق المعرضة للزلازل تعتبر من الأمور الحاسمة المسبقة لإجراء تطورات جديدة للتخفيف من الآثار الضارة

تخطيط الأراضي	التخطيط الحضري	التقسيم الدقيق للمناطق	تقسيم المناطق
▪ تقييم شامل للمخاطر الزلزالية لتحديد المناطق عالية الخطورة. ▪ التركيز على المجتمعات التي تنمو ولا تزال لديها أراض غير مطورة.	▪ تعيين مناطق مختلفة للأغراض السكنية والتجارية والصناعية والترفيهية. ▪ اندماج الاعتبارات الزلزالية في عملية التخطيط للتخفيف من المخاطر الزلزالية المرتبطة بها.	▪ تقسيم المنطقة إلى مناطق أصغر والذي يعتمد إلى حد كبير على الخواص الجيولوجية والجيوفيزيائية. ▪ تقييم نقاط الضعف في المناطق المعرضة للكوارث الطبيعية.	▪ تقسيم المناطق إلى مناطق مختلفة على أساس المستويات المتوقعة للاهتزاز الأرضي والمخاطر الزلزالية الأخرى. ▪ جمع المدخلات للتخطيط الأرضي والاستجابة لحالات الطوارئ الاستراتيجيات، الخ.

أفضل الممارسات

▪ دمج اعتبارات مخاطر الزلازل المتعلقة بتخطيط عمليات استخدامات الأراضي. ▪ دمج خط دفاع متعدد لتعزيز القدرة على مقاومة الزلازل. ▪ تحديد واعتبار المعايير الاجتماعية والثقافية والجغرافية والسياسية والاقتصادية.	▪ دمج المناطق في التخطيط الحضري. ▪ ضمان الانشاءات الجديدة والتجديدات في مبادئ التصميم المقاوم للزلازل واستدامتها. ▪ تطوير استجابة قوية لحالات الطوارئ خطط وإجراءات الإخلاء. ▪ تصنيف مناطق الخطر والتخطيط الحضري التطورات تبعا لذلك.	▪ إجراء توصيف مفصل للموقع لفهم المخاطر المحددة بالموقع. ▪ إجراء تحليلات شاملة لاستجابة الموقع لفهم تأثير ظروف الجيولوجية المحلية على اهتزاز الأرض.	▪ إجراء تقييم المخاطر الزلزالية لفهم احتمال الزلازل في المنطقة. ▪ الحصول على فهم شامل للوضع التكتوني. ▪ التواصل بشكل فعال في نتائج تقسيم المناطق وانعكاساتها على المالكون.

المراحل الأساسية لإدارة الكارثة الطبيعية

أولاً : مرحلة التلطيف والتحضير

وتتمثل مرحلة التلطيف في تشييد وبناء ما يمكن أن يحول دون الكارثة مثل بناء السدود أو الحواجز ووضع مواصفات ملزمة للبناء. بمعنى أنه لابد من معرفة المخاطر التي تهدد المنطقة وكذلك لابد من معرفة دقيقة للمنطقة المعنية من ناحية عدد السكان والقيم الفعلية للممتلكات والمعلومات التفصيلية عن الخدمات المهددة بالكارثة (أساليب النقل والاتصال والمواد الغذائية والخدمات الطبية).

فإذا أخذنا مثالاً على التدابير اللازمة لتخفيف الأضرار المتوقعة من الزلزال نجد أنها تشمل على النهوض بمستوى المعلومات عن الزلازل من خلال شبكات الرصد الزلزالي بالأجهزة الدقيقة وتدريب القوى العاملة بما يسمح بتقدير أكثر دقة لاحتمالات حدوث زلازل واستخدام تلك المعلومات في تحديد استعمالات الأراضي للأغراض المختلفة. ومراجعة نظم البناء واستخدامات المواد لأغراض التشييد الجديدة وتقوية المباني القائمة مع التوازن بين التكاليف الإضافية اللازمة لجعل المباني والمنشآت مقاومة للزلازل والأضرار التي قد تنشأ عن حدوث زلازل ذات قوة تدميرية محددة.

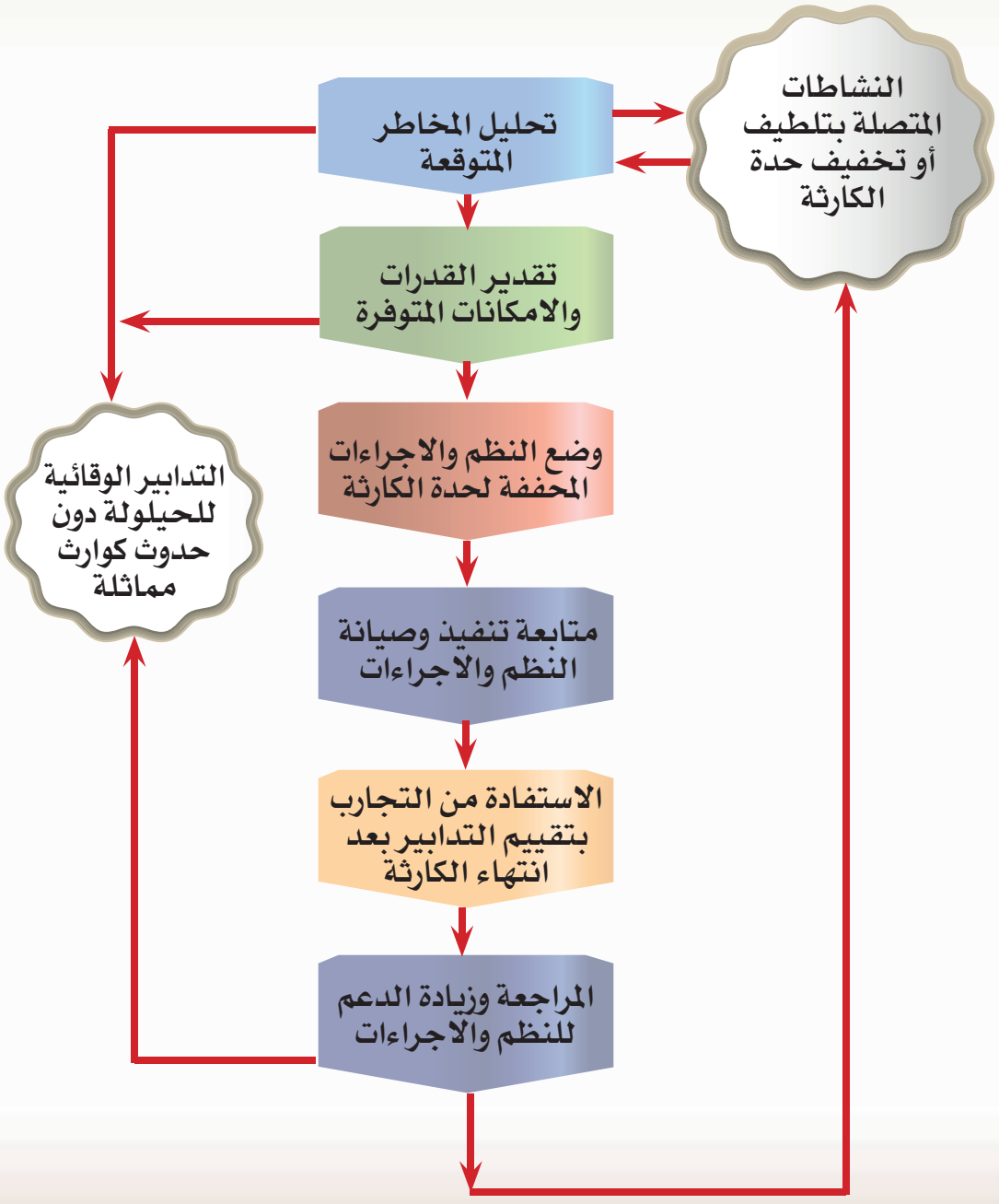
الخطة المتكاملة لمجابهة الكارثة لابد أن تتوافر فيها العناصر التالية

- استقراء الاحتمالات المتوقعة من المتغيرات على أن يشمل ذلك سيناريوهات بديلة لمواجهة كل الاحتمالات.
- تحديد الإمكانات المادية والفنية المتوفرة لدى الجهات المعنية.
- توفير المخزون الاحتياطي اللازم من المؤن الغذائية والخدمات الطبية.
- وضع نظام متكامل للاختصاصات والمستويات لكل جهة.
- تأمين شبكة من الاتصالات.
- تحديد الأساليب المنظمة لعمليات التنبيه، الإنذار، الإيواء، الإنقاذ.

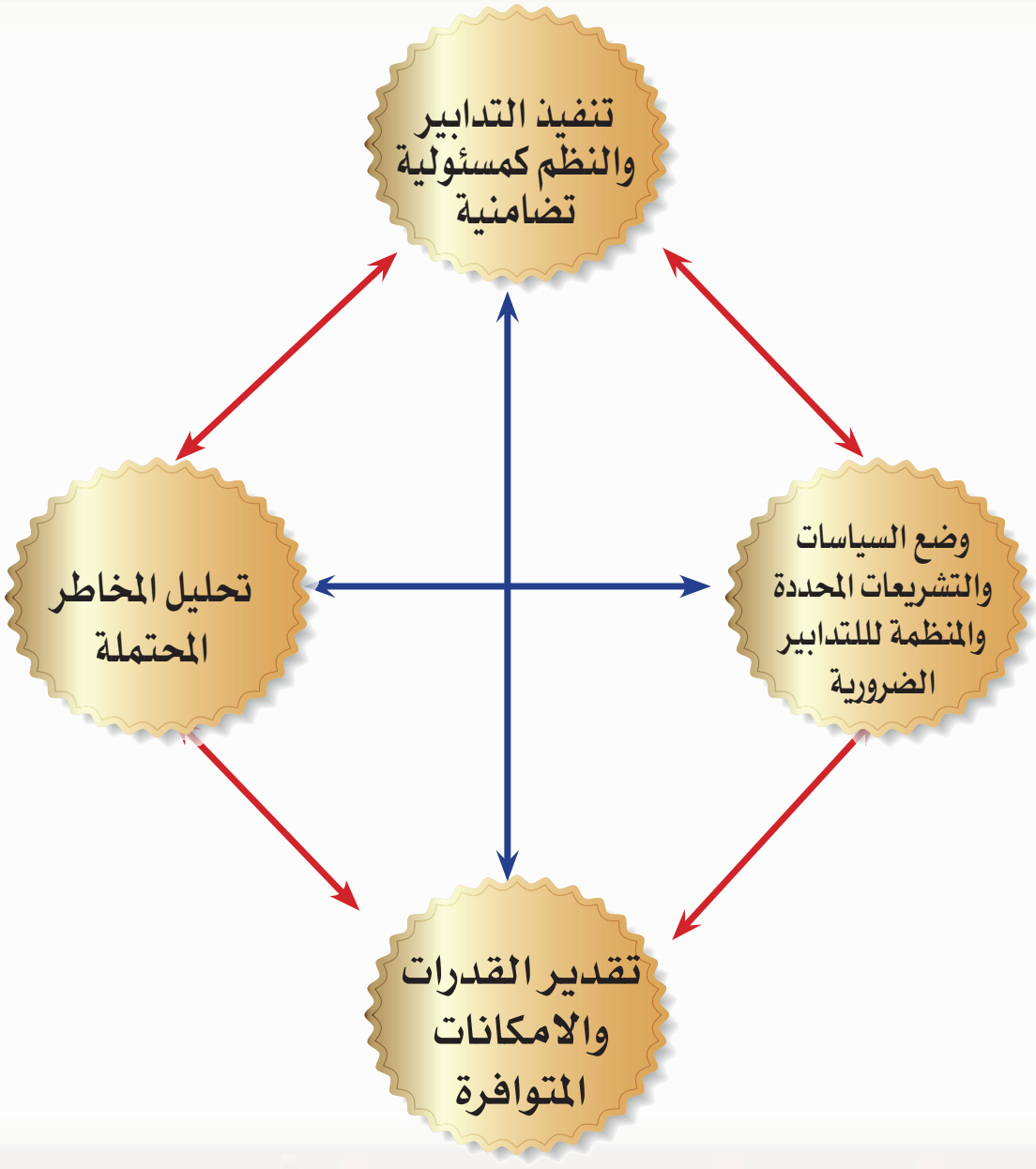
ويتم التركيز على إنشاء عدة وحدات خلال مرحلة التلطيف والتحضير وهي:

- إنشاء وحدة لإدارة الأزمات وإعطائها الصلاحيات الكفيلة بإنجاز مهامها وتنظيمها على نفس نظام المصفوفة. ويستحسن أن يتبعها فروع في مناطق مختلفة وأن يكون اختيار العاملين في هذه الإدارة على أسس سليمة وموضوعية مع التركيز على إنشاء غرفة العمليات ضمن هذه الوحدات وتجهيزها بأحدث الوسائل الفنية والتقنية ووسائل الاتصال المباشر.
- إنشاء فرق مهمات خاصة ومهمتها التدخل السريع عند حدوث كارثة وتكون هذه الفرق على درجة عالية من المهارة والتدريب مع ربط هذه الفرق بإدارة الأزمة إذا استدعت الضرورة لذلك. كذلك قد يتفرع من هذه الفرق فريق للتفاوض أثناء حدوث الأزمة لديهم القدرة على احتواء الأزمة دون خسائر كبيرة.
- التدريب وعقد دورات تخصيصية للعاملين في إدارة الكوارث مع التركيز على أهمية التطبيق العملي والدروس المستفادة من الكوارث السابقة والمماثلة في الدول الأخرى.
- التطوع ومشاركة القطاع الخاص للمساعدة في أعمال الإطفاء، الإنقاذ، الإسعافات الأولية، الإخلاء، الإيواء، الإغاثة، الإرشاد، الحراسة، إبطال مفعول المتفجرات.
- التعاون الإقليمي والدولي. لتبادل المعلومات من أجل إحباط المخططات الإرهابية ومحاولة الاستفادة من تجارب الدول الأخرى في مواجهة الكوارث. وعلى سبيل المثال تعتبر تجارب سويسرا، إنجلترا واليابان في الاستعداد للكوارث من أبرز التجارب العالمية.
- إعادة سيناريوهات الكارثة. وهو عبارة عن عرض تخيلي لما يمكن أن يحدث من تطورات لكارثة معينة واستخدام الأسلوب الفكري الذي ينتج إعطاء تصورات لردود الفعل المحتملة. هذه السيناريوهات تسهل عملية اتخاذ القرار أثناء المجابهة.

مكونات مرحلة تلطيف أو تخفيف حدة الكارثة



العلاقات التفاعلية بين المكونات الأساسية بمرحلة تلطيف وتخفيف حدة الكارثة



ثانياً : مرحلة المواجهة

تعتبر مرحلة المواجهة من أصعب المراحل والتي تمر بها إدارة الأزمة ويتوقف مدى النجاح في المواجهة على مستوى الاستعداد لدى الأجهزة المعنية وأن كفاءة وفعالية مواجهة الكارثة تعتمد بالدرجة الأولى على مرحلة الاستعداد والتحضير علاوة على عدة عوامل أخرى منها:

- المعلومات الدقيقة والمتكاملة عن الآثار التدميرية للكارثة. حيث أن اتخاذ القرار المناسب أهم من اتخاذ القرار السريع في هذه الحالة.
- القدرة على تحديد الأولويات في مجابهة المشكلات حسب أهميتها.
- تحديد التدابير الوقائية للمشكلات المماثلة وإعلام السكان بالإجراءات الواجب اتخاذها.
- كفاءة وفعالة غرف العمليات وإرسال التوجيهات بالدقة والسرعة الممكنة.
- أن يتحقق التفاعل الحى بين المؤسسات ذات العلاقة.
- العناية بالعناصر البيئية خارج إطار المؤسسات الرسمية والحد من أوجه التعارض والازدواجية

وهناك عدة اعتبارات ينبغي العناية بها لتأمين فعالية هذه المرحلة تتمثل في:

الاعتبار الأول: الإعلام والتوجيه وضرورة توظيف واستخدام أجهزة الإعلام حتى يكون الرأي العام على معرفة ودراية كاملة بما يحدث واختيار متحدث رسمي تفادياً للتصريحات المتناقضة.

الاعتبار الثاني: يتمثل في المجموعات التطوعية التي تحظى بدرجة عالية من المرونة بحكم أنه لا تقوم على نظم هيكلية محددة ولا تخضع لإجراءات تنظيمية.

الاعتبار الثالث: يهتم بالخدمات الطبية التي لابد أن تتصف بالكفاءة والفعالية عن طريق تخصيص مزيد من الطاقات البشرية

ثالثاً: مرحلة إعادة الأوضاع

إن مرحلة إعادة الأوضاع ينبغي أن تكون منظمة ومحددة ومحسوبة وتُعنى هذه المرحلة بوضع خطة قصيرة الأمد تساعد على تأمين الحد الأدنى من إعادة الحياة إلى وضعها الطبيعي. ووضع خطة بعيدة المدى حسب درجة الآثار التدميرية لإعادة التوازن إلى المنطقة قبل وقوع الكارثة. وتتميز هذه المرحلة عن المرحلتين السابقتين بأنها تخضع لتخطيط متأن وتستوجب جهود مؤسسات عديدة على مختلف المستويات الرأسية والأفقية. إن نهوض المنطقة التي تعرضت لأضرار الكارثة بفعاليات هذه المرحلة تعتمد على:

- الرغبة والحرص على إعادة التوازن.
- المعرفة بما ينبغي تحقيقه في مرحلة إعادة التوازن.
- القدرة على إنجاز فعاليات هذه المرحلة.

وعموماً فإن التصور المنهجي المتكامل لإدارة الكوارث في إطار المراحل السابقة يبرز حقائق جوهرية تتمثل في علاقات التواصل والتمازج بين هذه المراحل بالقدر الذي يجعل كفاءة وفعالية كل مرحلة تأثرت سلباً وإيجاباً بكفاءة وفعالية المرحلة التي تسبقها وتلك التي تليها. إن كفاءة وفعالية إدارة الكوارث لا تُبنيان فقط على توافر الإمكانات والطاقة وإنما بتحقيق درجة عالية من التفاعل والتنسيق بين الأجهزة الرسمية المعنية وبين الفعاليات البيئية التي تكون امتدادا للجهود الرسمية.

نظـام المصفوفـة لإدارة الكـوارث

إن المحور الرئيسي الذي ينبني عليه نظام المصفوفة التنظيمية هو الجمع بين النموذج الوظيفي التقليدي ونموذج التنظيم على أساس المنتج أو الخدمة في نسق تنظيمي واحد. ويعني ذلك أن نسق نظام المصفوفة يبنى على توافر السلطات التنفيذية التي ترأس من القمة إلى القاعدة أو السلطات الفنية التي تمارس أفقيا من مدير المشروع إلى كافة النشاطات الفنية اللازمة لتحقيق نتائج نهائية معينة في الإنتاج أو الخدمات كما هو موضح في الشكل المرفق.

ونظام المصفوفة التنظيمي له عدة مزايا أهمها:

أ. القدرة على التكيف تبعاً لتغير الظروف المختلفة للكارثة.

ب. القدرة على وضع الأنشطة التي تمثل دورة واحدة في إدارة تنظيمية واحدة لتحقيق سرعة الأداء ومنع الازدواجية.

ج. تأصيل المشاركة في صنع القرارات وتنفيذها لتحقيق تبادل المعلومات وتوفير الفرص لصنع القرارات جماعياً.

د. يمثل أداة فعالة لإنجاز المهام المعقدة التي تستوجب استقطاب وتجميع كفاءات إدارية ومهنية وفنية متعددة.

هـ. يؤمن الاستخدام الأمثل للموارد والإمكانات وما يتصل بها من تجهيزات ومعدات.

و. أقصر ومباشرة علاقات الاتصالات رأسياً وأفقياً لاتخاذ القرارات بالسرعة اللازمة.

ولكى يعمل نظام المصفوفة كما يجب لابد من الأخذ في الإعتبار ما يلي:

أ. يجب أن يكون هناك حد أدنى من الفهم للغة إدارة فريق العمل.

ب. أن يكون هناك حد أدنى من الوعى الاجتماعي والثقافي والاقتصادي.

ج. لابد من توافر نظام معلومات جيد وفي غاية الدقة.

أما العوائق والسلبيات التي تنجم عن تطبيق عمل المصفوفة فهى:

أ. عدم الوضوح في عملية تقويم الأداء نظراً لوجود أكثر من رئيس في المنظمة.

ب. الصراعات بين القوى البشرية أثناء العمل.

ج. الإفراط في استخدام الجماعات وهذه تأخذ وقتاً طويلاً مما يعطل مرونة اتخاذ القرار.

أهم المقومات والمكونات الضرورية لكفاءة وفعالية نظام المصفوفة هى:

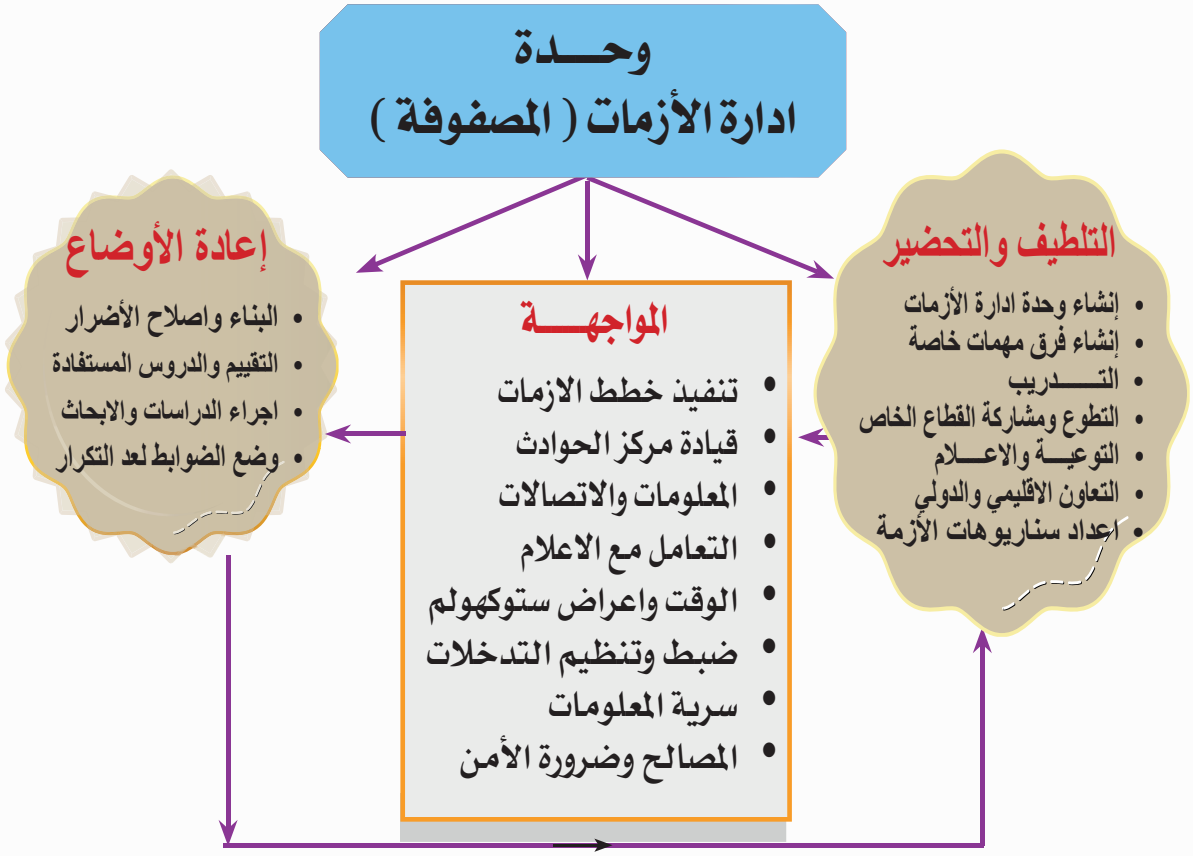
أولاً : القدرة على بناء وتنمية فرص العمل وتوفير شبكة مفتوحة من الاتصالات الرأسية والأفقية. وأن يشعر أعضاء الفريق بتوافر الفرص للمشاركة في تحديد الأهداف ورسم الأدوار وتحليل المشكلات واتخاذ القرارات وهذه بدورها تدعم عنصر الثقة.

ثانياً: أن يتجاوز نظام المصفوفة الاكتفاء على العلاقات الرسمية وحدها وأن يعمل على تنمية العلاقات المؤسسة مع كل فعاليات البيئة ذات العلاقة تحقيقاً لتكامل جهودها مع الجهود الرسمية في إطار منظومة موحدة عن الأهداف والنشاطات.

ثالثاً: تعتبر المعلومات في غاية الأهمية بالنسبة لنظام المصفوفة والتي تعتبر المكون الرئيسي لكل مراحل الاستدلال والاستنتاج والتحليل والتقويم والاختيار للبديل الأفضل لتخفيف حدة الكارثة ومجابهتها وإعادة التوازن.

البيئـة الخارجيـة

البيئـة الداخليـة



اتخـــاذ القـــرار

من المسلم به أن الإدارة هي اتخاذ قرار. وإذا كانت مسألة اتخاذ القرار من أصعب الأمور في الظروف العادية فكيف الوضع في أوقات الأزمات والكوارث. ويعتبر الوقت، التدخلات، الضغوط الداخلية والخارجية، عدم وضوح الرؤية، خطورة التبعات كلها أمور تجعل من اتخاذ القرار أمراً عسيراً في أوقات الكوارث والأزمات.

• مراحل اتخاذ القرار في الأزمات والكوارث

أولاً : تشخيص المشكلة

لابد من التعرف على العامل الإستراتيجي للمشكلة وهو العامل الذي لابد من تغييره أو تعديله قبل أي شيء آخر. كذلك لابد من التمييز بين اسباب المشكلة وأعراضها.

ثانياً : تحليل الأزمة

عن طريق جمع المعلومات الدقيقة ومن ثم تحليلها وفق أسس علمية وإحصائية سليمة والإدارة الناجحة تتطلب دراسة الأزمة على ضوء عناصرها الموضوعية والأسباب الحقيقية التي أدت إلى حدوثها.

ثالثاً : إيجاد وتقييم البدائل

تعتبر من أهم مراحل اتخاذ القرار إذ أنها تتعلق بإيجاد خيارات مقبولة لحل الأزمة. وإيجاد البدائل المناسبة لحل الأزمة يتم بشكل أفضل عند استخدام ما يسمى بالتفكير الابتكاري والذي يعنى تقديم أفكار أو حلول تنطوي على درجة عالية من عدم الشيوع في التوجيه وأعلى درجة من الملاءمة ويجب التركيز على ضرورة أن يكون البديل قابلاً للتنفيذ إذ أن هناك حلولاً جيدة وحاسمة ولكن يستحيل تطبيقها تبعاً للظروف ولطبيعة الأزمة.

رابعاً : اختيار البديل المناسب لحل الأزمة

اختيار البديل الذي يحقق الهدف بأقل تكلفة وبأدنى تضحية وأن يكون قابل للتطبيق وتزداد الأمور تعقيداً عند كثرة الحلول للمشكلة الواحدة حيث أن كل حل قد يؤدي إلى نتائج مختلفة. إن استخدام الأساليب الكمية وبحوث العمليات وبرامج الحاسب قد تؤدي إلى أفضل الحلول المناسبة. ولكى يتم اتخاذ القرار الصائب لأزمة ما فإنه من الضروري توافر ثلاثة عناصر هي:

- من يعلم بالمشكلة.
- من يهمه الأمر بالمشكلة.
- من يستطيع اتخاذ القرار لحل المشكلة.

حالة تاريخية

المخاطر الطبيعية في المملكة العربية السعودية

تتعرض المملكة العربية السعودية كغيرها من الدول الأخرى النامية والمتقدمة بحكم مساحتها الشاسعة وتنوعها الجيولوجي والبيئي لعدد من الكوارث الطبيعية (الأرضية والمائية والجوية والمناخية والحيوية). وتتفاوت هذه المخاطر في قوتها ومدتها وتكرارها وخطرها. ومن الأخطار التي تهدد المملكة :

- الزلازل والبراكين في المناطق الشمالية الغربية والجنوبية من المملكة.
- الجفاف والتصحر في مناطق جنوب شرق وشمل شرق المملكة.
- زحف الرمال على المناطق المجاورة لها من مراعي ومزارع وتجمعات سكانية وطرق عامة كما يحصل في واحة الأحساء وحواف الربع الخالي والدهناء والنفود ورمال الجافورة.
- السيول والفيضانات في مختلف مناطق المملكة، وخاصة في المناطق التي تمر بها أو تنتهي إليها الأودية.
- الانخسافات والتكهفات والانهيارات الأرضية في مختلف مناطق المملكة الناتجة عن عوامل طبيعية بحتة أو نتيجة للتفاعل بين العوامل الطبيعية والبشرية.
- الرياح والعواصف الترابية في مختلف مناطق المملكة.

- انـزلاق الصخـور والتربـة خاصـة في المناطـق الجبليـة. حيـث تشـكل الصخـور المنحـدرة في المرتفعـات الغربيـة والجنوبيـة الغربيـة خطـورة على المناطق السـكانية والزراعيـة القريبـة منهـا، وعلـى مسـتخدمي الطـرق في المناطـق المرتفعـة.
- موجات البرد والحر في مختلف مناطق المملكة.
- غزو الجراد للمناطق الزراعية والقضاء على المحاصيل.
- الأوبئـة والأمـراض خاصـة في منطقتـي مكـة والمدينـة حيـث يفـد إليهـا الآلاف مـن البشـر سـنوياً مـن مختلـف مناطـق العالـم لأداء فريضـة الحـج والعمـرة.

ومـن الصعوبـات التـي تواجـه المملكـة العربيـة السـعودية في مجابهـة الكـوارث الطبيعيـة عـدم توفـر معلومـات كافيـة عـن مـدى حجـم ومـدى خطـورة الحـوادث الطبيعيـة ، وتوزيعهـا الزمانـي والمكانـي. ويرجـع ذلـك إلـى عـدم توفـر سـجلات تاريخيـة قديمـة. ويزيـد مـن خطـورة الأحـداث الطبيعيـة كثافـة النشـاط البشـري والزراعـي والعمرانـي، دون الأخـذ في الاعتبـار مـا يترتـب علـى ذلـك مـن مخاطـر. فعلـى سـبيل المثـال كانـت تقـام المبانـي والمنشـآت والمصانـع في مناطق مهـددة بالهزات الأرضيـة دون أخـذ اعتبـارات المعامـل الزلزالـي. وكذلـك كانـت تقـام المبانـي والمـزارع في مجـاري الأوديـة دون الأخـذ في الاعتبـار قـوة ومقـدار السـيول التـي تجـري في الـوادي ومـدة جريانهـا وتكرارهـا. نسـتعرض باختصـار السـجل التاريخـي لبعـض الكـوارث الطبيعيـة في المملكـة ومسـبباتها وأماكـن تواجدهـا.

• الـــزلازل

لقد كان الاعتقاد السائد بأن شبه الجزيرة العربية خالية من أي نشاط زلزالي على مر العصور، ولكن الواقع هو العكس، حيث دلت الدراسات التاريخية والحديثة أن المنطقة سبق وان تعرضت لبعض الهزات الأرضية والبراكين. عموماً يتركز النشاط الزلزالي في شبه الجزيرة العربية على امتداد حدود الصفيحة العربية في منطقة خليج العقبة ومنطقة جنوب غرب المملكة وجنوب البحر الأحمر واليمن، أما وسط البحر الأحمر وشماله فهما أقل نشاطاً، ويبدو وسط شبه الجزيرة وشرقها والدرع العربي أقل المناطق نشاطاً .

لقد دلت الدراسات والسجلات التاريخية على أن منطقة خليج العقبة وشمالها سبق أن تعرضت لعدد من الهزات الأرضية العنيفة وبعض النشاطات البركانية، وبالرجوع إلى السجلات التاريخية أمكن تدوين أكثر من 31 زلزالاً في المنطقة تراوح قدرها ما بين 4-6.5 خلال الفترة ما بين 747-1964م، أي بمعدل زلزال قوي كل 25 سنة تقريباً، 70 % من تلك النشاطات تركزت في منطقة البحر الميت و 30 % في منطقة خليج العقبة . تعرضت المنطقة في الأعوام 641،1068،1212،1293،1588م إلى هزات عنيفة نتج عنها أضرار جسيمة. فزلزال 1068 دمر مدينة أريحا تماماً ونشأت ينابيع مياه في تبوك وهي المعروفة بـ الكور، وسبب أضرار بسيطة في تيما وخيبر والمدينة المنورة. أما زلزال المدينة المنورة عام 1256م الذي يعتقد أنه من أصل بركاني، فقد غطت حممه المدينة المنورة لمساحات شاسعة أمكن رؤيتها من مكة المكرمة وينبع وتيماء، ولقد غطت الحمم البركانية منطقة طولها 19كم وعرضها 6كم وعمق يصل إلى 2.5م واستمرت تلك التتابعات لمدة ثلاث أشهر . وفي عام 1927م حصل زلزال مدمر في وادي الأردن بلغ قدره 6.2 درجة ، وحصلت أضرار مادية وبشرية

وقد أمكن حديثاً خلال الفترة 1983–2023م رصد المئات من الزلازل بقدر يتراوح ما بين 4–6 في خليج العقبة فقط ، ومن أهمها تلك التي حدثت في يناير 1983م واستمرت لمدة أربعة أشهر، وبلغ قدر أعلاها 5.2 درجة، وفي ديسمبر 1985م سجلت عاصفة زلزالية في وسط الخليج بلغ قدر أكبرها 4.9، أما في أبريل 1990 ومايو 1991م ، فقد تم تسجيل أعلى زلزال بلغ 4.3 درجات إلى الجنوب تقريباً من موقع العاصفة الزلزالية التي حدثت في عام 1983م .وفي أغسطس 1993م تكرر نفس الشيء وحدث زلزال بلغ قدره 5.9 وتبعها أكثر من 400 من التوابع الزلزالية.

في 1416/6/29هـ بدأ نشاط زلزالي قوي بلغ قدره 7.2 درجة وقد حدد موقعه عند خط عرض 28.8 شمالاً وخط طول 34.6 شرقاً، وقد امتد الإحساس بهذا الزلزال ليشمل منطقة خليج العقبة وتبوك والوجه وضباء وحتى المدينة المنورة، بالإضافة إلى الأردن وسوريا وفلسطين ومصر، وقد أمكن تسجيل ما ينوف على 5000 هزة لاحقة منها أكثر من 75 هزة محسوسة تتراوح في قدرها ما بين 3.8 – 5.3 استمرت لمدة ثلاثة أشهر .

دلت السجلات الزلزالية التاريخية والحديثة أن منطقة جنوب البحر الأحمر واليمن تعرضت إلى زلازل مدمرة نتج عنها أضرار جسيمة في الأعوام 5،742،8 1955،1924،1909،1788،1764،1667،1647،1655،1259،1154،1105،1072،27م.

وأما زلزال 1941م ومقداره 5.8 في شمال اليمن والجزء الجنوبي من المملكة، فقد نجم عنه خسائر مادية وبشرية كبيره.

وحديثاً سجل زلزال ذمار في ديسمبر 1982م ومقداره 6 درجات أدى الى وفاة 3000 شخص وتدمير 1500 قرية، وتشريد أكثر من 265 ألف شخص .وأخيراً زلزال العدين في اليمن 1993م ومقداره 4.7 نتج عنه أضرار مادية وبشرية.

وعموما دلت دراسات مستوى الخطر الزلزالي ومعايير الكود السعودي أن المملكة ولله الحمد تعد من المناطق المنخفضة الى متوسطة الخطر الزلزالي ويزداد في الأماكن الواقعة على خليج العقبة وجنوب البحر الأحمر وذلك بسبب نشاطهما الزلزالي المتكرر ويجب الاستعداد لذلك.

• البراكـــين

لا يوجد في المملكة أي نشاط بركاني في الوقت الحاضر - ولله الحمد - وليس هناك أي دلائل تشير إلى قرب حدوث أي ثوران بركاني -والله أعلم- في المستقبل القريب رغم حدوث بعض الهزات الأرضية الخفيفة في الجزء الشمالي الغربي والجنوب الغربي من المملكة . أما النشاط البركاني السابق فآثاره واضحة وكثيرة وهو ينحصر في صورتين:

- النشاط البركاني القديم الذي جرت أحداثه منذ بداية تكوين الأرض خلال عصر ما قبل الكمبري وما بعده الذي نتج عنه تكوين الصخور البركانية والمتحولة من أصل بركاني التي تنتشر على الدرع العربي.
- النشاط البركاني الذي جرت أحداثه خلال العصر الثلاثي والرباعي والذي يتمثل في الحقول مرتبطة إلى حد كبير بتكوين منخفض البحر الأحمر وانفتاحه منذ بداية عصر الإيوسين .

ومن الجدير بالذكر أن معظم هذه الحقول عبارة عن فيوض من البازلت الأوليفيني القلوي والانديزايت تتخللها بعض الفوهات البركانية ومخاريط الرماد والتوفه البركانية ويتراوح عمرها بين الايوسين والهولوسين وقد استمر هذه النشاط البركاني حتى الماضي القريب ومن هذه الحقول مايلي:

- حرة الحرة وحرة العويرض في الشمال.
- حرة خيبر والإثنين والمدينة ورهاط وهتيمة والشارقة في أواسط الشمال الغربي.
- حرة كشب والطائف وحدان والنواصف على خط عرض مدينة الطائف.
- حرة البرك في الجنوب الغربي.

وكما ذكرنا من أهم الأحداث البركانية في شبة الجزيرة العربية الذي حصل في حرة رهاط بالمدينة المنورة عام 654هـ الموافق 1256م واستمر 53 يوما.

• الإنخسافات

توجد ظاهرة الإنخسافات في عدة أماكن من المملكة. ومن أشهر تلك الأماكن دحل هيت الذي يقع على بعد 45 كم جنوب شرق الرياض. ويتمثل الهبوط المذكور في فتحة عريضة في جبال هيت يصل عمقها إلى حوالي 100 متر من السهل المجاور. ويقع المنخفض على هيئة كهف يحوي مياه على بعد 250 متر.

كذلك توجد في منطقة تبوك حالات من الإنخسافات الأرضية بسبب تعاقب فترات التشبع والجفاف حيث ينتج عنه انتفاخ الأرض بسبب ازدياد المياه ثم تشققها بعد الجفاف وذلك في السنوات الأخيرة.

من جانب آخر أدى استغلال المياه بمنطقة جازان إلى تسرب جزء كبير منها إلى الطبقات الأرضية وذوبان الطبقة الملحية الموجودة فيها، مما تسبب في تعرض المنطقة إلى حالات مختلفة من الإنخسافات الأرضية تفاوتت حدتها حسب كمية المياه المتسربة وسرعة الإذابة التي تسببها في الصخور الأرضية.

كذلك حدث في منطقة الخرج وبنبان ووادي الدواسر حالات كثيرة من حالات التكهف والإنخساف التي أصبحت مجمعاً مناسباً للمياه الجوفية. وفي بعض الحالات أدى تسارع استعمال هذه المياه إلى حدوث إنخسافات سطحية. ومن أمثلة ذلك توجد في منطقة السليل بوادي الدواسر طبقات جيرية فتاتية كانت في حالة توازن مع المياه الجوفية، غير أن هبوط مستوى المياه الجوفية فيها خلال السنوات الأخيرة أدى إلى اختلال التوازن وتسارع تحلل الصخور الجيرية مما أدى إلى حدوث انخساف أرضي.

• الأعاصير

في الساعة الثالثة وخمسة وأربعين دقيقة من اليوم الحادي عشر من شهر محرم 1403هـ - 28 أكتوبر 1982م، شهدت مدينة الخفجي بالمنطقة الشرقية أول حادث تعيشه مدينة الخفجي للعام الهجري 1403هـ، وقد تميز هذا الحادث بنوع غير مألوف من الحوادث المعتادة للخفجي ، فقد هبت عاصفة رملية عنيفة من الجهة الشرقية، تلاها مطر غزير مصحوب بقطع من البَرد، واستمرت العاصفة من 8-10 دقائق. ونجم عن هذا الإعصار خسائر مادية وبشرية.

• الفيضانات

على الرغم من عدم وجود سجلات مناخية لمدة طويلة لمعظم مدن المملكة، إلا أن الوثائق التاريخية قد اشارت إلى حدوث بعض الحالات التي طغى فيها الماء على بعض المناطق الحضرية في وسط المملكة منها:

- في عام 1211هـ أنزل الله سبحانه وتعالى أمطاراً غزيرة أدت إلى سيل عظيم أغرق بلدة الدلم في منطقة الخرج ومحاها ولم يبق من بيوتها إلا القليل.

- في عام 1211هـ سال وادي حنيفة وأدى إلى تهدم بعض بيوت الدرعية وفي العيينة، واستمر الماء يجري في الوادي لمدة عام.

- سنة الهدام (تسمى أيضا طوفان نجد الكبير الغرقة)، هو فيضان حدث سنة 1376هـ (1956م) في بعض مناطق الجزيرة العربية بمعدلات متفاوتة، نتيجة استمرار هطول الأمطار على مدى 58 يوماً، مما تسبب في انهيار أكثر البيوت والمساجد والمتاجر التي كان أغلبها مبني من الطين. تركز الضرر الأكثر على القصيم وسدير. تجاوز السيل أعتاب المباني وحاصرت السيول السكان وهرب الناس من بيوتهم في المدن والقرى إلى الاماكن المرتفعة.

- في عام 1381هـ هطلت أمطار غزيرة في جنوب المملكة لم تشهدها البلاد منذ فترة طويلة وتجمعت مياه الأمطار وسالت في الأودية من كافة الإتجاهات حتى غمرت الجسور وبلغ إرتفاعها 15 متراً في بعض المناطق الضيقة. وأدى إنجراف الأحجار الضخمة بقوة مع الماء إلى تدمير قواعد الجسور وتعريتها من الأسمنت.

- في عامى 1395هـ، 1396هـ سال وادي حنيفة وروافده وغطى أجزاء من المنطقة الحضرية لمدينة الرياض وجرف بعض المنشآت المقامة عليها.

- في عام 1404هـ تعرضت بلدة الدلم لفيضان أدى إلى غرق بعض المزارع الحديثة فيها، ويُعزى تعرض هذه البلدة إلى الفيضانات بشكل متكرر إلى وقوعها في منطقة تجمع عدة أودية تنحدر من جبل طويق.

الإجراءات الوقائية للحد من الكوارث في المملكة

- **تشكيل** فريق علمي مختص لدراسة كل خطر على حدة دراسة تفصيلية وتعميم نتائجها على الجهات المختصة ذات العلاقة.
- **الحد** من التكدس السكاني والعمراني وإقامة المشاريع والإنشاءات الضخمة في المناطق المعرضة للزلازل والبراكين.
- **عدم** إقامة سدود أو مباني ضخمة في المناطق المعرضة للزلازل والهزات الأرضية.
- **تقديم** كافة الإمكانات اللازمة لمساندة الأجهزة الأخرى في فتح وشق الطرق اللازمة في المناطق المنكوبة والمتضررة وفي مناطق الإيواء لتسهيل عمليات الإخلاء والإيواء وإنقاذ المصابين وعمليات الإغاثة.
- **وضع** مواصفات للمباني والمنشآت مقاومة للزلازل في المناطق المعرضة للزلازل والهزات الأرضية وتعميمها على البلديات والمكاتب الهندسية وجعلها في متناول للمواطنين.
- **منع** التوطن السكاني والانتشار العمراني في مجاري الأودية والأماكن التي تصل إليها مياه الأودية عندما تمتلئ بمياه الأمطار والسيول.
- **إقامة** سدود على الأودية التي تشكل خطراً على الأرواح والممتلكات العامة والخاصة.
- **معالجة** التربة التي تفقد خصائصها الطبيعية نتيجة لارتفاع أو انخفاض رطوبتها والحد من إقامة المباني والمنشآت عليها.
- **التأكد** من سلامة القادمين للمملكة من مواطنين ووافدين من حجاج ومعتمرين وزائرين، وخلوهم من الأمراض الخطيرة والمعدية.
- **التأكد** من خلو الحيوانات واللحوم المستوردة من الأمراض والجراثيم المسببة للأمراض.
- **التأكد** من خلو المعدات والآليات المستوردة المستخدمة في المناطق الزراعية وحظائر الحيوانات من الجراثيم والميكروبات النقالة للأمراض.
- **تطعيم** المواطنين والمقيمين ضد الأمراض المتوقعة.

أشهر الكوارث الطبيعية والبيئية في العالم

أولاً: الكـوارث الطبيعيـة

- **زلـزال أنطاكيـة 526م:** ضـرب هـذا الزلـزال منطقـة سـوريا، وأنطاكيـة عـام 526، في أواخـر مايـو. أسـفر هـذا الإعصـار عـن مقتـل مـا يقـرب مـن 250 ألـف شـخص، وقـد أعقـب هـذا الزلـزال حريـق كبيـر أدى إلـى تدميـر معظـم المبانـي. وقـد كانـت قـوة الزلـزال حوالـي 7 درجـات.

- **زلـزال مصـر وسـوريا عـام 1201م:** تعرضـت منطقـة بـلاد الشـام عـام 1202م لكارثـة ليـس لهـا مثيـل، عندمـا ضـرب زلـزال مُدمـر شـرق المتوسـط و قـد شـمل تأثيـر الزلـزال كافـة مناطـق بـلاد الشـام و مصـر، ووصـل الشـعور بـه حتـى ارمينيـا و تركيـا و جزيـرة صقليـة في البحـر المتوسـط. ودمـر الزلـزال مناطـق كبيـرة مـن البلديـن وراح ضحيتـه أكثـر مـن مليـون و100 ألـف شـخص في مُختلـف أنحـاء بـلاد الشـام.

- **زلـزال شانشـي 1556م:** يعتبـر أكبـر الـزلازل علـى مـرّ التاريـخ مـن حيـث عـدد الضحايـا، فقـد تجـاوز عـدد ضحاياه 830 ألـف قتيـل. وقـع الزلـزال في مقاطعـة شانشـي الصينيـة في 23 ينايـر 1556، وامتـدّ تأثيـره لأكثـر مـن 97 مقاطعـة مجـاورة. نتـج عـن هـذا الزلـزال العديـد مـن الشـقوق الأرضيـة العميقـة، وانهيـارات أرضيـة سـاهمت في ازديـاد أعـداد القتلـى.

- **إعصـار الهنـد 1839م:** في 25 نوفمبـر 1839م، ضـرب إعصـار هائـل قريـة ميناء كورينجـا، بولايـة انـدرا براديش الهنـد. بلـغ ارتفـاع الإعصـار 40 قدمـاً، وأدى إلـى تدميـر الكثيـر مـن القـرى، وأغـرق حوالـي 20 ألـف شـخص، وقتـل مـا يقـرب مـن 300 ألـف شـخص.

- **فيضـان النهـر الأصفـر 1887م:** في 28 سـبتمبر 1887م، قتـل حوالـي 900 ألـف شـخص، نتيجـة فيضـان النهـر الأصفـر، فـكان هـذا الفيضـان واحداً مـن أعظـم الكوارث الطبيعيـة في التاريخ. تمكنـت الأمطار الغزيرة مـن التغلـب علـى السـدود، ممـا أدى إلـى فيضانـات واسـعة النطـاق. بعـد تحطيـم السـدود، انتشـرت الميـاه بسـرعة كبيـرة في السـهول المنخفضـة وغطـت حوالـي 130 ألـف كيلومتـر مربـع.

- **عاصفـة غالفسـتون الكبـرى 1900م:** حدثـت عاصفـة غالفسـتون الكبـرى في 8 سـبتمبر عـام 1900م، عندمـا ضـرب إعصـار تقـدر قوتـه بالفئـة الرابعـة غالفسـتون، بتكسـاس. لا يـزال هـذا الإعصـار هـو الكارثـة الطبيعيـة الأكثـر دمويـة في تاريـخ الولايـات المتحـدة، وكذلـك أسـوأ إعصـار في تاريـخ امريكا .قُتـل أكثـر مـن 8 آلاف شـخص، وتشـرد 10 آلاف آخـرون. دمـر الإعصـار مدينـة غالفسـتون.

- **زلـزال هايـوان في 1920م:** في 16 كانـون الأول 1920م، ضـرب زلـزال قـوي مقاطعـة هايـوان بوسـط الصـين. ووفقـاً لدراسـة أجريـت عـام 2010 فقـد تـوفي 273.400 شـخص في الزلـزال، ودُفـن معظمهـم في الانهيـارات الأرضيـة الناجمـة عـن اهتـزاز الأرض. قـوة الزلـزال بلغـت 7.8 درجـة وشـعر بهـا النـاس علـى طـول الطريـق مـن البحـر الأصفـر إلـى مقاطعـة تشـينغهاي علـى هضبـة التبـت. الزلـزال دمـر 4 مـدن ودفـن العديـد مـن البلـدات والقـرى.

- **زلـزال كانتـو الكبيـر، اليابـان. 1 سـبتمبر 1923م:** ضـرب زلـزال بقـوة 7.9 درجـة منطقـة العاصمـة طوكيـو-يوكوهامـا حوالـي ظهـر يـوم

1 سبتمبر 1923م. ويقدر عدد القتلى من الزلزال بأكثر من 140 ألف شخص. وكانت معظم هذه الوفيات ناجمة عن حرائق واسعة النطاق لاحقة. وقد اهتزت أو أحرقت مئات الآلاف من المنازل، وولدت الصدمة تسونامي وصل ارتفاعه إلى 12 متراً في مدينة أتامي، على خليج ساغامي.

- **فيضان نهر اليانغتسى 1931م:** الفيضان الكبير الذي حدث عام 1931 في الصين يعدّ الأقوى. وغطت السيول عشرات الآلاف من الأميال المربعة، وأغرقت حقول الأرز ومدنا مختلفة، بما في ذلك نانجينغ ووهان. وأثرت الفيضانات على أكثر من 50 مليون شخص. وقدر عدد القتلى بنحو 3.7 مليون شخص.

- **إعصار بولا 1970م:** ضرب إعصار بولا الاستوائي باكستان الشرقية (بنغلاديش حالياً)، وولاية البنغال في الهند في 12 نوفمبر 1970. فقد حوالي 500 ألف شخصاً حياتهم نتيجة هذا الإعصار، تشكَّل الإعصار في وسط خليج البنغال، وانتقل إلى الشمال، ووصلت سرعة الرياح 185 كيلومتراً في الساعة، ومع اشتداد العاصفة تدمرت العديد من الجزر في البحر، وضاعت القرى، والمحاصيل الزراعية في جميع أنحاء المنطقة.

- **إعصار نينا 1975م:** ضرب إعصار نينا مقاطعة هينان الغربية في الصين في أغسطس 1975م. وتسبب الإعصار في انهيار كارثي للسد، وتسببت الفيضانات التي تلت ذلك في سقوط أكثر من 150 ألف ضحية. تم بناء سد بانكياو في أوائل الخمسينات من القرن الماضي

في محاولة للسيطرة على نهر هوانغ هي (النهر الأصفر)، لكن إعصار نينا أنتج فيضانات بلغت ضعف شدة مستويات الفيضانات التي تمكن السد من تحملها. توفي ما لا يقل عن 26 ألف شخص في الفيضانات. توفي ما يقدر بنحو 145 ألف شخص بسبب الأوبئة الناجمة عن تلوث المياه والمجاعة. تجاوز عدد المتضررين من الكارثة 10 ملايين شخص.

- **زلـزال تانغشـان 1976م:** في 28 يوليو ، وقع مركز زلزال تانغشان بالقرب من مدينة تانغشان، بمقاطعة خبي، بالصين. دمّر مدينة تانغشان بأكملها. بلغ عدد الوفيات طبقاً لما ذكرته الحكومة الصينية 655 ألف حالة، دام الزلزال مدة 14 ثانية، ووصلت قوته في بعض الأماكن 8.2 درجة على مقياس ريختر، تبعه بعد حوالي 16 ساعة زلزال آخر بقوة 7.1 درجة.

- **زلـزال إيـران 2003م:** وقع الزلزال في 26 ديسمبر 2003م في بام ووصل عدد القتلى إلى حوالي 50 ألف شخص وقد زاد اثار الدمار من خلال المباني المبنية من الطوب الطيني لأنها وسيلة سيئة للبناء . يعتبر هذا الزلزال واحدا من أسوأ الكوارث الطبيعية في تاريخ إيران.

- **زلـزال، وموجـة تسـونامي بالمحيـط الهنـدي 2004م:** يوم 26 ديسمبر، ضرب زلزال مدمر مركزه قبالة الساحل الغربي لسومطرة، أندونيسيا. كانت قوة الزلزال 9.3 درجة، مما أدى إلى حدوث موجة تسونامي على طول معظم السواحل المطلة على المحيط الهندي، ونتج عنها مقتل 230 ألف شخص في 14 دولة، ووصل ارتفاع الموجات 30 متراً. كانت أندونيسيا أكثر الدول تضرراً يليها سريلانكا، والهند، وتايلاند.

❖ **زلـزال كشـــمير، باكســتان، الهنـد، أفغانسـتان. 8 أكتوبـر 2005م:** فـــي 8 أكتوبـر 2005م، ضـرب زلـزال منطقـة كشـمير، والإقليـم الحـدودي الشـمالي الغربـي مـن باكسـتان، والأجـزاء المتاخمـة مـن الهنـد وأفغانسـتان. بلغـت قـوة الزلـزال 7.6 درجـة، وتعرقلـت جهـود الإغاثـة للناجـين بسـبب الهـزات الارتداديـة الكثيـرة والانهيـارات الأرضيـة التـي تلـت ذلـك وتسـاقط الصخـور. وتفاقمـت شـدة الأضـرار وارتفـع عـدد الوفيـات بسـبب سـوء البنـاء في المناطـق المتضـررة. وفي كشـمير، قُتـل مـا لا يقـل عـن 79 ألـف شـخص، وانهـار أكثـر مـن 32 ألـف مبنـى.

❖ **إعصـار نرجـس، ميانمـار. 2-3 مايـو 2008م:** إعصـار نرجس: ضرب إعصـار نرجـس ميانمـار بشـدة في 2 مايـو 2008م، تسـبب الإعصـار في وفـاة حوالـي 140 ألـف شـخص وجـرف مناطـق مكتظـة بالسـكان حـول دلتـا نهـر إيـراوادي في ميانمـار، قـدرت الأضـرار بحوالـي 10 مليـارات دولار وهـي ثانـي أكثـر الخسـائر دمويـة في التاريـخ المسـجل بعـد إعصـار نينـا في عـام 1975م.

❖ **زلـزال هايتـي 2010م:** في 12 ينايـر عـام 2010م، ضـرب زلـزال هايتـي وسـجل الزلـزال قـوة 7 درجـات علـى مقيـاس ريختـر، وأعقبتـه هـزات ارتداديـة بلغـت قوتهـا 5.9 و5.5 درجـة. ضربـت هـزة ارتداديـة أخـرى بقـوة 5.9 درجـة في 20 ينايـر. التقديـرات تشـير إلـى أن حوالـي 200 ألـف 300 ألـف شـخص لقـوا حتفهـم. كمـا نـزح مئـات الآلاف.

- **زلـزال توهوكـو وتسـونامي 2011م:** كان هـذا الزلـزال الـذي ضـرب اليابـان في عـام 2011م وبلغـت قوتـه 9.0 درجـات وهـذا يجعلهـا واحـدة مـن أقـوى الـزلازل التـي تضـرب البـلاد علـى الإطـلاق، في الواقـع إنـه أقوى مـا تم تسـجيله في تاريخهـم حيث خلف هـذا الزلـزال مئات الاف مـن القتلـى والجرحـى والمفقوديـن كمـا دمـر مجموعـة كبيـرة مـن المبانـي بـل وتسـبب في كارثـة كان مـن الممكـن أن تـؤدي إلـى كارثـة نوويـة.

- **زلـزال سـوريا وتركيـا 2023م:** الزلـزال المدمـر الـذي بلغـت قوتـه 7.8 درجـة بالقـرب مـن الحـدود التركيـة السـورية وقـع في السـاعات الأولـى مـن يـوم الاثنـين 6 فبرايـر 2023م، وتبعـه زلـزال آخـر بنفـس القـوة تقريبًـا، تسـببت الـزلازل التـي ضربـت تركيـا وسـوريا في واحـدة مـن أكبـر الكـوارث التـي ضربـت المنطقـة في الآونـة الأخيـرة أدى الى مقتـل أكثـر مـن 55000 شـخص في تركيـا وسـوريا، وإصابـة 10000 آخريـن و انهـارت آلاف المبانـي، ممـا تـرك عـددًا لا يحصـى مـن الأشـخاص عرضـة لظـروف الشـتاء القاسـية و قـد تم تدميـر المـدارس والمستشـفيات.

ثانياً : الكـــوارث البيئيـــة

- **كارثة سيفيزو**، 1976م إطلاق الديوكسين.
- **قناة لوف**، 1978م حي في شلالات نياجرا، نيويورك، كان ملوثًا بـ 21000 طن من المواد الكيميائية السامة، بما في ذلك ما لا يقل عن اثنتي عشرة مادة مسرطنة معروفة (المواد العضوية المهلجنة، الكلوروبنزين، والديوكسين)، من موقع سابق لتفريغ النفايات الكيميائية. أعلن الرئيس كارتر حالة الطوارئ في عام 1978م، وأدى ذلك في النهاية إلى تدمير المنازل وإعادة توطين أكثر من 800 أسرة. أدت آثار الكارثة إلى إصدار قانون الاستجابة البيئية الشاملة والتعويضات والمسؤولية لعام 1980م، والمعروف باسم سوبرفوند Superfund. تُنسب أيضًا كارثة قناة لوف إلى بداية حركة النشاط البيئي في الولايات المتحدة.
- **تسرب النفط في أموكو كاديز**، 1978م انقسمت السفينة إلى قسمين، مما أدى إلى إطلاق حمولتها الكاملة البالغة 1.6 مليون برميل (250.000 متر مكعب) من النفط.
- **كارثة أوك تيدي البيئية**، 1984م اعتبارًا من عام 2006م، قام مشغلو المناجم بتفريغ نحو بليوني طن من المخلفات والتآكل الناتج عن المناجم في نظام نهر أوك تيدي. تضرر نحو 1588 كيلومترًا مربعًا (613 ميلًا مربعًا) من الغابات أو أصبح تحت الضغط.
- **كارثة بوبال**، 1984م إطلاق غاز إيزوسيانات الميثيل ومواد كيميائية أخرى. ويقدر البعض أن 8000 شخص لقوا حتفهم في غضون أسبوعين. ذكرت إفادة خطية حكومية في عام 2006م أن التسرب تسبب في 558,125 إصابة، بما في ذلك 38,478 إصابة جزئية مؤقتة ونحو 3,900 إصابة خطيرة ودائمة.

- **كارثة تشيرنوبيل**، 1986م كان الإحصاء السوفييتي الرسمي الذي بلغ 31 حالة وفاة محل خلاف. يضع تقرير UNSCEAR إجمالي الوفيات المؤكدة بسبب الإشعاع عند 64 اعتبارًا من عام 2008م. وقد يصل عدد القتلى في نهاية المطاف إلى 4000. توفي نحو 50 من عمال الطوارئ بسبب متلازمة الإشعاع الحادة، وتوفي تسعة أطفال بسبب سرطان الغدة الدرقية، وتوفي ما يقدر بنحو 3940 بسبب السرطان الناجم عن الإشعاع وسرطان الدم.
- **كارثة هانفورد النووية**، 1986م رفعت الحكومة الأمريكية السرية عن 19000 صفحة من الوثائق التي تشير إلى أنه بين عامي 1946م و1986م، أطلق موقع هانفورد بالقرب من ريتشلاند، واشنطن، آلاف الجالونات الأمريكية من السوائل المشعة. جرى إطلاق النفايات المشعة في الهواء وتدفقت إلى نهر كولومبيا (الذي يتدفق إلى المحيط).
- **تسرب النفط من شركة إكسون فالديز**، 1989م انسكب 750–260 ألف برميل (41000–119000 متر مكعب) من النفط الخام.
- **تسرب نفط برستيج**، 2002م تسرب أكثر من 20 مليون جالون أمريكي (76000 متر مكعب) من درجتين مختلفتين من زيت الوقود الثقيل.
- **تسرب النفط في خليج برودهو**، 2006م تسرب ما يصل إلى 267000 جالون أمريكي (1010 م3؛ 6400 برميل).
- **انسكاب رماد الفحم المتطاير في مصنع كينغستون الأحفوري**، 2008 م انسكب 1.1 بليون جالون أمريكي (4,200,000 متر مكعب) من الطين من مصنع للفحم، وغطى 300 فدان، وتدفق عبر عدة أنهار، مما أدى إلى تدمير المنازل وتلويث المياه. كان الحجم المنسكب أكثر من 7 أضعاف حجم النفط المنسكب في كارثة ديب ووتر هورايزون.

- **تسرب النفط في ديب ووتر هورايزن**، 2010م أدى انفجار إلى مقتل 11 رجلاً يعملون على المنصة وإصابة 34 آخرين. تم تغطية رأس البئر المتدفق، بعد أن أطلق نحو 4.9 مليون برميل (780.000 م3) من النفط الخام.
- **كارثة فوكوشيما دايئيتشي النووية**، 2011م كانت حادثة للطاقة، بدأت في المقام الأول بسبب التسونامي الذي أعقب زلزال توهوكو في 11 مارس 2011م. مباشرة بعد وقوع الزلزال، قامت المفاعلات النشطة تلقائيًا بإيقاف تفاعلاتها الانشطارية المستمرة. وأدى التبريد غير الكافي إلى ثلاثة انصهارات نووية، وانفجارات الهيدروجين والهواء، وإطلاق مواد مشعة. تصنيف الحدث من المستوى 7 للمقياس الدولي للمخاطر النووية.
- **كارثة أودر البيئية**، 2022م أدى تلوث نهر أودر إلى نفوق أعداد كبيرة من الفقمة المحلية.
- **خروج قطار أوهايو عن مساره**، 2023م خرج قطار شحن جنوب نورفولك يحمل مواد خطرة عن مساره في شرق فلسطين في ولاية أوهايو. احترقت عربات السكك الحديدية لعدة أيام، مما أدى إلى إطلاق مواد كيميائية في الهواء. وقد اتهمت نورفولك بسوء الإدارة.

الفصل الثاني

مخاطر الطقس الفضائي

موسوعة المخاطر الطبيعية
Encyclopedia of Natural Hazards

مُقَدِّمَة

في العقود القليلة الماضية، أصبحت الحضارات التكنولوجية البشرية تعتمد على الأقمار الصناعية للاتصالات والملاحة والتجارة العالمية. لقد بدأنا أيضًا الرحلة الطويلة لاستكشاف القمر والمريخ ونظامنا الشمسي.

وقد أدى هذا الاستكشاف إلى بعض الاكتشافات المذهلة حول شمسنا الديناميكية وتفاعلها مع الأرض. نحن نعلم الآن أن الشمس نجم متغير يطرد جزيئات عالية الطاقة وإشعاعات قاتلة بشكل مستمر إلى الفضاء. يمكن لهذا الإشعاع أن يؤثر على الأنظمة التكنولوجية ويدمرها، وهو أحد الاهتمامات الرئيسية لاستكشاف الإنسان للفضاء.

في التسعينات، ازدهرت صناعة الأقمار الصناعية التجارية، مع توسع أسواق التلفزيون المباشر عبر الأقمار الصناعية إلى المنازل وتوسع خيارات الاتصالات عبر الأقمار الصناعية.

في عام 2000م، كانت صناعة الاتصالات عبر الأقمار الصناعية تحقق ما يقرب من 100 بليون دولار سنويًا من الأعمال مع إطلاق ما يقرب من مائة قمر صناعي جديد كل عام. ومع تزايد الأعمال التجارية واعتماد الأسواق المختلفة على الفضاء، بدأ المجتمع يلاحظ متى حدث خطأ ما في الفضاء.

كان Galaxy IV قمرًا صناعيًا للاتصالات عاملاً ومربحًا حتى 19 مايو 1998م، عندما فشل بعد تعرضه لأسابيع من الإشعاع المكثف الناتج عن تفاعل الشمس

مع البيئة الفضائية للأرض. حمل GalaxyIV إشارات أكثر من 90 % من أجهزة النداء في أمريكا الشمالية والعديد من شبكات البث الرئيسية، بما في ذلك الإذاعة الوطنية العامة الأمريكية (NPR) وشبكة CBS. وبدون القمر الصناعي الذي تبلغ كلفته 200 مليون دولار، لم تصل الملايين من رسائل النداء وراديو NPR وبرامج تلفزيون CBS إلى الجمهور المستهدف.

تُرك منتجو الإذاعة والتلفزيون يتدافعون لملء وقت الهواء الميت، ووجد الأطباء ورجال الأعمال أنفسهم منفصلين عن مستشفياتهم وعملائهم. في جميع الاحتمالات، كان Galaxy IV ضحية لعاصفة الطقس الفضائية

لا يمكن للعواصف الفضائية أن تلحق الضرر أو تدمير الأقمار الصناعية التي تدور حولها فحسب، بل يمكنها أيضًا إصابة رواد الفضاء أو قتلهم، أو تدهور أو انقطاع بعض الاتصالات اللاسلكية والملاحة، والتسبب في انقطاع الطاقة الإقليمية عن طريق تدمير المكونات الحيوية لشبكات الطاقة الكهربائية.

مع النمو المستمر لصناعة الاتصالات عبر الأقمار الصناعية واعتمادنا المتزايد على الاتصالات اللاسلكية والوصول الفوري إلى المعلومات العالمية، أصبحنا أكثر عرضة للمشاكل الناجمة عن الطقس الفضائي.

سنقدم هنا للقارئ مجال الطقس الفضائي الناشئ باستخدام نهج وصفي وكمي. وبما أن العلم ليس مجرد مجموعة من الحقائق، بل هو عملية أو طريقة لفهم عالمنا الطبيعي، فإننا سنحاول الإجابة على سؤال "كيف نعرف ذلك؟" من خلال تضمين المناقشات حول التطور التاريخي للمفاهيم المختلفة وتوضيح آثار الطقس الفضائي ومخاطره على الطبيعة والإنسان والتقنية.

ما هو الطقس الفضائي؟

يشير مصطلح «الطقس الفضائي» Space Weather إلى الظروف الموجودة في الشمس والرياح الشمسية والغلاف المغناطيسي والغلاف الأيوني والغلاف الحراري التي يمكن أن تؤثر على أداء وموثوقية الأنظمة التكنولوجية المحمولة في الفضاء والأرضية ويمكن أن تعرض حياة الإنسان أو صحته للخطر.

يمكن أن تتسبب الظروف المعاكسة في بيئة الفضاء في تعطيل عمليات الأقمار الصناعية والاتصالات والملاحة وشبكات توزيع الطاقة الكهربائية، مما يؤدي إلى مجموعة متنوعة من الخسائر الاجتماعية والاقتصادية.

وفي الخمسين سنة الماضية، أصبحنا حضارة ترتاد الفضاء. باستخدام المركبات الفضائية الآلية والمأهولة، بدأنا في مسح نظامنا الشمسي. لقد تعلمنا أننا نعيش في الغلاف الجوي للشمس الديناميكية العنيفة التي توفر الطاقة للحياة على الأرض، ولكنها يمكن أن تسبب أيضًا دمارًا لأسطولها من الأقمار الصناعية وأنظمة الاتصالات.

الطقس الفضائي هو مجال علمي ناشئ في علوم الفضاء الذي يدرس كيفية تأثير الشمس على البيئة الفضائية للأرض والتأثيرات التكنولوجية والمجتمعية لهذا التفاعل - تلف أو تدمير الأقمار الصناعية التي تدور حول الأرض والتهديدات لسلامة رواد الفضاء أثناء المهام الطويلة الأمد. القمر والمريخ وموثوقية ودقة أنظمة الاتصالات والملاحة العالمية.

يعتمد المجتمع الحديث على التنبؤات الدقيقة للطقس (التقلب اليومي في درجات الحرارة والرطوبة والأمطار وما إلى ذلك) وفهم المناخ (اتجاهات الطقس طويلة المدى) للتجارة والزراعة والنقل وسياسة الطاقة والتخفيف من آثار الكوارث الطبيعية.

يعد علم فهم الطقس والأرصاد الجوية أحد أقدم المساعي البشرية لفهم بيئتنا الطبيعية. مثل علم الأرصاد الجوية، يسعى مجال طقس الفضاء إلى فهم المناخ والطقس والتنبؤ بهما، بل بالفضاء الخارجي.

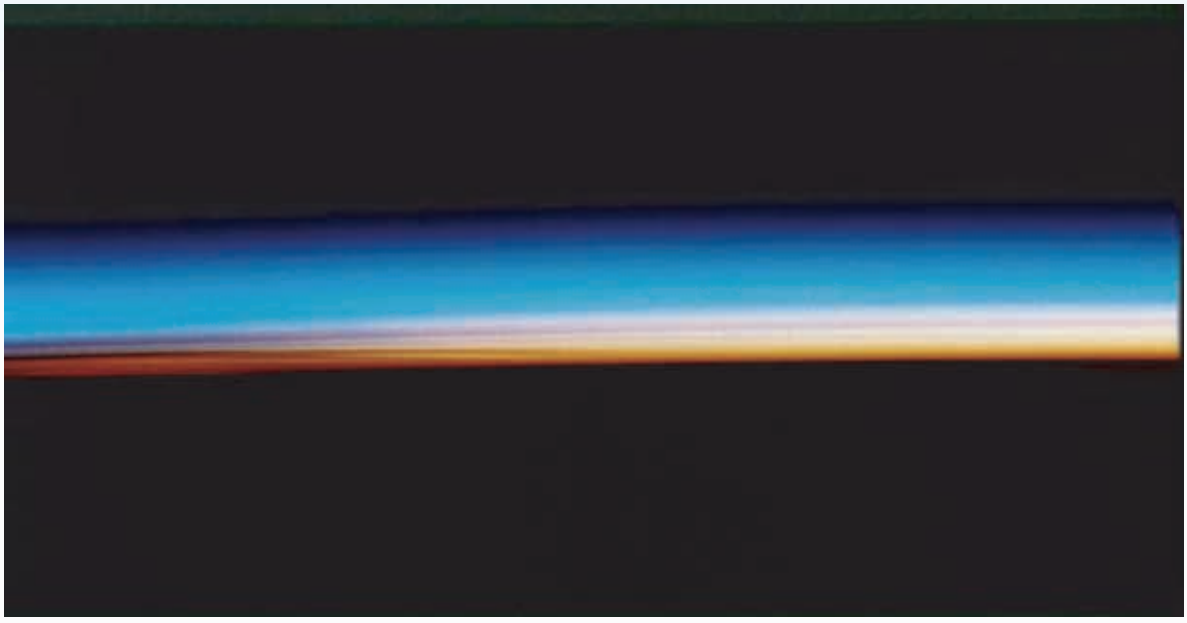
لآلاف السنين، اندلعت العواصف الفضائية Space Storms فوق رؤوسنا غير معروفة لنا. ولكن مع قدوم عصر الفضاء، بدأنا نلاحظ القوة التدميرية للطقس الفضائي القاسي.

مثل الطقس، فإن الطقس الفضائي له جذوره في الشمس. تتمثل الفروق الرئيسية بين نوعي الطقس في مكان حدوثه ونوع الطاقة القادمة من الشمس التي تؤثر عليه. وفيما يتعلق بالطقس، فإن اهتمامنا الأكبر هو طبقة التروبوسفير، التي تمتد من سطح الأرض إلى أعلى ارتفاع للسحب بنحو 10 كيلومترات.

يهتم علم الطقس الفضائي بالبيئة الفضائية حول الأرض وصولاً إلى الشمس. يبدأ الفضاء في منطقة من الغلاف الجوي للأرض تسمى الغلاف الحراري، والتي تبدأ عند ارتفاع 100 كيلومتر تقريبًا.

ويطير المكوك الفضائي والمحطة الفضائية على ارتفاع نحو 350 كيلومترا. يُظهر الشكل الآتي صورة للغلاف الجوي للأرض من المكوك الفضائي. ويبلغ التباين الحاد بين زرقة الغلاف الجوي للأرض وسواد الفضاء نحو 100 كيلومتر.

والفرق الثاني بين الطقس والطقس الفضائي هو نوع الطاقة الشمسية التي تؤثر على المنطقتين. تبعث الشمس بشكل مستمر نوعين رئيسيين من الطاقة إلى الفضاء – الإشعاع الكهرومغناطيسي (EM) والإشعاع الجسيمي.



طرف الأرض مأخوذ من المكوك الفضائي. لاحظ الحافة الحادة للون الأزرق للغلاف الجوي مقابل أسود الفضاء.

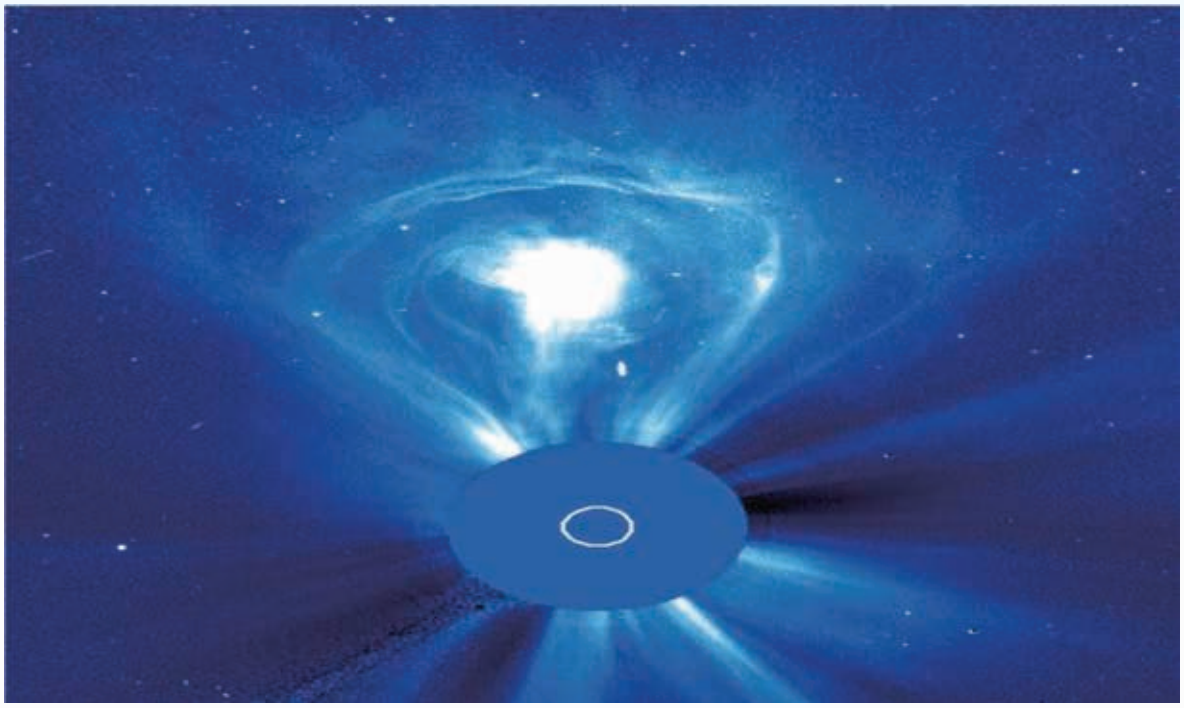
الضوء المرئي، موجات الراديو، الموجات الدقيقة، الأشعة تحت الحمراء، الأشعة فوق البنفسجية، الأشعة السينية، وأشعة جاما هي أشكال من الإشعاع الكهرومغناطيسي. يغمر إشعاع الشمس الكهرومغناطيسي الجزء العلوي من الغلاف الجوي للأرض بنحو 1400 واط من الطاقة لكل متر مربع ويسخن الغلاف الجوي السفلي والسطح والمحيطات بشكل غير متساو. الرياح مدفوعة بهذه الاختلافات في درجة حرارة الغلاف الجوي.

تبعث الشمس أيضًا بشكل مستمر إشعاعات جسيمية (جسيمات دقيقة)، وذرات مشحونة وجسيمات دون ذرية (معظمها بروتونات وإلكترونات) فيما يسمى بالرياح الشمسية Solar Wind. مثل الرياح على الأرض، فإن الرياح الشمسية مدفوعة بالاختلافات في درجات الحرارة، ولكن هذه الاختلافات تقع بين الغلاف الجوي العلوي للشمس والفضاء بين الكواكب.

الرياح الشمسية، التي تتوسع إلى النظام الشمسي حاملة معها المجال المغناطيسي للشمس، تقطع منطقة من الفضاء بين النجوم تسمى الغلاف الشمسي Heliosphere (أو هيليوسفير و«هيليوس»، كلمة يونانية تعني الشمس).

والرياح الشمسية ليست ثابتة أو موحدة، بل تتغير باستمرار. تؤثر هذه التغييرات على البيئة الفضائية للأرض بعدة طرق، بما في ذلك إنشاء إشعاعات جسيمية جديدة تقصف الغلاف الجوي العلوي للأرض، مما يسبب الشفق القطبي (الأضواء الشمالية والجنوبية) والتيارات الكهربائية الكبيرة التي يمكن أن تعطل الاتصالات وشبكات الطاقة والملاحة عبر الأقمار الصناعية.

في بعض الأحيان يثور سطح الشمس ويرسل جزءًا كبيرًا من الغلاف الجوي الشمسي بعيدًا بسرعات عالية. يمكن أن تحوي هذه الأحداث، التي تسمى مقذوفات الكتلة الإكليلية Coronal Mass Ejection (CMEs)، على 10^{12} كغم من المواد (أي ما يعادل ربع مليون حاملة طائرات) ويمكن أن تبتعد عن الشمس بسرعة تزيد عن 1000 كيلومتر كما في الشكل التالي.



قذف كتلي إكليلي يندلع من الشمس كما لوحظ بواسطة إكليل الضوء الأبيض على متن القمر الصناعي سوهو SOHO التابع لناسا.

إذا تم توجيه الانبعاث الإكليلي نحو الأرض، فمن الممكن أن تتطور عاصفة فضائية كبيرة فوق رؤوسنا بكثير، مما يؤدي إلى شل الأقمار الصناعية، مما يتسبب في زيادة التعرض للإشعاع لأطقم الطيران والركاب، وحجب بعض أشكال الاتصالات اللاسلكية، وتعطيل أنظمة الطاقة على الأرض.

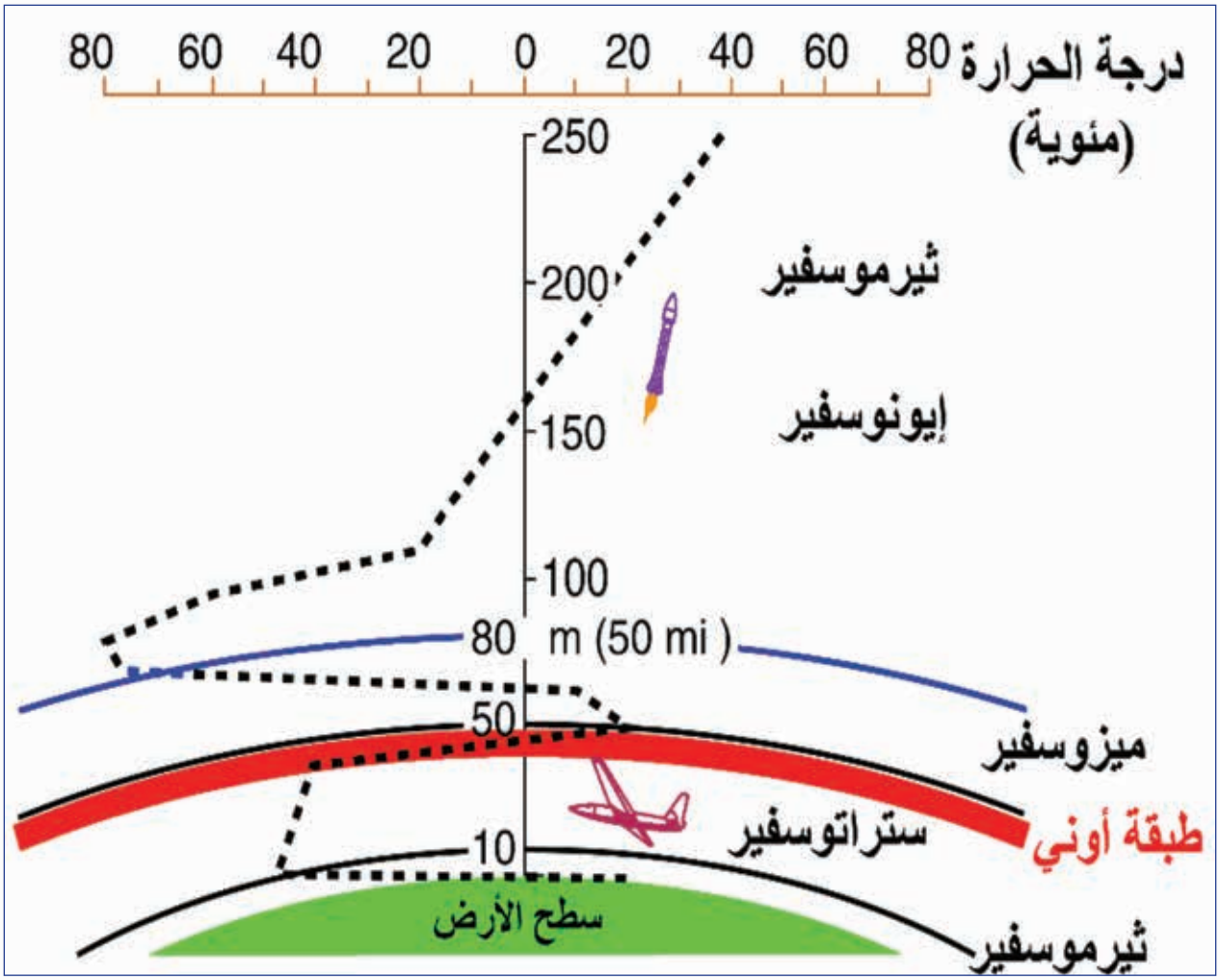
هذه العواصف الفضائية، مثل العواصف الجوية مثل إعصار كاترينا عام 2005م، تسببت في أضرار جسيمة للأنظمة التكنولوجية في الماضي. في مارس 1989م، اصطدمت كتلة كبيرة من الكتل الإكليلية بالأرض، مما تسبب في انقطاع التيار الكهربائي على نطاق واسع في شرق كندا.

يحاول علم الطقس الفضائي الناشئ فهم أسباب العواصف الفضائية وتأثيرها على البنية التحتية التكنولوجية للأرض على أمل أن نتمكن من التنبؤ بالطقس الفضائي وتخفيف الأضرار.

• طبقات الغلاف الجوي للأرض

يتكون الغلاف الجوي للأرض من خمس طبقات رئيسية وعدة طبقات ثانوية. من الأدنى إلى الأعلى، الطبقات الرئيسية هي التروبوسفير، الستراتوسفير، الميزوسفير، الغلاف الحراري والغلاف الخارجي.

ويبين الشكل الآتي طبقات الغلاف الجوي كدالة للارتفاع. لاحظ أن كل طبقة أو كرة لها تعريف مختلف لدرجة الحرارة مع الارتفاع. (على سبيل المثال، درجة الحرارة في طبقة التروبوسفير تتناقص مع الارتفاع، في حين أن درجة الحرارة في طبقة الستراتوسفير تزداد مع الارتفاع).



مقياس درجة الحرارة العمودي للغلاف الجوي للأرض. يمثل الخط المتقطع درجة الحرارة كدالة للارتفاع. يتم تعريف كل منطقة من خلال كيفية تغير درجة الحرارة مع الارتفاع.

• لمحة تاريخية قصيرة

بدأت دراسة الطقس الفضائي بمراقبة منهجية لثلاث ظواهر طبيعية: الشفق القطبي (وتسمى أيضًا الأضواء الشمالية أو الجنوبية)، والمجال المغناطيسي للأرض، والبقع الشمسية (المناطق المظلمة التي يتم ملاحظتها على سطح الشمس). ولأن الشفق القطبي يمكن رؤيته بالعين المجردة، فقد تمت ملاحظته منذ آلاف السنين، على الرغم من أن الدراسة المنهجية للشفق القطبي لم تبدأ حتى القرن السادس عشر. كما أنّ تطوير البوصلة والتلسكوب الحساسين في أوائل القرن السابع عشر جعل من الممكن اكتشاف طبيعة المجال المغناطيسي للأرض والبقع الشمسية.

إن فهم الطقس الفضائي يعود بجذوره إلى الروابط بين هذه الظواهر الثلاث. تم إجراء أولى الاتصالات المؤقتة في منتصف القرن التاسع عشر.

على مدار الـ 150 عامًا الماضية، قمنا ببطء بتوسيع معرفتنا بالبيئات الفضائية للشمس والأرض، ومن خلال القيام بذلك، بدأنا في تطوير نموذج مادي للاتصال بين الشمس والأرض. يقدم هذا القسم نبذة تاريخية عن الاكتشافات ومقدمة لبعض العلماء الذين قادونا إلى فهمنا الحالي للعلاقة بين الشمس والأرض.

كما هو الحال مع جميع مجالات العلوم، تطور مجال الطقس الفضائي بالتنسيق مع فهمنا للفيزياء والكيمياء والتكنولوجيات الجديدة التي أتاحت لنا رؤية ما هو غير مرئي - أشياء صغيرة جدًا أو بعيدة جدًا بحيث لا يمكن رؤيتها بالعين المجردة. أو خارج نطاق أحاسيسنا وقدراتنا على الرؤية أو السمع أو الشعور، مثل موجات الراديو والمجالات المغناطيسية.

1. الشفق القطبي

لاحظ أسلافنا الأوائل الشفق القطبي. حتى القرن الثامن عشر، كانت معظم الأبحاث حول الشفق القطبي مبنية على تكهنات حول أصلها من قبل رجال ربما لم يلاحظوها أبدًا. عادة ما تتبع هذه التكهنات وجهة نظر أرسطو (384-322م قبل الميلاد) عن الشفق القطبي على أنه لهيب مشتعل، أو فكرة رينيه ديكارت (1596-1650م) بأن الشفق القطبي عبارة عن قمر أو ضوء الشمس المنعكس عن بلورات الجليد أو الثلج.

أمكن إجراء الملاحظات المنهجية للشفق القطبي لأول مرة في القرن السادس عشر. سجل تيخو براهي (1546–1601م)، أحد أعظم علماء الفلك على الإطلاق، حدوث الشفق القطبي بين عامي 1582م و 1598م من مرصد أورانيبورج الخاص به في الدنمارك. ووجد أن عدد الشفق القطبي يختلف من سنة إلى أخرى، لكنه لم يلاحظ أي اختلاف منهجي أو منتظم.

وفي 12 سبتمبر 1621م، لاحظ الفلكي بيير غاسندي (1592-1655م) من جنوب فرنسا وجاليليو2 في البندقية نفس الشفق القطبي. أطلق غاسندي على الأضواء اسم الشفق القطبي (الفجر الشمالي باللاتينية)، وهو الاسم الذي ارتبط بالأضواء القطبية منذ ذلك الحين.

وأشار إلى أن الشفق القطبي يجب أن يحدث في أعلى الغلاف الجوي للأرض حتى يتمكن الراصدون في أماكن بعيدة من مراقبة نفس الظاهرة.

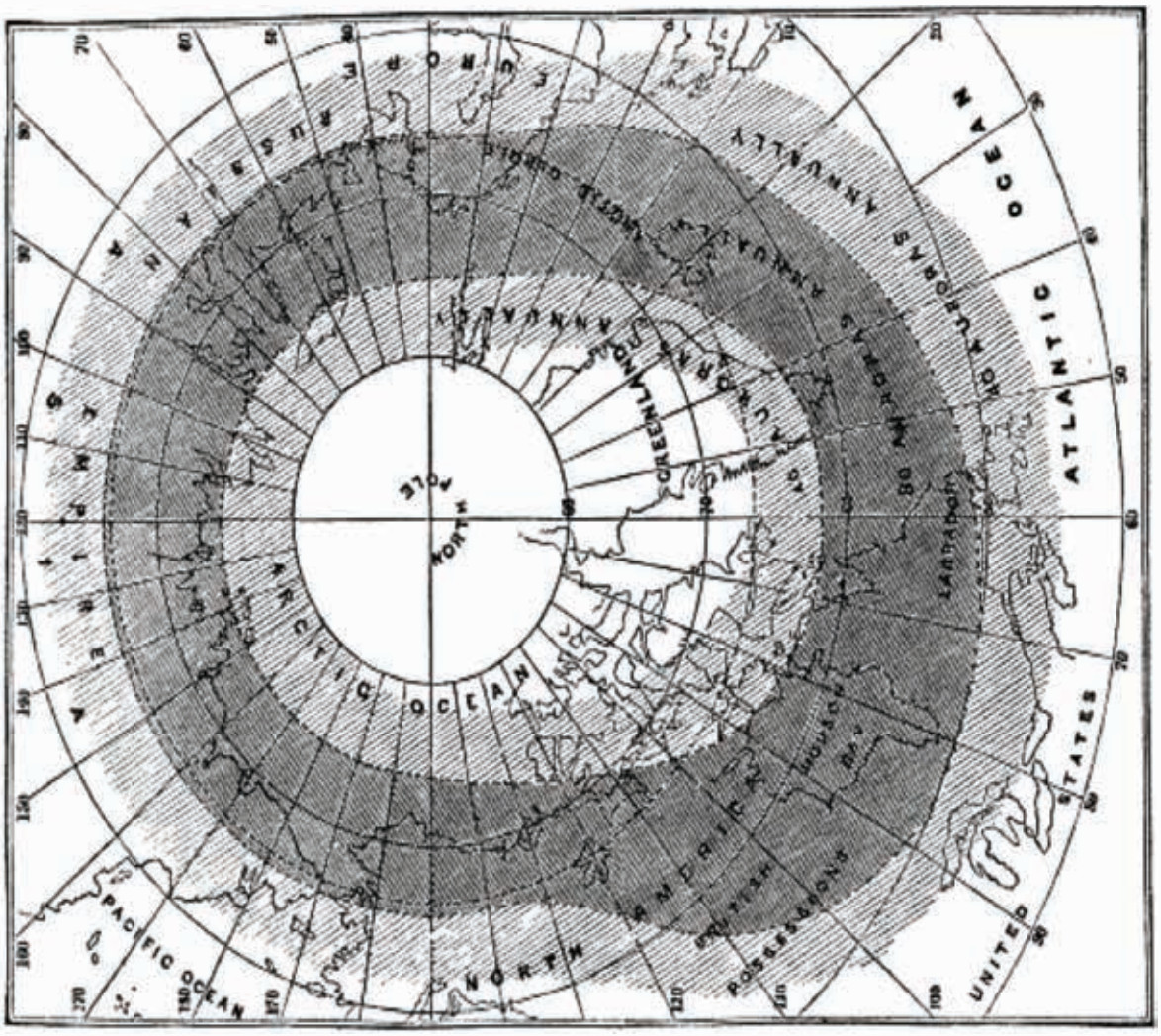
في القرن الثامن عشر، بدأ عدد من الملاحظات في إلقاء الضوء على أصول الشفق القطبي. أجرى الفرنسي جان جاك دورتور دي ميران (1678-1771م) أول قياسات تقريبية لارتفاع الشفق القطبي في عام 1726م؛ وكانت هذه متوافقة مع ملاحظة غاسندي بأن الشفق القطبي يحدث في الغلاف الجوي العلوي.

باستخدام طريقة التثليث، قدّر العالم الإنجليزي هنري كافنديش (1731-1810م) بشكل صحيح ارتفاع الشفق القطبي بما يتراوح بين 80 و112 كيلومترًا في عام 1790م. ومع ذلك، ظلت تقديرات الارتفاع الشفقي تنطوي على قدر كبير من عدم اليقين حتى نحو عام 1900م، عندما قام العالم النرويجي كارل ستورمر (1874 - 1957م) قام بقياس الارتفاع بدقة باستخدام تقنيات التصوير الفوتوغرافي.

كان الكابتن جيمس كوك أول أوروبي يراقب الأضواء الجنوبية (التي أطلق عليها اسم الشفق الأسترالي) أثناء تواجده في المحيط الهندي بالقرب من خط العرض 58 درجة جنوبًا في 17 فبراير 1773م. وكتب في سجل سفينته: «شوهدت أضواء في السماء، مشابهة لتلك الموجودة في نصف الكرة الشمالي، والمعروفة باسم الشفق القطبي».

في القرن التاسع عشر، عندما تم تجميع تقارير المستكشفين القطبيين، أصبح من الواضح أن الشفق القطبي يظهر في أشكال بيضاوية كبيرة تتمركز بالقرب من القطبين الشمالي والجنوبي. قرر الكابتن جون فرانكلين، الذي لقي حتفه لاحقًا مع طاقمه أثناء محاولتهم العثور على الممر الشمالي الغربي، أن عدد مشاهدات الشفق القطبي يتناقص بالقرب من القطب، مما يشير إلى وجود منطقة شفقية.

في عام 1833م، لاحظ الجغرافي الألماني جورج فيلهلم مونكي (1772–1847م) وجود منطقة ذات الحد الأقصى لحدوث الشفق القطبي محدودة في خط العرض. في عام 1860م، نشر البروفيسور إلياس لوميس (1811–1888م) من جامعة ييل أول خريطة للمنطقة القطبية الشمالية توضح المنطقة التي تم ملاحظة الشفق فيها بشكل شائع كما في الشكل التالي.



الشكل البيضاوي الشفقي من دراسة البروفيسور لوميس في أواخر القرن التاسع عشر. لاحظ أن الشفق لديه منطقة حدوث تتمركز حول القطب، ولكن ليس عنده.

لذلك، بحلول منتصف القرن التاسع عشر، عُرفت عدد من الحقائق حول الشفق القطبي: فهي تحدث بشكل بيضاوي حول المناطق القطبية الشمالية والجنوبية، وهي مرتفعة في الغلاف الجوي العلوي. ولا يزال البحث مستمرا عن سبب الشفق القطبي.

2. المجال المغناطيسي الأرضي

في عام 1088م، كتب الموسوعي الصيني شين كوا Shen Kua (1031-1095م) أول وصف للبوصلات، حيث كانت دبابيس ممغنطة تطفو على سدادة صغيرة في وعاء من الماء. كان ألكسندر نيكهام من سانت ألبانز Neckham of (1157–1217م) St. AlbanS أول أوروبي يصف البوصلة في عمله حول طبيعة الأشياء الذي نُشر عام 1187م.

ربما سمع نكهام عن البوصلة الصينية عبر طرق التجارة عبر طريق الحرير من الصين إلى أوروبا الغربية. في عام 1576م، اكتشف روبرت نورمان Robert Norman أن المجال المغناطيسي للأرض يحوي على عنصر عمودي يسمى الانحدار Dip.

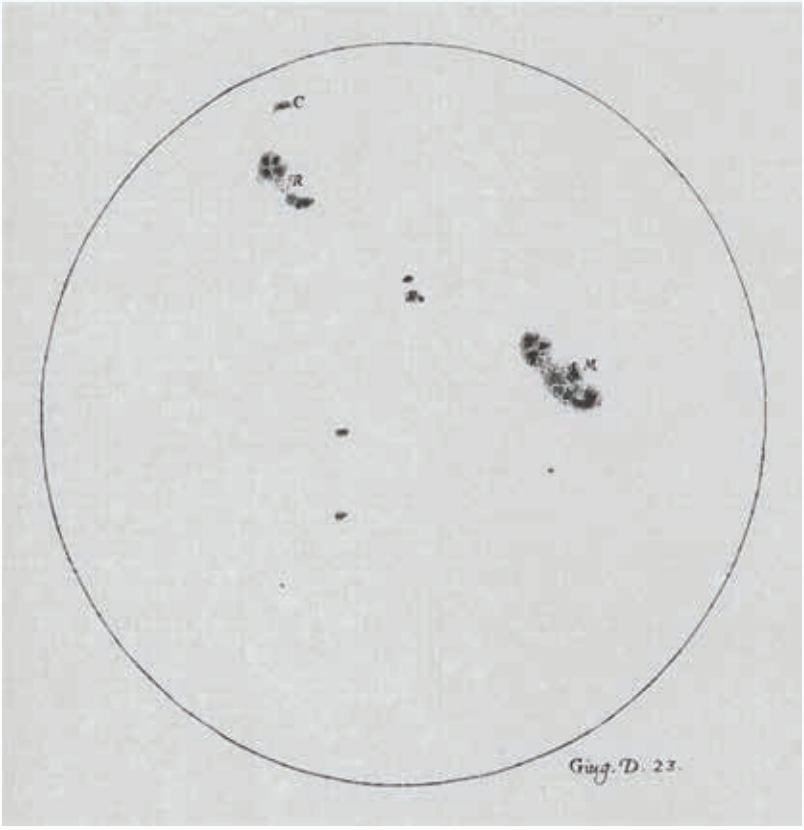
قام ويليام جيلبرت (الطبيب الشخصي للملكة إليزابيث الأولى فيما بعد) بدمج هذا الاكتشاف مع عمله الخاص في مجال مغناطيسي نموذجي يسمى تيريللا، في كتاب بعنوان (المغناطيس De Magnete) في عام 1600م. وقد أثبت في هذا الكتاب أن المجال المغناطيسي للأرض يتصرف مثل المغناطيس. مما أدى إلى دراسة منهجية لاتجاه المجال المغناطيسي كدالة للموقع على الأرض.

وسمحت هذه الخرائط المغناطيسية باستخدام البوصلات للملاحة. في عام 1722م، بنى جورج جراهام (1674 - 1751م) بوصلة حساسة بما يكفي لملاحظة الاختلافات الطفيفة (عادةً أقل من 1°) في المجال المغناطيسي الأرضي التي تسببت في «التواء» إبرة البوصلة قليلًا.

وبالتالي فإن الحقيقة الأساسية حول المغناطيسية الأرضية المعروفة في أوائل القرن الثامن عشر هي أن الأرض لديها مجال مغناطيسي مثل المغناطيس العادي (يسمى المجال المغناطيسي ثنائي القطب) مع اختلافات منتظمة وغير منتظمة. كان البحث مستمرًا عن سبب هذه التقلبات المغناطيسية الأرضية.

3. البقع الشمسية

في عام 1610م، وجه جاليليو تلسكوبه نحو الشمس ولاحظ البقع الشمسية من خلال تركيز الصورة على قطعة من الورق (انظر الشكل الآتي). قام العديد من المراقبين الآخرين - يوهانس فابريسيوس، وتوماس هاريوت، وكريستوف شاينر - برصد البقع الشمسية في وقت واحد باستخدام التلسكوب المطور حديثًا.



رسومات للبقع الشمسية من غاليليو تم رسمها في نحو عام 1610.

لكن ما هي هذه البقع؟ جادل شاينر بأنها أقمار أو كواكب (عطارد، الزهرة، أو الكوكب الأسطوري فولكان) تدور بين الشمس والأرض، بينما جادل غاليليو بأنها كانت على سطح الشمس.

بدأت أول عمليات رصد يومية منتظمة (عندما يسمح الطقس بذلك) للبقع الشمسية في عام 1749م في مرصد زيورخ في سويسرا. باستخدام بيانات من زيوريخ، اكتشف صامويل هاينريش شوابي (1789–1875م) حدوث دورة شمسية مدتها 11 عامًا في عام 1844م تقريبًا. وكان هدفه الأصلي هو العثور على كواكب داخل زئبقية مثل تلك التي تم تخمينها في زمن غاليليو.

بدأ في البحث بشكل منهجي عن عبور هذه الكواكب المفترضة عبر الشمس. وبذلك، سجل بدقة موقع كل بقعة شمسية لمدة 18 عامًا. وباستخدام مجموعة البيانات هذه اكتشف دورة البقع الشمسية التي تستمر 11 عامًا. ولم يكتشف أبدًا كوكبًا يعبر الشمس.

لذلك، بحلول منتصف القرن التاسع عشر، كان قد ثبت بوضوح أن البقع الشمسية موجودة على الشمس وأن لها دورة مدتها 11 عامًا، يتضاءل خلالها عددها ويتضاءل. لا يزال السؤال حول ما هي البقع الشمسية وما إذا كان لها أي تأثير على الأرض قائمًا.

4. الربط بين الشفق والمجال الجيومغناطيسي والبقع الشمسية

لاحظ عالم الفلك الإنجليزي إدموند هالي (1656–1742م)، صاحب شهرة مذنب هالي، أن الشفق القطبي الذي حدث في 16 مارس 1716م فوق لندن يبدو أنه يحوي على أشعة تتقارب نحو الأرض على غرار خطوط المجال المغناطيسي للأرض.

لقد رسم خطوط المجال المغناطيسي خارج الأرض من خلال استقراء الشكل الذي تشكله برادة الحديد حول المغناطيس. لم يتم تأكيد هذا التلميح إلى أن الأشعة الشفقية تتماشى مع المجال المغناطيسي للأرض حتى عام 1770م عندما لاحظ العالم السويدي يوهان ويلك أن الأشعة الشفقية تقع فعليًا على طول خطوط المجال المغناطيسي الأرضي.

في عام 1722م، لاحظ صانع الأدوات البريطاني جورج جراهام تقلبات مغناطيسية طفيفة باستخدام بوصلته، والتي لوحظ لاحقًا أنها مرتبطة

بملاحظات الشفق القطبي التي أجراها أندرس سيلسيوس (العالم الذي أُعطي اسمه لمقياس درجة الحرارة) وتلميذه (وأخيه هانز). صهره) أولاف هيورتر في أوبسالا، السويد عام 1747م.

تم الحصول على أداة البروفيسور سيلسيوس من جراهام، ومن خلال المراسلات المنتظمة وجد سيلسيوس وجراهام أن الأيام التي تشهد نشاطًا مغناطيسيًا أرضيًا (الاسم الذي يطلق على التقلبات المغناطيسية) في لندن كانت أيضًا أيام نشاط مغناطيسي أرضي في أوبسالا.

أثبت هذا أن النشاط المغناطيسي الأرضي، وبالتالي الشفق القطبي، يحدث على مسافات كبيرة. كتب هيورتر: «لا بد أن الشفق القطبي هو أعلى ظاهرة في غلافنا الجوي، عالية جدًا وواسعة النطاق، بحيث يمكن حدوثها في وقت واحد، هنا وفي إنجلترا، في أوبسالا ولندن. . . إزعاج الإبرة المغناطيسية.

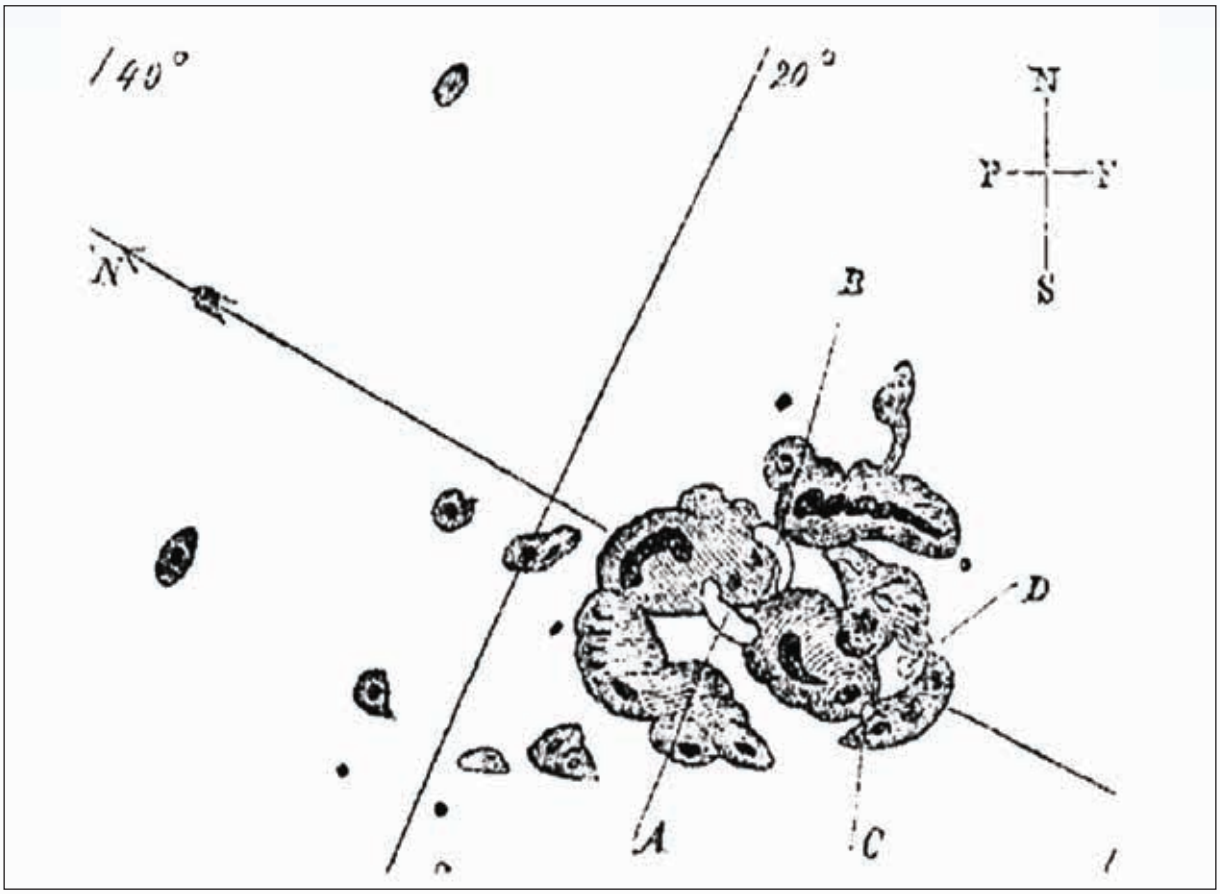
ثم بدأ سيلسيوس وآخرون بمراقبة فترات من التقلبات المغناطيسية الأرضية الكبيرة جدًا - درجات عديدة من تقلبات الإبرة المغناطيسية في عدة دقائق. تُسمى هذه الاضطرابات المغنطيسية الأرضية الكبيرة الآن بالعواصف المغنطيسية الأرضية Geomagnetic Storms.

وفي منتصف القرن التاسع عشر، كان العقيد إدوارد سابين والبروفيسور رودولف وولف، بشكل مستقل، أول من نشر نتائج تظهر العلاقة بين البقع الشمسية والنشاط المغناطيسي الأرضي. كانت سابين ضابطة عسكرية بريطانية (حصلت على لقب فارس لاحقًا) وكانت مسؤولة عن المراصد البريطانية حول العالم حيث تم رصد الطقس السطحي والتغيرات في المجال المغنطيسي الأرضي.

كان فهم المجال المغناطيسي الأرضي مهمًا للملاحة بسبب استخدام البوصلات المغناطيسية. كان رودولف وولف مديرًا لمرصد زيوريخ، وبالتالي تمكن من الوصول إلى أطول سجل لظهور البقع الشمسية في العالم. تربط دراسات جراهام وسيلسيوس الآن الشفق القطبي بالنشاط المغناطيسي الأرضي، كما ربطت دراسات سابين وولف النشاط المغناطيسي الأرضي بالنشاط الشمسي.

بسبب التقارير غير الموثوقة عن حدوث الشفق القطبي (وقت الصيف، السحب، عدد محدود من السكان عند خطوط العرض العليا)، مرت عدة سنوات قبل أن يظهر بوضوح أن حدوث الشفق القطبي مرتبط بالنشاط الشمسي.

وعلى الفور طُرح السؤال: ما الذي يربط البقع الشمسية بالمجال المغناطيسي للأرض؟ في عام 1859م، عندما لاحظ ريتشارد كارينجتون، الذي كان يعمل عالمًا فلكيًا في مرصد غرينتش، توهجًا ضوئيًا أبيض فوق بقعة شمسية، أشار في رسالة إلى الجمعية الملكية البريطانية إلى أن التوهج أعقبه خلال يوم واحد اضطراب مغناطيسي أرضي. (يُظهر الشكل الآتي رسم كارينجتون للشعلة).



رسم كارينجتون عام 1859م للتوهج الشمسي ذو الضوء الأبيض المرتبط بمجموعة البقع الشمسية.

وأشار في هذه الرسالة إلى أنه ربما كانت هناك علاقة سببية. ومع ذلك، في عام 1859م، كان من المفترض أن الفضاء كان فراغًا كاملاً، وأن اكتشاف الإلكترونات والجسيمات دون الذرية الأخرى كان بعد 40 عامًا.

في الواقع، في عام 1859م لم يكن هناك فهم واضح للإشعاع الكهرومغناطيسي (مثل الضوء). وفي عام 1863م، ألقى اللورد كلفن، وهو أحد علماء الفيزياء المهيمنين في القرن التاسع عشر، بظلال من الشك على العلاقة بين البقع

الشمسية والنشاط المغناطيسي الأرضي بعد أن حسب أن المجال المغناطيسي الشمسي لا يمكن أن يؤثر على المجال المغناطيسي للأرض على مسافة هائلة بين الشمس والأرض.

وقد أعرب لاحقًا عن هذه الأفكار في خطابه الرئاسي أمام الجمعية الملكية في عام 1892م على النحو التالي: «يبدو كما لو أننا قد نكون مجبرين أيضًا على استنتاج أن العلاقة المفترضة «هكذا - التهجئة البريطانية القديمة» بين العواصف المغناطيسية والبقع الشمسية غير حقيقية، وأن الاتفاق الظاهري بين الفترات كان مجرد صدفة».

وعلى الرغم من هذا الرأي، أشارت العديد من الاكتشافات إلى أنه ربما يمكن للمادة القادمة من الشمس أن تنتقل إلى الأرض. في عام 1869م، قام نورمان لوكير بتطوير جهاز قياس الطيف الشمسي ورصد الشواظات (حلقات كبيرة من البلازما) تصل إلى ارتفاعات عالية فوق الغلاف الجوي الشمسي. وفي العام التالي، التقط تشارلز يونغ الصور الأولى لبروز شمسي.

أدت ملاحظات البروز الشمسي والكسوف الكلي للشمس، والتي أظهرت أن الغلاف الجوي العلوي للشمس يمتد بعيدًا عن سطح الشمس، إلى دفع العلماء إلى التكهن بإمكانية قذف المواد الشمسية إلى الفضاء بين الكواكب.

على مدى العقود العديدة التالية، مع ارتباط المزيد من ملاحظات النشاط على الشمس بالنشاط المغناطيسي الأرضي، اقترح العديد من العلماء بما في ذلك هنري بيكريل في عام 1878م (الذي فاز لاحقًا بجائزة نوبل لاكتشافه النشاط الإشعاعي) أن هناك شيئًا ما (إما المجالات المغناطيسية أو المادة) أحيانًا تطرد من الشمس وتصطدم بالغلاف الجوي العلوي للأرض، مما يتسبب في تدفق التيارات ويؤدي إلى نشاط مغناطيسي أرضي.

ومع اقتراب القرن التاسع عشر من نهايته، كان يجري تطوير عدد من المفاهيم المهمة في الفيزياء الأساسية التي ساعدت في حل لغز الشمس والأرض. وشملت هذه إدراك أن الكهرباء والمغناطيسية مرتبطان، وأن الضوء عبارة عن إشعاع كهرومغناطيسي، واكتشاف الإشعاع الجسيمي.

دفع اكتشاف الإشعاع الجسيمي في ثمانينيات القرن التاسع عشر على يد الفيزيائي الإنجليزي ويليام كروكس عددًا من العلماء، من بينهم عالم الرياضيات الأيرلندي فيتزجيرالد في عام 1892م والعالم الإنجليزي السير أوليفر لودج في عام 1900م، إلى اقتراح أن هذا النوع من الإشعاع كان مسؤولاً عن النشاط المغناطيسي الأرضي.

في جامعة كامبريدج في عام 1897م، أظهر جي جي طومسون (1856–1940م) أن الإشعاع الجسيمي يتكون من جسيمات دون ذرية تسمى الإلكترونات، وقد حصل اكتشافه على جائزة نوبل. بالإضافة إلى ذلك، ظهر الراديو اللاسلكي على الساحة، وفي عام 1901م أطلق المخترع الإيطالي غوليلمو ماركوني أول رسالة إذاعية عبر المحيط الأطلسي.

ألهم لغز كيفية انتشار الإشعاع الكهرومغناطيسي حول الأرض المنحنية علماء مثل الفيزيائي الإنجليزي أوليفر هيفيساید والفيزيائي الأيرلندي آرثر كينيلي (1861–1939م) لوضع نظرية مفادها أن طبقة من الغاز الموصل في الغلاف الجوي العلوي تعمل على عكس موجات راديو ماركوني.

تتوافق هذه النظرية مع فكرة أن التيارات المتدفقة في الغلاف الجوي العلوي مرتبطة بالشفق القطبي. وسرعان ما تم التحقق تجريبيًا من وجود طبقة موصلة في الغلاف الجوي العلوي من قبل الفيزيائي الإنجليزي إدوارد أبليتون (الذي فاز بجائزة نوبل عن عمله). تم تسمية منطقة الغلاف الجوي العلوي المرتبطة بتدفق التيار والشفق القطبي بالأيونوسفير.

بعد وقت قصير من اكتشاف الغلاف الأيوني، نشر عالم الجيولوجيا البريطاني سيدني تشابمان وطالبه فينسينزو فيرارو ورقة بحثية تشير إلى أن تيارات الجسيمات من الشمس التي تضرب الأرض تسبب عواصف مغنطيسية أرضية.

وبعد عشرين عامًا، اقترح عالم الفلك الألماني لودفيج بيرمان أن الشمس تصدر باستمرار غازًا (يسمى الآن الرياح الشمسية) من أجل تفسير ملاحظة أن ذيول المذنبات تشير دائمًا بعيدًا عن الشمس. في هذا الوقت تقريبًا، اقترح الفيزيائي السويدي هانز ألفين وجود موجات كهربائية ومغناطيسية تحددها حركة البلازما المغنطة.

أوضحت هذه الموجات، التي تسمى الآن موجات ألفين، كيفية انتشار الطاقة والزخم في البلازما مثل الرياح الشمسية (فاز ألفين بجائزة نوبل عام 1972 عن هذا العمل). ثم طور يوجين باركر، من جامعة شيكاغو، نظرية للرياح الشمسية تشرح كيف يمكن للغلاف الجوي الشمسي أن يتوسع باستمرار إلى الفضاء بين الكواكب آخذًا معه المجال المغناطيسي الشمسي.

في جامعة إمبريال كوليدج في لندن عام 1961م، جمع جيمس دونجي هذه الأفكار من خلال اقتراح أن المجال المغناطيسي للرياح الشمسية، والذي يسمى المجال المغناطيسي بين الكواكب (IMF)، يمكن أن يتصل أو يندمج مع الغلاف المغناطيسي للأرض ويجمع طاقة الرياح الشمسية والزخم مباشرة في الغلاف المغناطيسي للأرض.

اقترح عالم الفيزياء الشمسية الأسترالي رونالد جيوفانيلي (1915-1984م) مفهوم دمج المجال المغناطيسي، أو إعادة الاتصال، قبل عشر سنوات في محاولة

لشرح مصدر الطاقة لتشغيل التوهجات الشمسية (مثل تلك التي لاحظها كارينجتون في عام 1859م).

كان من المقرر اختبار هذه الأفكار على مدار الأربعين عامًا القادمة خلال عصر الفضاء، عندما يمكن إرسال الأقمار الصناعية مباشرة إلى الفضاء لقياس ما هو موجود هناك.

كان إطلاق سبوتنيك في عام 1957م إيذانًا بفجر عصر الفضاء، ولم يمنحنا فهمًا لما كان موجودًا في الفضاء فحسب، بل أدى أيضًا إلى الثورة التكنولوجية للاتصالات العالمية ومراقبة الأرض التي نعتبرها أمرًا مفروغًا منه اليوم.

مع ظهور الأقمار الصناعية وتلفزيون الكابل، ونظام الملاحة العالمي لتحديد المواقع (GPS)، وأنظمة شبكة الطاقة القارية، دخلنا عصرًا بدأت فيه الاضطرابات الفضائية تؤثر على حياتنا اليومية.

ومع هذه التطورات، أصبحنا أكثر عرضة لعواصف الطقس الفضائي من خلال اعتمادنا على أنظمة المعلومات عالية التقنية وترابطنا العالمي المتزايد.

ومع مرور الوقت، سيلعب الطقس الفضائي دورًا أكبر في حياتنا اليومية. وربما في المستقبل غير البعيد ستنشر الصحيفة توقعات الطقس وتوقعات الطقس الفضائي لتساعدك في التخطيط لزيارتك القادمة إلى فندق هيلتون المداري أو المنتجع الجديد على بحر الهدوء لزيارة موقع هبوط أبولو 11 على القمر.

الشمس المتغيرة

منذ فجر الإنسان، أثارت الشمس العبادة والإلهام والدراسة، ولا تزال الألغاز الهائلة حول ديناميكياتها تستحوذ على اهتمام علماء الفلك الشمسي وفيزيائيي الفضاء. ولهذا الجهل آثار عميقة.

نحن نعتمد الآن على الفضاء للاتصالات العالمية والملاحة ومراقبة الأرض، وتسبب ديناميكيات الطاقة الشمسية تدهور وفشل الأقمار الصناعية وأدوات الفضاء. يعد فهم ديناميكيات الطاقة الشمسية جزءًا أساسيًا من فهم الطقس الفضائي.

سنتكلم هنا عما نعرفه عن الشمس. إذْ تأتي الكثير من معرفتنا من ملاحظات الشمس، ويأتي الكثير منها من تطبيق قوانين الفيزياء (مثل الديناميكا الحرارية والفيزياء النووية والذرية) ضمن النماذج الكمية للتنبؤ بالكميات التي يمكن ملاحظتها .

وبهذه الطريقة نعرف ما يجري داخل نواة الشمس دون الذهاب إلى هناك أو مراقبته بشكل مباشر. لقد سمح لنا هذا المزيج من المراقبة والفيزياء بمعرفة المزيد عن محيطنا الطبيعي أكثر من أي وقت آخر في تاريخ البشرية.

لكن ما نكتشفه هو أننا لا نعرف سوى القليل جدًا عن كيفية عمل الأشياء. لكن ما نعرفه (وكيف وصلنا إلى معرفته) أمر مدهش حقًا .

الشمس هي واحدة من ما يقدر بنحو 100 بليون نجم في مجرة درب التبانة. نحن نعرف ذلك من خلال استقراء الدراسات الاستقصائية للنجوم في هذه المجرة وغيرها. ومن دراسة خصائص النجوم القريبة وعمر النيازك، علمنا أن الشمس نجم نموذجي يبلغ عمره نحو 4.5 بليون سنة.

من خلال مراقبة مناطق تشكل النجوم داخل مجرتنا، نعلم أن الشمس تشكلت من سحابة عملاقة من الغاز والغبار تسمى السديم الشمسي. تحوي منطقة داخل هذا السديم على مواد أكثر بقليل من المناطق المحيطة بها، وبالتالي تجمع المواد لنفسها بسبب قوة جاذبيتها (عملية ذاتية الاستدامة تسمى التراكم).

ومع ازدياد حجم الشمس الأولية (Proto-Sun) أكبر فأكبر، زادت كتلتها المتزايدة من جاذبيتها، مما أدى إلى جذب المزيد من المواد إليها. عندما تم تجميع الغاز والغبار في الشمس الأولية، أجبرتها الجاذبية على التقريب أكثر فأكثر من بعضها البعض، مما أدى إلى زيادة كثافتها (كمية المادة في حجم معين).

وبالتالي، زاد الضغط داخل الشمس الأولية لأن ضغط الغاز يعتمد على كثافته من قانون الغاز المثالي (يمكن التعبير عن هذا القانون كـ $P = nkT$ حيث P هو الضغط، n هو الكثافة العددية، k هو ثابت بولتزمان، و T هي درجة الحرارة).

مع تراكم المزيد من المواد على الشمس الأولية، استمرت كثافتها ودرجة حرارتها في الزيادة حتى وصلت إلى درجة حرارة حرجة يمكن أن يحدث عندها اندماج نووي حراري (نحو 15 مليون كلفن). في هذه اللحظة ولدت الشمس.

يصبح النجم مستقرًا عندما يكون هناك توازن بين قوة الجاذبية التي تسحب المواد إلى داخله والقوة الناتجة عن ضغط الغاز الذي يدفعه للخارج. وهذا ما يسمى التوازن الهيدروستاتيكي.

تأتي طاقة الشمس من التفاعلات النووية الحرارية في قلب الشمس، والتي تقوم بدمج البروتونات معًا لتكوين نوى الهيليوم. في هذه العملية، يتم تحرير

الطاقة؛ بعض هذه الطاقة تشق طريقها في النهاية إلى السطح وتنتشر في الفضاء على شكل إشعاع كهرومغناطيسي.

بسبب ارتفاع درجات الحرارة داخل الشمس وداخلها، يتأين الغاز. تتأين الذرة أو الجزيء عندما يتم طرد الإلكترون، مما يعطي الذرة شحنة كهربائية موجبة صافية. تشعر الجسيمات المشحونة بقوة المجالات الكهربائية والمغناطيسية.

بالإضافة إلى ذلك، يمكن للجسيمات المشحونة المتحركة أن تولد تيارًا كهربائيًا، والذي بدوره يؤدي إلى ظهور مجال مغناطيسي. ولذلك، نتيجة لحركة الغاز المتأين في الشمس، يتم إنشاء مجال مغناطيسي قوي. تؤدي التغيرات في هذا المجال المغناطيسي الشمسي المتغير للغاية إلى تغيرات في كمية الطاقة المنبعثة من سطح الشمس.

تعتبر الشمس نجمًا ديناميكيًا ومتغيرًا بسبب هذه الجسيمات المشحونة المتحركة والمجال المغناطيسي الذي تخلقه. يتم في هذا الفصل فحص بنية الشمس وعملياتها التي تؤدي إلى التقلبات الشمسية.

قبل مناقشة الغلاف الجوي للشمس، تم تقديم بعض المفاهيم الفيزيائية المهمة للمساعدة في شرح بنية الشمس.

• درجـــة الـحرارة

تصف درجة حرارة الجسم أو الغاز أو السائل الحركة الحرارية للذرات والجزيئات التي يتكون منها الجسم. الذرات أو الجزيئات في الأشياء الساخنة لها سرعات حرارية كبيرة، والذرات أو الجزيئات في الأشياء الباردة لها سرعات حرارية صغيرة.

يحوي الغاز أو السائل ذو درجة الحرارة المنخفضة على جزيئات تتحرك ببطء؛ يحوي الغاز أو السائل ذو درجة الحرارة العالية على جزيئات متحركة بسرعة. ضعي كيس شاي (أو قطرة من ألوان الطعام) في الماء الساخن ثم كيسًا آخر في الماء البارد. هل ينتشر الشاي (أو ملون الطعام) بسرعة أكبر في الماء الساخن أم الماء البارد؟ ماذا يخبرنا هذا عن حركة جزيئات الماء الفردية في الكوب؟

عندما تتلامس أجسام ذات درجات حرارة مختلفة مع بعضها البعض، تتغير درجة حرارة كلا الجسمين. يبرد الجسم الأكثر سخونة بينما يسخن الجسم البارد. تتغير درجات الحرارة حتى تصبح متوازنة أو متساوية.

نحن نسمي انتقال الطاقة من جسم ساخن إلى جسم بارد حرارة. تحوي الحرارة على وحدات طاقة (جول في الوحدات الدولية SI) ويؤدي نقل الحرارة من مكان إلى آخر إلى تحديد الطقس على الأرض وهو جانب أساسي من الطقس الفضائي.

• الإشعاع والحمل الحراري

هناك ثلاثة أشكال لانتقال الحرارة: التوصيل، والحمل الحراري، والإشعاع. التوصيل هو نقل الحرارة في غياب حركات السوائل. يحدث هذا عند ملامسة جسمين صلبين (موقد كهربائي ومقلاة، على سبيل المثال). تتدفق حرارة سطح الموقد الساخن من الملفات الكهربائية إلى المقلاة المعدنية، مما يؤدي إلى تسخين المقلاة.

الحمل الحراري هو نقل الحرارة عن طريق حركات السوائل. السوائل هو اسم عام يطلق على كل شيء يتدفق بسهولة، ويمكن أن تشمل السوائل الغازات. مثال على الحمل الحراري هو كيفية انتقال الحرارة من خلال وعاء من الماء المغلي.

يرتفع الماء بالقرب من القاع الملامس للوعاء الساخن لأنه أكثر سخونة وبالتالي أقل كثافة؛ يغوص الماء البارد لأنه أكثر كثافة. إذا شاهدت وعاءً من الماء يغلي، سترى خلايا الحمل الحراري تتشكل مع ارتفاع الماء الساخن في وسط الوعاء وهبوطه على الجوانب.

الإشعاع هو نقل الحرارة من خلال الإشعاع الكهرومغناطيسي. تقوم الشمس بتدفئة سطح الأرض عندما تمتص الأرض ضوء الشمس. تعتمد درجة حرارة الأرض على كمية ضوء الشمس التي تمتصها الأرض وغلافها الجوي.

هاتان العمليتان الأخيرتان (الحمل والإشعاع) مسؤولتان عن نقل الحرارة من قلب الشمس إلى الفضاء الخارجي. تنتقل الحرارة من قلب الشمس نحو سطحها على شكل إشعاع كهرومغناطيسي.

عند نقطة معينة داخل الشمس، يمكن أن يبدأ تدفق السوائل في نقل تلك الحرارة بشكل فعال عبر الحمل الحراري. يتم تسخين الغاز من الأسفل ويرتفع، ويصل إلى السطح، وينبعث منه إشعاع (وبالتالي حرارة) إلى الفضاء، ثم يبرد ويغوص.

• بنية الشمسي

يمكننا إجراء ملاحظات مباشرة على سطح الشمس والغلاف الجوي. والوسيلة الأساسية لدراسة هذه المناطق هي تحليل خطوط الامتصاص في الطيف الشمسي. ومن خلال دراسة هذه الخطوط، نعرف تركيبة الشمس بدقة عالية جدًا.

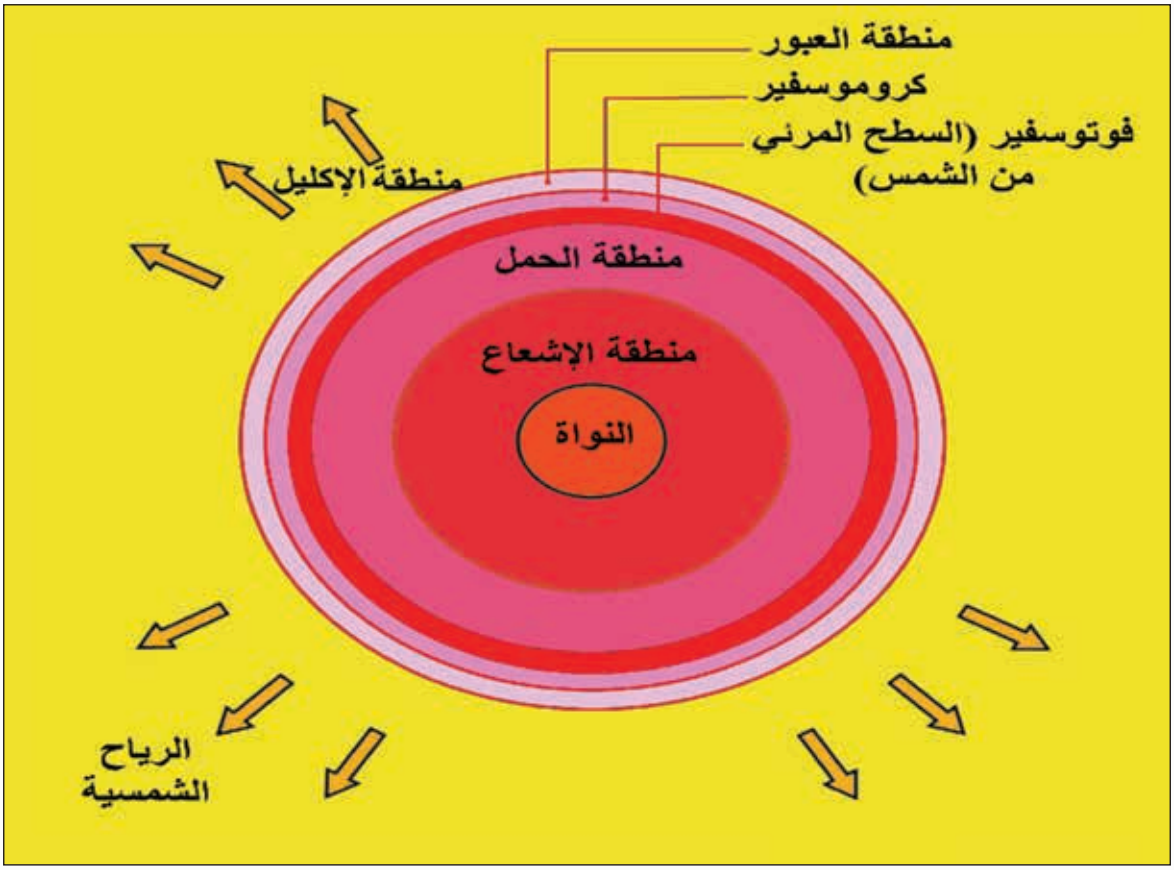
يسرد الجدول الآتي العناصر الخمسة الأكثر شيوعًا في الشمس ووفرتها النسبية. الهيدروجين هو الأكثر شيوعًا، يليه الهيليوم.

العنصر	الرمز	الوفرة النسبية
الهيدروجين	H	% 92.1
هيليوم	He	% 7.8
الأكسجين	O	% 0.061
الكربون	C	% 0.030
نيتروجين	N	% 0.0084

ويشير النموذج الشمسي القياسي إلى أن هذه الوفرة ممثلة في جميع أنحاء الشمس باستثناء المركز حيث تغير التفاعلات النووية الحرارية تركيبها باستمرار.

تحـوي الشـمس علـى جميـع العناصـر الطبيعيـة الموجـودة علـى الأرض وفي الجدول الـدوري. في الواقـع، جميـع العناصـر الموجـودة علـى الأرض (وفي أجسـادنا) بخـلاف الهيدروجـين والهيليـوم، قـد تكونـت داخـل نجـم ميـت الآن، وتشـكل بقايـاه السـديم الشمسـي الأصلـي. حرفيًـا، نحـن مصنوعـون مـن مـادة النجـوم.

تحـوي الشـمس علـى 1.9×10^{30} كغـم مـن المـواد – أكثـر مـن 99 % مـن الكتلـة الإجماليـة في النظـام الشمسـي – أو نحـو 300000 كتلـة الأرض. تم توضيـح مناطـق الشـمس في الشـكل الآتـي.



المناطق الرئيسية للشمس. يتم تحديد المناطق الموجودة داخل الشمس من خلال كيفية نقل الطاقة من القلب إلى السطح. يتم تحديد مناطق الغلاف الجوي للشمس من خلال كثافتها ودرجة حرارتها.

• باطـــن الشمـــس

ينقسم باطن الشمس إلى ثلاث مناطق رئيسية: منطقة الحمل الحراري، ومنطقة الإشعاع، واللب. تصف الأقسام التالية هذه المناطق.

مناطق الحمل الحراري والإشعاع

تحت الغلاف الضوئي (الفوتوسفير)، السطح المرئي للشمس، الممتد نحو 200000 كيلومتر، هو منطقة الحمل الحراري. تخضع هذه المنطقة لحركة الحمل الحراري (ارتفاع الغاز الساخن وهبوط الغاز البارد) على غرار وعاء من الماء المغلي. الحمل الحراري هو العملية التي تنقل الحرارة من خلال حركة السوائل السائبة.

يتم نقل الطاقة من الطبقة الخارجية للشمس عن طريق الحمل الحراري إلى سطح الشمس حيث يمكن أن تشع إلى الفضاء. أسفل منطقة الحمل الحراري توجد منطقة الإشعاع، حيث يتم نقل الطاقة بشكل أساسي عن طريق الفوتونات الكهرومغناطيسية.

تبدأ منطقة الحمل الحراري حيث يكون تدفق الطاقة الإشعاعية مرتفعًا جدًا بحيث لا يمكن للطاقة أن تشق طريقها بسهولة عبر الغاز، ومن هنا يبدأ الحمل الحراري لنقل الطاقة من خلال الحركات السائبة للمادة الشمسية.

كيف نعرف ما يحدث داخل الشمس؟ وكما ذكرنا سابقًا، قمنا بتطوير نموذج شمسي (النموذج الشمسي القياسي) استنادًا إلى فهمنا الأفضل للفيزياء التي تحدث هناك. تتم مقارنة النموذج بالملاحظات التي يمكننا إجراؤها - بما في ذلك الملاحظات المباشرة لسطح الشمس - والتي تسمح بقياس حركات السطح الداخلية والخارجية.

يتم ملاحظة هذه الحركات أو التذبذبات الشعاعية من خلال التغيرات الدورية في تحولات دوبلر 2 للخطوط الطيفية للغازات في الغلاف الضوئي والكروموسفير. ينزاح التردد الطيفي المرصود (أو لون الضوء المرئي) نحو اللون الأزرق للغاز الذي يتحرك نحو المراقب، ونحو اللون الأحمر للغاز الذي يتحرك بعيدًا.

ترجع حركات سطح الشمس إلى الموجات الصوتية القادمة من باطن الشمس. تنكسر (تنحنى) مناطق مختلفة من الشمس أو تعكس هذه الموجات الصوتية وتحصر حركة الموجات في مناطق محددة. يمكن للمراقبين بعد ذلك استنتاج بنية درجة الحرارة والكثافة الداخلية من سلوك (تردد) هذه التذبذبات.

وهذا مشابه لكيفية استخدام الموجات الزلزالية لاستنتاج البنية الداخلية للأرض. وبسبب هذه التشابهات، فإن مجال استخدام الموجات الصوتية لدراسة باطن الشمس يسمى علم الهليوسيزمولوجيا Helioseismology أو علم الزلازل الشمسية.

النـــــــــــواة

تحـدث التفاعـلات النوويـة الحراريـة في قلـب الشـمس، الـذي يبلـغ عرضـه نحـــو 200000 كيلومتـر. تعمـل هـذه التفاعـلات علـى تزويـد الشـمس بالطاقـة وتطلـق كميـات هائلـة مـن الطاقـة كل ثانيـة.

يمكننـا قيـاس إجمالـي إنتـاج الطاقـة للشـمس عـن طريـق وضـع جهـاز – مثـل خليـة شمسـية – فـوق الغـلاف الجـوي لـلأرض بشـكل عمـودي علـى أشـعة الشـمس وتحديـد مقـدار الطاقـة التـي يتـم اعتراضهـا لـكل متـر مربـع في كل ثانيـة.

وتسـمى هـذه الكميـة مـن الطاقـة بالثابـت الشمسـي، وتبلـغ نحـو 1400 واط للمتـر المربـع. يسـتخدم منـزل سـكني متوسـط في كاليفورنيـا 1600 واط^3 وبالتالـي فـإن الطاقـة التـي يتـم اعتراضهـا بواسـطة مـا يزيـد قليـلاً عـن متـر مربـع واحـد يمكـن أن توفـر الطاقـة الكهربائيـة لأسـرة متوسـطة.

الآن بعـد أن عرفنـا مقـدار الطاقـة الشمسـية التـي تمـر عبـر متـر مربـع فـوق الغـلاف الجـوي لـلأرض في الثانيـة، يمكننـا حسـاب إجمالـي كميـة الطاقـة المنبعثـة مـن الشـمس في كل ثانيـة. هـذه الكميـة، التـي تسـمى اللمعـان، لهـا وحـدات مـن القـوة.

بافتـراض أن الشـمس تشـع الطاقـة بشـكل منتظـم في جميـع الاتجاهـات، يمكننـا أن نتخيـل أن كميـة الطاقـة المعترضـة عنـد متـر مربـع واحـد فـوق الغـلاف الجـوي لـلأرض هـي نفـس كميـة الطاقـة المعترضـة عنـد أي متـر مربـع مـن كـرة خياليـة يوجـد في مركزهـا الشـمس ونصـف قطرهـا هـو المسـافة مـن الشـمس إلـى الأرض.

الآن كل مـا علينـا فعلـه هـو جمـع كل الأمتـار المربعـة التـي تغطـي سـطح تلـك الكـرة. مسـاحة سـطح الكـرة هـي $4\pi r^2$. وبالتالـي فـإن إجمالـي كميـة الطاقـة

المنبعثة من الشمس في الثانية هي الثابت الشمسي مضروبًا في مساحة الكرة التي نصف قطرها هو المسافة بين الشمس والأرض (1400 واط $m^{-2} \times 4\pi$ (1 $(AU)^2$)، تقريبًا 4×10^{26} واط.

على الرغم من أن لمعان الشمس هو نموذجي للنجوم الأخرى التي تراها في السماء، إلا أن الشمس تبدو أكثر سطوعًا (وأكبر) لأنها أقرب إلينا بكثير حتى من أقرب جيراننا النجميين.

ولتوضيح مقدار سطوعها، تبعث الشمس نفس كمية الطاقة في ثانية واحدة التي ستنتجها الأرض بالمعدل الحالي خلال أكثر من 900000 عام. وبعبارة أخرى، تبعث الشمس ما يعادل 100 بليون قنبلة نووية كل ثانية. وغني عن القول إنه لا شيء على الأرض يضاهي الكميات الهائلة من الطاقة التي تنتجها الشمس في كل ثانية.

والسؤال الطبيعي الذي كان يحير العلماء حتى القرن العشرين هو: من أين تحصل الشمس على هذه الطاقة؟ واحدة من أكبر المساهمات في فهمنا لمصدر طاقة الشمس كانت معادلة أينشتاين الشهيرة، $E = mc^2$، والتي تخبرنا أن الطاقة تساوي الكتلة في مربع سرعة الضوء أو، فيزيائيًا، أن الكتلة والطاقة مرتبطان ارتباطًا وثيقًا.

إن سرعة الضوء بحد ذاتها رقم كبير جدًا [3×10^8 متر/ ثانية] ومربع هذا الرقم ضخم. لذلك، حتى كمية صغيرة من الكتلة تعادل كمية كبيرة من الطاقة.

أدت صيغة أينشتاين البسيطة إلى تطوير مفهوم الاندماج النووي، المعروف الآن بأنه الآلية الوحيدة لتوليد الطاقة القادرة على إنتاج كميات هائلة من الطاقة المنبعثة من الشمس. في هذه العملية يتم دمج النوى الخفيفة في نوى أثقل.

تؤدي درجات الحرارة المرتفعة في نواة الشمس إلى تجريد الإلكترونات من نوى الذرات (معظمها هيدروجين) بحيث تكون هناك بروتونات (أو نوى هيدروجين) تدور حول نواة الشمس.

في بعض الأحيان يتصادم بروتونان، مما يؤدي إلى بدء عملية تسمى سلسلة بروتون-بروتون والتي تؤدي في النهاية إلى نواة هيليوم واحدة. يحوي الهيليوم على بروتونين ونيوترونين، وبالتالي فإن كتلته الذرية تبلغ أربعة. يتم تصنيعه عن طريق دمج أربعة بروتونات معًا.

إذا قارنت كتلة أربعة بروتونات مع كتلة نواة الهيليوم، ستجد أن هناك تناقضا. نواة الهيليوم أخف قليلاً. أين ذهبت المادة المفقودة؟ وتحول إلى طاقة حسب صيغة أينشتاين.

يبلغ الفرق في الكتلة نحو 0.0477×10^{-27} كغ - ليس كثيرًا - ولكن عند تحويله إلى طاقة فإنه يعادل 4.3×10^{-12} جول. لذلك، دمج 1 كجم من الهيدروجين معًا (وتحويل جزء صغير من كتلته إلى طاقة) يمكن أن تولد 6.4×10^{14} جول (أو كمية الطاقة التي ستولدها الأرض عند المستويات الحالية خلال الـ 1600 سنة القادمة - يمكنك تقدير وعد الاندماج النووي لحل احتياجاتنا من الطاقة).

ولتوليد طاقة كافية لمراعاة سطوع الشمس الحالي، يجب عليك تحويل 600 مليون طن من الهيدروجين إلى هيليوم في كل ثانية. وهذه كتلة كبيرة، ولكنها قليلة جدًا مقارنة بالكتلة الإجمالية للشمس. تنبعث الطاقة الناتجة عن الاندماج النووي على شكل أشعة غاما - وهي أعلى أشكال الإشعاع الكهرومغناطيسي طاقة.

عندما تشق فوتونات أشعة جاما طريقها عبر الشمس، حيث تتصادم وتمتصها ثم تنبعث من جديد بواسطة المادة الموجودة في الشمس، فإنها تفقد الطاقة. وفي نهاية المطاف، تترك الطاقة الغلاف الضوئي، وغالبًا ما تكون على شكل ضوء مرئي. يتم نقل كمية صغيرة من الطاقة بواسطة النيوترينوات كمنتج ثانوي لعملية الاندماج.

تتحرك هذه الجسيمات دون الذرية (اسم النيوترينوات مشتق من الكلمة الإيطالية النيوترينو التي تعني «الجسيم الصغير المحايد») بسرعة الضوء بشكل أساسي وتهرب فعليًا من الشمس دون أي تفاعلات. إنها تتفاعل بشكل ضعيف جدًا لدرجة أنها تمر عبرك ومن خلال الأرض بشكل مستمر (في الواقع، يمكنها المرور عبر عدة سنوات ضوئية من الرصاص).

ومع ذلك، فقد قمنا بتطوير أدوات حساسة يمكنها اكتشاف جزء صغير جدًا من النيوترينوات التي تعترض الأرض. وقد ساعدت هذه القياسات في تأكيد فهمنا للعمليات التي تحدث في قلب الشمس.

الغـــلاف الجـــوي الشمـــسي

يتكون الغلاف الشمس من عدة طبقات نوردها فيما يأتي:

الفوتوسفير

السطح المرئي للشمس - الغلاف الضوئي Photosphere (فوتو مأخوذة من الكلمة اليونانية التي تعني «الضوء») - معتم للضوء المرئي، وبالتالي نرى حافة حادة. ومع ذلك، بما أن الشمس مكونة من غاز، فليس لها سطح صلب.

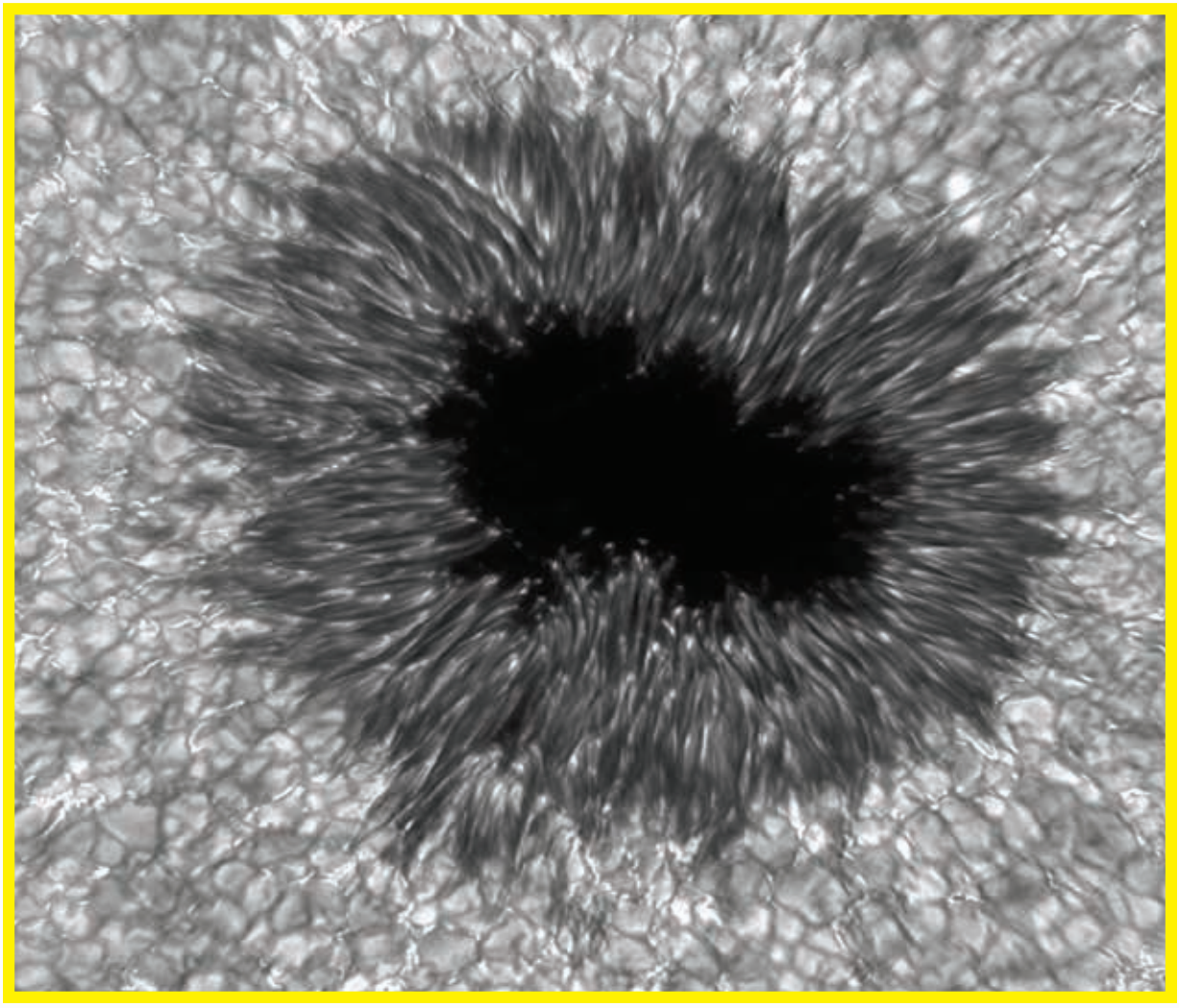
لاحظ جاليليو لأول مرة بشكل منهجي السطح المرئي للشمس في نحو عام 1609م. وقد رسم جاليليو سطح الشمس وأوضح أن الشمس تحوي على بقع (يتزايد عددها ويتضاءل على مدار دورة شمسية مدتها 11 عامًا). ومن المعروف الآن أن هذه البقع الشمسية هي مناطق ذات مجال مغناطيسي قوي.

تظهر البقع الشمسية أغمق من السطح الشمسي المحيط بها لأنها أكثر برودة قليلاً (عادةً 4500 كلفن مقارنة بـ 5800 كلفن للغلاف الضوئي المحيط بها). يبلغ عرضها عادةً نحو 10000 كيلومتر (نصف قطر إلى ثلاثة أنصاف أقطار الأرض) ويمكن أن تستمر لأسابيع.

وكما ذكرنا في المقدمة، فقد استخدم غاليليو البقع الشمسية لتقدير معدل دوران الشمس. تستغرق الشمس نحو شهر لتكمل دورة كاملة. تم استخدام البقع الشمسية بواسطة ريتشارد كارينجتون بعد 250 عامًا من اكتشاف جاليليو لأول مرة لدوران الشمس لتحديد أن الشمس تدور بشكل تفاضلي (أي أنها تتحرك بسرعات مختلفة عند خطوط عرض شمسية مختلفة).

يدور خط الاستواء بشكل أسرع من القطبين، حيث يبلغ معدل دورانه عند خط الاستواء نحو 25 يومًا، بينما يدور القطبان كل 36 يومًا. متوسط معدل الدوران الأكثر أهمية بالنسبة للأرض هو نحو 27 يومًا.

تُظهر الصور عالية الدقة للغلاف الضوئي (في الشكل التالي) أن السطح المرئي للشمس مرقط للغاية، مع وجود مناطق داكنة وخفيفة تسمى الحبيبات. التحبيب الشمسي هو Solar Granulation دليل مباشر على الحمل الحراري الشمسي.



صورة عالية الدقة للغلاف الضوئي تظهر فيها البقع الشمسية. توفر الميزات الأصغر، والتي تسمى التحبيب الشمسي، دليلاً على الحمل الحراري.

تُظهر المناطق الساطعة تحولًا أزرق دوبلر يشير إلى الحركة الصعودية. تُظهر المناطق المظلمة تحولًا أحمر يشير إلى الحركة للأسفل نحو باطن الشمس. يبلغ عرض المناطق المضيئة نحو 1000 كيلومتر (أو بحجم ولاية تكساس في الولايات المتحدة تقريبًا). تأتي النقاط المضيئة وتختفي لمدة تتراوح من 5 إلى 10 دقائق تقريبًا. عادة ما تكون النقاط المضيئة أكثر سخونة بنحو 500 كلفن من المناطق المظلمة.

بالإضافة إلى هذا التحبيب الدقيق، هناك ملاحظات عن التحبيب الفائق بأحجام تصل إلى عشرات الآلاف من الكيلومترات (أو عدة أنصاف أقطار الأرض). يُعتقد أن هذه الحبيبات الفائقة هي علامة الحمل الحراري على نطاق أوسع في منطقة الحمل الحراري الخارجية.

الكروموسفير

تسمى المنطقة الواقعة فوق الغلاف الضوئي مباشرة بالكروموسفير Chromosphere. ويتميز الكروموسفير، الذي يبلغ سمكه نحو 1500 كيلومتر، بدرجة حرارة أعلى من درجة حرارة الغلاف الضوئي (نحو 10000 كلفن مقارنة بدرجة حرارة الغلاف الضوئي البالغة 5800 كلفن).

تم اكتشاف عنصر الهيليوم (هيليوس كلمة يونانية تعني الشمس) في الغلاف اللوني قبل اكتشافه على الأرض. تنخفض كثافة البلازما (وبالتالي كمية الضوء المنبعثة) بسرعة مع الارتفاع في الغلاف اللوني.

لذلك، فإن الكروموسفير غير مرئي على الخلفية الساطعة للغلاف الضوئي. ومع ذلك، فقد عرف العلماء عن الكروموسفير منذ فترة طويلة من خلال مراقبة كسوف الشمس الكلي.

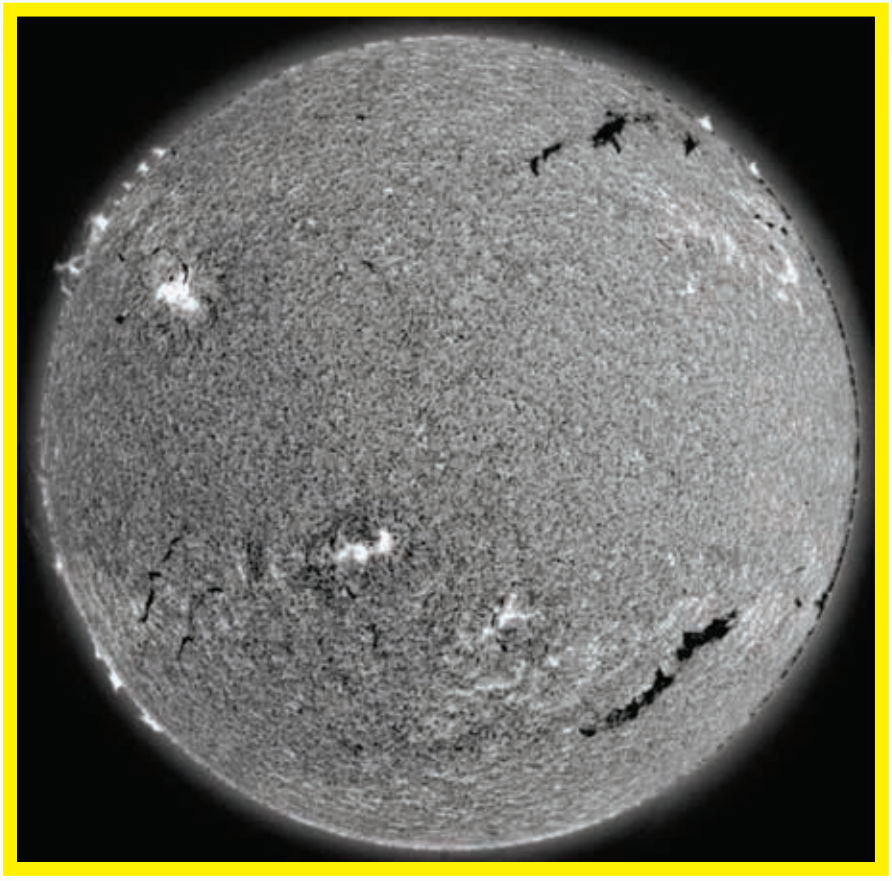
عندما يحجب القمر الغلاف الضوئي اللامع، يصبح الغلاف اللوني مرئيًا بلونه المحمر المميز بسبب خط انبعاث الهيدروجين ألفا H-alpha (Hα). يرتبط Hα، الذي يشير إلى انتقال إلكتروني محدد داخل الهيدروجين، بطول موجي فريد من الضوء المرئي.

يمكن أن يكون الغلاف الكروموسفيري ديناميكيًا للغاية مع وجود نفاثات غازية ساخنة (شويكات) تمتد عاليًا فوق السطح. ويمكن أن تمتد لآلاف الكيلومترات فوق سطح الشمس، وهي مصنوعة من المواد التي تم طردها من السطح بسرعات تتراوح بين 20 إلى 100 كيلومتر في الثانية. تتناسب درجة حرارة الكروموسفير عكسيا مع الكثافة، لذلك فهي تزيد بسرعة مع الارتفاع.

عندما يتم رؤية الشمس من خلال مرشح خاص يسمح فقط للضوء Hα بالمرور، تصبح مجموعة كبيرة من الميزات واضحة (كما في الشكل الآتي). شبكات الكروموسفير هي أنماط شبيهة بالويب يُنظر إليها بسهولة على أنها انبعاثات ساطعة في Hα. تحدد هذه الشبكات الخلايا فائقة التحبيب المذكورة أعلاه.

تميل الشويكات Spicules والبروزات الشمسية Solar Prominences إلى الوجود عند حواف هذه الخلايا. تظهر أيضًا خيوط داكنة ضيقة جدًا وخيوط ساطعة (تسمى بلاجات Plages وهي مأخوذة عن كلمة فرنسية تعني الشاطئ) في Hα.

غالبًا ما تتميز البلاجات التي يتم رصدها فوق طرف الشمس، والتي تسمى البروزات، بمظهرها الذي يشبه الحلقة. ترسم الحلقات المجال المغناطيسي الشمسي، والمجال المغناطيسي هو ما يقيد حركة الغاز اللامع.



رصدت الشمس في ضوء الهيدروجين ألفا.

ترتفع درجة الحرارة فوق الكروموسفير بشكل كبير مع الارتفاع في منطقة انتقالية رقيقة نسبيًا. وفوق هذا يوجد الغلاف الجوي الخارجي للشمس، والذي يسمى الإكليل الشمسي Solar Corona، والذي يمكن رؤيته أثناء كسوف الشمس ومن التلسكوبات الخاصة التي تسمى كوروناغراف.

تتوسع الإكليل (التي تعني التاج باللاتينية) إلى الفضاء بسرعة تفوق سرعة الصوت. ويسمى الغاز الشمسي الذي يهرب إلى الفضاء بين الكواكب بالرياح الشمسية.

الديناميات والعمليات

1. المغناطيسية الشمسية

يمكن تحديد قوة المجال المغناطيسي لمناطق مختلفة من الشمس باستخدام التحليل الطيفي باستخدام تأثير زيمان الذي اكتشفه بيتر زيمان في عام 1896م. وفي وجود مجال مغناطيسي، سيتم تقسيم الخطوط الطيفية للغاز إلى مكونين أو أكثر.

يعتمد التردد الفعلي للخطوط الطيفية على قوة المجال المغناطيسي. هذا الاكتشاف حصل زيمان ومعلمه السابق (لورنتز) على جائزة نوبل في الفيزياء عام 1902م وسمح بالقياس المباشر للمجال المغناطيسي لسطح الشمس لأول مرة.

وباستخدام هذه التقنية، نعلم أن المجال المغناطيسي داخل البقعة الشمسية أقوى بنحو 1000 مرة من المجال المغناطيسي الموجود في السطح الشمسي الطبيعي المحيط بها. بالإضافة إلى ذلك، يتم توجيه الحقول إما داخل أو خارج السطح الشمسي وليست موجهة بشكل عشوائي.

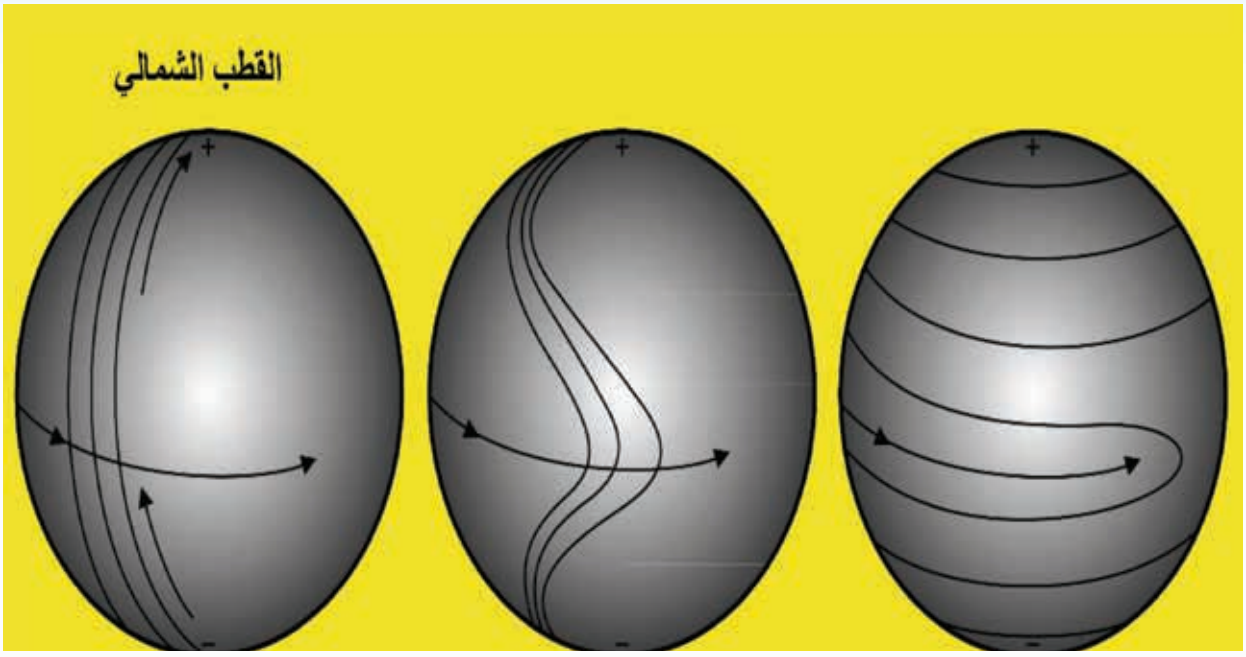
المجالات المغناطيسية لها اتجاه وحجم. على سبيل المثال، يحوي المغناطيس على قطب شمالي وجنوبي، ويتم تعريف القطب الشمالي على أنه الجانب الذي يتحرك فيه المجال المغناطيسي بعيدًا عن المغناطيس والقطب الجنوبي حيث يتم توجيه المجال نحو المغناطيس.

ويعتقد أن الحقول القوية المرتبطة بالبقع الشمسية تتداخل مع الحمل الحراري الطبيعي للشمس، وبالتالي يمكن أن يبرد الغاز ويظهر أغمق من المناطق المحيطة به. كل بقعة شمسية عمومًا لها قطبية واحدة (أو اتجاه المجال المغناطيسي)، وعادةً ما تظهر في أزواج ذات قطبية متعاكسة.

تشكل القطبية الشمالية (أو المجال المغناطيسي الموجه نحو الخارج) حلقة حول سطح الشمس ثم تغوص في البقع الشمسية القطبية الجنوبية (الموجهة نحو الداخل). على الرغم من أن البقع الشمسية غالبًا ما يكون لها مظهر غير منتظم، إلا أن اتجاهات المجال المغناطيسي تظهر قدرًا كبيرًا من النظام.

جميع أزواج البقع الشمسية في نصف الكرة الشمسي لها نفس التكوين المغناطيسي. على وجه التحديد، عندما تكون البقعة الرائدة (المقاسة في اتجاه دوران الشمس) لها قطبية شمالية، فإن جميع النقاط الرائدة في نصف الكرة الأرضية سيكون لها قطبية شمالية.

علاوة على ذلك، فإن جميع أزواج البقع الشمسية في نصف الكرة المعاكس سيكون لها اتجاه معاكس (جنوبًا متقدمًا). هذا الترتيب للمجال الشمسي يرجع إلى الدوران التفاضلي للشمس. تذكر أن الشمس تدور بشكل أسرع عند خط الاستواء منها عند القطبين. كما هو موضح في الشكل الآتي، يؤدي هذا الدوران التفاضلي إلى التواء المجال المغناطيسي الشمسي الكلي.



تدور الشمس بشكل أسرع عند خط الاستواء منها عند القطبين. وهذا ممكن لأن الشمس عبارة عن كرة من الغاز. تُظهر اللوحات الثلاث تأثير الدوران التفاضلي على المجال المغناطيسي للشمس.

2. المناطق النشطة للطاقة الشمسية

ترتبـط العديـد من أزواج البقع الشمسية بإطلاقـات متفجـرة للطاقـة مـن الغـلاف الضوئـي. تسـمى مجـالات النشـاط هـذه ببسـاطة المناطـق النشـطة Active Regions.

على الرغم من أن الآليات الدقيقة التي تسبب الإطلاق الانفجاري للطاقة من سطح الشمس غير معروفة، إلا أننا نعلم أنها مرتبطة بالتحويل السريع للطاقة المغناطيسية إلى طاقة حركية للجسيمات. ويحدث هذا التحويل في مناطق ذات مجالات مغناطيسية قوية، وغالبًا ما يؤدي التواء المجال المغناطيسي السطحي إلى إطلاق سريع للطاقة.

البروز هو مثال على إطلاق الطاقة هذا. مثال آخر، التوهجات الشمسية، هي أكثر نشاطا بكثير من الشواظ. تطلق التوهجات كميات هائلة من الطاقة في بضع دقائق ويمكن أن تصل درجات الحرارة إلى 100 مليون كلفن (أكثر سخونة حتى من قلب الشمس).

وتعادل هذه الطاقة انفجار مئات الملايين من الميجا طن من القنابل الهيدروجينية في نفس الوقت. إن طاقة هذه التوهجات شديدة للغاية لدرجة أن الجسيمات المشحونة التي تشكل الغلاف الجوي الشمسي تنفجر في الفضاء - بعضها بسرعة الضوء تقريبًا.

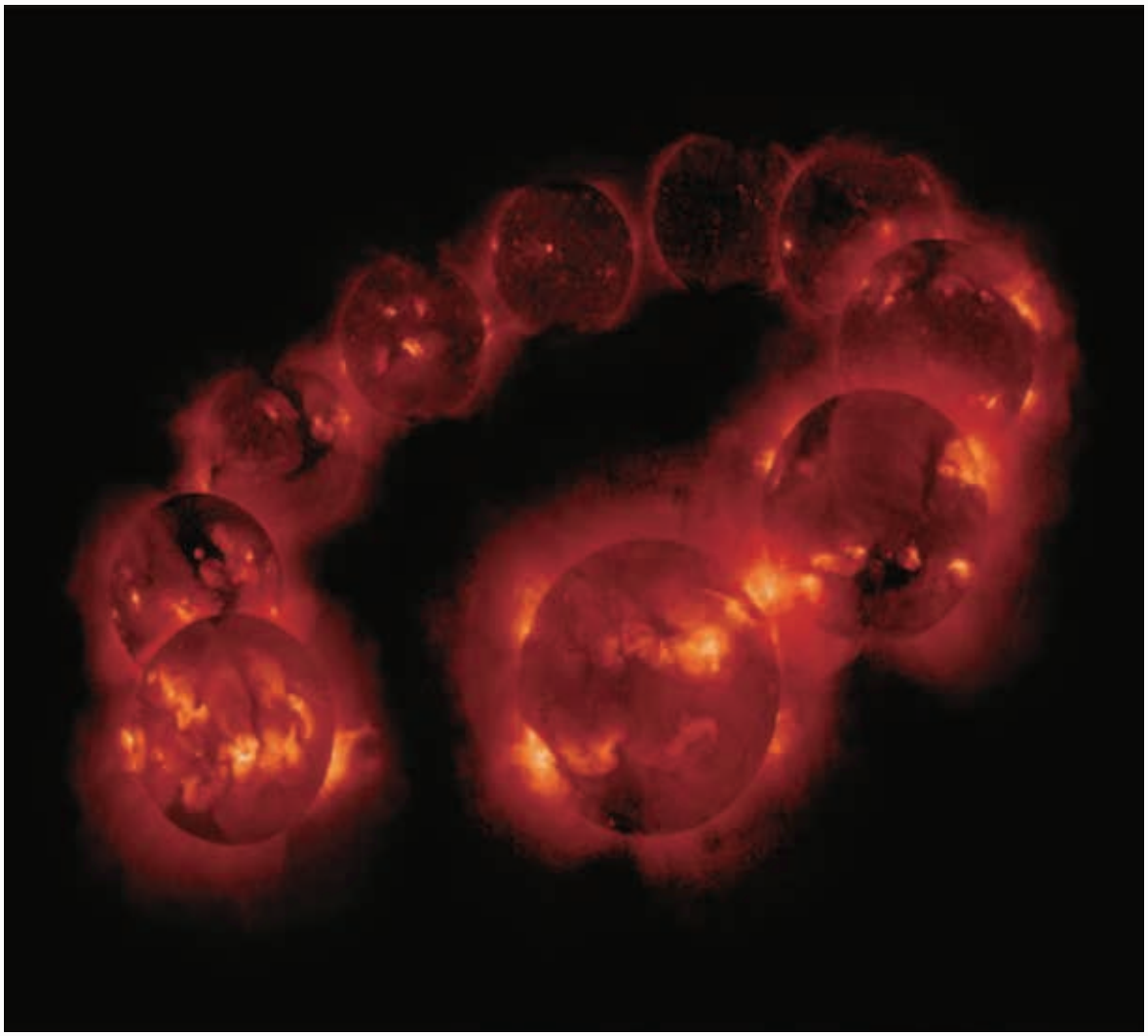
بالإضافة إلى ذلك، يتوهج الغاز الساخن بجميع الأطوال الموجية بما في ذلك الأشعة السينية. يتم إطلاق هذه الجسيمات النشطة والإشعاع الكهرومغناطيسي إلى الفضاء بين الكواكب، وغالبًا ما يمكن أن تؤثر على البيئة الفضائية للأرض، وهو أحد أسباب الطقس الفضائي.

3. الدورة الشمسية

عدد البقع الشمسية على الشمس يتزايد ويتضاءل خلال دورة شمسية مدتها 11 عامًا. نظرًا لأن البقع الشمسية مرتبطة بالنشاط الشمسي (أي التوهجات وغيرها من الإطلاقات السريعة للطاقة التي يمكنها تسخين مناطق محلية من الغلاف الجوي للشمس إلى عدة ملايين من الدرجات كلفن)، فإن الدورة الشمسية تصف أيضًا مستوى نشاط الشمس وتقلبها.

يُظهر الشكل الآتي صورة أشعة سينية للشمس التقطها القمر الصناعي الياباني يوهكو على مدار دورة شمسية مدتها 11 عامًا. تُظهر كل لقطة للشمس

بنية الغلاف الجوي للشمس بالأشعة السينية في يوم معين، لقطة واحدة سنويًا. تُظهر كل لقطة للشمس بنية الغلاف الجوي للشمس بالأشعة السينية في يوم معين، لقطة واحدة سنويًا.

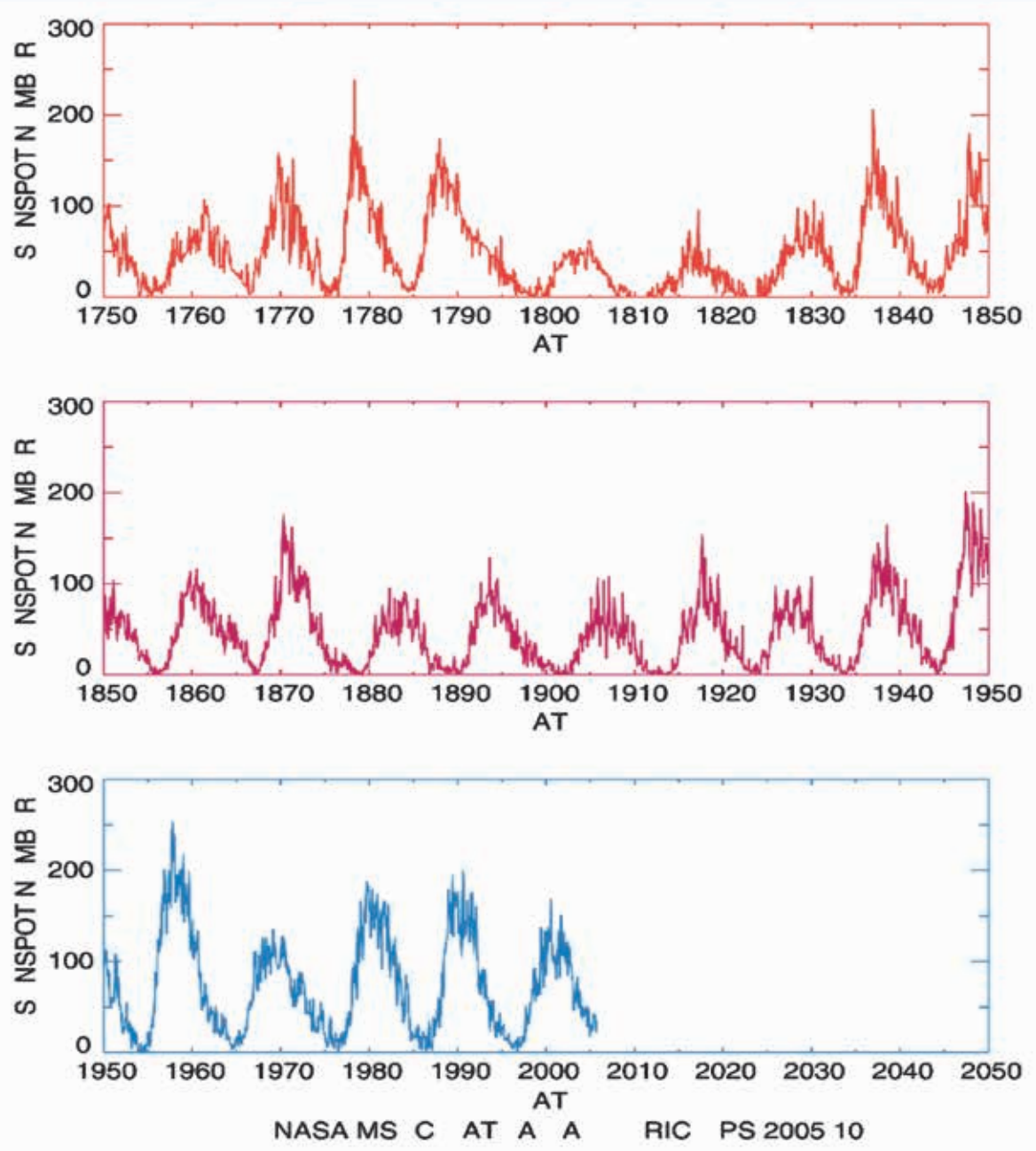


أمكن رصد الشمس في الأشعة السينية خلال الدورة الشمسية بواسطة القمر الصناعي يوكوه. لاحظ أنه خلال الحد الأقصى للطاقة الشمسية، تكون الشمس مشرقة ومبنية في الأشعة السينية، بينما في الحد الأدنى للطاقة الشمسية، تكون الشمس مظلمة بشكل أساسي في الأشعة السينية.

لاحظ أن كمية الأشعة السينية تزداد وتتناقص خلال هذه الدورة الشمسية – مع مقدار الوقت من الفاصل الزمني الأكثر نشاطًا أو طاقة (يسمى الحد الأقصى للطاقة الشمسية) إلى الوقت الأقل نشاطًا (الحد الأدنى للطاقة الشمسية) وهو ما يقرب من خمس إلى ست سنوات. والأشعة السينية هي إشعاع كهرومغناطيسي نشط للغاية، وتنشأ عندما يتم تسخين الغاز إلى نحو مليون درجة كلفن.

لاحظ أنه خلال فترة الذروة الشمسية، يحوي الغلاف الجوي للشمس على العديد من الأماكن التي تنبعث منها الأشعة السينية الساطعة، بينما في حالة الحد الأدنى للطاقة الشمسية، يكون الغلاف الجوي للشمس أسودًا بشكل أساسي في الأشعة السينية، مما يشير إلى أن تسخين الغلاف الجوي العلوي للشمس قليل جدًا مكان. لاحظ أيضًا أن انبعاث الأشعة السينية لا يأتي من سطح الشمس، بل من الغلاف الجوي فوق الغلاف الضوئي.

وقد استمرت هذه الدورة لعدة قرون. يوضح الشكل الآتي عدد البقع الشمسية التي تمت ملاحظتها على الشمس منذ القرن التاسع عشر، عندما تم رصد البقع الشمسية يوميًا من عدد من المراصد الشمسية المختلفة.



عدد البقع الشمسية التي لوحظت على الشمس منذ القرن التاسع عشر. لاحظ دورية حدوث البقع الشمسية التي تبلغ 11 عامًا تقريبًا، وهو ما يسمى بدورة البقع الشمسية.

يتغير عدد البقع الشمسية على الشمس باستمرار – عادةً ما يكون عمر البقع الشمسية من يوم واحد إلى 100 يوم – لكن العدد الإجمالي للبقع الشمسية يتغير مع هذه الدورة شبه المنتظمة التي تبلغ 11 عامًا.

تذكر أن البقع الشمسية هي مناطق ذات مجالات مغناطيسية مكثفة، ويشير الاختلاف في عددها إلى أن المجال المغناطيسي للشمس يتغير أيضًا. في الواقع، يتغير هيكل واتجاه المجال المغناطيسي للشمس على مدى دورة مدتها 22 عامًا مع انعكاس قطبية مجال الشمس خلال هذه الفترة الزمنية.

ينشأ المجال المغناطيسي للشمس وتعديله بواسطة دينامو الشمس، والذي يتم تشغيله بواسطة الدوران التفاضلي للشمس وعمليات الحمل الحراري الشمسية.

أثناء الحد الأدنى من الطاقة الشمسية، يكون مجال الشمس بسيطًا نسبيًا ومنظمًا بشكل جيد ويشبه المجال المغناطيسي ثنائي القطب، حيث يخرج المجال المغناطيسي من نصف الكرة الأرضية ويدخل في النصف الآخر.

على مدى السنوات الخمس إلى الست القادمة، عندما تقترب الشمس من الحد الأقصى للطاقة الشمسية، يختفي التكوين ثنائي القطب اللطيف ببطء وتصبح الشمس غير منظمة مغناطيسيًا ومهيكلة للغاية.

بعد تجاوز الحد الأقصى للطاقة الشمسية، على مدى السنوات الخمس إلى الست القادمة، يصبح المجال المغناطيسي مرة أخرى أكثر تنظيما وأكثر ثنائي القطب.

في وقت مبكر من هذا التحول، يمكن أن يكون ميل المجال ثنائي القطب الضعيف كبيرًا جدًا بالنسبة لمحور دوران الشمس، ولكن مع اقتراب الحد الأدنى للطاقة الشمسية، يصبح اتجاه محور ثنائي القطب أكثر توافقًا مع محور الدوران.

عندما يتم إعادة تشكيل المجال ثنائي القطب، يصبح له قطبية معاكسة للقطب السابق. هذا التغير في القطبية هو ما يحدد الدورة المغناطيسية للشمس التي تستمر 22 عامًا، والتي تسمى أحيانًا الدورة الشمسية المزدوجة أو دورة هيل Hale7 cycle 7. أزواج البقع الشمسية القطبية تتبع أيضًا هذه الدورة.

خلال السنوات الـ 11 الأولى من الدورة المغناطيسية، كانت البقع الرائدة في نصف الكرة الأرضية المعينة دائمًا لها نفس القطبية، وهو عكس قطبية البقعة الرائدة في نصف الكرة الآخر. ثم تنعكس أقطاب البقع الشمسية لمدة 11 عامًا.

وبما أن مقدار النشاط الشمسي يتبع هذه البقع الشمسية أو الدورة الشمسية، فمن المتوقع أن يتبع عدد الاضطرابات الشمسية التي تؤثر على الأرض هذه الدورة أيضًا. هذا هو بالضبط ما يحدث. ولذلك، فإن الطقس الفضائي له «فصول»، حيث يشير الحد الأقصى للطاقة الشمسية إلى احتمال قوي لطقس فضائي شديد، بينما يشير الحد الأدنى للطاقة الشمسية إلى طقس فضائي هادئ في الغالب.

يصف الفصل التالي الغلاف الجوي الخارجي للشمس – الإكليل الشمسي والرياح الشمسية. تقع الأرض في الغلاف الجوي الخارجي للشمس، وبالتالي فإن بيئتنا الفضائية مرتبطة ارتباطًا وثيقًا ببنية الشمس وديناميكياتها.

في الحقيقة إننا نعيش في الغلاف الجوي الخارجي للشمس.

البيئـــة الفضائيـــة للأرض

على ارتفاع 100 كيلومتر تقريبًا فوق سطح الأرض، تصبح كمية الغاز المتأين ملحوظة. ونظرًا لأن الغاز المتأين مشحون كهربائيًا، فإنه يشعر بتأثير المجال المغناطيسي للأرض، والذي يلعب دورًا مهمًا في توجيه حركة الجسيمات المشحونة في الفضاء القريب من الأرض.

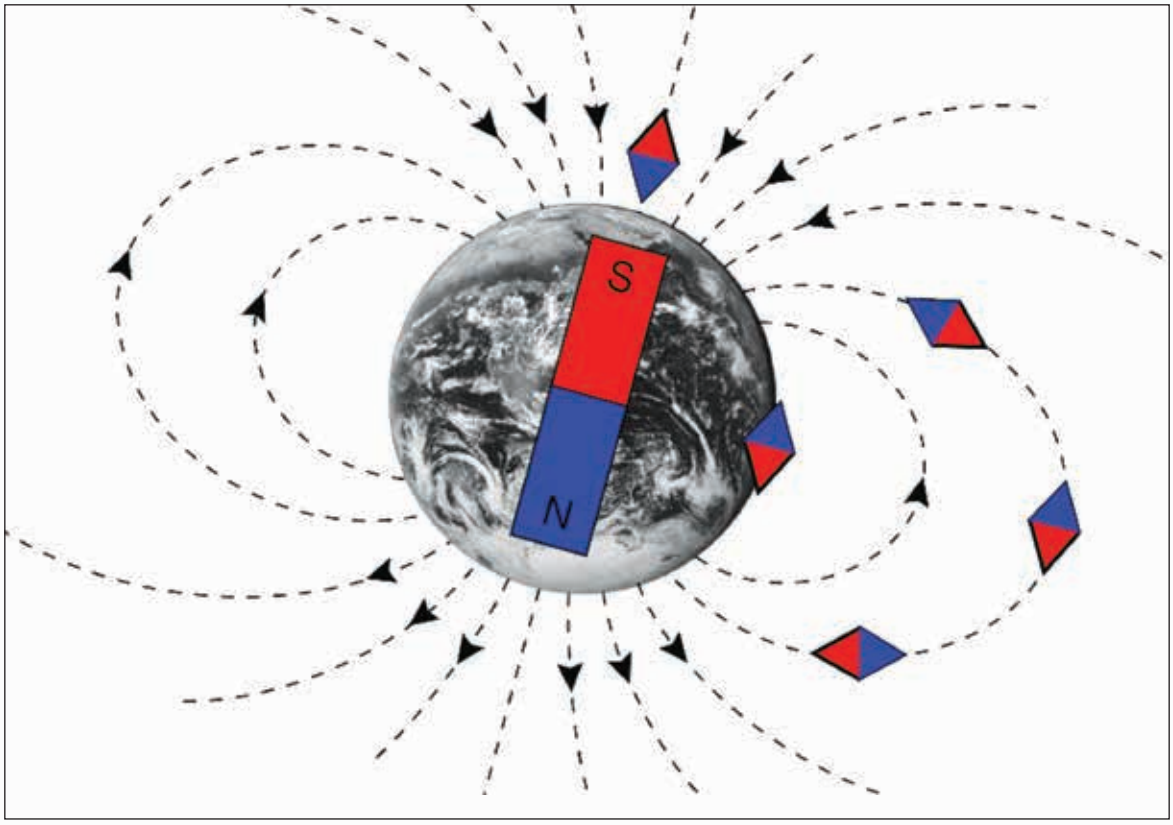
من خلال تفاعله مع الرياح الشمسية الممغنطة، يشارك المجال المغناطيسي للأرض بشكل وثيق في اقتران أو نقل الطاقة والزخم من الشمس إلى بيئتنا الفضائية. إن اتصال الغلاف المغناطيسي بالشمس هو جوهر الطقس الفضائي.

• المجال المغناطيسي ثنائي القطب

المجالات المغناطيسية هي مجالات قوة حول المغناطيس أو التيارات الكهربائية أو الجسيمات المشحونة المتحركة التي تمارس قوة على مغناطيسات أخرى أو تيارات كهربائية أو جسيمات مشحونة متحركة. بسبب حركة الحديد المنصهر داخل الأرض، يحيط به مجال مغناطيسي قوي نسبيًا.

مثل المجال المغناطيسي في أزواج البقع الشمسية أو المغناطيس، ينبثق المجال المغناطيسي للأرض من أحد نصفي الكرة الأرضية باتجاه معين ويشير نحو نصف الكرة المعاكس.

بشكل عام، بالنسبة للمجالات المغناطيسية المنبعثة من أشياء مثل المغناطيس، يتم تعريف القطب الشمالي على أنه القطب الذي يشير فيه المجال المغناطيسي إلى الخارج والقطب الجنوبي حيث يشير إلى الداخل. تخيل وجود مغناطيس داخل الأرض حيث يشير القطب المغناطيسي الشمالي إلى الجنوب والقطب المغناطيسي الجنوبي إلى الشمال (انظر الشكل الآتي).



تمتلك الأرض مجالًا مغناطيسيًا ثنائي القطب له نفس شكل المغناطيس العادي. حيث يشار إلى اتجاه كل خط مجال؛ يمثل التباعد بين السطور قوة المجال. لاحظ أن المجال أقوى عند القطبين منه عند خط الاستواء.

هـذا هـو تكويـن المجـال المغناطيسـي لـلأرض. لتجنـب الخلـط بـين القطـب الجغـرافي الشـمالي لـلأرض وقطبهـا الشـمالي المغناطيسـي، تم تعريـف القطـب المغناطيسـي الشـمالي بأنـه يقـع في نصـف الكـرة الشـمالي.

يتـم هـذا الاختـلاف المحتمـل بـين الأرض والمغناطيـس بحيـث يكـون القطـب المغناطيسـي الشـمالي للأرض في نفس نصف الكرة الأرضية مثل القطب الجغرافي الشـمالي. نحـن نسـمي النقطـة التـي يخـرج فيهـا المجـال المغناطيسـي مباشـرة مـن

الأرض بالقطب المغناطيسي الجنوبي، والنقطة التي يتجه فيها مباشرة إلى الأرض بالقطب المغناطيسي الشمالي.

ويشار إلى هذا المجال المغناطيسي باسم ثنائي القطب ("di" هي كلمة لاتينية تعني اثنين). لا يقع القطبان المغناطيسيان للأرض في نفس مكان القطبين الجغرافيين الشمالي والجنوبي، اللذين يتم تحديدهما بواسطة محور دوران الأرض. يميل المحور ثنائي القطب المغناطيسي بنحو 11° بالنسبة لمحور الدوران.

قوة المجال المغناطيسي ثنائي القطب أكبر مرتين عند القطب المغناطيسي منها عند خط الاستواء وتتساقط بسرعة كبيرة مع المسافة؛ تتناقص قوة المجال عند خط الاستواء بمقدار مكعب المسافة:

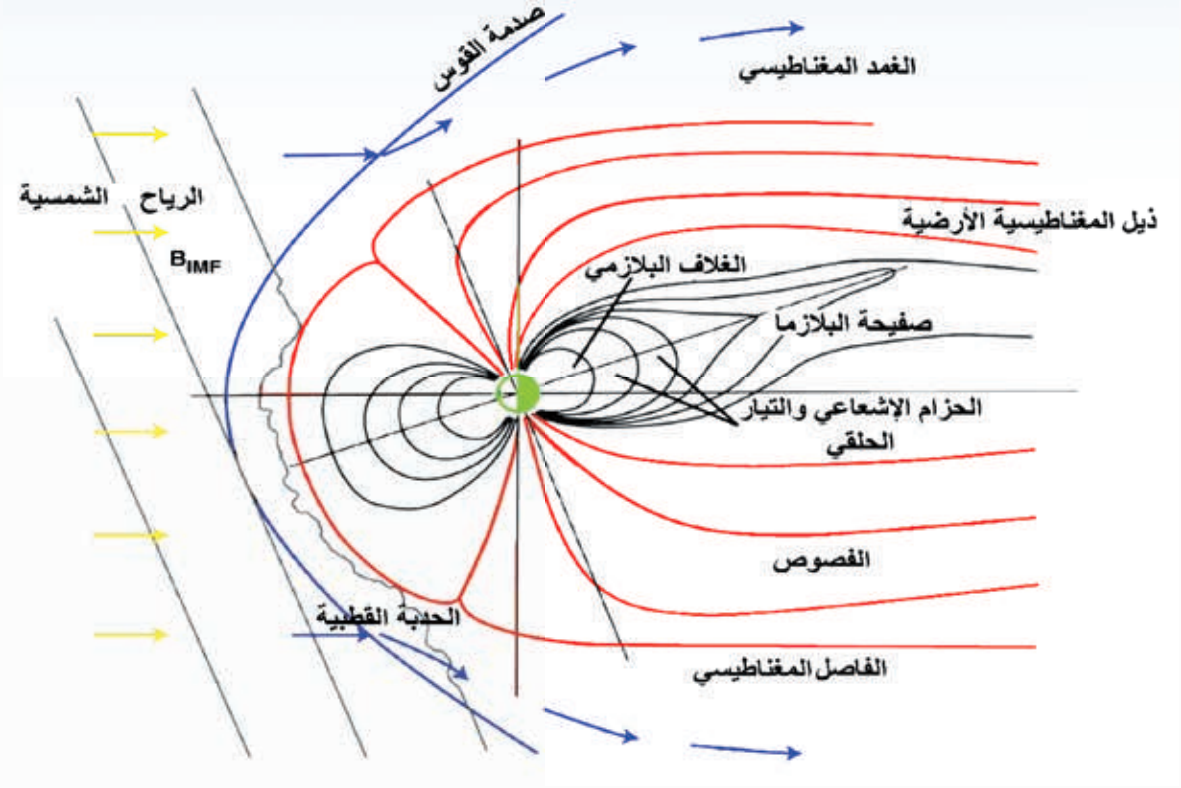
$$\left(|B| \propto \left(\frac{1}{r^3}\right)\right)$$

لقد استكشفت الأقمار الصناعية المزودة بأدوات تقيس قوة واتجاه المجالات المغناطيسية جزءًا كبيرًا من الفضاء المحيط بالأرض وجميع الكواكب. لقد تحققت هذه المهمات من الطبيعة ثنائية القطب للأرض والكواكب الأخرى ذات المجالات المغناطيسية (عطارد والمشتري وزحل وأورانوس ونبتون).

• بنية الغلاف المغناطيسي الداخلي

يُظهر الشكل الآتي مقطعًا عرضيًا للغلاف المغناطيسي Magnetosphere في خط الطول من الظهيرة إلى منتصف الليل، مع وجود الشمال في الأعلى والشمس على اليسار. يتم تسمية مناطق الغلاف المغناطيسي. لاحظ أن المجال المغناطيسي يشبه ثنائي القطب بالقرب من الأرض.

تسمى المنطقة ثنائية القطب للغلاف المغناطيسي للأرض بالغلاف المغناطيسي الداخلي. على الجانب الليلي عند المدار المتزامن مع الأرض (6.6 نصف قطر الأرض (r_E) من مركز الأرض)، تصبح خطوط المجال المغناطيسي ممتدة إلى تكوين طويل يشبه الذيل. إن تفاعل المجال المغناطيسي للأرض مع الرياح الشمسية هو المسؤول عن تشويه مجالها ثنائي القطب. تسمى المناطق غير ثنائية القطب بالغلاف المغناطيسي الخارجي.



مقطع عرضي من الظُّهر إلى منتصف الليل من الغلاف المغناطيسي للأرض. لاحظ الشكل ثنائي القطب للغلاف المغناطيسي الداخلي. الشمس (وبالتالي الظهر) تقع على اليسار والشمال للأعلى.

تحيط بالأرض مباشرة منطقة من البلازما الباردة (نحو 1 إلكترون فولت)، والبلازما الكثيفة (عشرات إلى الآلاف من الجسيمات لكل سم$^{-3}$) والتي تدور بشكل أساسي مع الأرض، وتسمى هذه المنطقة بالغلاف البلازمي Plasmasphere.

eV هو مقياس للطاقة الحركية. بالنسبة للبروتون، 1 فولت يتوافق مع سرعة تبلغ نحو 14 كيلومترًا في الثانية. الكثافة في الفضاء أقل بكثير منها على سطح الأرض. تبلغ كثافة الهواء عند مستوى سطح البحر رقم أفوجادرو 1 تقريبًا. وفي المنطقة الأكثر كثافة من الغلاف المغناطيسي – الغلاف البلازمي – تكون الكثافة أقل ببليونات وبليونات المرات.

يتكون الغلاف البلازمي في الغالب من الهيدروجين والهيليوم، ولكنه يحوي أيضًا على كمية كبيرة من الأكسجين، الذي لديه ما يكفي من الطاقة للهروب من الغلاف الأيوني للأرض.

عندما تنجرف البلازما إلى أعلى خط المجال المغناطيسي من الأسفل، فإنها تصبح محاصرة وتدور مع الأرض. غالبًا ما تكون هناك حدود حادة جدًا للغلاف البلازمي الكثيف تسمى توقف البلازما Plasmapause. وتنخفض كثافة البلازما في كثير من الأحيان بمقدار حجم ضمن مسافة شعاعية قصيرة جدًا (أقل من 0.5 r_E).

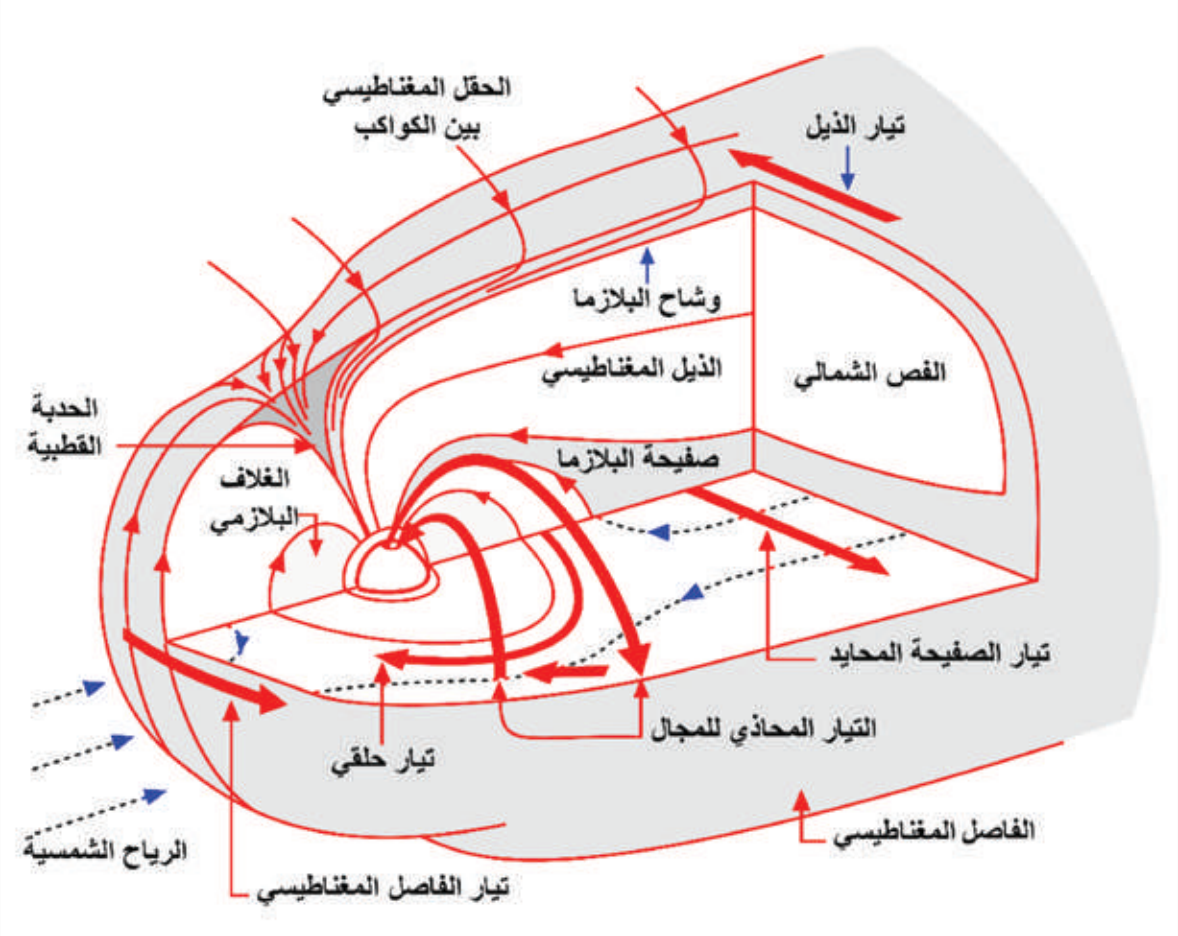
غالبًا ما تتداخل مع الغلاف البلازمي أحزمة فان ألين الإشعاعية والتيار الحلقي. وتتميز هاتان المنطقتان بوجود جزيئات عالية الطاقة محاصرة في الغلاف المغناطيسي للأرض.

يتكون التيار الحلقي من جسيمات تبلغ ذروة طاقتها نحو 200 كيلو إلكترون فولت، بينما تتكون أحزمة الإشعاع من جسيمات ذات طاقات تمتد إلى النظام النسبي. تمتلك الجسيمات النسبية سرعات قريبة من سرعة الضوء وتحمل كميات هائلة من الطاقة الحركية.

سمي التيار الحلقي بهذا الاسم لأن جزيئاته المشحونة تنتج تيارًا كهربائيًا يحيط بالأرض. الشكل الآتي عبارة عن رسم تخطيطي للغلاف المغناطيسي يُظهر كلاً من خط الطول من الظهر إلى منتصف الليل والمستوى الاستوائي.

تشير الأسهم الصلبة إلى اتجاهات التيارات المختلفة المتدفقة في الغلاف المغناطيسي. بسبب شكل وقوة منطقة المجال المغناطيسي ثنائي القطب للأرض، تتدفق الأيونات النشطة من منتصف الليل إلى جانب الغسق، وتتدفق الإلكترونات النشطة في الاتجاه المعاكس.

هـذا الاختـلاف في اتجاهـات تدفـق الأيونـات الموجبـة الشـحنة والإلكترونـات سـالبة الشـحنة يؤدي إلـى ظهـور تيـار كهربائـي، وهـو تيـار حلقـي يدور حـول الأرض. يـؤدي هـذا التيـار الحلقـي بـدوره إلـى ظهـور مجـال مغناطيسـي يشـير في الاتجـاه المعاكس للمجـال ثنائـي القطـب الموجـود علـى سـطح الأرض.



رسم تخطيطي للغلاف المغناطيسي للأرض يُظهر المستويين الطولي والظهيرة ومنتصف الليل. تظهر التيارات الكهربائية المتدفقة في الغلاف المغناطيسي على شكل أسهم داكنة. لاحظ أنه في الشكل يوجد تيارات أخرى، تسمى التيارات المحاذية للمجال، والتي تربط تيار الحلقة وصفيحة البلازما بالأيونوسفير. تقوم هذه التيارات بدورٍ كبيرٍ في الشفق القطبي وظواهر الطقس الفضائي الأخرى.

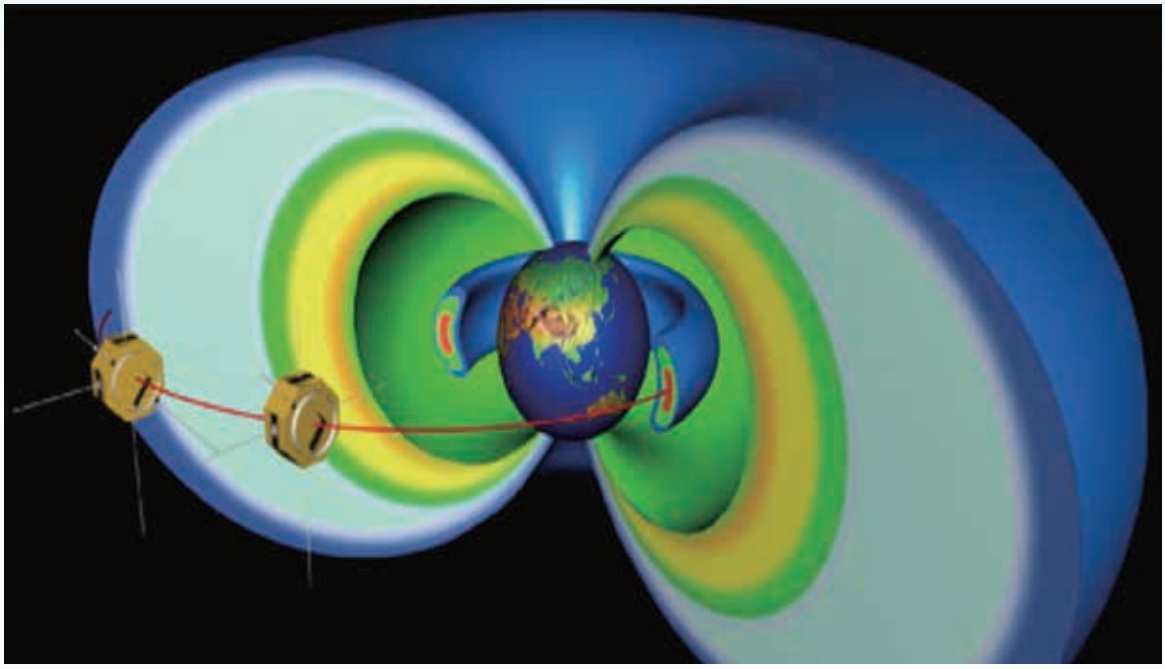
ولذلك، فإن التيار الحلقي يقلل من قوة المجال المغناطيسي للأرض كما تم قياسه على السطح. نستخدم أدوات بالقرب من خط الاستواء لقياس قوة المجال المغناطيسي باستمرار. عندما يتكثف التيار الحلقي فجأة، نرى انخفاضًا سريعًا في شدة المجال المغناطيسي.

يقيس المؤشر المغناطيسي، الذي يسمى مؤشر وقت العاصفة المضطربة Dst) Disturbed Storm Time وأ)، الانحراف أو التغير في المجال المغناطيسي للأرض عن قيمته الزمنية الهادئة الطبيعية، وهي قوة المجال المغناطيسي الداخلي للأرض. وعندما يصبح هذا المؤشر سلبيا (يشير إلى انخفاض في مجال الأرض)، فذلك بسبب تكثيف أو زيادة قوة التيار الحلقي.

تتكون أحزمة الإشعاع، التي سميت على اسم مكتشفها جيمس فان ألين، من منطقتين متميزتين من الجسيمات النشطة. يتكون الحزام الخارجي في الغالب من إلكترونات نشطة، وله حافته الداخلية حول $3r_E$ وحافته الخارجية المتغيرة للغاية عادة ما تكون خارج المدار المتزامن مع الأرض.

ويمتد الحزام الداخلي، الذي يتكون من إلكترونات وبروتونات نشطة، إلى نحو 2.5 إلكترون فولت. عادة ما يتم الحفاظ على المنطقة الواقعة بين الأحزمة (وتسمى «الفتحة») خالية من الجسيمات النشطة عن طريق آليات تعزز فقدان الجسيمات إلى الأيونوسفير.

الشكل الآتي عبارة عن رسم تخطيطي ثلاثي الأبعاد لأحزمة الإشعاع على شكل كعكة. تحوي الأحزمة الإشعاعية على إشعاعات مكثفة يمكن أن تقتل رواد الفضاء وتلحق الضرر أو تدمر الأجهزة الإلكترونية الحساسة في المركبات الفضائية. يعد فهم هذه المنطقة أحد الجهود الرئيسية للطقس الفضائي نظرًا لأن العديد من الأقمار الصناعية المهمة لها مداراتها داخل الأحزمة الإشعاعية أو من خلالها.



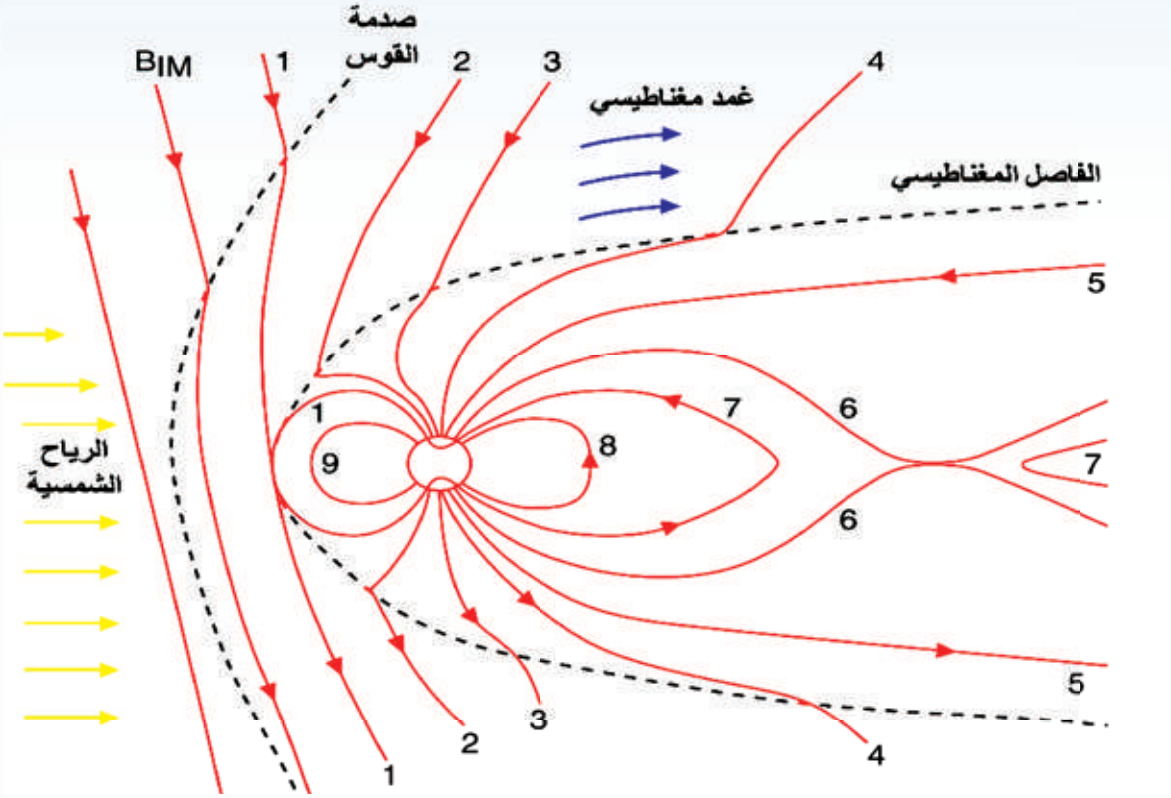
أحزمة إشعاع الأرض كما تم قياسها بواسطة أقمار ناسا المختلفة. تُظهر هذه الصورة الملونة الزائفة ثلاثية الأبعاد بنية أحزمة الإشعاع الداخلية والخارجية داخل الغلاف المغناطيسي للأرض.

• التفاعل بين الرياح الشمسية والغلاف المغناطيسي

داخل الغلاف المغناطيسي، يتم تحديد ديناميكيات الجسيمات المشحونة (البلازما) من خلال تكوين المجال المغناطيسي للأرض، والذي يبدو أقل فأقل مثل ثنائي القطب الأبعد عن الأرض بسبب تفاعله مع الرياح الشمسية المغنطة.

إن تفاعل المجال المغناطيسي للأرض مع الرياح الشمسية المغنطة يشبه تفاعل صخرة في مجرى مائي. تواجه الرياح الشمسية (التيار) الغلاف المغناطيسي للأرض (الصخور) كعائق وتتحرك حوله، تاركة وراءها أثرًا.

في حالة الأرض والرياح الشمسية، ينتج عن التفاعل ذيل مغناطيسي طويل. الشكل الآتي هو رسم تخطيطي للغلاف المغناطيسي للأرض.



مقطع عرضي ثنائي الأبعاد من الظهر إلى منتصف الليل للغلاف المغناطيسي للأرض يُظهر إعادة الاتصال المغناطيسي على الجانب النهاري وفي الذيل المغناطيسي.

نظرًا لأن سرعة الرياح الشمسية أسرع من الصوت، تتشكل موجة صدمية عند المنبع أو على الجانب النهاري من الغلاف المغناطيسي. تسمى موجة الصدمة هذه بصدمة القوس Bow Shock.

تعمل الصدمة القوسية على إبطاء الرياح الشمسية وتبدأ في تحويلها حول الغلاف المغناطيسي. المنطقة الواقعة بين صدمة القوس والغلاف المغناطيسي تسمى الغلاف المغناطيسي.

الفاصل المغناطيسي Magnetopause هو حدود الغلاف المغناطيسي. ويعتمد موقع هذه الحدود على قوة ضغط الرياح الشمسية، والذي يرجع في المقام الأول إلى كثافة الرياح الشمسية وسرعتها.

مع زيادة ضغط الرياح الشمسية، فإنها تحرك الفاصل المغناطيسي نحو الأرض. عندما ينخفض ضغط الرياح الشمسية، يتوسع الغلاف المغناطيسي بأكمله. يتم تحديد موقع التوقف المغناطيسي عن طريق التوازن بين ضغط الرياح الشمسية والضغط المغناطيسي للغلاف المغناطيسي.

• إعادة الاتصال المغناطيسي

تعاملنا سابقًا مع الرياح الشمسية كمائع (مثل ماء يتحرّك في مجرى يتحرك حول عائق). ومع ذلك، في حالة الرياح الشمسية، يكون السائل ممغنطًا، مما يجعل التفاعل بين تدفق الرياح الشمسية والغلاف المغناطيسي للأرض أكثر إثارة للاهتمام.

عند جمع مجالين مغناطيسيين معًا، تتحد المجالات. لذلك، إذا قمت بوضع مغناطيسين بالقرب من بعضهما البعض وقمت بقياس قوة المجال عند نقطة ما، فسوف تقيس المساهمات من كليهما.

ومع ذلك، فإن المجالات المغناطيسية لها اتجاه وكذلك حجم، وبالتالي إذا كان المجال المغناطيسي يشير في اتجاه واحد وآخر في الاتجاه المعاكس، فإن المجالين ينقصان من بعضهما البعض. عندما يحدث هذا في البلازما المغنطة، كما هو الحال في الرياح الشمسية والغلاف المغناطيسي، يمكن أن تتفاعل الحقول بطريقة جديدة - لتشكيل خطوط مجال جديدة.

في هذه العملية، التي تسمى إعادة الاتصال المغناطيسي Magnetic Reconnection، يتم أخذ الطاقة من المجال المغناطيسي ووضعها في حركة الجسيمات (يتم تحويل الطاقة المغناطيسية إلى طاقة حركية للجسيمات). هذه العملية، التي تم إعادة إنتاجها داخل المختبر، تدعم الكثير من النشاط المرصود على سطح الشمس.

تحدث إعادة الاتصال المغناطيسي عندما يتم وضع قطعة بلازما ممغنطة (تسمى أنبوب التدفق) ذات قطبية واحدة ضد قطعة بلازما ممغنطة ذات قطبية معاكسة. عند حدوث إعادة الاتصال المغناطيسي، تتصل خطوط المجال وتغير طبولوجياتها أو ترابطها.

يوضح الشكل السابق أمثلة لكيفية تغير طوبولوجيا المجال في الغلاف المغناطيسي النهاري. يُظهر هذا الشكل انقطاعًا مغناطيسيًا مثاليًا مع ظهور المجال المغناطيسي للرياح الشمسية المتجه جنوبًا (الخط 1´) في مواجهة المجال المغناطيسي للأرض المتجه شمالاً (الخط 1).

لاحظ أن هناك خطين مجاليين متميزين، أحدهما له طرف في الرياح الشمسية والآخر متصل بقطبي الأرض. عندما يجتمعون معًا، يمكنهم إعادة الاتصال، وبالإضافة إلى تحويل بعض الطاقة المغناطيسية إلى طاقة حركية للجسيمات، يتم تحويل طوبولوجيا خطي المجال الأصليين إلى طوبولوجيتين جديدتين لخطي المجال.

لا تزال خطوط المجال (الخطان 2 و 2´) موجودة، لكن أحد طرفي الخط 2 متصل بالقطب الشمالي للأرض والطرف الآخر في الرياح الشمسية، وأحد طرفي الخط 2´ متصل بالقطب الجنوبي للأرض و والطرف الآخر في الريح الشمسية.

تسمى خطوط المجال التي يتصل طرفاها بالأرض «مغلقة»، وتلك التي يتصل أحد طرفيها بالأرض والآخر في الرياح الشمسية تسمى «مفتوحة». يمكن أن تصبح البلازما «محاصرة» على خطوط المجال المغلقة، وبالتالي يمكن أن تتراكم الكثافات. تم العثور على الغلاف البلازمي وأحزمة الإشعاع على خطوط المجال المغلقة. تحوي خطوط المجال المفتوح بشكل عام على بلازما أقل بكثير، حيث يمكن للبلازما أن تتدفق على طول المجال المغناطيسي بعيدًا عن الأرض.

• الذيل المغناطيسي

تؤدي إعادة الاتصال بين المجالين المغناطيسيين للشمس والأرض إلى إنشاء خطوط مجال مفتوحة يكون أحد طرفيها متصلاً بالأرض ويمتد الطرف الآخر إلى الفضاء بين الكواكب. ونظرًا لأن نهاية الرياح الشمسية لهذا المجال المغناطيسي تتحرك بعيدًا عن الشمس مع بقية الرياح الشمسية، فإن خط المجال يتراجع خلف الأرض.

وهذا مشابه لشخص يجلس في سيارة مكشوفة متحركة وشعره مرفوع للخلف في اتجاه الريح. يتم إرجاع المجال المغناطيسي للأرض إلى الخلف (الخطوط 3 و4 و5 في الشكل السابق) إلى منطقة طويلة ذات شكل أسطواني تسمى الذيل المغناطيسي.

يتكون الذيل المغناطيسي من منطقتين من الفص المغناطيسي، واحدة مرتبطة بالغطاء القطبي الشمالي (ممثلة بالخط 5) والأخرى متصلة بالغطاء القطبي الجنوبي (الخط 5´). تحوي هذه الفصوص على خطوط مجال «مفتوحة» للمجال المغناطيسي الموجه بشكل معاكس – حيث يشير المجال المغناطيسي للفص الشمالي نحو الأرض والمجال المغناطيسي للفص الجنوبي يشير بعيدًا عن الأرض.

يتم فصل منطقتي الفصّين بطبقة من البلازما، وهي منطقة ذات كثافة بلازما أعلى من الفصوص. تحمل هذه المنطقة التيار الذي يفصل بين حقلي الفص ويسمى الصفيحة المحايدة ذات الذيل المتقاطع.

• الحمل الحراري لصفائح البلازما

تضفي الرياح الشمسية مجالًا كهربائيًا عبر الغلاف المغناطيسي يتم توجيهه من الفجر إلى الغسق في صفيحة البلازما (اتجاه تيار الصفيحة المحايدة نفسه الموضح في الشكل السابق).

يتسبب هذا المجال الكهربائي في تحرك أنابيب تدفق صفائح البلازما نحو الأرض في حركة تسمى الحمل الحراري، والتي تكمل الدورة الناتجة عن إعادة الاتصال المغناطيسي على الجانب النهاري.

ونظرًا لأن أحد طرفي أنبوب التدفق متصل بالرياح الشمسية، فإنه يتم إرجاعه مرة أخرى فوق الغطاء القطبي (الخطوط 2 و3 و4). عندما يصل أنبوب التدفق إلى الجانب الليلي للأرض، يصبح خط المجال جزءًا من الذيل المغناطيسي (الخط 5) ويتم توجيهه باتجاه صفيحة البلازما المركزية (الخط 6).

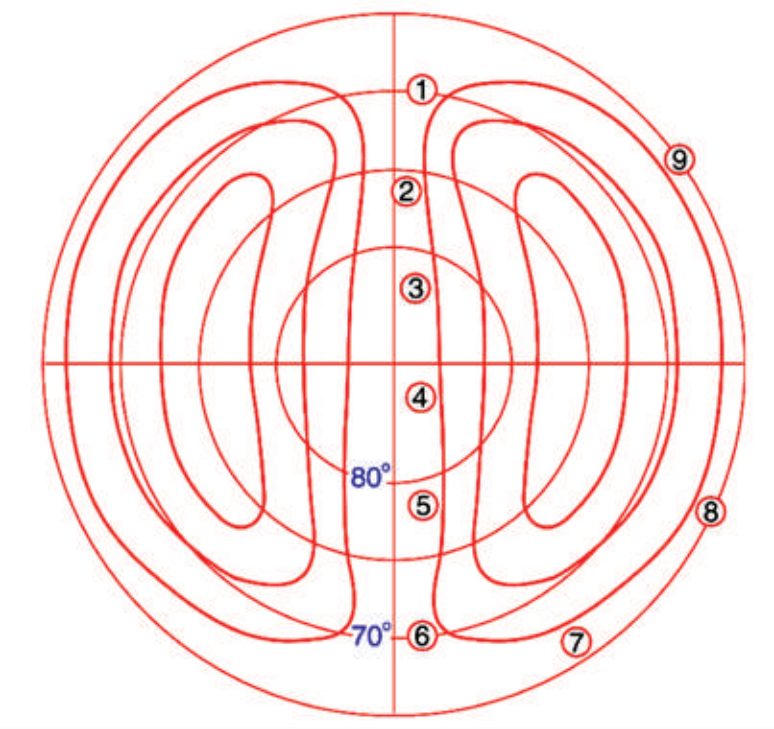
عند تلك النقطة، تأخذ عملية إعادة الاتصال المغناطيسي خطين مجاليين متعاكسين الاتجاه - أحدهما من الشمال (الخط 6) والآخر من الجنوب (الخط 6´) - وينشئ خطين جديدين للمجال (الخطين 7 و 7´).

الخط 7 على الجانب الأرضي من موقع إعادة الاتصال له طرفاه متصلان بالأرض، في حين أن الخط 7´ الآن له طرفيه متصلان بالرياح الشمسية. لاحظ أن أنابيب التدفق الممثلة بالخطين 7 و7´ لها الطبولوجيا المغناطيسية نفسها مثل الخطين 1 و1´ في بداية العملية. يتم بعد ذلك توجيه الخط 7 بالحمل الحراري

نحو الأرض إلى الغلاف المغناطيسي بجانب النهار، حيث يمكنه المشاركة في دورة الحمل الحراري مرة أخرى.

يوضح الشكل الآتي سفح خطوط المجال المسقطة على الغطاء القطبي للأرض. يمثل الشكل منظرًا لأسفل على الغطاء القطبي مع الأرقام التي تمثل موضع سفح كل من خطوط المجال المرقمة الموضحة في الشكل السابق.

وتمثل «خلايا الحمل الحراري» Convection Cells حركة خطوط المجال من جانب النهار فوق الغطاء القطبي ثم العودة إلى جانب النهار عند خط العرض الأدنى. حركة الحمل الحراري هذه، والتي يتم ملاحظتها في الأيونوسفير، هي الديناميكيات الرئيسية للأيونوسفير في الغطاء القطبي.



إسقاط خطوط المجال المغناطيسي الموضحة في الشكل السابق على طبقة الأيونوسفير. توضح الخطوط اتجاه حركة البلازما في الغلاف الأيوني بسبب الحمل الحراري للغلاف المغناطيسي.

• ديناميات الغلاف المغناطيسي

إعادة الاتصال (وبالتالي الحمل الحراري) في الغلاف المغناطيسي للأرض ليست ثابتة. يمكن أن يؤدي تعزيز إعادة الاتصال في جانب النهار الناتج عن قوة المجال المغناطيسي بين الكواكب (IMF) جنوبًا إلى زيادة اقتران الطاقة وزيادة كمية التدفق المغناطيسي المنقول إلى جانب الليل.

تؤدي زيادة كثافة الطاقة المغناطيسية والضغط في الذيل المغناطيسي إلى ترقق صفيحة التيار، مما يتيح حدوث إعادة الاتصال المغناطيسي. وهذا بدوره يحول الطاقة المغناطيسية للذيل إلى طاقة حركية للبلازما مرتبطة بالتدفقات السريعة التي لوحظت في الذيل المغناطيسي.

بالإضافة إلى ذلك، يؤدي المجال الكهربائي المعزز عبر الذيل إلى تعزيز الحمل الحراري في الغلاف المغناطيسي الداخلي. يؤدي هذا إلى تغيير حركة الجزيئات وموقع توقف البلازما؛ يتحرك توقف البلازما نحو الأرض مع زيادة الحمل الحراري وبعيدًا عن الأرض مع انخفاض الحمل الحراري.

وتتطلب إعادة الاتصال في النهار وجود مكون جنوبي المجال المغناطيسي بين الكواكب. وبما أن قطبية المجال المغناطيسي بين الكواكب تشير إلى الشمال والجنوب بشكل غير منتظم، فإن مقدار إعادة الاتصال وبالتالي مدخلات الطاقة إلى الغلاف المغناطيسي متغير بدرجة كبيرة.

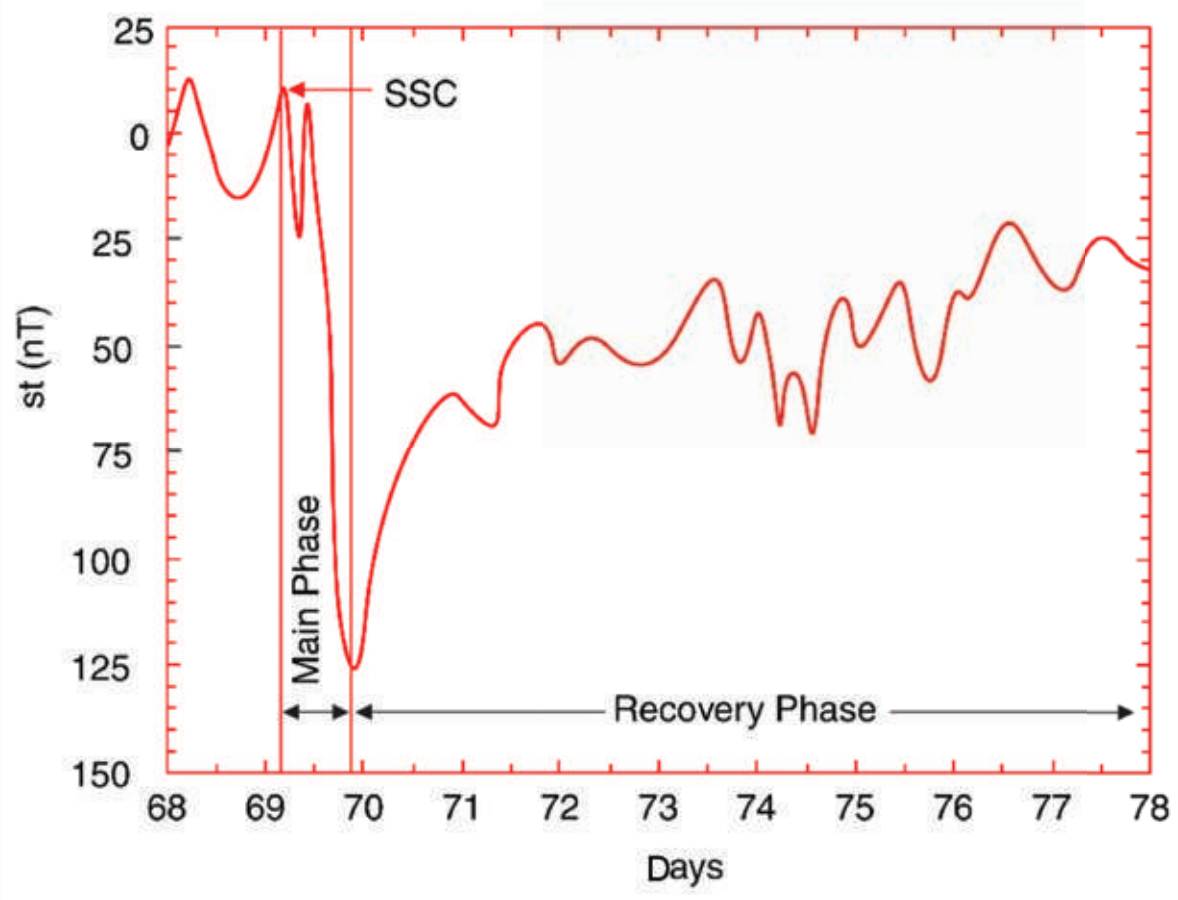
العـــواصـــــف

في بعض الأحيان، يمكن أن تزيد كمية الطاقة المنقولة من الشمس إلى الغلاف المغناطيسي بسرعة. غالبًا ما ترتبط هذه الزيادة بتأثير الأرض مع المجال المغناطيسي بين الكواكب جنوبًا من مقذوفات الكتلة الإكليلية (CME).

يمكن المجال المغناطيسي بين الكواكب المتجه جنوبًا إعادة الاتصال بحقل الأرض المتجه شمالاً. يمكن لهذه الطاقة أن تزيد من تدفق الطاقة والزخم إلى الغلاف المغناطيسي ومعدل الحمل الحراري. ويرتبط مع زيادة مدخلات الطاقة هذه تعزيز تيار الحلقة. ويلاحظ هذا على أنه انخفاض سريع في وقت العاصفة المضطربة (Dst).

يوضح الشكل الآتي التاريخ الزمني للتوقيت الصيفي أثناء العاصفة. غالبًا ما تتميز العاصفة المغنطيسية الأرضية بثلاث مراحل: بدء العاصفة المفاجئة Sudden Storm Commencement (SSC)، والمرحلة الرئيسية، والتعافي.

يتميز SSC بتعزيز وقت العاصفة المضطربة Disturbed Storm Time (Dst) بسبب زيادة تيارات التوقف المغناطيسي وحركتها نحو الأرض (التي تسمى تيارات تشابمان-فيرارو Chapman–Ferraro[3] نسبة إلى العلماء الذين افترضوا لأول مرة وجودها ودورها في العواصف المغنطيسية الأرضية).



يوضح مؤشر وقت العاصفة المضطربة (Dst) خلال فترة عشرة أيام المراحل المميزة للعاصفة المغنطيسية الأرضية.

ومع وجود مقذوفات الكتلة الإكليلية وزيادة الضغط الديناميكي للرياح الشمسية بالأرض، يتحرك الفاصل المغناطيسي نحو الأرض. تزداد تيارات تشابمان-فيرارو أيضًا لصد الرياح الشمسية عن طريق زيادة الضغط المغناطيسي للغلاف المغناطيسي.

يتسبب اتجاه تيارات تشابمان-فيرارو في زيادة المجال المغناطيسي للأرض كما يُرى من سطح خط العرض المنخفض على جانب النهار. ومن ثم يزيد وقت العاصفة المضطربة.

يستمر هذا التعزيز بشكل عام لعشرات الدقائق إلى الساعات، عندما تغمر الزيادة السريعة في تيار الحلقة فجأة إشارة تيار تشابمان-فيرارو وينخفض وقت العاصفة المضطربة بسرعة، مما يشير إلى المرحلة الرئيسية للعاصفة.

يستمر الانخفاض عادةً عدة ساعات، وفي ذلك الوقت تبدأ قيمة وقت العاصفة المضطربة في التعافي البطيء إلى مستويات ما قبل العاصفة. يمكن أن تستمر مرحلة التعافي لعدة أيام.

يختلف عدد العواصف طوال الدورة الشمسية، ولكنه عادة ما يكون في حدود عدد قليل شهريًا، مع وجود عدد كبير وشدة من العواصف خلال الحد الأقصى للطاقة الشمسية.

ويرتبط بكل عاصفة توهج سريع وتوسع في الشكل البيضاوي الشفقي بأكمله في نصفي الكرة الشمالي والجنوبي. وفي العديد من العواصف، تشتد أحزمة الإشعاع وتتحرك الحافة الداخلية لحزام الإشعاع الخارجي نحو الأرض.

في بعض العواصف الكبرى، يمكن أن تمتلئ منطقة الفتحة بالكامل ويمكن أن يتكثف الحزام الداخلي بشكل كبير. ويزداد أيضًا المستوى الإجمالي للاضطراب

المغنطيسي الأرضي الذي يتم قياسه بواسطة مؤشر مغنطيسي أرضي آخر يسمى Kp.

يقيس Kp التباين الإجمالي للمجال المغناطيسي للأرض عند خطوط العرض الوسطى. وهو مقياس لوغاريتمي (مثل مقياس ريختر للزلازل) ويتراوح من 0 (لا يوجد نشاط) إلى 9 (نشاط عاصفة كبير). المتوسط، أو على الأغلب، مستوى Kp هو نحو 3.

• العواصف الفرعية

هناك اضطراب آخر أصغر حجمًا، ولكنه أكثر شيوعًا، في الغلاف المغناطيسي للأرض يسمى العاصفة الفرعية. تم تسميتها بهذا الاسم لأنه كان يُعتقد في الأصل أن مجموعة من العواصف الفرعية تشكل عاصفة.

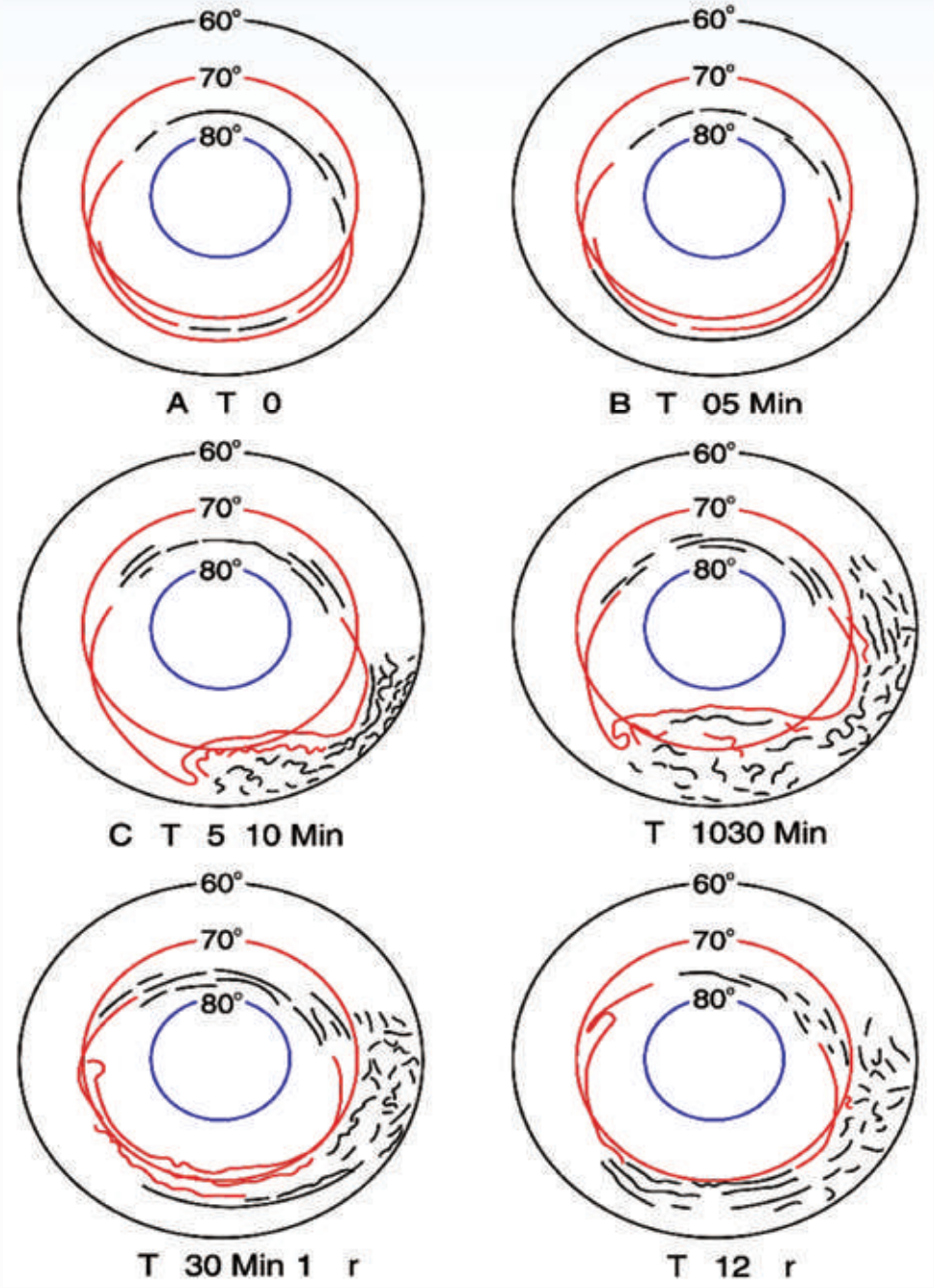
تحدث العواصف الفرعية في كثير من الأحيان أكثر من العواصف - أربع مرات في اليوم في المتوسط. يتم تعريف العواصف الفرعية من خلال السلوك الشفقي. خلال العاصفة الفرعية، يضيء القوس الشفقي الموجود في أقصى خط الاستواء فجأة ويتوسع باتجاه القطب وغربًا.

ويرتبط الشفق المعزز بتيارات أيونوسفيرية شفقية معززة يتم قياسها بواسطة مؤشر مغناطيسي يسمى مؤشر Auroral Electrojet (AE). مؤشر AE هو مقياس للفرق بين قوة نظامين من التيارات الأيونوسفيرية، النفاثات الكهربائية المتجهة غربًا وشرقًا. تتكثف هذه المحركات النفاثة الكهربائية، وخاصةً النفاثة الكهربائية المتجهة غربًا بالقرب من منتصف الليل، مع بداية عاصفة فرعية.

يؤدي تعزيز النفاث الكهربي المتجه غربًا إلى انخفاض في المجال الأفقي على سطح الأرض مباشرة تحت الشفق القطبي، بينما يؤدي تعزيز النفاث الكهربي المتجه شرقًا إلى زيادة المجال المغناطيسي للأرض مباشرة تحت الشفق القطبي.

يرتبط أيضًا بالعواصف الفرعية عدد من التوقيعات الأخرى بما في ذلك وجود موجات مغناطيسية تسمى Pi2 والتحسين المفاجئ للجسيمات النشطة في المدار المتزامن مع الأرض. يوضح الشكل الآتي تسلسلًا تخطيطيًا للعاصفة الفرعية كما يظهر في الشفق القطبي العالمي.

تُظهر اللوحات الغطاء القطبي من الأعلى، مع منتصف الليل في أسفل اللوحة. لاحظ أن الاضطراب الشفقي يبدأ قرب منتصف الليل ثم يمتد نحو القطب والشرق والغرب.



تغييرات التكوين في الشفق القطبي، عند النظر إلى الغطاء القطبي، أثناء عاصفة فرعية. الظهر في الأعلى ومنتصف الليل في الأسفل. لاحظ أن النشاط يتركز على الجانب الليلي.

هناك ثلاثة اختلافات رئيسية بين العواصف والعواصف الفرعية:

1. جداولها الزمنية – تحدث العواصف بشكل أقل تكرارًا وتستمر لعدة أيام، في حين أن العواصف الفرعية شائعة، وتحدث عدة مرات يوميًا ولها نطاقات زمنية مدتها ساعة بشكل عام.

2. مداها المكاني - للعواصف مظاهر عالمية في جميع أنحاء الغلاف المغناطيسي، في حين أن العواصف الفرعية تكون بشكل عام أكثر محلية في الجانب الليلي من الأرض.

3. توقيعها المغناطيسي – بحكم التعريف، تكون العواصف مصحوبة بتكثيف للتيار الحلقي، في حين أن العواصف الفرعية ليست كذلك.

ما يزيد من تعقيد واهتمام العواصف والعواصف الفرعية هو أن جميع العواصف تكون مصحوبة بعواصف فرعية، ولكن ليست كل العواصف الفرعية مرتبطة بالعواصف. بالنسبة لأبحاث الطقس الفضائي، تعتبر العاصفة المغناطيسية الأرضية ذات أهمية قصوى.

• العواصف الشمسية

العاصفة الشمسية Solar Storm هي اضطراب في الشمس، يمكن أن ينبعث إلى الخارج عبر الغلاف الشمسي، مما يؤثر على النظام الشمسي بأكمله، بما في ذلك الأرض وغلافها المغناطيسي، وهو سبب الطقس الفضائي على المدى القصير مع أنماط طويلة المدى تشمل مناخ الفضاء.

تشمل العواصف الشمسية ما يلي:

1. العاصفة الجيومغناطيسية: وهي تفاعل انفجار الشمس مع المجال المغناطيسي للأرض.
2. التوهج الشمسي: هو انفجار كبير في الغلاف الجوي للشمس ناجم عن تشابك خطوط المجال المغناطيسي أو عبورها أو إعادة تنظيمها
3. المقذوفات الكتلية الإكليلية (CMEs): وهو انفجار ضخم من البلازما من الشمس، يرتبط أحيانًا بالتوهجات الشمسية.
4. حدث الجسيمات الشمسية (SPE): عاصفة البروتون أو الجسيمات النشطة (SEP).

وسنتكلم بالتفصيل عن كل واحدٍ منها فيما يأتي:

1. العواصف الجيومغناطيسية

العاصفة المغناطيسية الأرضية Geomagnetic Storm هي اضطراب كبير في الغلاف المغناطيسي للأرض يحدث عندما يكون هناك تبادل فعال للغاية للطاقة من الرياح الشمسية إلى البيئة الفضائية المحيطة بالأرض.

وترتبط أكبر العواصف الناتجة عن هذه الظروف بالمقذوفات الكتلية الإكليلية الشمسية (CMEs)، حيث يصل بليون طن أو نحو ذلك من البلازما القادمة من الشمس، مع مجالها المغناطيسي المدمج، إلى الأرض. عادةً ما تستغرق الانبعاثات الإكليلية عدة أيام للوصول إلى الأرض، ولكن لوحظ أن بعض العواصف الأكثر شدة تصل في أقل من 18 ساعة.

تنتج هذه العواصف عن تغيرات في الرياح الشمسية التي تنتج تغيرات كبيرة في التيارات والبلازما والحقول في الغلاف المغناطيسي للأرض.

إن ظروف الرياح الشمسية الفعالة في خلق العواصف المغناطيسية الأرضية هي فترات مستدامة (لعدة إلى عدة ساعات) من الرياح الشمسية عالية السرعة، والأهم من ذلك، مجال مغناطيسي للرياح الشمسية موجه جنوبًا (عكس اتجاه مجال الأرض) في جانب النهار من الغلاف المغناطيسي. هذا الشرط فعال لنقل الطاقة من الرياح الشمسية إلى الغلاف المغناطيسي للأرض.

هناك اضطراب آخر للرياح الشمسية يخلق ظروفًا مواتية للعواصف المغناطيسية الأرضية وهو تيار الرياح الشمسية عالي السرعة High-Speed Solar Wind Stream (HSS). تصطدم أنظمة HSSs بالرياح الشمسية الأبطأ في الأمام وتخلق مناطق تفاعل مشتركة الدوران Co-Rotating interaction Regions (CIRs). غالبًا ما ترتبط هذه المناطق بالعواصف المغناطيسية الأرضية، والتي على الرغم من أنها أقل شدة من عواصف الانبعاث الإكليلي، إلا أنها غالبًا ما يمكنها إيداع المزيد من الطاقة في الغلاف المغناطيسي للأرض على مدى فترة أطول.

وتؤدي العواصف أيضًا إلى تيارات شديدة في الغلاف المغناطيسي، وتغيرات في أحزمة الإشعاع، وتغيرات في الغلاف الأيوني، بما في ذلك تسخين الغلاف الأيوني ومنطقة الغلاف الجوي العلوي التي تسمى الغلاف الحراري. في الفضاء، تنتج حلقة من التيار الغربي حول الأرض اضطرابات مغناطيسية على الأرض.

تم استخدام مقياس لهذا التيار، وهو مؤشر وقت العاصفة المضطربة (Dst)، تاريخيًا لتوصيف حجم العاصفة المغنطيسية الأرضية. بالإضافة إلى ذلك، هناك تيارات تنتج في الغلاف المغناطيسي تتبع المجال المغناطيسي، تسمى

التيارات المحاذية للمجال، وتتصل بتيارات مكثفة في الغلاف الأيوني الشفقي. هذه التيارات الشفقية، والتي تسمى بالنفاثات الكهربائية الشفقية، تنتج أيضًا اضطرابات مغناطيسية كبيرة.

تُستخدم كل هذه التيارات والانحرافات المغناطيسية التي تنتجها على الأرض معًا لتوليد مؤشر اضطراب جيومغناطيسي كوكبي يسمى Kp. هذا المؤشر هو الأساس لأحد مقاييس الطقس الفضائي الثلاثة التابعة لـ NOAA، أو العاصفة المغناطيسية الأرضية، أو G-Scale، الذي يستخدم لوصف الطقس الفضائي الذي يمكن أن يعطل الأنظمة على الأرض.

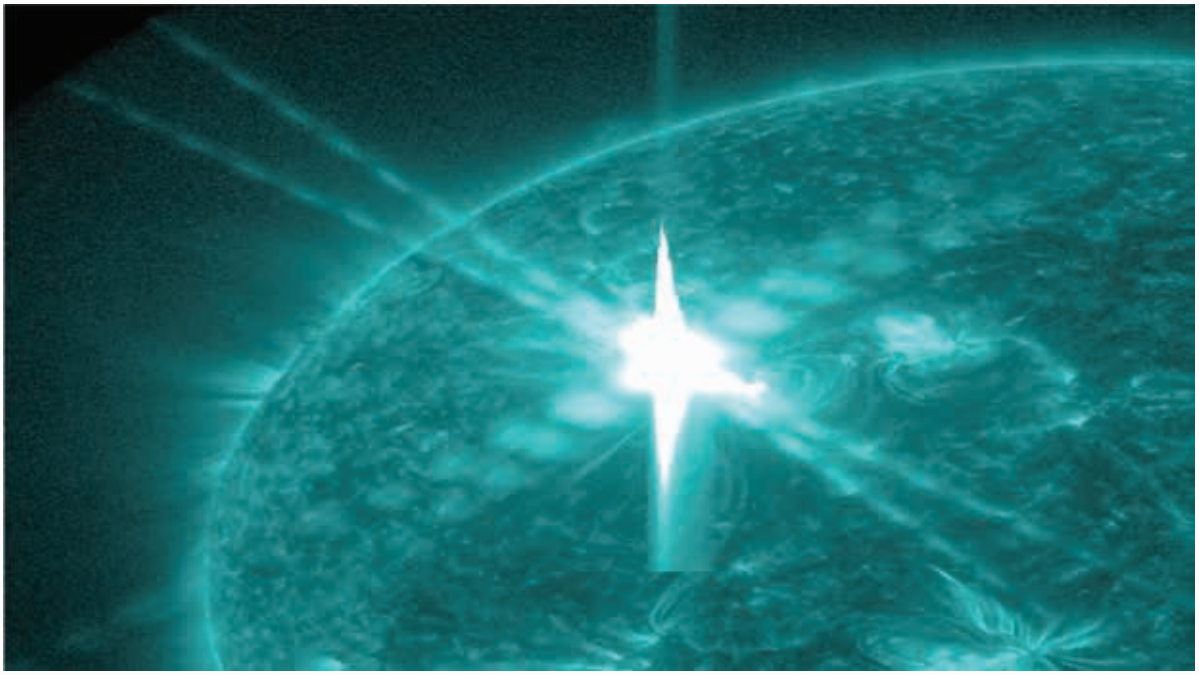
أثناء العواصف، تضيف التيارات الموجودة في الغلاف الجوي الأيوني، وكذلك الجسيمات النشطة التي تترسب في الغلاف الجوي الأيوني، طاقة في شكل حرارة يمكن أن تزيد من الكثافة وتوزيع الكثافة في الغلاف الجوي العلوي، مما يتسبب في زيادة السحب على الأقمار الصناعية في المناطق المنخفضة من الأرض يدور في مدار.

تخلق التدفئة المحلية أيضًا اختلافات أفقية قوية في كثافة الغلاف الأيوني والتي يمكن أن تعدل مسار إشارات الراديو وتخلق أخطاء في معلومات تحديد الموقع التي يوفرها نظام تحديد المواقع العالمي (GPS). في حين أن العواصف تخلق شفقًا جميلاً، فإنها يمكنها أيضًا تعطيل أنظمة الملاحة مثل النظام العالمي للملاحة عبر الأقمار الصناعية (GNSS) وإنشاء تيارات مستحثة مغناطيسية أرضية ضارة (GICs) في شبكة الطاقة وخطوط الأنابيب.

2. التوهج الشمسي

التوهج الشمسي A solar flare هو انبعاث موضعي مكثف نسبيًا للإشعاع الكهرومغناطيسي في الغلاف الجوي للشمس. تحدث التوهجات في المناطق النشطة وغالبًا، ولكن ليس دائمًا، تكون مصحوبة بانبعاثات جماعية إكليلية، وأحداث جسيمات شمسية، وغيرها من الظواهر الشمسية الانفجارية. يختلف حدوث التوهجات الشمسية باختلاف الدورة الشمسية التي تبلغ 11 عامًا.

يُعتقد أن التوهجات الشمسية تحدث عندما تؤدي الطاقة المغناطيسية المخزنة في الغلاف الجوي للشمس إلى تسريع الجسيمات المشحونة في البلازما المحيطة. وينتج عن ذلك انبعاث الإشعاع الكهرومغناطيسي عبر الطيف الكهرومغناطيسي.

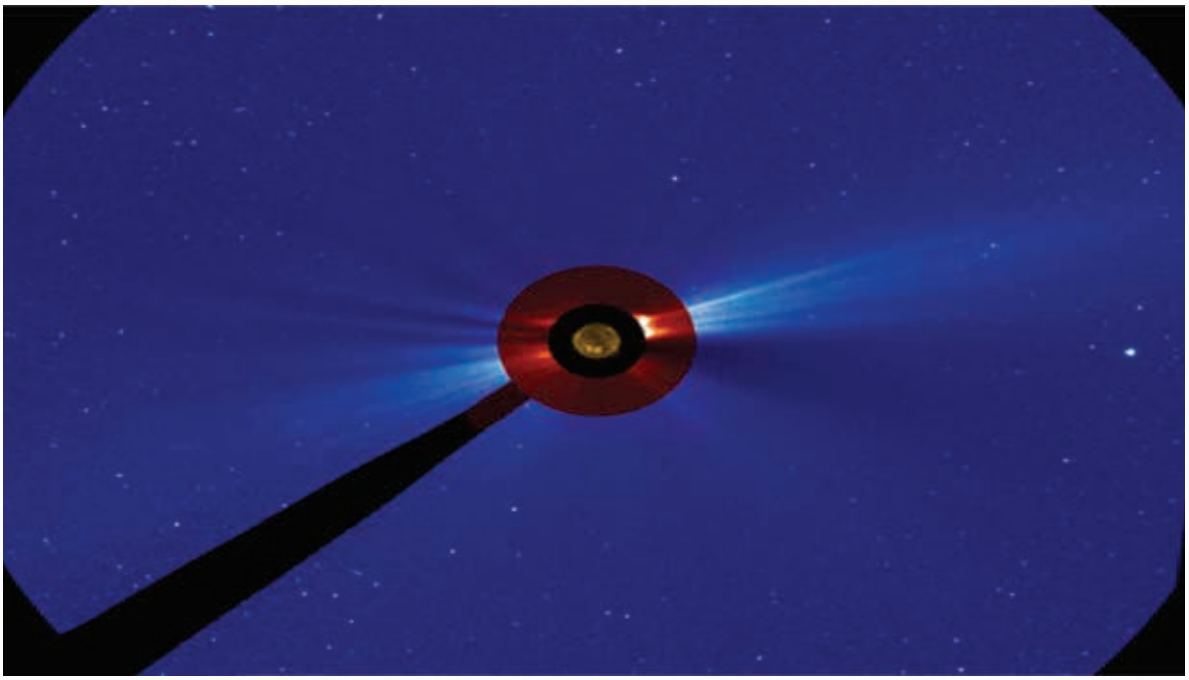


يتسبب التوهج الشمسي من فئة X5.4 في تكوين أنماط ازدهار وخطوط رأسية وحيود في الصورة الملتقطة بواسطة مستشعر 131 (13.1 Å نانومتر) الموجود على متن مرصد ديناميكيات الطاقة الشمسية في 6 مارس 2012.

يتم امتصاص الإشعاع الكهرومغناطيسي عالي الطاقة الناتج عن التوهجات الشمسية من خلال الجانب النهاري من الغلاف الجوي العلوي للأرض، وخاصة الغلاف الأيوني، ولا يصل إلى السطح. يمكن أن يؤدي هذا الامتصاص إلى زيادة تأين الغلاف الأيوني بشكل مؤقت مما قد يتداخل مع الاتصالات اللاسلكية على الموجات القصيرة. يعد التنبؤ بالتوهجات الشمسية مجالًا نشطًا للبحث العلمي حاليًا.

3. المقذوفات الكتلية الإكليلية

القذف الكتلي الإكليلي (CME) هو قذف كبير للمجال المغناطيسي وكتلة البلازما المصاحبة من هالة الشمس إلى الغلاف الشمسي. غالبًا ما ترتبط الانبعاث الكتلي الإكليلي بالتوهجات الشمسية وغيرها من أشكال النشاط الشمسي، ولكن لم يتم التوصل إلى فهم نظري مقبول على نطاق واسع لهذه العلاقات.



قذف كتلي إكليلي كما شاهدته مركبة الفضاء سوهو في 28 أكتوبر 2021. هذا الحدث هو مثال على «تحسين مستوى الأرض» النادر. خلال هذه الأحداث، تكون جزيئات الشمس نشطة بما يكفي لتمرير عبر الفقاعة المغناطيسية التي تحيط بالأرض وتحمينا من الانفجارات الشمسية الأقل طاقة. كان هذا هو التحسين رقم 73 فقط لمستوى الأرض منذ بدء التسجيل في الأربعينيات، ولم يتم تسجيل أي شيء منذ ذلك الحين.

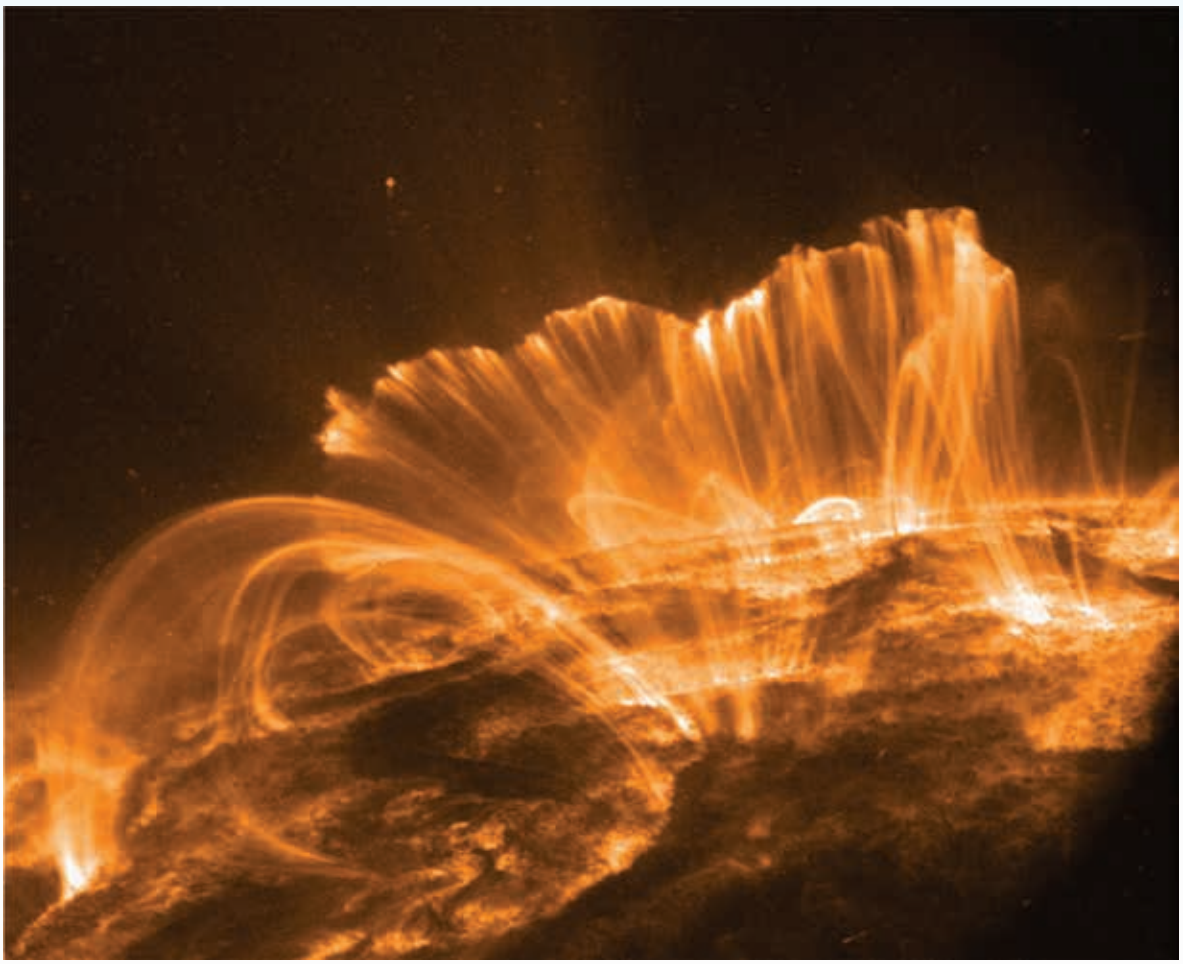
إذا دخل الانبعاث الكتلي الإكليلي إلى الفضاء بين الكواكب، فيشار إليه باسم الانبعاث الكتلي الإكليلي بين الكواكب ICMEs .(ICME) قادرة على الوصول إلى الغلاف المغناطيسي للأرض والاصطدام به، حيث يمكن أن تسبب عواصف مغناطيسية أرضية، وشفقًا، وفي حالات نادرة تلحق الضرر بشبكات الطاقة الكهربائية.

أكبر اضطراب مغنطيسي أرضي مسجل، نتج على الأرجح عن انبعاث إكليلي، كان العاصفة الشمسية عام 1859. المعروف أيضًا باسم حدث كارينغتون، أدى إلى تعطيل أجزاء من شبكة التلغراف المنشأة حديثًا في الولايات المتحدة، مما أدى إلى اندلاع الحرائق وصدمة بعض مشغلي التلغراف. بالقرب من الحد الأقصى للطاقة الشمسية، تنتج الشمس نحو ثلاثة من الانبعاث الإكليلي كل يوم، بينما بالقرب من الحد الأدنى للطاقة الشمسية، هناك نحو واحد من الانبعاث الإكليلي كل خمسة أيام.

4. حدث الجسيمات الشمسية (SPE)

في فيزياء الطاقة الشمسية، حدث الجسيمات الشمسية (SPE)، المعروف أيضًا باسم حدث الجسيمات النشطة الشمسية (SEP) أو عاصفة الإشعاع الشمسي، هو ظاهرة شمسية تحدث عندما تتسارع الجسيمات المنبعثة من الشمس، ومعظمها بروتونات، إما في الشمس الغلاف الجوي أثناء التوهج الشمسي أو في الفضاء بين الكواكب عن طريق صدمة قذف كتلة إكليلية.

يمكن أيضًا تسريع نوى أخرى مثل أيونات الهيليوم وHZE أثناء الحدث. يمكن لهذه الجسيمات اختراق المجال المغناطيسي للأرض وتسبب التأين الجزئي للغلاف الأيوني. تشكل البروتونات النشطة خطرًا إشعاعيًا كبيرًا على المركبات الفضائية ورواد الفضاء. تحدث حالات SPEs عندما يتم تسريع الجسيمات المشحونة في الغلاف الجوي للشمس إلى سرعات عالية للغاية. يمكن لهذه الجسيمات المشحونة، والتي يشار إليها بالجسيمات النشطة للطاقة الشمسية، الهروب إلى الفضاء بين الكواكب حيث تتبع المجال المغناطيسي بين الكواكب.



حلقات ما بعد الثوران في أعقاب التوهج الشمسي، الصورة ملتقطة بواسطة القمر الصناعي TRACE (تصوير وكالة ناسا).

عندما تتفاعل جزيئات الطاقة الشمسية مع الغلاف المغناطيسي للأرض، يتم توجيهها بواسطة المجال المغناطيسي للأرض نحو القطبين الشمالي والجنوبي حيث يمكنها اختراق الغلاف الجوي العلوي.

تتم حاليًا مناقشة الآلية الفيزيائية وراء تسريع الجسيمات النشطة الشمسية المؤدية إلى SPEs. ومع ذلك، يمكن عمومًا تقسيم الكيانات ذات الأغراض الخاصة إلى فئتين بناءً على آليات التسريع الخاصة بها.

تأثيرات العواصف الفضائية

للطقس الفضائي تأثيرات يومية واسعة النطاق على البشر والتكنولوجيا. تتعرض المركبات الفضائية ورواد الفضاء بشكل مباشر للإشعاع المكثف الذي يمكن أن يلحق الضرر بالأنظمة أو يعطلها ويمرض رواد الفضاء أو يقتلهم.

تتأثر الإشارات اللاسلكية الصادرة من الأقمار الصناعية إلى أنظمة الاتصالات والملاحة الأرضية، مثل النظام العالمي لتحديد المواقع (GPS)، بشكل مباشر بتغير ظروف البيئة الفضائية.

لقد اقترح أن عاصفة مغنطيسية أرضية بحجم العاصفة الشمسية التي حدثت عام 1859م اليوم من شأنها أن تسبب أضرارًا ببلايين أو حتى تريليونات الدولارات للأقمار الصناعية وشبكات الطاقة والاتصالات اللاسلكية، ويمكن أن تسبب انقطاع التيار الكهربائي على نطاق واسع قد لا يكون ممكنًا. يتم إصلاحه لأسابيع أو أشهر أو حتى سنوات. وقد يهدد مثل هذا الانقطاع المفاجئ للتيار الكهربائي إنتاج الغذاء.

وما قد يثير الدهشة هو أن العديد من الأنظمة الأرضية، مثل شبكات نقل الطاقة وخطوط الأنابيب، وشبكات الاتصالات الأرضية، مثل كابلات الألياف الضوئية العابرة للمحيطات، معرضة أيضًا لتأثيرات الطقس الفضائي.

يُظهر الشكل الآتي مجموعة واسعة من الأنظمة التي تتأثر بالطقس الفضائي، بما في ذلك رواد الفضاء وطاقم الخطوط الجوية التجارية والركاب بالإضافة إلى مجموعة من أجهزة الاتصالات عبر الأقمار الصناعية والراديو.

تشمل الأنظمة المختلفة المتأثرة بالطقس الفضائي الأقمار الصناعية ورواد الفضاء والاتصالات اللاسلكية وشبكات الطاقة الكهربائية.

تأثر مدارات الأقمار الصناعية

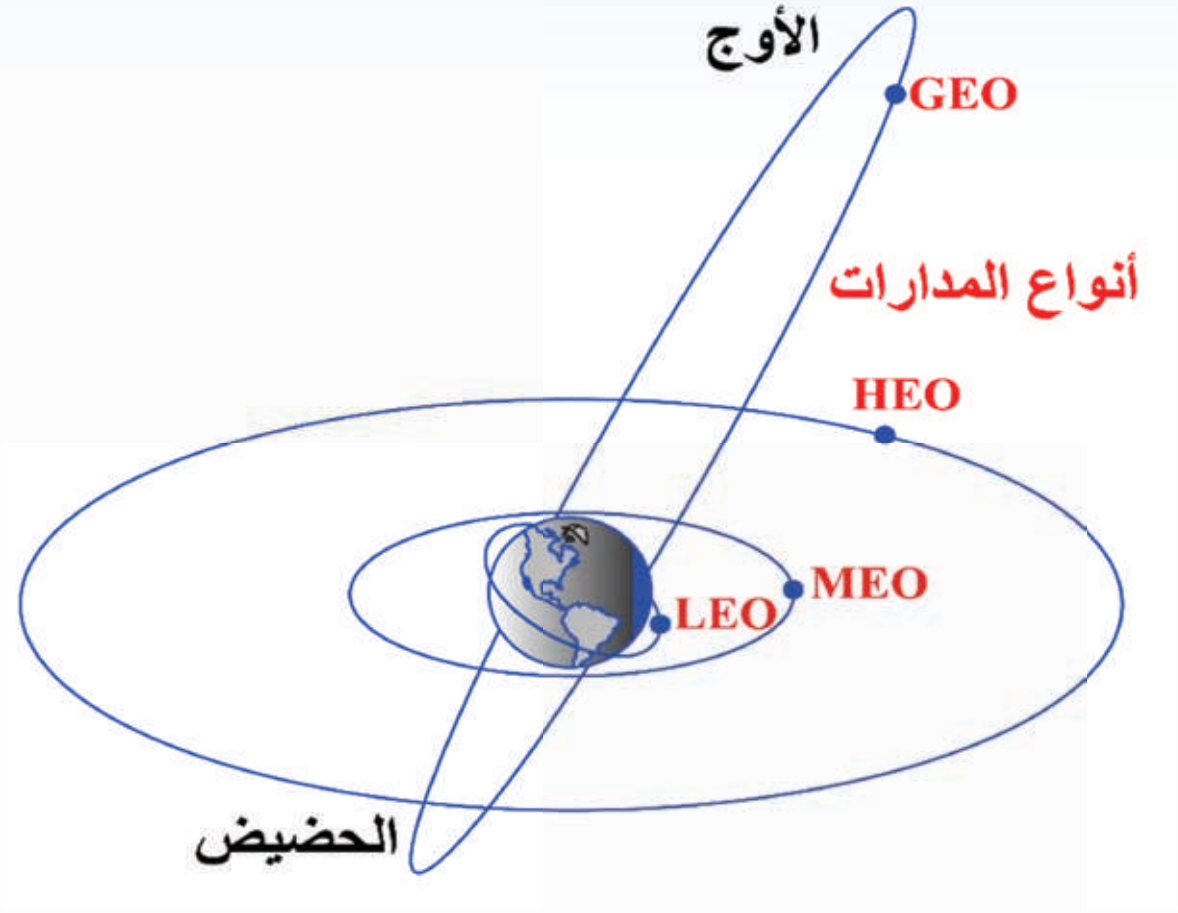
لقد أصبحنا نعتمد على تكنولوجيا الفضاء، باستخدام الأقمار الصناعية لمجموعة واسعة من أغراض مراقبة الأرض (مثل الطقس) والاتصالات (البيانات، والصوت، والتلفزيون، والراديو). تجد تكنولوجيا الأقمار الصناعية طريقها إلى عدد من الأنشطة اليومية.

من المحتمل أنك استخدمت قمرًا صناعيًا اليوم. لقد فعلت ذلك إذا شاهدت تلفزيون الكابل أو القنوات الفضائية، أو استمعت إلى برنامج إذاعي مشترك على المستوى الوطني، أو تتبعت طردًا يتم تسليمه إليك عن طريق إحدى خدمات البريد السريع الرئيسية، أو استخدمت بطاقة ائتمان في مضخة محطة وقود أو في متجر بيع بالتجزئة كبير.

ولدعم هذه الخدمات، هناك مئات الأقمار الصناعية التي تدور حول الأرض. وتقع هذه الأقمار الصناعية في مدارات متنوعة، مما يعني أن كل قمر صناعي له مسار فريد حول الأرض. تدور بعض الأقمار الصناعية بالقرب من الأرض، والبعض الآخر بعيدًا عن السطح.

يعتمد المدار على الغرض من القمر الصناعي. هناك أربع فئات رئيسية مهمة من المدارات للأقمار الصناعية التي تدور حول الأرض. يحدد الارتفاع فوق الأرض الذي يصل إليه القمر الصناعي الفئات الأربع الرئيسية.

وهي المدار الأرضي المنخفض (LEO)، والمدار الأرضي المتوسط (MEO)، والمدار الأرضي المرتفع (HEO)، والمدار المتزامن مع الأرض (GEO). ويبين الشكل الآتي عينة من المدارات لهذه الفئات الأربعة الرئيسية من المدارات. تمتلك الأقمار الصناعية LEO بشكل عام مدارات دائرية. ويعني المدار الدائري أن مسافة القمر الصناعي عن سطح الأرض لا تختلف كثيرًا خلال المدار الكامل.



الأنواع الأربعة الرئيسية لمدارات الأقمار الصناعية حول الأرض: مدار أرضي منخفض (LEO)، مدار أرضي متوسط (MEO)، مدار أرضي مرتفع (HEO)، ومدار متزامن مع الأرض (GEO).

العيب الرئيسي لطقس الفضاء هو أنه كلما انخفض الارتفاع، زاد السحب الجوي على المركبة الفضائية بسبب الاحتكاك بين القمر الصناعي المتحرك والغلاف الجوي الهش. تتسبب قوة الاحتكاك في فقدان المركبة الفضائية لارتفاعها، مما ينقلها إلى جو محايد أكثر كثافة (انظر الفصل الخامس بخصوص البنية الرأسية للغلاف الجوي).

وتؤدي الكثافة المعززة إلى زيادة السحب، مما يؤدي إلى خفض القمر الصناعي إلى غلاف جوي أكثر كثافة. في نهاية المطاف، يمكن لقوة الاحتكاك أن تؤدي إلى تسخين القمر الصناعي لدرجة أنه سيبدأ في التفلطح أو «الاحتراق» في الغلاف الجوي ما لم تتم حمايته من الحرارة بواسطة مادة عازلة قوية. عادةً ما يكون عمر القمر الصناعي على ارتفاع أقل من 200 كيلومتر ساعات فقط (دورة واحدة أو مدارتين كاملتين).

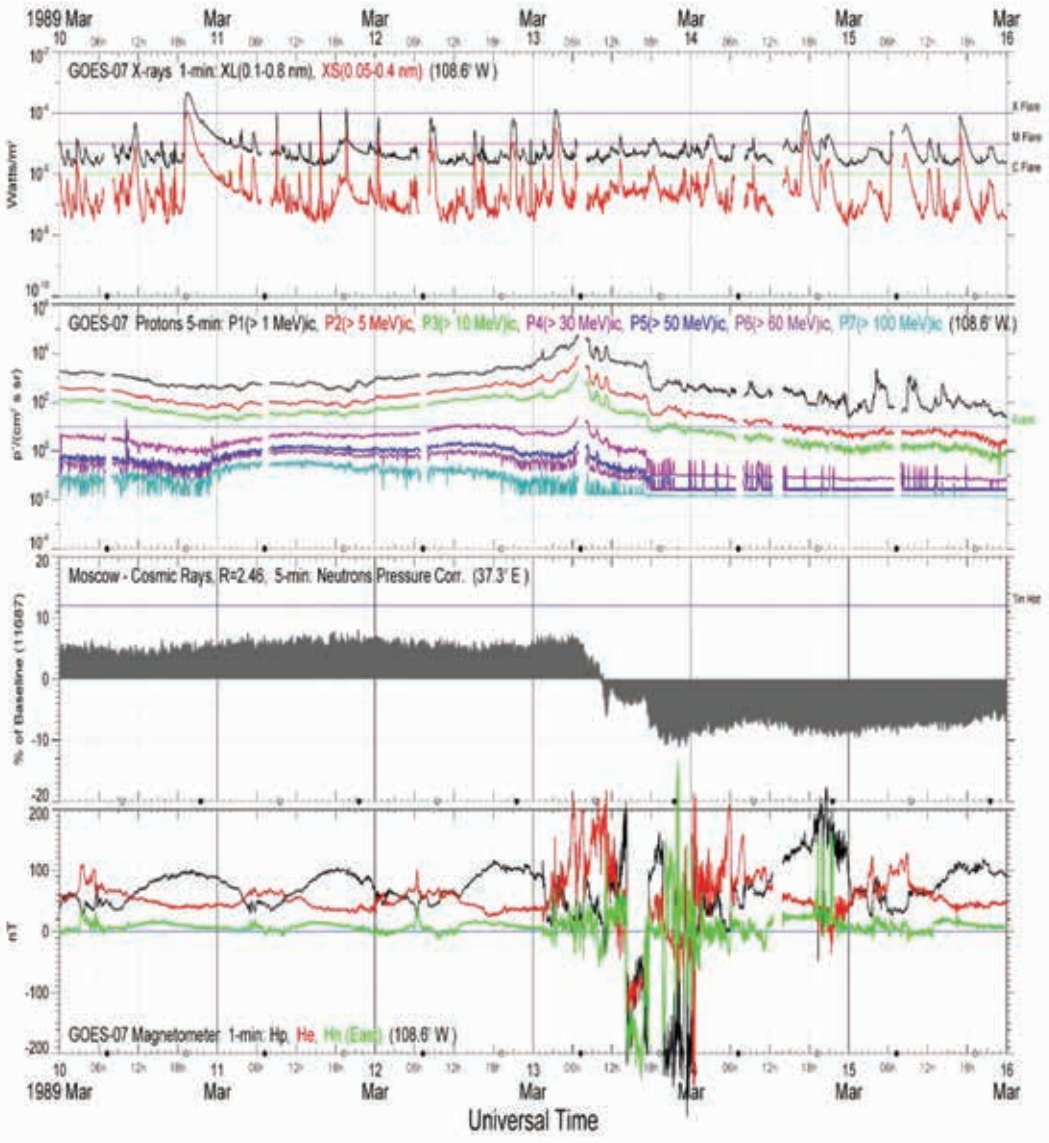
يتراوح ارتفاع المكوك الفضائي ومحطة الفضاء الدولية عادةً بين 280 و460 كيلومترًا. كلاهما لديه أنظمة دفع تسمح لهما برفع الارتفاع المداري بشكل مستمر لمنعهما من العودة إلى الغلاف الجوي قبل الأوان. في الأساس، لا تتمتع جميع الأقمار الصناعية الأخرى في المدار الأرضي المنخفض بالقدرة على تعزيز مداراتها.

ولذلك، يجب أن يرسو المكوك الفضائي بشكل دوري مع قمر صناعي (مثل تلسكوب هابل الفضائي 1) لرفع مدار القمر الصناعي وإلا سيحترق القمر الصناعي في النهاية في الغلاف الجوي. يعتمد عمر القمر الصناعي في المقام الأول على ارتفاعه الأولي وكثافة الغلاف الجوي العلوي (وكذلك مساحة المقطع العرضي للقمر الصناعي).

تتباين كثافة الغلاف الجوي بشكل كبير بين الحد الأدنى للطاقة الشمسية والحد الأقصى للطاقة الشمسية، وبالتالي فإن عمر القمر الصناعي يعتمد أيضًا على وقت إطلاقه. يمكن أن تسبب العواصف الفضائية تغيرات سريعة في الارتفاع المداري (وبالتالي عمر) الأقمار الصناعية ذات المدار الأرضي المنخفض.

تسببت العاصفة العظيمة التي حدثت في مارس 1989م في خسارة آلاف الأجسام الفضائية (بما في ذلك مئات من الأقمار الصناعية العاملة) عدة

كيلومترات من الارتفاع. فقد أحد الأقمار الصناعية أكثر من 30 كيلومترًا من الارتفاع (وبالتالي جزءًا كبيرًا من عمره المداري) خلال هذه العاصفة.



يراقب GOES-7 أحوال الطقس الفضائي خلال العاصفة الجيومغناطيسية الكبرى في مارس 1989، وقد سجل مراقب النيوترونات في موسكو مرور المقذوفات الإكليلية باعتبارها انخفاضًا في المستويات المعروفة باسم انخفاض فوربوش.

• تأثر الخلايا الشمسية

تكون الأشعة فوق البنفسجية الشمسية أكثر كثافة في الفضاء منها على سطح الأرض. تعتبر طبقة الأوزون والأكسجين الموجود في غلافنا الجوي ماصين فعالين للغاية للأشعة فوق البنفسجية (والأشعة السينية وأشعة جاما)، وبالتالي فإن سطح الأرض محمي من معظم الإشعاع الكهرومغناطيسي.

ستكون الحياة على الأرض مختلفة تمامًا بدون هذا الدرع الجوي، لأن الأشعة فوق البنفسجية تلحق الضرر بالخلايا الحية. بالإضافة إلى إتلاف الكائنات الحية، يمكن للأشعة فوق البنفسجية أيضًا أن تؤدي إلى تحلل بعض المواد، خاصة المواد البلاستيكية والمواد العضوية الأخرى. يساهم ضوء الأشعة فوق البنفسجية أيضًا في تدهور الخلايا الشمسية.

بالاشتراك مع تأثيرات الجسيمات النشطة (المحرك الرئيسي لتدهور الخلايا الشمسية)، يمكن للأشعة فوق البنفسجية أن تجعل الألواح الشمسية أقل كفاءة. عادةً ما يقوم مصممو الأقمار الصناعية بوضع مصفوفات شمسية أكبر بنسبة 25 % من اللازم لمهمة معينة، لأنه على مدار عمر القمر الصناعي، تنخفض كفاءة المصفوفات عادةً بهذه الكمية.

يمكن للعواصف الشمسية الفردية أن تقلل من كفاءة الخلايا الشمسية بنسبة عدة بالمائة، وبالتالي تقلل من عمر القمر الصناعي بأكثر من عام خلال عاصفة واحدة فقط.

إن اختيار المواد للأقمار الصناعية والمحطات الفضائية والمواقع المأهولة المستقبلية على القمر والمريخ يجب أن يأخذ في الاعتبار زيادة التعرض للأشعة فوق البنفسجية، مما يحد من أنواع المواد التي يمكن استخدامها، وخاصة البوليمرات العضوية والبلاستيك.

• تأثر الشبكة الكهربائية الرئيسية

عندما تتحرك المجالات المغناطيسية بالقرب من موصل مثل السلك، يتم إنتاج تيار مستحث مغناطيسيًا أرضيًا في الموصل. يحدث هذا على نطاق واسع خلال العواصف المغناطيسية الأرضية (نفس الآلية أثرت أيضًا على خطوط الهاتف والتلغراف قبل الألياف الضوئية) على جميع خطوط النقل الطويلة.

وبالتالي فإن خطوط النقل الطويلة (التي يبلغ طولها عدة كيلومترات) معرضة للتلف بسبب هذا التأثير. ومن الجدير بالذكر أن هذا يشمل بشكل رئيسي المشغلين في الصين وأمريكا الشمالية وأستراليا، وخاصة في الخطوط الحديثة ذات الجهد العالي والمنخفضة المقاومة. تتكون الشبكة الأوروبية بشكل رئيسي من دوائر نقل أقصر، وهي أقل عرضة للتلف.

التيارات (شبه المباشرة) المستحثة في هذه الخطوط من العواصف المغناطيسية الأرضية ضارة بمعدات النقل الكهربائية، وخاصة المحولات - مما يؤدي إلى تشبع القلب، وتقييد أدائها (بالإضافة إلى تعثر أجهزة السلامة المختلفة)، والتسبب في تسخين الملفات والنوى. في الحالات القصوى، يمكن لهذه الحرارة أن تعطلها أو تدمرها، حتى أنها قد تؤدي إلى تفاعل متسلسل يمكن أن يؤدي إلى زيادة التحميل على المحولات.

ترتبط معظم المولدات بالشبكة عن طريق المحولات، مما يعزلها عن التيارات المستحثة على الشبكة، مما يجعلها أقل عرضة للتلف بسبب التيار المستحث بالمغناطيسية الأرضية. ومع ذلك، فإن المحول الذي يتعرض لهذا سيكون بمثابة حمل غير متوازن للمولد، مما يسبب تيار تسلسل سلبي في الجزء الثابت وبالتالي تسخين الدوار.

ووفقا لدراسة أجرتها شركة ميتاتيك، فإن عاصفة بقوة مماثلة لتلك التي حدثت في عام 1921م ستدمر أكثر من 300 محول وتترك أكثر من 130 مليون شخص بدون كهرباء في الولايات المتحدة، بتكلفة عدة تريليونات من الدولارات.

وتشير بعض شهادات الكونجرس إلى احتمال انقطاع التيار إلى أجل غير مسمى حتى يتم استبدال المحولات أو إصلاحها. تتعارض هذه التوقعات مع تقرير مؤسسة موثوقية الكهرباء في أمريكا الشمالية الذي يخلص إلى أن العاصفة المغناطيسية الأرضية من شأنها أن تسبب عدم استقرار مؤقت في الشبكة ولكن لن تؤدي إلى تدمير واسع النطاق لمحولات الجهد العالي. يشير التقرير إلى أن انهيار شبكة كيبيك الذي تم اقتباسه على نطاق واسع لم يكن بسبب ارتفاع درجة حرارة المحولات ولكن بسبب التعثر شبه المتزامن لسبعة مرحلات.

إلى جانب كون المحولات عرضة لتأثيرات العاصفة المغناطيسية الأرضية، يمكن أيضًا أن تتأثر شركات الكهرباء بشكل غير مباشر بالعاصفة المغناطيسية الأرضية. على سبيل المثال، قد يتعطل مقدمو خدمات الإنترنت أثناء العواصف المغناطيسية الأرضية (و/أو يظلون غير قادرين على العمل لفترة طويلة بعد ذلك). قد يكون لدى شركات الكهرباء معدات تتطلب اتصالاً فعالاً بالإنترنت لتعمل، لذلك خلال الفترة التي يكون فيها مزود خدمة الإنترنت معطلاً، قد لا يتم توزيع الكهرباء أيضًا.

من خلال تلقي تنبيهات وتحذيرات العواصف المغناطيسية الأرضية (على سبيل المثال من قبل مركز التنبؤ بالطقس الفضائي؛ عبر الأقمار الصناعية للطقس الفضائي مثل SOHO أو ACE)، يمكن لشركات الطاقة تقليل الأضرار التي تلحق بمعدات نقل الطاقة، عن طريق فصل المحولات مؤقتًا أو عن طريق إحداث انقطاع مؤقت للتيار الكهربائي. توجد أيضًا تدابير وقائية، بما في ذلك منع تدفق GICs إلى الشبكة من خلال الاتصال المحايد بالأرض.

• تأثر شبكة الاتصالات

تستخدم أنظمة الاتصالات عالية التردد (3-30 ميجاهرتز) طبقة الأيونوسفير لعكس إشارات الراديو عبر مسافات طويلة. يمكن أن تؤثر العواصف الأيونوسفيرية على الاتصالات اللاسلكية في جميع خطوط العرض. يتم امتصاص بعض الترددات وينعكس البعض الآخر، مما يؤدي إلى تقلب الإشارات بسرعة ومسارات انتشار غير متوقعة.

لا تتأثر محطات التلفزيون والراديو التجارية إلا قليلاً بالنشاط الشمسي، ولكن البث من الأرض إلى الجو، ومن السفينة إلى الشاطئ، والبث على الموجات القصيرة وراديو الهواة (معظمه النطاقات التي تقل عن 30 ميجاهرتز) يتعطل في كثير من الأحيان. يعتمد مشغلو الراديو الذين يستخدمون نطاقات التردد العالي (HF) على التنبيهات الشمسية والمغناطيسية الأرضية للحفاظ على تشغيل دوائر الاتصال الخاصة بهم.

تتأثر أيضًا أنظمة الكشف العسكري أو الإنذار المبكر العاملة في نطاق الترددات العالية بالنشاط الشمسي. ويرتد الرادار الموجود فوق الأفق الإشارات من طبقة الأيونوسفير لمراقبة إطلاق الطائرات والصواريخ من مسافات طويلة. أثناء العواصف المغناطيسية الأرضية، يمكن أن يتعطل هذا النظام بشدة بسبب الفوضى الراديوية. كما تستخدم بعض أنظمة الكشف عن الغواصات التوقيعات المغناطيسية للغواصات كمدخل واحد لمخططات تحديد مواقعها. يمكن للعواصف الجيومغناطيسية أن تحجب هذه الإشارات وتشوهها.

تتلقى إدارة الطيران الفيدرالية بشكل روتيني تنبيهات حول انفجارات الراديو الشمسية حتى تتمكن من التعرف على مشاكل الاتصال وتجنب الصيانة غير الضرورية. عندما تكون الطائرة والمحطة الأرضية في محاذاة مع الشمس، يمكن

أن تحدث مستويات عالية من الضوضاء على ترددات الراديو للتحكم في الهواء. يمكن أن يحدث هذا أيضًا على اتصالات الأقمار الصناعية UHF و SHF، عندما تكون المحطة الأرضية والقمر الصناعي والشمس في محاذاة.

من أجل منع الصيانة غير الضرورية لأنظمة الاتصالات عبر الأقمار الصناعية على متن الطائرات، توفر AirSatOne بثًا حيًا للأحداث الجيوفيزيائية من مركز التنبؤ بالطقس الفضائي التابع لـ NOAA. يسمح للمستخدمين بمشاهدة العواصف الفضائية المرصودة والمتوقعة. تعد التنبيهات الجيوفيزيائية مهمة لأطقم الطيران وموظفي الصيانة لتحديد ما إذا كان أي نشاط أو سجل قادم له تأثير أو سيكون له تأثير على اتصالات الأقمار الصناعية والملاحة عبر نظام تحديد المواقع العالمي (GPS) والاتصالات عالية التردد.

تأثرت خطوط التلغراف في الماضي بالعواصف الجيومغناطيسية. استخدمت التلغراف سلكًا طويلًا واحدًا لخط البيانات، يمتد لعدة أميال، باستخدام الأرض كسلك إرجاع ويتم تغذيته بطاقة التيار المستمر من البطارية. مما جعلها (مع خطوط الكهرباء المذكورة أدناه) عرضة للتأثر بالتقلبات الناجمة عن التيار الحلقي.

من الممكن أن يكون الجهد/التيار الناجم عن العاصفة المغناطيسية الأرضية قد أدى إلى تقليل الإشارة، عند طرحها من قطبية البطارية، أو إلى إشارات قوية وزائفة بشكل مفرط عند إضافتها إليها؛ تعلم بعض المشغلين فصل البطارية والاعتماد على التيار المستحث كمصدر للطاقة.

في الحالات القصوى، كان التيار المستحث مرتفعًا جدًا لدرجة أن الملفات الموجودة في الجانب المستقبل تشتعل فيها النيران، أو تعرض المشغلون لصدمات كهربائية. تؤثر العواصف المغناطيسية الأرضية أيضًا على خطوط الهاتف طويلة المدى، بما في ذلك الكابلات البحرية ما لم تكن من الألياف الضوئية.

يمكن أن يؤدي الضرر الذي يلحق بسواتل الاتصالات إلى تعطيل وصلات الهاتف والتلفزيون والراديو والإنترنت غير الأرضية. ذكرت الأكاديمية الوطنية للعلوم في عام 2008م عن السيناريوهات المحتملة لاضطراب واسع النطاق في الذروة الشمسية 2012-2013م.

يمكن أن تتسبب عاصفة شمسية عملاقة في انقطاع خدمة الإنترنت على نطاق واسع على مستوى العالم لمدة أشهر. تصف إحدى الدراسات تدابير التخفيف والاستثناءات المحتملة - مثل الشبكات المتداخلة التي يديرها المستخدم، وتطبيقات نظير إلى نظير ذات الصلة والبروتوكولات الجديدة - وتحلل قوة البنية التحتية الحالية للإنترنت.

• تأثر أنظمة الملاحة

تتأثر أنظمة الملاحة عبر الأقمار الصناعية العالمية (GNSS)، وأنظمة الملاحة الأخرى مثل LORAN وOMEGA التي لم تعد موجودة الآن، سلبًا عندما يعطل النشاط الشمسي انتشار الإشارة. يتكون نظام أوميغا من ثمانية أجهزة إرسال منتشرة في جميع أنحاء العالم.

استخدمت الطائرات والسفن إشارات التردد المنخفض جدًا الصادرة عن أجهزة الإرسال هذه لتحديد مواقعها. أثناء الأحداث الشمسية والعواصف المغناطيسية الأرضية، قدم النظام للملاحين معلومات كانت غير دقيقة بما يصل إلى عدة أميال. لو تم تنبيه الملاحين إلى حدوث حدث بروتوني أو عاصفة مغنطيسية أرضية، لكان من الممكن أن يتحولوا إلى نظام احتياطي.

تتأثر إشارات GNSS عندما يتسبب النشاط الشمسي في تغيرات مفاجئة في كثافة الغلاف الأيوني، مما يتسبب في وامض إشارات الأقمار الصناعية (مثل النجم المتلألئ). تتم دراسة وميض إشارات الأقمار الصناعية أثناء اضطرابات الغلاف الأيوني في HAARP أثناء تجارب تعديل الغلاف الأيوني. كما تمت دراستها في مرصد راديو جيكاماركا.

إحدى التقنيات المستخدمة للسماح لمستقبلات GNSS بمواصلة العمل في وجود بعض الإشارات المربكة هي مراقبة سلامة المستقبل (RAIM)، التي يستخدمها نظام تحديد المواقع العالمي (GPS). ومع ذلك، يعتمد RAIM على افتراض أن غالبية كوكبة GPS تعمل بشكل صحيح، وبالتالي فهي أقل فائدة بكثير عندما تكون الكوكبة بأكملها مضطربة بسبب التأثيرات العالمية مثل العواصف المغناطيسية الأرضية. حتى لو اكتشف RAIM فقدان السلامة في هذه الحالات، فقد لا يكون قادرًا على توفير إشارة مفيدة وموثوقة.

• تأثر خطوط الأنابيب

يمكن للمجالات المغناطيسية الأرضية المتقلبة بسرعة أن تنتج تيارات مستحثة مغناطيسيًا في خطوط الأنابيب. يمكن أن يسبب هذا مشاكل متعددة لمهندسي خطوط الأنابيب.

سوف يتآكل المعدن عند تعرضه لمجموعة متنوعة من الظروف البيئية (مثل الرطوبة والهواء). يتم تعزيز التآكل إذا كان هناك تيار كهربائي يتدفق عبر المعدن. يمكن أن يكون خط الأنابيب الطويل عرضة للتآكل المعزز إذا سمح للتيارات الكهربائية بالتدفق عبره.

تحمل خطوط الأنابيب الغاز الطبيعي والنفط في جميع أنحاء المنطقة القطبية الشمالية من منطقة المصدر إلى المحطات الطرفية عند خطوط العرض المنخفضة. على سبيل المثال، ينقل خط الأنابيب عبر ألاسكا النفط الخام من خليج برودو على المنحدر الشمالي لألاسكا إلى مدينة فالديز على الساحل الجنوبي لألاسكا، ويقطع مسافة تقارب 1300 كيلومتر (800 ميل).

وفي فالديز، يتم تحميل النفط على ناقلات عملاقة لشحنه إلى كاليفورنيا والمصافي في أماكن أخرى. يقع خط الأنابيب أسفل الشكل البيضاوي الشفقي، والذي يتزامن مع أكبر التيارات الأيونوسفيرية التي تُرى عادةً بسبب النشاط المغناطيسي الأرضي.

يمكن لهذه التيارات الأيونوسفيرية المتغيرة بمرور الوقت أن تحفز تيارات كبيرة في خط الأنابيب. تم تأريض خط أنابيب ألاسكا كهربائيًا خصيصًا لتقليل هذا التأثير، لكن العديد من الأنابيب في جميع أنحاء منطقة القطب الشمالي ليست كذلك، وبالتالي يزداد عمرها الافتراضي واحتمالية التسرب بسبب الطقس الفضائي.

كان الاضطراب الكبير في إنتاج النفط في خليج برودهو في عام 2006 بسبب التآكل الشديد في خطوط الأنابيب والذي ربما تفاقم بسبب التيارات الناجمة عن النشاط الشفقي.

• تأثر الحيوانات

هناك مجموعة كبيرة ولكنها مثيرة للجدل من الأدبيات العلمية حول الروابط بين العواصف المغنطيسية الأرضية وصحة الإنسان. بدأ ذلك بالأوراق الروسية، ثم تمت دراسة الموضوع لاحقًا من قبل علماء غربيين. تشمل نظريات السبب تورط الكريبتوكروم والميلاتونين والغدة الصنوبرية وإيقاع الساعة البيولوجية.

يقترح بعض العلماء أن العواصف الشمسية تدفع الحيتان إلى الشاطئ بنفسها. وتكهن البعض بأن الحيوانات المهاجرة التي تستخدم الاستقبال المغناطيسي للتنقل، مثل الطيور ونحل العسل، قد تتأثر أيضًا.

• مخاطر الطقس الفضائي على الإنسان

يسمح الغلاف الجوي للأرض والغلاف المغناطيسي بحماية كافية على مستوى الأرض، لكن رواد الفضاء يتعرضون لتسمم إشعاعي مميت. يمكن أن يؤدي اختراق الجزيئات عالية الطاقة إلى الخلايا الحية إلى تلف الكروموسومات والسرطان ومشاكل صحية أخرى. الجرعات الكبيرة يمكن أن تكون قاتلة على الفور. تعتبر البروتونات الشمسية ذات الطاقات الأكبر من 30 ميغا إلكترون فولت خطرة بشكل خاص.

يمكن لأحداث البروتونات الشمسية أيضًا أن تنتج إشعاعات مرتفعة على متن الطائرات التي تحلق على ارتفاعات عالية. على الرغم من أن هذه المخاطر صغيرة، إلا أن أطقم الطيران قد تتعرض بشكل متكرر، وتسمح مراقبة أحداث البروتون الشمسي بواسطة أجهزة الأقمار الصناعية بمراقبة التعرض وتقييمه، وفي النهاية تعديل مسارات الطيران والارتفاعات لتقليل الجرعة المتصة.

تحدث التعزيزات على مستوى الأرض، والمعروفة أيضًا باسم أحداث مستوى الأرض أو GLEs، عندما يحوي حدث الجسيمات الشمسية على جسيمات ذات طاقة كافية لإحداث تأثيرات على مستوى الأرض، ويتم اكتشافها بشكل أساسي على أنها زيادة في عدد النيوترونات المقاسة على مستوى الأرض. وقد ثبت أن هذه الأحداث لها تأثير على جرعة الإشعاع، لكنها لا تزيد بشكل كبير من خطر الإصابة بالسرطان.

• تأثيرات الطقس الفضائي على المجتمع

يدور حاليًا أكثر من 500 قمر صناعي عامل حول الأرض. العديد منها عبارة عن أقمار صناعية للاتصالات التجارية توفر تغطية إخبارية تلفزيونية عالمية، واتصالات هاتفية، ومعاملات بطاقات الائتمان.

تقوم الحكومات بتشغيل العديد من الأقمار الصناعية الأخرى لتوفير صور الطقس، والإشارات الملاحية، ومعلومات استخدام الأراضي، والمراقبة العسكرية. كلها عرضة للتلف والتدهور بسبب البيئة الفضائية القاسية.

العديد من الأنظمة الأخرى، بما في ذلك أطقم شركات الطيران والركاب وخطوط الأنابيب وشبكات الطاقة الكهربائية، معرضة لتأثيرات الطقس الفضائي أيضًا. وعلى الرغم من ملاحظة تأثيرات الطقس الفضائي منذ ظهور خطوط التلغراف الأولى في منتصف القرن التاسع عشر، إلا أن العلماء لم يبدأوا دراسة المشكلة بشكل جدي إلا في العقد الماضي.

يرجع الاهتمام البشري الجديد بالطقس الفضائي في المقام الأول إلى النمو السريع لصناعة الاتصالات الفضائية التجارية وتطوير شبكات الطاقة والاتصالات ذات الحجم القاري.

الفصل الثالث

المخاطر المناخية

ظاهرة النينيو | موجات الحر والبرد | التصحر والجفاف | حرائق الغابات

موسوعة المخاطر الطبيعية
Encyclopedia of Natural Hazards

المخاطر المناخية

مُقَدِّمَة

تشير المخاطر المناخية إلى تقييمات المخاطر بناءً على التحليل الرسمي للعواقب واحتمالات واستجابات تأثيرات تغير المناخ وكيف تشكل القيود المجتمعية خيارات التكيف. يتم تطبيق المناهج لمشتركة لتقييم المخاطر واستراتيجيات إدارة المخاطر القائمة على المخاطر الطبيعية على تأثيرات تغير المناخ على الرغم من وجود اختلافات واضحة. في سياق زيادة درجات الحرارة العالمية والظواهر الجوية، تم إنشاء فريق دولي معني بتغير المناخ (IPCC) من قبل برنامج الأمم المتحدة للبيئة (UNEP) والمنظمة العالمية للأرصاد الجوية (WMO) من أجل فهم أفضل لتغير المناخ. هدفها الرئيسي هو تقييم المخاطر المناخية واستكشاف استراتيجيات الوقاية منها.

ووفقاً لتقرير IPCC، الذي أوضح عن تعرض كبير لبعض النظم الإيكولوجية والعديد من النظم البشرية لتقلبات المناخ الحالية. من أن انبعاثات غازات الاحتباس الحراري يجب أن تبلغ ذروتها قبل 2025م على أبعد تقدير، وأن يتم تخفيضها بنسبة 43 % بحلول عام 2030م إذا أردنا أن نحد من ارتفاع درجات الحرارة عالميًا إلى ما أقصاه 1,5 درجة مئوية وتجنب وقوع كارثة حقيقية.

يعود سبب 90 % من الكوارث في العالم إلى المخاطر المتعلقة بالطقس أو المناخ أو الماء. ملايين البشر يعانون بالفعل من التأثيرات المفجعة لكوارث الطقس الشديدة التي يفاقمها تغير المناخ – بدءًا من الجفاف الذي يدوم فتراتٍ

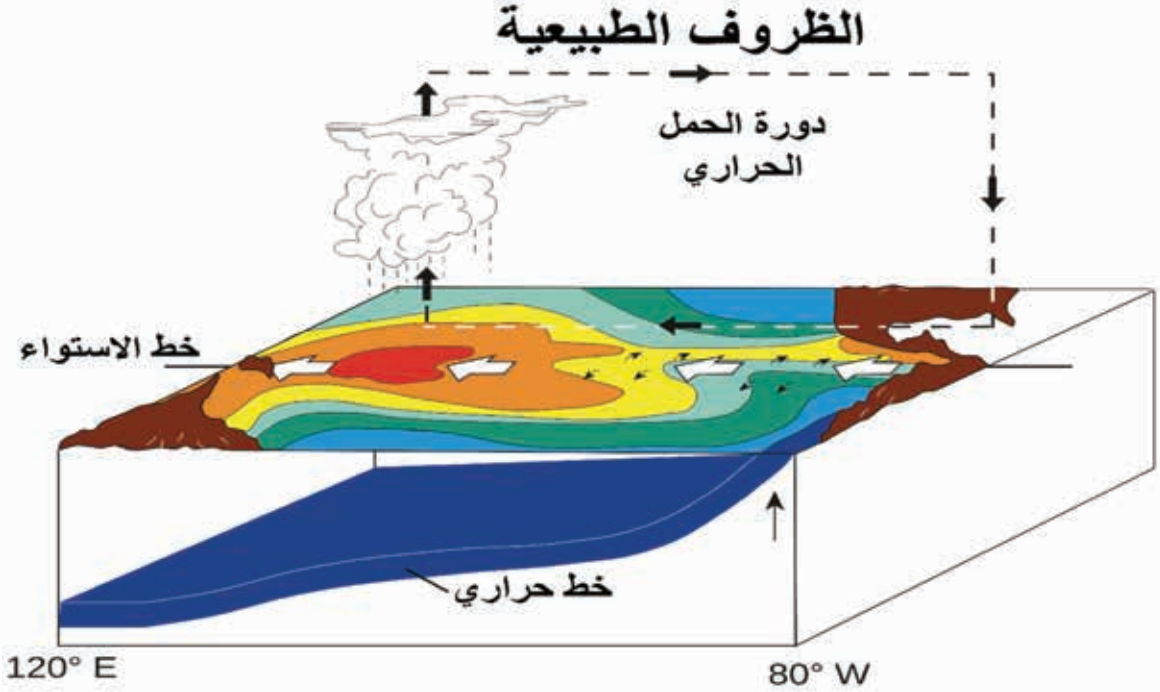
طويلةً في أفريقيا جنوب الصحراء الكبرى وصولا الى درجات الحرارة الشديدة التي تسببت في موجات حر قاتلة في أوروبا، وحرائق غابات في كوريا الجنوبية، والجزائر وكرواتيا. تؤثر المخاطر الجوية والمناخية على الصحة بشكل مباشر وغير مباشر، ممّا يزيد من خطر الوفيات، والأمراض وانتشارها، وحدوث حالات الطوارئ الصحية ويؤثر تغير المناخ أيضاً على القوى العاملة والبنية التحتية في مجال الصحة، ويحدّ من القدرة على توفير التغطية الصحية الشاملة

تعمل شبكة الاتحاد الدولي لجمعيات الصليب الأحمر والهلال الأحمر على تطوير بروتوكولات العمل المبكر (EAPs) وهي خطط رسمية تحدد المشغلات والإجراءات المبكرة التي سنتخذها عندما يُتوقع أن يؤثر خطر معين على المجتمعات – بما في ذلك الاستعداد للمخاطر المتعلقة بظاهرة النينيو.

لا يمكن تجنّب المخاطر الطبيعية ولكن إصدار إنذار مبكر قد يخفّض مقياس الكارثة. يساعد النظام العالمي للرصد التابع للمنظمة (WMO) على تخفيض مخاطر الكوارث من خلال تقديم المعلومات لتوفير إنذارات مبكرة والتصدي للطوارئ. ولقد ساهم ذلك في تخفيض حالات الوفاة الناجمة عن المخاطر الطبيعية في العقود الأخيرة.

ظاهـــــرة النينيو

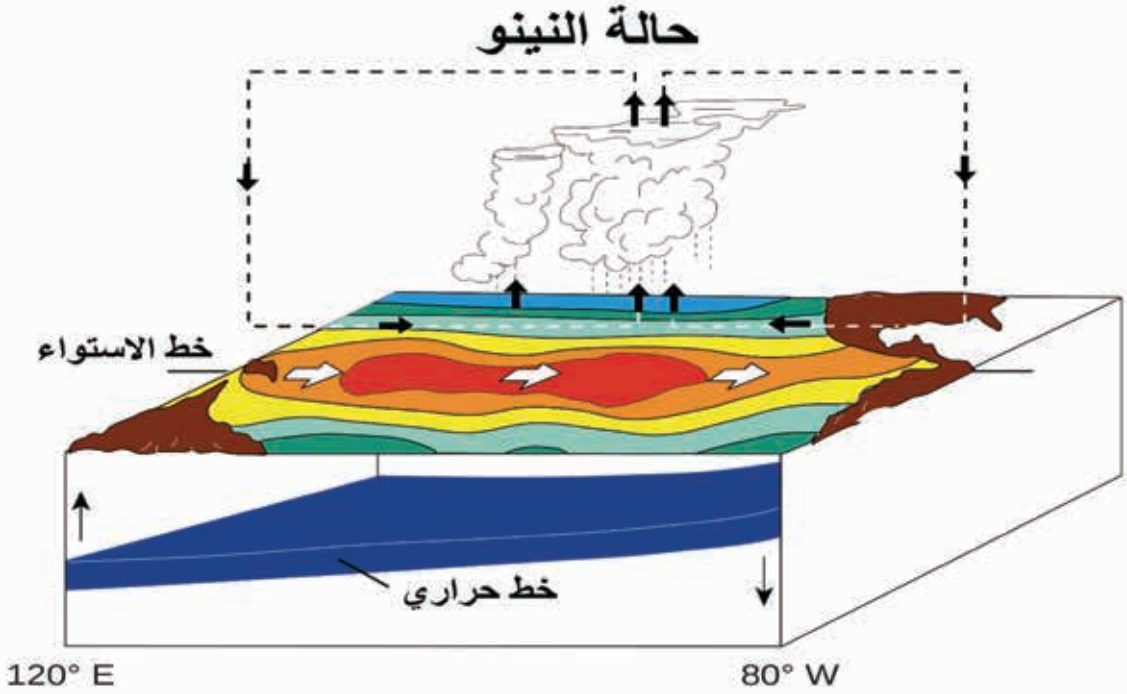
نشأت العبارة الأصلية، «النينيو دي نافيداد»، منذ قرون مضت، عندما أطلق الصيادون في بيرو على ظاهرة الطقس اسم المسيح المولود حديثًا. النينيو El Niño ظاهرة مناخية طبيعية حيث تمثل المرحلة الدافئة من ظاهرة النينيو-التذبذب الجنوبي (ENSO) وترتبط بشريط من مياه المحيط الدافئة التي تتطور في وسط وشرق وسط المحيط الهادئ الاستوائي (تقريبًا بين خط التاريخ الدولي و120 درجة غربًا)، بما في ذلك المنطقة الواقعة قبالة ساحل المحيط الهادئ في أمريكا الجنوبية. ENSO هي دورة درجة حرارة سطح البحر الدافئة والباردة (SST) في المناطق الاستوائية الوسطى والشرقية للمحيط الهادئ.



نمط المحيط الهادئ الطبيعي: يؤدي حوض السباحة الدافئ في الغرب إلى حدوث حمل حراري عميق في الغلاف الجوي. وفي الشرق تتسبب الرياح المحلية في ارتفاع المياه الباردة الغنية بالمغذيات عند خط الاستواء وعلى طول ساحل أمريكا الجنوبية.

ويصاحب ظاهرة النينيو ارتفاع في الضغط الجوي في غرب المحيط الهادئ وانخفاض في الضغط الجوي في شرق المحيط الهادئ. من المعروف أن مراحل ظاهرة النينيو تستمر لما يقرب من أربع سنوات؛ ومع ذلك، تظهر السجلات أن الدورات استمرت ما بين سنتين وسبع سنوات.

خلال تطور ظاهرة النينيو، يتطور هطول الأمطار بين سبتمبر ونوفمبر. المرحلة الباردة من ظاهرة النينيو هي ظاهرة النينيا La Niñ، وتعني «الفتاة»، حيث تكون درجات حرارة سطح البحر في شرق المحيط الهادئ أقل من المتوسط، ويكون الضغط الجوي مرتفعًا في شرق المحيط الهادئ ومنخفضًا في غرب المحيط الهادئ. تتسبب دورة النينيو، بما في ذلك ظاهرة النينيو والنينيا، في حدوث تغيرات عالمية في درجات الحرارة وهطول الأمطار.



حالة النينيو: يتحرك الماء الدافئ والحمل الحراري باتجاه الشرق. في ظاهرة النينيو القوية، يعني المنحدر الحراري الأعمق قبالة أمريكا الجنوبية أن المياه المتدفقة دافئة وفقيرة بالمغذيات.

وعادة ما تكون البلدان النامية التي تعتمد على الزراعة وصيد الأسماك، وخاصة تلك المطلة على المحيط الهادئ، هي الأكثر تضررا. في هذه المرحلة من التذبذب، غالبًا ما يكون حوض المياه الدافئة في المحيط الهادئ بالقرب من أمريكا الجنوبية في أشد حالاته دفئًا في أواخر شهر ديسمبر. **أحداث النينيو**

يُعتقد أن أحداث النينيو حدثت منذ آلاف السنين. على سبيل المثال، يُعتقد أن ظاهرة النينيو أثرت على شعب الموتشي في بيرو الحديثة، الذين ضحوا بالبشر في محاولة لمنع هطول الأمطار.

يُعتقد أنه كان هناك ما لا يقل عن 30 حدثًا لظاهرة النينيو منذ عام 1900م، وكانت أحداث 1982–83، و1997–98، و2014–16 من بين أقوى الأحداث المسجلة. منذ عام 2000م، تمت ملاحظة أحداث النينيو في الأعوام 2002–03، 2004–05، 2006–07، 2009–10، 2014–16، 2018–19، وبدءًا من عام 2023.

تم تسجيل أحداث التذبذب الجنوبي الكبرى في الأعوام 1790–93، 1828، 1876–78، 1891، 1925–26، 1972–73، 1982–83، 1997–98، و2014–16.

عادة، يحدث هذا الشذوذ على فترات غير منتظمة تتراوح من سنتين إلى سبع سنوات، ويستمر من تسعة أشهر إلى سنتين. متوسط طول الفترة هو خمس سنوات. عندما يحدث هذا الاحترار لمدة سبعة إلى تسعة أشهر، يتم تصنيفه على أنه «ظروف» ظاهرة النينيو؛ عندما تكون مدتها أطول، يتم تصنيفها على أنها «حلقة» ظاهرة النينيو.

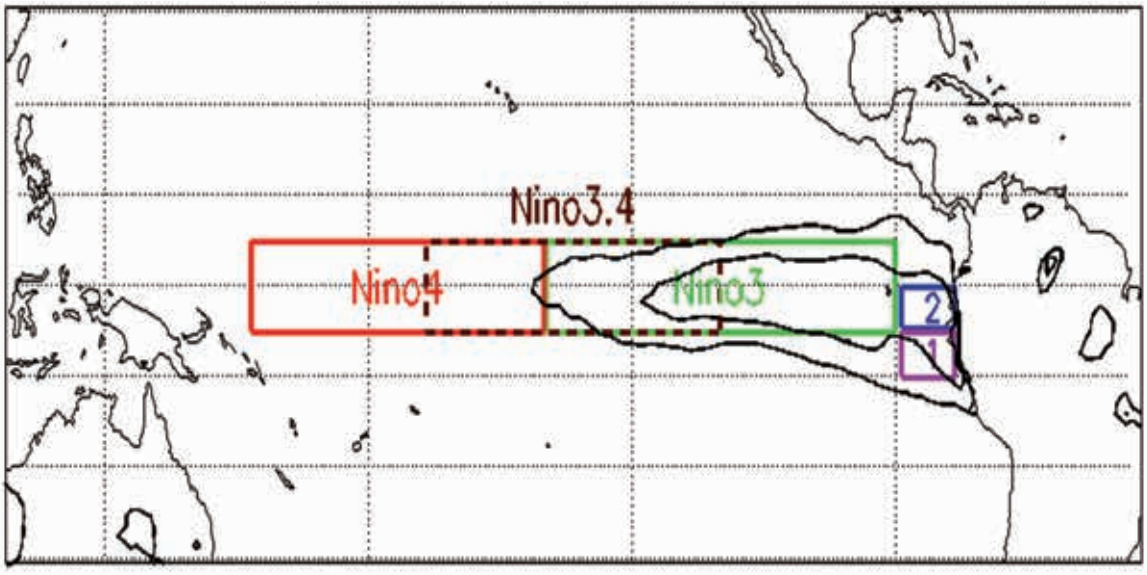
أثناء فترات ظاهرة النينيو القوية، تحدث أحيانًا ذروة ثانوية في درجة حرارة سطح البحر عبر أقصى شرق المحيط الهادئ الاستوائي تتبع الذروة الأولية.

1. تنوع أحداث النينيو

يُعتقد أن هناك عدة أنواع مختلفة من أحداث النينيو، حيث تحظى أحداث النينيو بشرق المحيط الهادئ وأحداث مودوكي بوسط المحيط الهادئ بأكبر قدر من الاهتمام.

يتم تصنيف هذه الأنواع المختلفة من أحداث النينيو حسب المكان الذي تكون فيه شذوذات درجة حرارة سطح البحر في المحيط الهادئ الاستوائية (SST) هي الأكبر. على سبيل المثال، تقع أقوى حالات الشذوذ في درجة حرارة سطح البحر المرتبطة بحدث شرق المحيط الهادئ القانوني قبالة سواحل أمريكا الجنوبية.

تقع أقوى الحالات الشاذة المرتبطة بحدث مودوكي في وسط المحيط الهادئ بالقرب من خط التاريخ الدولي. ومع ذلك، خلال مدة حدث واحد، يمكن أن تتغير المنطقة التي بها أكبر شذوذ في درجة حرارة سطح البحر.



خريطة لمناطق المؤشر المختلفة المستخدمة لقياس قوة ENSO؛ تم رسمها على خلفية خطوط 2+ و 3+ درجة مئوية لشذوذ درجة حرارة السطح DJF 1997-8.

تتضمن ظاهرة النينيو التقليدية، والتي تسمى أيضًا ظاهرة النينيو شرق المحيط الهادئ (EP)، شذوذًا في درجات الحرارة في شرق المحيط الهادئ. ومع ذلك، في العقدين الأخيرين، لوحظت ظاهرة النينيو غير النمطية، حيث لا يتأثر المكان المعتاد لشذوذ درجة الحرارة (نينيو 1 و 2)، ولكن ينشأ شذوذ في وسط المحيط الهادئ (نينيو 3.4). تُسمى هذه الظاهرة بظاهرة النينيو في وسط المحيط الهادئ، أو «خط التاريخ» النينيو (لأن الشذوذ ينشأ بالقرب من خط التاريخ الدولي)، أو النينيو «مودوكي» (مودوكي كلمة يابانية تعني «مشابه، لكنه مختلف»).

تختلف تأثيرات ظاهرة النينيو CP عن تأثيرات ظاهرة النينيو التقليدية – على سبيل المثال، تؤدي ظاهرة النينيو المكتشفة مؤخرًا إلى المزيد من الأعاصير الأطلسية المتكررة.

هناك أيضًا نقاش علمي حول وجود تيار النينيو «الجديد» هذا. في الواقع، هناك عدد من الدراسات التي تشكك في حقيقة هذا التمييز الإحصائي أو حدوثه المتزايد، أو كليهما، إما بحجة أن السجل الموثوق به أقصر من أن يتمكن من اكتشاف مثل هذا التمييز، أو عدم العثور على أي تمييز أو اتجاه باستخدام الأساليب الإحصائية الأخرى، أو أن الأنواع الأخرى يجب أن تكون يمكن تمييزها، مثل ENSO القياسية والمتطرفة.

أول ظاهرة النينيو مسجلة نشأت في وسط المحيط الهادئ وانتقلت نحو الشرق كانت في عام 1986م. وحدثت ظاهرة النينيو الأخيرة في وسط المحيط الهادئ في الأعوام 1986–87، و1991–92، و1994–95، و2002–03، و2004–05، و2009–10.. علاوة على ذلك، كانت هناك أحداث «مودوكي» في الأعوام 1957–59، و1963–64، و1965–66، و1968–70، و1977–78، و1979–80. تقول بعض المصادر أن ظاهرة النينيو في الفترة 2006-2007 و2014-2016م كانت أيضًا ظاهرة النينيو في وسط المحيط الهادئ.

2. تأثيرات ظاهرة النينيو على المناخ العالمي

تؤثر ظاهرة النينيو على المناخ العالمي وتعطل أنماط الطقس العادية، مما قد يؤدي نتيجة لذلك إلى عواصف شديدة في بعض الأماكن وموجات جفاف في أماكن أخرى.

❖ الأعاصير المدارية

تتشكل معظم الأعاصير المدارية على جانب التلال شبه الاستوائية الأقرب إلى خط الاستواء، ثم تتحرك باتجاه القطب متجاوزة محور التلال قبل أن تعود إلى الحزام الرئيسي للغرب.

تميل المناطق الواقعة غرب اليابان وكوريا إلى تجربة عدد أقل من تأثيرات الأعاصير المدارية في الفترة من سبتمبر إلى نوفمبر خلال ظاهرة النينيو والسنوات المحايدة. خلال سنوات ظاهرة النينيو، يميل الكسر في التلال شبه الاستوائية إلى أن يقع بالقرب من 130 درجة شرقًا، وهو ما يفضل الأرخبيل الياباني.

داخل المحيط الأطلسي، تزداد قوة قص الرياح العمودية، مما يمنع نشوء الأعاصير المدارية وتكثيفها، عن طريق جعل الرياح الغربية في الغلاف الجوي أقوى.

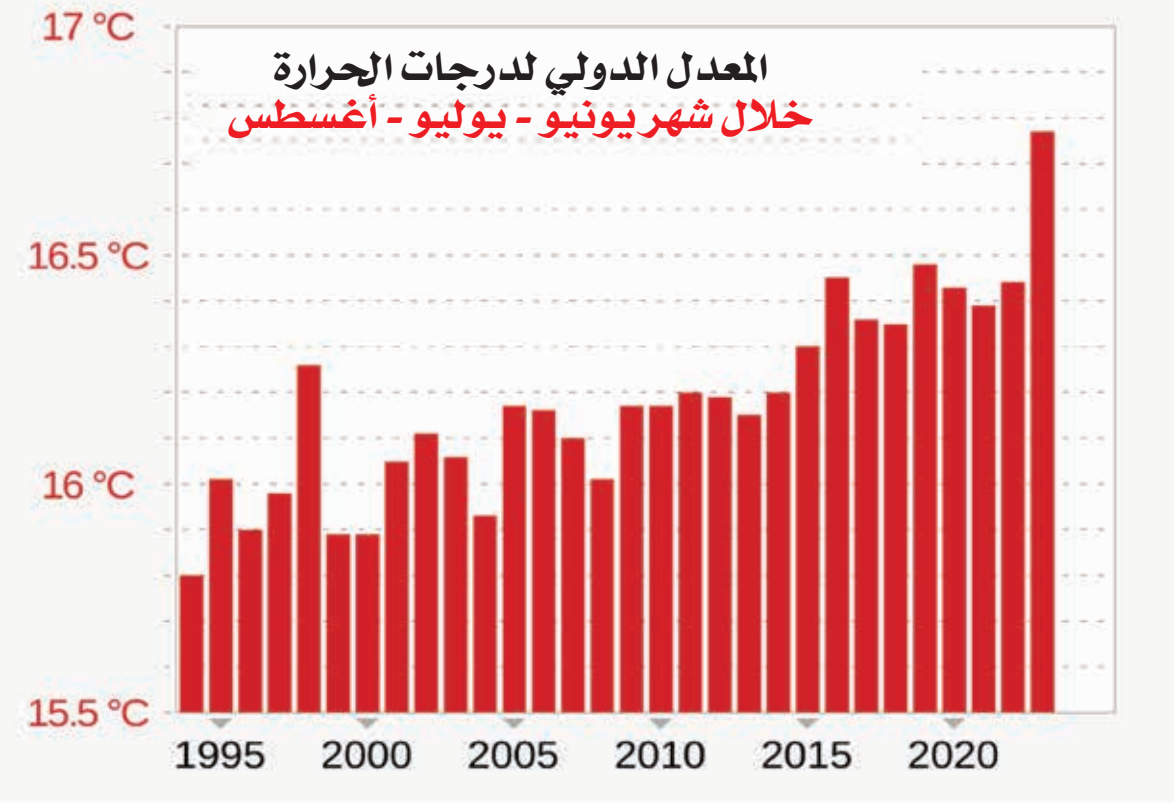
يمكن أيضًا أن يكون الغلاف الجوي فوق المحيط الأطلسي أكثر جفافًا وأكثر استقرارًا خلال أحداث النينيو، مما قد يمنع أيضًا نشوء الأعاصير المدارية وتكثيفها.

داخل حوض شرق المحيط الهادئ: تساهم أحداث النينيو في تقليل قص الرياح العمودية الشرقية وتشجع نشاط الأعاصير فوق المعتاد. ومع ذلك، فإن

تأثيرات حالة ENSO في هذه المنطقة يمكن أن تختلف وتتأثر بشدة بأنماط المناخ الخلفية.

يشهد حوض غرب المحيط الهادئ تغيرًا في موقع تشكل الأعاصير المدارية خلال أحداث النينيو، مع تحول تكوين الأعاصير المدارية شرقًا، دون تغيير كبير في عدد الأعاصير التي تتطور كل عام. ونتيجة لهذا التغيير، من المرجح أن تتأثر ميكرونيزيا بالأعاصير المدارية، في حين أن الصين لديها خطر أقل للتأثر بالأعاصير المدارية.

يحدث تغيير في موقع تشكل الأعاصير المدارية أيضًا داخل جنوب المحيط الهادئ بين 135 درجة شرقًا و120 درجة غربًا، مع احتمال حدوث الأعاصير المدارية داخل حوض جنوب المحيط الهادئ أكثر من المنطقة الأسترالية. ونتيجة لهذا التغيير، تقل احتمالية وصول الأعاصير المدارية إلى اليابسة في كوينزلاند بنسبة 50 %، في حين أن خطر حدوث الأعاصير المدارية مرتفع بالنسبة للدول الجزرية مثل نيوي، وبولينيزيا الفرنسية، وتونغا، وتوفالو، وجزر كوك.



كان موسم يونيو-يوليو-أغسطس 2023 هو الموسم الأكثر دفئًا على الإطلاق على مستوى العالم بهامش كبير، مع استمرار تطور ظروف ظاهرة النينيو. كما شهد عام 1998 – وهو عام قوي جدًا لظاهرة النينيو – ارتفاعًا حادًا في درجات الحرارة العالمية.

❖ التأثير البعيد على المحيط الأطلسي الاستوائي

أظهرت دراسة لسجلات المناخ أن أحداث النينيو في المنطقة الاستوائية من المحيط الهادئ ترتبط عمومًا بشمال المحيط الأطلسي الاستوائي الدافئ في فصلي الربيع والصيف التاليين.

يستمر ما يقرب من نصف أحداث النينيو بشكل كافٍ في أشهر الربيع حتى

يصبح حوض السباحة الدافئ في نصف الكرة الغربي كبيرًا بشكل غير عادي في الصيف. في بعض الأحيان، يؤدي تأثير ظاهرة النينيو على دوران المحيط الأطلسي فوق أمريكا الجنوبية إلى تقوية الرياح التجارية الشرقية في منطقة المحيط الأطلسي الغربية الاستوائية.

ونتيجة لذلك، قد يحدث تبريد غير عادي في شرق المحيط الأطلسي الاستوائي في الربيع والصيف بعد ذروة ظاهرة النينيو في الشتاء. وقد ارتبطت حالات من أحداث النينيو في كلا المحيطين في وقت واحد بالمجاعات الشديدة المرتبطة بانقطاع الأمطار الموسمية لفترة طويلة.

3. الآثار الاجتماعية والبيئية على البشرية والطبيعة

❖ الآثار الاقتصادية

عندما تستمر ظروف ظاهرة النينيو لعدة أشهر، فإن ارتفاع درجة حرارة المحيطات على نطاق واسع وانخفاض الرياح التجارية الشرقية يحد من ارتفاع المياه العميقة الباردة الغنية بالمغذيات، وقد يكون تأثيرها الاقتصادي على الصيد المحلي للسوق الدولية خطيرا.

وبشكل أكثر عمومية، من الممكن أن تؤثر ظاهرة النينيو على أسعار السلع الأساسية والاقتصاد الكلي في مختلف البلدان. ويمكن أن يعيق المعروض من السلع الزراعية التي تعتمد على الأمطار؛ والحد من الإنتاج الزراعي وأنشطة البناء والخدمات؛ خلق أسعار المواد الغذائية والتضخم المعمم؛ وقد يؤدي ذلك إلى اضطرابات اجتماعية في البلدان الفقيرة التي تعتمد على السلع الأساسية والتي تعتمد في المقام الأول على الأغذية المستوردة.

تظهـر ورقـة عمـل أعدتهـا جامعـة كامبريـدج أنـه في حـين تواجـه أسـتراليا وتشـيلي وإندونيسـيا والهنـد واليابـان ونيوزيلنـدا وجنـوب أفريقيـا انخفاضاً قصيـر الأمـد في النشـاط الاقتصـادي اسـتجابةً لصدمـة النينيـو، فـإن بلدانـاً أخـرى قـد تسـتفيد فعليـاً مـن ظاهـرة النينيـو. الصدمـات المناخيـة (إمـا بشـكل مباشـر أو غيـر مباشـر مـن خـلال التأثيـرات الإيجابيـة مـن الشـركاء التجاريـين الرئيسـيين)، علـى سـبيل المثـال، الأرجنتـين وكنـدا والمكسـيك والولايـات المتحـدة.

وعـلاوة علـى ذلـك، تواجـه أغلـب البلـدان ضغوطـاً تضخميـة قصيـرة الأمـد في أعقـاب صدمـة النينيـو، في حـين ترتفـع أسـعار الطاقـة العالميـة والسـلع الأساسـية غيـر الوقوديـة. يقـدر صنـدوق النقـد الدولـي أن حـدوث ظاهـرة النينيـو بشـكل كبيـر يمكـن أن يعـزز النـاتج المحلـي الإجمالـي للولايـات المتحـدة بنحـو 0.5 % (ويرجـع ذلـك إلـى حـد كبيـر إلـى انخفـاض فواتيـر التدفئـة) ويقلـل النـاتج المحلـي الإجمالـي لإندونيسـيا بنحـو 1.0 %.

❖ الآثار الصحية والاجتماعية

ترتبـط الظـروف الجويـة القاسـية المرتبطـة بـدورة النينيـو بالتغيـرات في حـدوث الأمـراض الوبائيـة. علـى سـبيل المثـال، ترتبـط دورة النينيـو بزيـادة مخاطـر الإصابـة ببعـض الأمـراض التـي ينقلهـا البعـوض، مثـل الملاريـا، وحمـى الضنـك، وحمـى الوادي المتصـدع. والآن تم ربـط دورات الملاريـا في الهنـد وفنزويـلا والبرازيـل وكولومبيـا بظاهـرة النينيـو.

يحـدث تفشـي مـرض آخـر ينقلـه البعـوض، وهـو التهـاب الدمـاغ الأسـترالي (التهـاب الدمـاغ في وادي مـوراي – MVE)، في جنـوب شـرق أسـتراليا المعتـدل بعـد هطـول الأمطـار الغزيـرة والفيضانـات، المرتبطـة بأحـداث النينيـا. حـدث تفشـي

حاد لحمى الوادي المتصدع بعد هطول الأمطار الغزيرة في شمال شرق كينيا وجنوب الصومال خلال ظاهرة النينيو في الفترة 1998-1997م.

وقد ارتبطت ظروف التذبذب الجنوبي أيضًا بحدوث مرض كاواساكي في اليابان والساحل الغربي للولايات المتحدة، عبر الارتباط بالرياح التروبوسفيرية عبر شمال المحيط الهادئ.

قد يكون ENSO مرتبطًا بالصراعات الأهلية. يشير العلماء في معهد الأرض بجامعة كولومبيا، بعد تحليل البيانات من عام 1950م إلى عام 2004م، إلى أن النينيو ربما كان له دور في 21 % من جميع الصراعات الأهلية منذ عام 1950م، مع تضاعف خطر الصراع المدني السنوي من 3 % إلى 6 % في البلدان. تتأثر بظاهرة النينيو خلال سنوات ظاهرة النينيو مقارنة بسنوات ظاهرة النينيو.

❖ العواقب البيئية

وفي النظم الإيكولوجية الأرضية، لوحظ تفشي القوارض في شمال شيلي وعلى طول الصحراء الساحلية في بيرو في أعقاب ظاهرة النينيو في الفترة 1973-1972م. في حين أن بعض الرئيسيات الليلية (الترسيرس الغربي Tarsiusbancanus واللوريس البطيء Nycticebus coucang) ودب الشمس الماليزي (Helarctos malayanus) تم استئصالها محليًا أو عانت من انخفاض حاد في أعدادها داخل هذه الغابات المحترقة.

تم توثيق تفشي قشريات الأجنحة في بنما وكوستاريكا. خلال أحداث ENSO في الأعوام 1982–83 و1997–98 و2015–16، شهدت مساحات كبيرة من الغابات الاستوائية فترة جفاف طويلة أدت إلى حرائق واسعة النطاق وتغيرات جذرية في بنية الغابات وتكوين أنواع الأشجار في غابات الأمازون وبورنيان.

ولا يقتصر تأثيرها على الغطاء النباتي فحسب، إذ لوحظ انخفاض في أعداد الحشرات بعد الجفاف الشديد والحرائق الرهيبة خلال ظاهرة النينيو في الفترة 2015 - 2016م. ولوحظ أيضًا انخفاض في أنواع الطيور المتخصصة في الموائل والحساسة للاضطرابات وفي الثدييات آكلة اللحوم الكبيرة في غابات الأمازون المحترقة، في حين حدث استئصال مؤقت لأكثر من 100 نوع من الفراشات في الأراضي المنخفضة في موقع غابة محترقة في بورنيو.

والأهم من ذلك، أنه تم تسجيل أحداث التبييض الجماعي العالمي في الفترة 1997-1998م والفترة 2015-2016م، عندما تم تسجيل خسائر تتراوح بين 75 - 99 % من المرجان الحي في جميع أنحاء العالم. كما تم إيلاء اهتمام كبير لانهيار أعداد الأنشوجة في بيرو وتشيلي، مما أدى إلى أزمة حادة في مصايد الأسماك في أعقاب أحداث التذبذب الجنوبي في الأعوام 1972-1973، و1982-1983، و1997-1998م، ومؤخرًا في الفترة 2015 - 2016م.

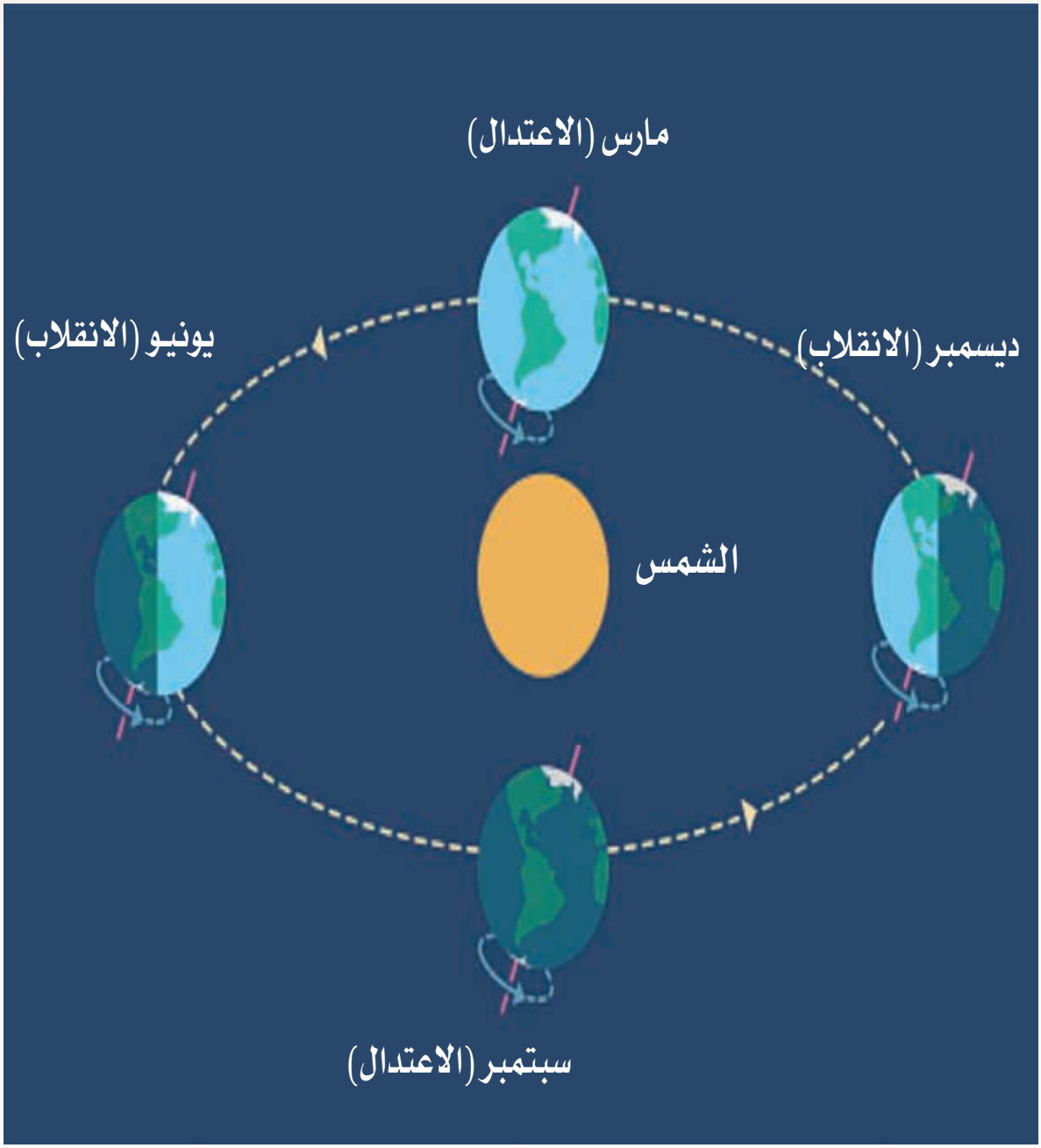
على وجه الخصوص، أدى ارتفاع درجات حرارة مياه البحر السطحية في الفترة 1982-1983م أيضًا إلى الانقراض المحتمل لنوعين من المرجانيات المائية في بنما، وإلى نفوق هائل لأحواض عشب البحر على طول 600 كيلومتر من الخط الساحلي في تشيلي، حيث تعافى عشب البحر والتنوع البيولوجي المرتبط به ببطء في المناطق الأكثر تضررا حتى بعد 20 عاما. تعمل كل هذه النتائج على توسيع دور أحداث ENSO كقوة مناخية قوية تدفع التغيرات البيئية في جميع أنحاء العالم – وخاصة في الغابات الاستوائية والشعاب المرجانية.

وفي الغابات الاستوائية الجافة موسمياً، والتي تكون أكثر تحملاً للجفاف، وجد الباحثون أن ظاهرة النينيو الناجمة عن الجفاف أدت إلى زيادة معدل وفيات البادرات. في بحث نُشر في أكتوبر 2022م، درس الباحثون الغابات الاستوائية الجافة موسميًا في حديقة وطنية في شيانغ ماي في تايلاند لمدة 7 سنوات، ولاحظوا أن ظاهرة النينيو زادت من معدل وفيات البادرات حتى في الغابات الاستوائية الجافة موسميًا وقد تؤثر على غابات بأكملها على المدى الطويل.

موجات الحر والبرد

ترتبط موجات الحر والبرد بميل محور الأرض. تحدث الفصول بسبب ميل محور الأرض بزاوية تبلغ حوالي 23.4 درجة، وتتلقى أجزاء مختلفة من الأرض طاقة شمسية أكثر من غيرها. بسبب الميل المحوري للأرض (الميل)، يدور كوكبنا حول الشمس بشكل مائل مما يعني أن مناطق مختلفة من الأرض تشير نحو الشمس أو بعيدًا عنها في أوقات مختلفة من العام.

يعتقد الكثير من الناس أن درجات الحرارة تتغير لأن الأرض تكون أقرب إلى الشمس في الصيف وتبعد عن الشمس في الشتاء. وفي الواقع تكون الأرض أبعد عن الشمس في شهر يوليو وتكون أقرب إلى الشمس في شهر يناير. خلال فصل الصيف، تضرب أشعة الشمس الأرض بزاوية شديدة الانحدار. لا ينتشر الضوء بنفس القدر، وبالتالي تزيد كمية الطاقة التي تصل إلى أي نقطة معينة. كما أن ساعات النهار الطويلة تتيح للأرض متسعًا من الوقت للوصول إلى درجات الحرارة الدافئة.



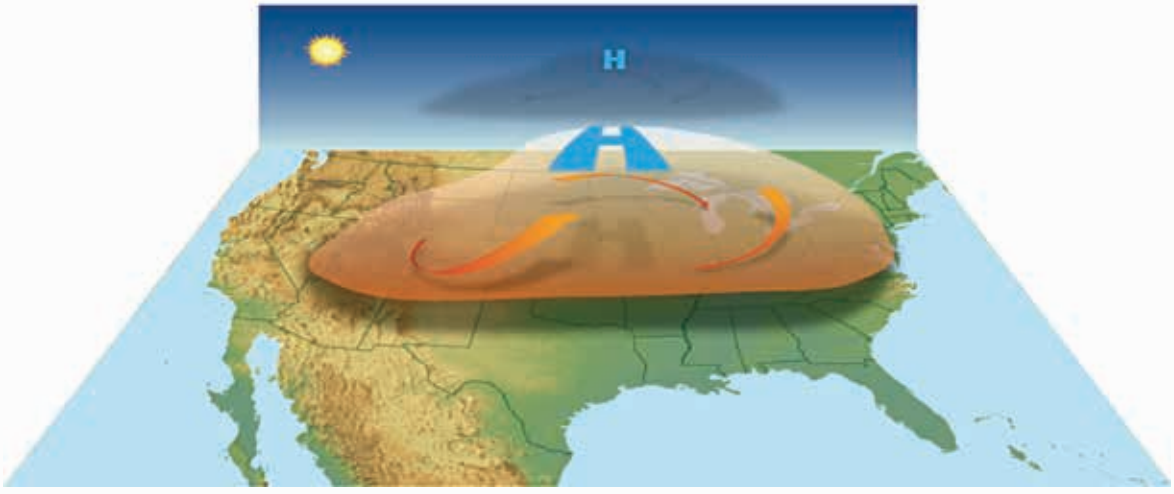
مدار الأرض حول الشمس بيضاوي الشكل. تنجم الفصول عن الميل المحوري للأرض وتتأثر درجات الحرارة والعمليات الطبيعية.

موجات الحر

موجة الحر هي فترة من الطقس الحار بشكل غير عادي ومفرط. موجات الحر نادرة وتتطلب حدوث مجموعات محددة من الأحداث الجوية، وقد تشمل انقلابات درجات الحرارة، أو رياح كاتاباتيكية، أو ظواهر أخرى. أسوأ موجة حر في التاريخ الحديث كانت موجة الحر الأوروبية عام 2003م.

خلقت موجة حر صيفية في فيكتوريا، أستراليا، الظروف التي أدت إلى اشتعال حرائق الغابات الضخمة في عام 2009م. وشهدت ملبورن ثلاثة أيام متتالية من درجات الحرارة تجاوزت 40 درجة مئوية، مع تعرض بعض المناطق الإقليمية لدرجات حرارة أعلى بكثير.

كانت حرائق الغابات، المعروفة مجتمعة باسم «السبت الأسود»، جزئيًا من فعل مشعلي الحرائق. أدى صيف نصف الكرة الشمالي لعام 2010م إلى موجات حر شديدة أدت إلى مقتل أكثر من 2000 شخص. تسببت الحرارة في اندلاع مئات حرائق الغابات مما أدى إلى تلوث الهواء على نطاق واسع وأحرق آلاف الكيلومترات المربعة من الغابات.



تشكيل موجة حرارية: تعمل الدورة الدموية ذات الضغط العالي في الغلاف الجوي مثل القبة أو الغطاء، حيث تحبس الحرارة على السطح.

الأرصـــاد

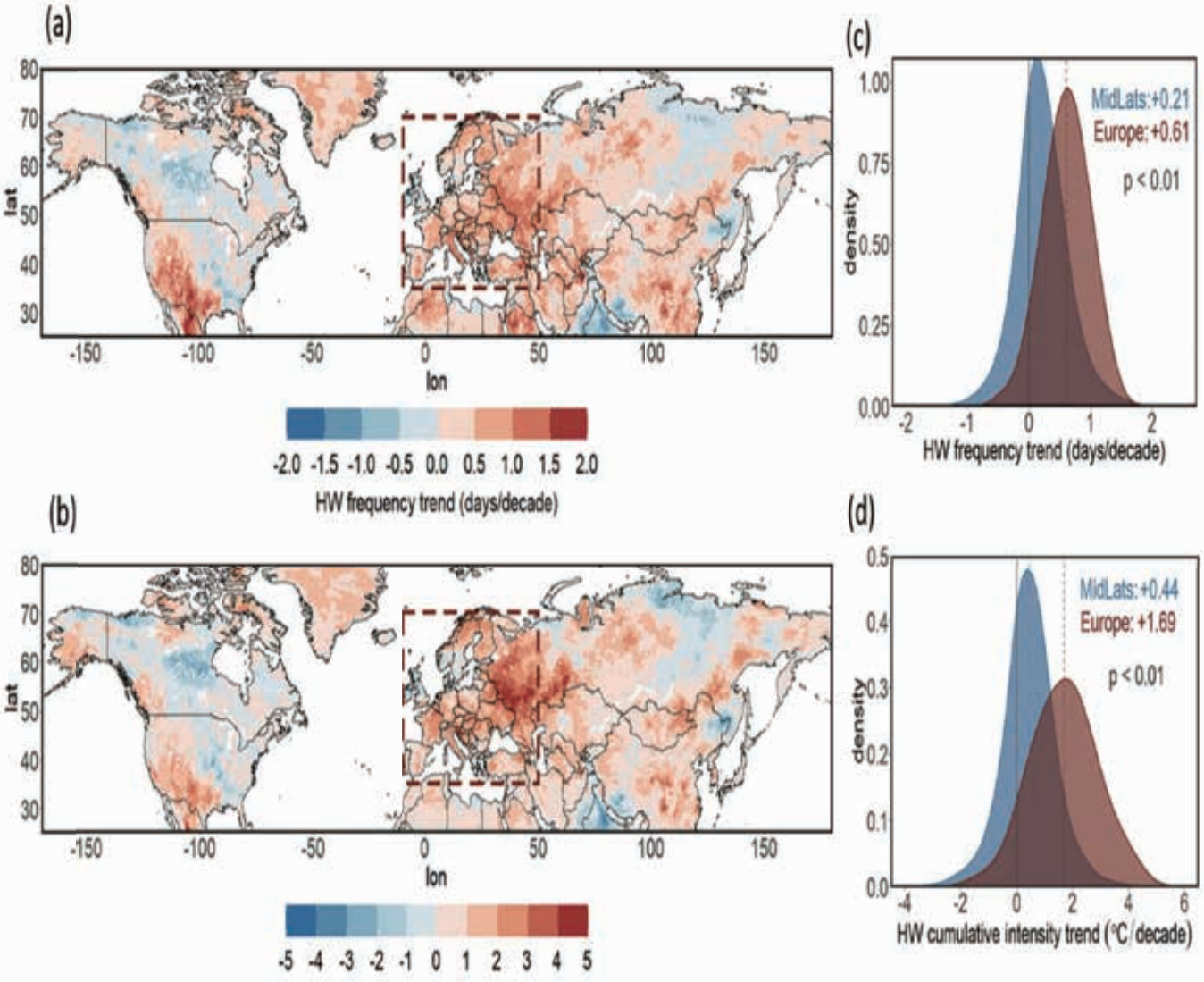
مـن الممكـن مقارنـة موجـات الحـرارة في مناطـق مختلفـة مـن العالـم بمناخـات مختلفـة بفضـل مؤشـر عـام. ظهـر ذلـك في عـام 2015م. وبهـذه المؤشـرات، قـدر الخبـراء موجـات الحـر علـى المسـتوى العالمـي مـن عـام 1901م إلـى عـام 2010م. ووجـدوا زيـادة كبيـرة وحـادة في عـدد المناطـق المتضـررة في العقديـن الماضيـين.

في يوليـو 2023م، سـجل العالـم ارتفاعًـا قياسـيًا جديـدًا في درجـة الحـرارة. يمكـن أيضًـا أن تُعـزى زيـادة حرائـق الغابـات في أماكـن مثـل إسـبانيا واليونـان إلـى موجـات الحـر.

أدت موجـة الحـر في غـرب أمريـكا الشـمالية لعـام 2021م إلـى بعـض أعلـى درجـات الحـرارة المسـجلة علـى الإطـلاق في المنطقـة. وشـملت هـذه رقمـا قياسـيا قـدره 49.6 درجـة مئويـة في كنـدا.

بحثـت إحـدى الدراسـات في عـام 2021م في 13115 مدينـة. ووجـدت أن التعـرض للحـرارة الشـديدة بسـبب درجـة حـرارة الكـرة الأرضيـة الرطبـة التـي تزيـد عـن 30 درجـة مئويـة تضاعـف ثـلاث مـرات بـين عامـي 1983 و2016م. وزاد بنحـو 50 % إذا اسـتبعدنا تأثيـر النمـو السـكاني في هـذه المـدن.

غالبًـا مـا تكـون المناطـق الحضريـة وأماكـن المعيشـة أكثـر دفئًـا مـن المناطـق الريفيـة المحيطـة بهـا. ويرجـع ذلـك جزئيًـا إلـى تأثيـر الجزيـرة الحراريـة الحضريـة. قـام الباحثـون بتجميـع قائمـة شـاملة لأحـداث الحـرارة الشـديدة الماضيـة في المناطـق الحضريـة.



خريطة لاتجاهات الموجات الحارة المتزايدة (التردد والشدة التراكمية) فوق خطوط العرض الوسطى وأوروبا، يوليو-أغسطس 1979–2020.

التأثيرات على صحة الإنسان

هـذا القسـم مقتطـف مـن مـرض الحـرارة. مـرض الحـرارة هـو مجموعـة مـن الاضطرابـات الناجمـة عـن ارتفـاع درجـة حـرارة الجسـم. يمكـن أن يكـون سـببه إمـا الظـروف البيئيـة أو بسـبب المجهـود.

وتشـمل الحـالات البسـيطة مثـل التشـنجات الحراريـة والإغمـاء الحـراري والإرهـاق الحـراري بالإضافـة إلـى الحالـة الأكثـر خطـورة المعروفـة باسـم ضربـة الشـمس. يمكـن أن يؤثـر علـى أي أو كل الأنظمـة التشـريحية. تشـمل أمـراض الحـرارة: ضربـة الشـمس، الإنهـاك الحـراري، الإغمـاء الحـراري، الوذمـة الحراريـة، التشـنجات الحراريـة، الطفـح الحـراري، التكـزز الحـراري.

تشـمل الوقايـة تجنـب الأدويـة التـي يمكـن أن تزيـد مـن خطـر الإصابـة بأمـراض الحـرارة، والتكيـف التدريجـي مـع الحـرارة، وتنـاول مـا يكفـي مـن السـوائل والكهارل.

يشـمل الأشـخاص الضعفـاء فيمـا يتعلـق بأمـراض الحـرارة الأشـخاص ذوي الدخـل المنخفـض، ومجموعـات الأقليـات، والنسـاء (وخاصـة النسـاء الحوامـل)، والأطفـال، وكبـار السـن (أكثـر مـن 65 عامًـا)، والأشـخاص الذيـن يعانـون مـن أمـراض مزمنـة، والإعاقـات والأمـراض المصاحبـة.

يشـمل الأشـخاص الآخـرون المعرضـون للخطـر أولئـك الذيـن يعيشـون في البيئـات الحضريـة (بسـبب تأثيـر جزيـرة الحـرارة الحضريـة)، والعاملـين في الهـواء الطلـق والأشـخاص الذيـن يتناولـون بعـض الأدويـة الطبيـة. يشـكل التعـرض للحـرارة الشـديدة خطـراً صحيـاً حـاداً علـى العديـد مـن الأشـخاص الذيـن يعتبـرون معرضيـن للخطـر.

معدل الوفيات

ويحذر خبراء الصحة من أن «التعرض للحرارة الشديدة يزيد من خطر الوفاة بسبب أمراض القلب والأوعية الدموية والدماغية والجهاز التنفسي والوفيات بجميع الأسباب. وقد وصلت الوفيات المرتبطة بالحرارة لدى الأشخاص الذين تزيد أعمارهم عن 65 عامًا إلى مستوى قياسي يقدر بنحو 345000 حالة وفاة في عام 2019م. توفي أكثر من 70.000 أوروبي نتيجة لموجة الحرارة الأوروبية عام 2003م. كما توفي أكثر من 2000 شخص في كراتشي، باكستان في يونيو 2015م بسبب موجة الحر الشديدة التي وصلت درجات الحرارة فيها إلى 49 %.

ستساعد زيادة الوصول إلى التبريد الداخلي (تكييف الهواء) على منع الوفيات المرتبطة بالحرارة، لكن تكنولوجيا تكييف الهواء الحالية غير مستدامة بشكل عام لأنها تساهم في انبعاثات غازات الدفيئة، وتلوث الهواء، وذروة الطلب على الكهرباء، وجزر الحرارة الحضرية.

من المحتمل أن يكون عدد الوفيات الناجمة عن الحرارة أقل من المبلغ عنه إلى حد كبير. ويرجع ذلك إلى عدم وجود تقارير وتقارير خاطئة.

وإذا أخذنا في الاعتبار الأمراض المرتبطة بالحرارة، فإن عدد الوفيات الفعلي المرتبط بالحرارة الشديدة قد يكون ستة أضعاف الأرقام الرسمية. ويستند هذا على دراسات كاليفورنيا واليابان.

قد يكون جزء من الوفيات أثناء موجة الحر ناتجًا عن إزاحة الوفيات إلى الأمام على المدى القصير. في بعض موجات الحر، هناك انخفاض في معدل

الوفيات الإجمالي في الأسابيع التي تلي موجة الحر. تشير هذه التخفيضات التعويضية في معدل الوفيات إلى أن الحرارة تؤثر على الأشخاص الذين كانوا سيموتون على أية حال، وتؤدي إلى تقدم موعد وفاتهم.

■ التأثيرات النفسية والاجتماعية

الحرارة المفرطة تسبب الإجهاد النفسي وكذلك الإجهاد البدني. يمكن أن يؤثر هذا على الأداء. وقد يؤدي أيضًا إلى زيادة جرائم العنف.

ويرتبط ارتفاع درجات الحرارة بزيادة الصراع بين الأفراد وعلى المستوى الاجتماعي. في كل مجتمع، ترتفع معدلات الجريمة عندما ترتفع درجات الحرارة. وينطبق هذا بشكل خاص على جرائم العنف مثل الاعتداء والقتل والاغتصاب. وفي البلدان غير المستقرة سياسيا، يمكن أن يؤدي ارتفاع درجات الحرارة إلى تفاقم العوامل التي تؤدي إلى الحرب الأهلية.

درجات الحرارة المرتفعة لها أيضًا تأثير كبير على الدخل. وجدت دراسة أجريت على مقاطعات في الولايات المتحدة أن الإنتاجية الاقتصادية للأيام الفردية تنخفض بنحو 1.7 % لكل درجة مئوية فوق 15 درجة مئوية.

■ انخفاض الناتج المحلي الإجمالي

وتشير الحسابات من عام 2022م إلى أن موجات الحر ستقلص الاقتصاد العالمي بنحو 1 % بحلول منتصف القرن الحادي والعشرين.

غالبًا ما يكون لموجات الحرارة تأثيرات معقدة على الاقتصادات. فهي تقلل من إنتاجية العمل، وتعطل العمليات الزراعية والصناعية، وتلحق الضرر بالبنية التحتية غير المناسبة للحرارة الشديدة.

■ انخفاض الغلة الزراعية

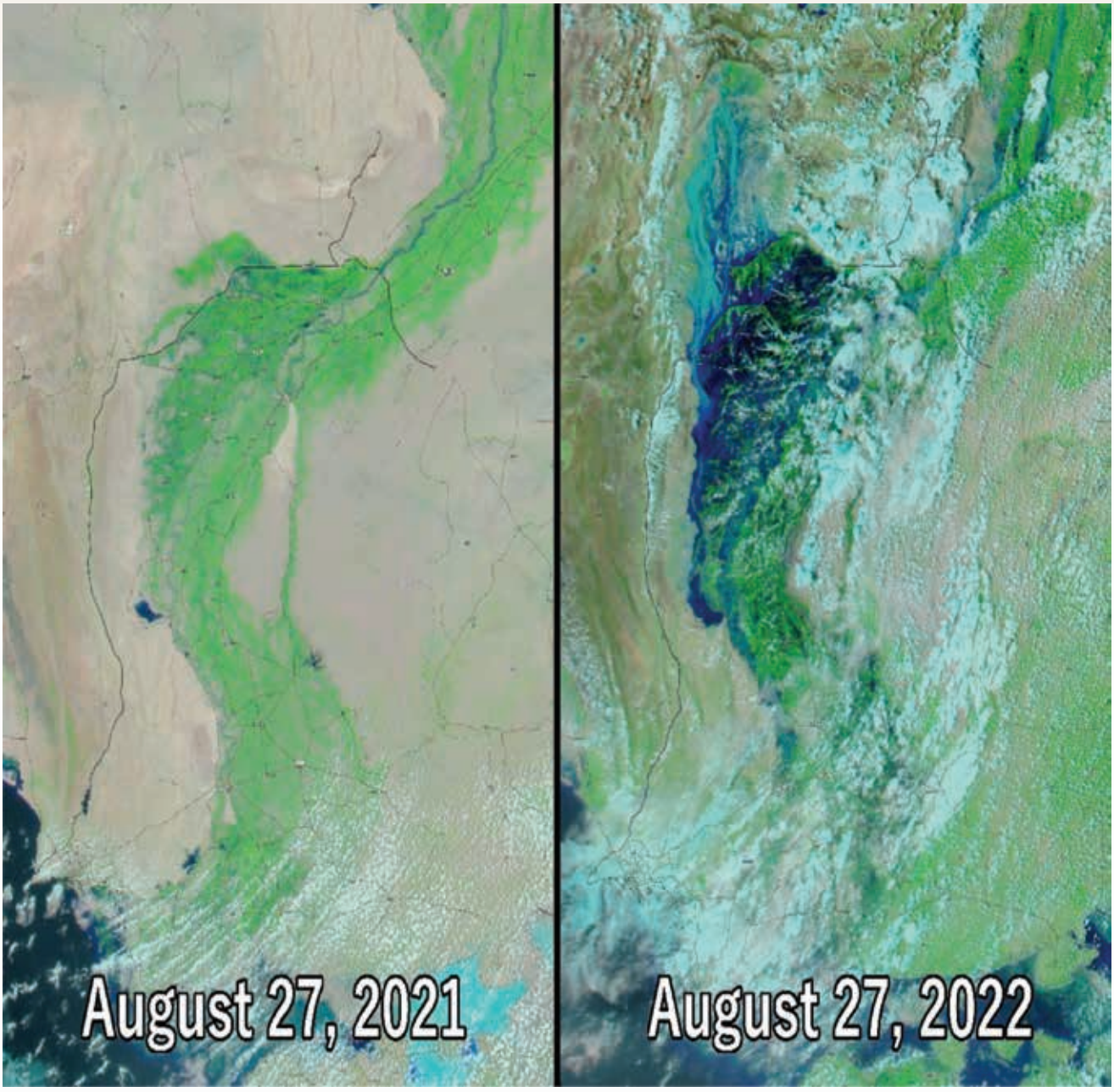
وتشكل موجات الحر تهديدا كبيرا للإنتاج الزراعي. في عام 2019م، شهدت موجات الحر في منطقة مولانجي في ملاوي درجات حرارة وصلت إلى 40 %. وأدى هذا بالإضافة إلى موسم الأمطار المتأخر إلى حرق أوراق الشاي وانخفاض الغلة.

■ حرائق الغابات

يمكن أن تساهم موجة الحر التي تحدث أثناء الجفاف في حرائق الغابات وحرائق الغابات. وذلك لأن الجفاف يجفف النباتات، لذلك من المرجح أن تشتعل فيها النيران. خلال موجة الحر الكارثية التي ضربت أوروبا في عام 2003م، اشتعلت الحرائق في جميع أنحاء البرتغال. ودمروا أكثر من 3010 كيلومترًا مربعًا من الغابات و440 كيلومترًا مربعًا من الأراضي الزراعية. لقد تسببوا في خسائر بقيمة مليار يورو. تحتوي الأراضي الزراعية الراقية على أنظمة ري لدعم المحاصيل.

الفيضانات

يمكـن أن تسـاهم موجـات الحـرارة أيضًـا في حـدوث الفيضانـات. أدت موجـة الحـر غيـر المسـبوقة التـي ضربـت باكسـتان بدايـة مـن مايـو 2022م إلـى ذوبـان الأنهـار الجليديـة وتدفـق الرطوبـة. وكانـت هـذه العوامـل وراء الفيضانـات المدمـرة التـي بـدأت في يونيـووأودت بحيـاة أكثـر مـن 1100 شـخص.



تظهر صور الأقمار الصناعية مقارنة جنبًا إلى جنب لجنوب باكستان في 27 أغسطس 2021 (قبل عام واحد من الفيضانات) و27 أغسطس 2022.

أضرار البنية التحتية

تتسبب موجات الحر في انهيار وذوبان الطرق والطرق السريعة، وانفجار خطوط المياه، وانفجار محولات الكهرباء، مما يؤدي إلى نشوب الحرائق. يمكن أن تؤدي موجة الحر أيضًا إلى إتلاف السكك الحديدية، عن طريق التواء وثني القضبان. هذا يمكن أن يبطئ أو يؤخر حركة المرور. ويمكن أن يؤدي ذلك أيضًا إلى إلغاء الخدمة عندما تكون السكك الحديدية خطيرة جدًا بحيث لا يمكن اجتيازها بالقطارات.

انقطاع التيار الكهربائي

غالبًا ما تؤدي موجات الحرارة إلى ارتفاع الطلب على الكهرباء بسبب زيادة استخدام أجهزة تكييف الهواء. وهذا يمكن أن يؤدي إلى انقطاع التيار الكهربائي، مما يجعل المشكلة أسوأ. خلال موجة الحر التي ضربت أمريكا الشمالية عام 2006م، انقطعت الكهرباء عن آلاف المنازل والشركات، خاصة في كاليفورنيا. وفي لوس أنجلوس، تعطلت المحولات الكهربائية، مما أدى إلى انقطاع الكهرباء عن الآلاف لمدة تصل إلى خمسة أيام. تسببت موجة الحر في جنوب شرق أستراليا عام 2009م في انقطاع التيار الكهربائي بشكل كبير في مدينة ملبورن. لقد تركوا أكثر من نصف مليون شخص بدون كهرباء حيث أدت موجة الحر إلى تفجير المحولات وزيادة التحميل على شبكة الكهرباء.

موجات البرد

وهي ظاهرة مناخية تتميز بتبريد الهواء. على وجه التحديد، كما تستخدمها خدمة الأرصاد الجوية الوطنية الأمريكية، فإن الموجة الباردة هي انخفاض سريع في درجة الحرارة خلال فترة 24 ساعة، مما يتطلب حماية متزايدة بشكل كبير للزراعة والصناعة والتجارة والأنشطة الاجتماعية. يتم تحديد المعيار الدقيق للموجة الباردة من خلال معدل انخفاض درجة الحرارة والحد الأدنى الذي تنخفض إليه. تعتمد درجة الحرارة الدنيا هذه على المنطقة الجغرافية والوقت من السنة.

يمكن أن تتسبب موجة البرد في وفاة وإصابة الماشية والحياة البرية. يتطلب التعرض للبرد تناول سعرات حرارية أكبر لجميع الحيوانات، بما في ذلك البشر، وإذا كانت موجة البرد مصحوبة بثلوج كثيفة ومستمرة، فقد لا تتمكن حيوانات الرعي من الوصول إلى الغذاء المطلوب وتموت بسبب انخفاض حرارة الجسم أو الجوع. وهي تتطلب في كثير من الأحيان شراء المواد الغذائية لإطعام الماشية بتكلفة كبيرة يتحملها المزارعون.

ترتبط نوبات البرد بزيادة معدلات الوفيات بين السكان حول العالم. تتسبب موجات البرد وموجات الحرارة في حدوث وفيات، على الرغم من أن مجموعات مختلفة من الأشخاص قد تكون عرضة لأحداث مناخية مختلفة. تحدث حالات وفاة تعزى إلى درجات الحرارة أثناء موجة البرد أكثر مما تحدث في موجة الحر، على الرغم من أن معدل الوفيات أعلى في المناطق غير المتطورة من العالم.

غالبًا ما يتسبب برد الشتاء الشديد في تجميد خطوط أنابيب المياه وأنابيب المياه المعزولة بشكل سيئ. حتى أن بعض السباكة الداخلية ذات الحماية الضعيفة

تتمـزق مـع تمـدد الميـاه بداخلهـا، ممـا يتسـبب في أضـرار جسـيمة للممتلـكات ومطالبـات تأمـين باهظـة الثمـن.

ويرتفـع الطلـب علـى الطاقـة الكهربائيـة والوقـود بشـكل كبيـر خـلال هـذه الأوقـات، علـى الرغـم مـن أن توليـد الطاقـة الكهربائيـة قـد يفشـل بسـبب تجميـد الميـاه اللازمـة لتوليـد الطاقـة الكهرومائيـة. قـد تصبـح بعـض المعـادن هشـة عنـد درجـات الحـرارة المنخفضـة. قـد تفشـل السـيارات عندمـا يفشـل مانـع التجمـد أو المـواد الهلاميـة لزيـت المحـرك، ممـا يـؤدي إلـى فشـل نظـام النقـل.

تصبـح الحرائـق أكثـر خطـورة أثنـاء البـرد الشـديد. قـد تنكسـر أنابيـب الميـاه وقـد تصبـح إمـدادات الميـاه غيـر موثوقـة، ممـا يجعـل مكافحـة الحرائـق أكثـر صعوبـة. عـادة مـا يكـون الهـواء أثنـاء موجـة البـرد أكثـر كثافـة، وبالتالـي يحتـوي علـى المزيـد مـن الأكسـجين، لذلـك عندمـا يصبـح الهـواء الـذي تسـحبه النـار بـاردًا علـى نحـو غيـر معتـاد، فمـن المحتمـل أن يسـبب حريقًـا أكثـر كثافـة. ومـع ذلـك، قـد يتوقـف الثلـج عـن انتشـار الحرائـق، خاصـة حرائـق الغابـات.

موجـات البـرد الشـتوي التـي لا تعتبـر بـاردة في بعـض المناطـق، ولكنهـا تسـبب درجـات حـرارة أقـل بكثيـر مـن المتوسـط لمنطقـة مـا، هـي أيضًـا مدمـرة. قـد تتعـرف المناطـق ذات المنـاخ شـبه الاسـتوائي علـى موجـة بـاردة عنـد درجـات حـرارة أعلـى مـن المناطـق البـاردة الأخـرى في العالـم.

يمكـن التعـرف علـى موجـة البـرد عنـد درجـات حـرارة بالـكاد تتجمـد، حيـث أنهـا لا تـزال بـاردة بشـكل غيـر عـادي بالنسـبة للمنطقـة، وسـتكون الحيـاة النباتيـة والحيوانيـة أقـل تحمـلاً لمثـل هـذا البـرد. إن درجـات الحـرارة الشـتوية نفسـها التـي يربطهـا المـرء بالمعـدل السـائد في كولـورادو، أو أوهايـو، أو بافاريـا، تعتبـر كارثيـة علـى المحاصيـل في أماكـن مثـل فلوريـدا، أو كاليفورنيـا، أو أجـزاء مـن أمريـكا الجنوبيـة التـي تنمـو فيهـا الفاكهـة والخضـروات في الشـتاء.

يمكن لموجات البرد التي تجلب تجميدًا وصقيعًا غير متوقعين خلال موسم النمو في مناطق خطوط العرض الوسطى أن تقتل النباتات خلال المراحل المبكرة والأكثر ضعفًا من النمو، مما يؤدي إلى فشل المحاصيل حيث يتم قتل النباتات قبل أن يتم حصادها اقتصاديًا.

وقد تسببت مثل هذه الموجات الباردة في حدوث مجاعات. في بعض الأحيان تكون موجات البرد مميتة للنباتات مثل الجفاف، ويمكن أن تترك الأرض عرضة لخطر حرائق الغابات والغابات التي تستهلك الكتلة الحيوية الميتة. كان أحد هذه الأحداث هو ما يسمى بعام بلا صيف عام 1816م، وهو واحد من عدة سنوات خلال العقد الأول من القرن التاسع عشر، حيث فشلت العديد من المحاصيل خلال نوبات البرد الصيفية الشديدة بعد الانفجارات البركانية التي أدت إلى انخفاض ضوء الشمس الوارد.

تشير الأبحاث الحديثة إلى وجود صلة محتملة بين الموجات الباردة في أمريكا الشمالية وتكوّن التدوير خارج المداري فوق شرق المحيط الأطلسي. وقد تكون مرتبطة بأنماط دوران الغلاف الجوي واسعة النطاق. تشمل الأمثلة انتشار موجة روسبي من شمال المحيط الهادئ أو إعصار مضاد من المستوى العلوي غرب جرينلاند.

التصحر والجفاف

مُقَدِّمَة

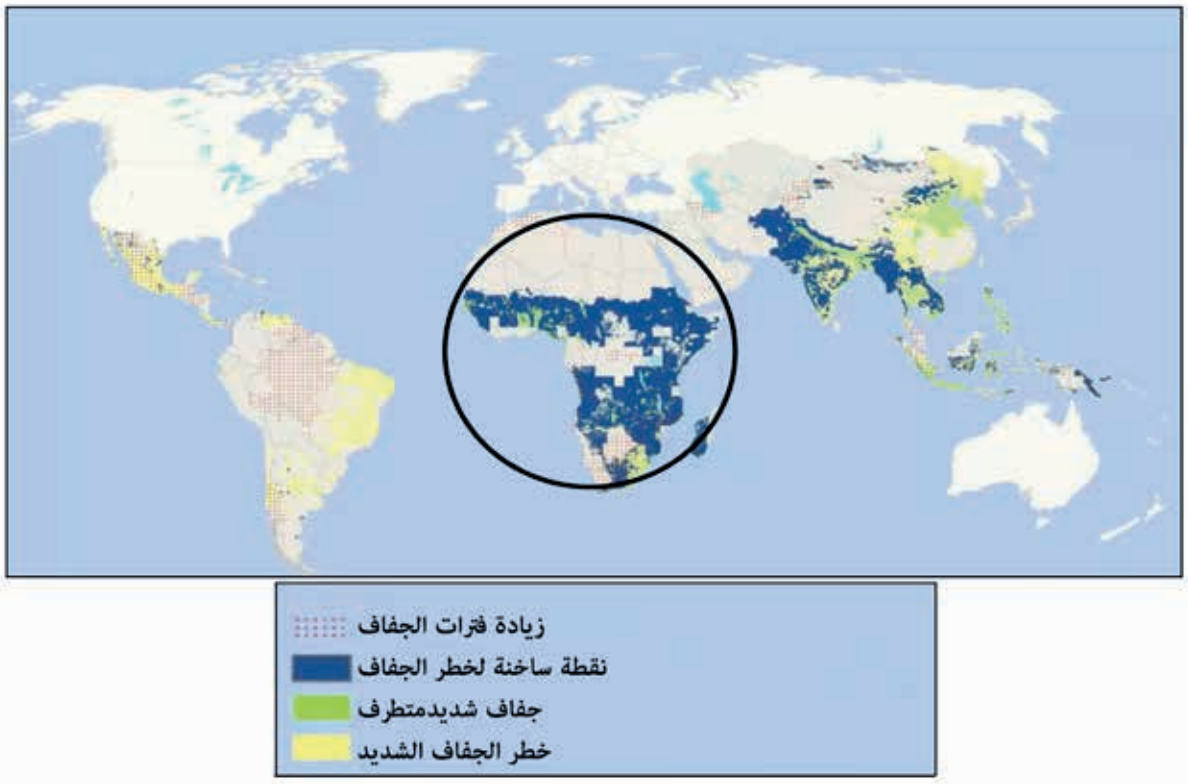
يعدّ التصحر Desertification أزمة صامتة وغير مرئية تعمل على زعزعة استقرار المجتمعات على نطاق عالمي. نظراً لأن آثار تغير المناخ تقوض سُبل العيش، فإن الاشتباكات العرقية تندلع داخل الدول وعبرها وتتحول الدول الهشَّة إلى العسكرة للسيطرة على الوضع.

يزداد الشعور بآثار التصحر على الصعيد العالمي حيث يتحول الضحايا إلى لاجئين ومشردين داخليّاً ومهجرين قسريّاً أو ينتقلون إلى مرحلة الصراعات والحروب من أجل الحصول على الموارد للبقاء. إذا أردنا استعادة السلام والأمن والاستقرار الدولي في سياق تهدد فيه الأحداث المناخية المتغيرة سُبل عيش المزيد والمزيد من الناس، وتتدهور خيارات البقاء وتثقل قدرات الدولة فوق طاقتها، فينبغي إذن بذل المزيد لمكافحة الجفاف Drought والتصحر وعكس اتجاه تدهور الأراضي Degradation وتخفيف آثارها. بخلاف ذلك، سيواجه العديد من صغار المزارعين والمجتمعات الفقيرة التي تعتمد على الأرض خيارين لا ثالث لهما: إما القتال وإما الهروب.

يشكل التصحر تحدياً خطيراً للتنمية المستدامة وقدرة البشرية على البقاء في العديد من مناطق العالم. يتمثل هدف اتفاقية مكافحة التصحر في مستقبل يتجنب التصحر ويقلله ويعكس مساره.

نحن بحاجة إلى ربط هذه الأفكار بآثار واستراتيجيات الإدارة الممكنة التي تنشأ عن الجفاف والتصحر. أفريقيا مثال جيد على الضعف الكبير في مواجهة الجفاف والتصحر وعدم القدرة على ما يبدو لإدارة هذه القضايا المتعلقة بالمناخ.

يعتبر الجفاف والتصحر في صميم التحديات والتهديدات الخطيرة التي تواجه التنمية المستدامة في أفريقيا. لهذه المشكلات آثار سلبية بعيدة المدى على صحة الإنسان والأمن الغذائي والنشاط الاقتصادي والبنية التحتية المادية والموارد الطبيعية والبيئة والأمن الوطني والعالمي.



التعرض العالمي للجفاف والتصحر. تُظهر هذه الخريطة النقاط الساخنة للمخاطر الإنسانية للجفاف بناءً على التفاعل بين مخاطر الجفاف الشديدة والخطيرة مع الضعف البشري العام. كما يجري عرض المناطق التي تتعرض لخطر الجفاف الشديد أو الشديد جدًا ولكنها أقل قابلية للتأثر البشري والمناطق التي تتوقع فيها النماذج المناخية زيادة في فترات الجفاف، كمؤشر على الزيادات المستقبلية المحتملة في مخاطر الجفاف. لاحظ أن أفريقيا جنوب الصحراء هي منطقة صنّفت كواحدة من أكثر المناطق عرضة للتأثر بالجفاف والتصحر.

التصحـــــر

التصحر هو العملية التي تتحول فيها الأرض في المناطق شبه القاحلة إلى صحراء، وتصير المراعي شبه صحراوية وهكذا. ويعد هذا رد فعل متسلسل لأنواع فرعية من الحيوانات تغزو أرضاً منتجةً سابقاً، وفي هذه العملية، تنشأ المزيد من الأراضي غير المنتجة. ويسير التصحر جنباً إلى جنب مع تسارع تآكل التربة.

• تعريفـــــات التصحـــر

تستخدم كلمة (التصحر) لوصف تدهور أنواع وأشكال مختلفة من الغطاء النباتي، بما في ذلك مناطق الغابات شبه الرطبة والرطبة. وقد جرى تعريفه لأول مرة بواسطة الباحث ستيبينغ Stebbing عام 1938 للتصحر على أنه زحف نحو الصحراء. كما وضعت للتصحر عدّة تعريفات لاحقاً نوردها فيما يأتي:

- عملية تدهور الأراضي في المناطق القاحلة وشبه القاحلة والجافة شبه الرطبة، نتيجة عوامل مختلفة، بما في ذلك التغيرات المناخية والأنشطة البشرية. يتجلى تدهور الأراضي من خلال تآكل التربة وندرة المياه وانخفاض الإنتاجية الزراعية وفقدان الغطاء النباتي والتنوع البيولوجي والجفاف والفقر.

- وصفت الأمم المتحدة (1977م) التصحر بأنه تضاؤل أو تدمير للإمكانات البيولوجية للأراضي المحلية التي يمكن أن تؤدي في نهاية المطاف إلى حالة شبيهة بالتصحر وأضافت أنها جانب من جوانب التصحر الواسع النطاق للنظام البيئي، مما أدى إلى تقليص أو تدمير إمكاناته البيولوجية.

- حسب الباحث دريغن (1976م) Dregene التصحر هو تدهور النظام البيئي

في المناطق القاحلة وشبه القاحلة وشبه الرطبة من خلال الآثار المشتركة لأنشطة الإنسان والجفاف. وذكر دريغن أيضاً أن التصحر هو إفقار النظام البيئي الأرضي من خلال تأثير الناس. إنها عملية التدهور في هذه النظم البيئية التي يمكن قياسها من خلال انخفاض إنتاجية النباتات المرغوبة، والتغيير غير المرغوب فيه في الكتلة الحيوية والتنوع البيولوجي للحيوانات والنباتات الدقيقة والكليّة، وتدهور التربة المتسارع.

- عرّف مؤتمر الأمم المتحدة المعني بالبيئة والتنمية (UNCED) التصحر بأنه تدهور الأراضي في المناطق القاحلة وشبه القاحلة والجافة شبه الرطبة نتيجة عوامل مختلفة، بما في ذلك التغيرات المناخية والأنشطة البشرية. جرى اعتماد هذا التعريف من قِبل اتفاقية الأمم المتحدة لمكافحة التصحر (UNCCD).

- عرّف الباحث ماينغوت (1994م) Mainguet التصحر بأنه (الخطوة النهائية لتدهور الأراضي إلى أرض معقمة لا رجوع فيها).

- كما عرّفت منظمة الأغذية والزراعة التصحر بأنه (مجموع العوامل الجيولوجية والمناخية والبيولوجية والبشرية التي تؤدي إلى تدهور الإمكانات الفيزيائية والكيميائية والبيولوجية للأراضي في المناطق القاحلة وشبه القاحلة، وتعرض التنوع البيولوجي للخطر وبقاء هذه المناطق في خدمة المجتمعات البشرية).

- هو عملية تشمل جميع أشكال التدهور (العمليات الطبيعية أو التي يسببها الإنسان والتي تخل بتوازن التربة والغطاء النباتي والهواء والماء) للأرض المعرضة لجفاف شديد أو مناخي، مما يؤدي إلى تقليل أو تدمير العناصر

البيولوجيـة، وإمكانـات الأرض وتدهـور المسـتوى المعيشـي واشـتداد الظـروف الشـبيهة بالصحـراء.

إذاً التصحـر هـو كلمـة واحـدة تسـتخدم لتغطيـة مجموعـة واسـعة مـن الآثـار التـي تنطـوي علـى الإنتاجيـة البيولوجيـة الفعليـة والمحتملـة لنظـام بيئـي في المناطـق القاحلـة وشـبه القاحلـة والجافـة شـبه الرطبـة.

الأشكال البيضوية ذات اللون الرمادي الفاتح هي تلك التي تنطوي على تقليل الغطاء النباتي، بينما تتضمن الأشكال الرمادية الداكنة تآكل التربة.

ووفقـاً للتعريفـات الـواردة أعـلاه، يظهـر التصحـر علـى أنـه تدهـور للأراضـي في المناخـات القاحلـة وشـبه القاحلـة والجافـة شـبه الرطبـة، مهمـا كان السـبب، ولكـن تدهـور الأراضـي يمكـن أن يحـدث في جميـع أنـواع المناخـات. قـدّر برنامـج الأمم المتحـدة للبيئـة أن المنطقـة المعرضـة للتصحـر في جميـع أنحـاء العالـم تبلـغ نحـو 38 مليـون كيلومتـر مربـع منهـا 6.9 مليـون كيلومتـر مربـع (19 %) في أفريقيـا

جنوب الصحراء الكبرى. ولا يشمل التصحر تآكل التربة فحسب، بل يشمل أيضاً التآكل الجيني المحتمل للنبات والحيوانات والكائنات الحية الدقيقة التي تشكل العناصر الحية لبيئات الأراضي الجافة. عند فقدان نبات أو حيوان أو نوع من الكائنات الحية الدقيقة الموجودة في التربة الجافة التي تكيفت مع حالة الجفاف، فمن المحتمل جدّاً أن تُفقد إلى الأبد.

يستخدم مصطلح التصحر أحياناً أيضاً ليعني (تناقص الإنتاجية البيولوجية للأرض مما يؤدي إلى الامتداد المكاني للظروف الشبيهة بالصحراء من التربة والغطاء النباتي إلى مناطق هامشية خارج الصحراء المناخية وتكثيف مثل هذه الظروف على مدى فترة زمنية). يجري التركيز على عملية التصحر القاحلة، التي تحدث في المناطق القاحلة وشبه القاحلة المتاخمة للصحراء التي يقل معدل هطول الأمطار السنوي فيها عن 500 ملمتر وتشير (الإنتاجية البيولوجية) إلى الحياة النباتية والحيوانية التي تحدث بشكل طبيعي، فضلاً عن الإنتاجية الزراعية من منطقة معينة.

في الواقع إن التصحر ليس ظاهرة جديدة، لأنه بدأ قبل الجفاف الكبير بين عامي 1969–1973م. حيث إنّ الأدلة البيئية الرئيسية تشير إلى أن التصحر بدأ منذ عدة قرون ويمكن إرجاعه إلى العصور الوسطى وحتى العصر الحجري الحديث.

وتبلغ مشكلة التصحر ذروتها في خسارة إنتاجية الأرض نتيجة التدهور. حيث تتجلى الظاهرة في المناطق القاحلة وشبه القاحلة، في حوادث مثل انخفاض الغلة أو فشل المحاصيل في الأراضي الزراعية المتضررة، وانخفاض الغطاء النباتي الدائم والكتلة الحيوية في المراعي مع ما يترتب على ذلك من استنفاد المراعي المتاحة للحيوانات العاشبة.

تنبع المخاوف بشأن التصحر من آثاره المنهكة على قدرة السكان والمجتمعات المتضررة على الحفاظ على إنشاء الوسائل اللازمة لكسب الرزق وكذلك تحسين

البيئـة. في ظـل هـذه الظـروف، يميـل الفقـر إلـى أن يصيـر سـبباً جذريّـاً وكذلـك نتيجـةً للتصحـر، الـذي غالبـاً مـا يتفاقـم بسـبب آثـار الجفـاف.

في أعقـاب مؤتمـر الأمم المتحـدة المعنـي بالبيئـة والتنميـة الـذي عقـد في ريـو دي جانيـرو بالبرازيـل عـام 1992م، أنشـأت الجمعيـة العامـة لـلأمم المتحـدة لجنـة تفـاوض حكوميـة دوليـة بشـأن التصحـر (INCD) للتفـاوض بشـأن اتفاقيـة دوليـة بشـأن التصحـر. أكملـت لجنـة التفـاوض الحكوميـة الدوليـة، مـن خـلال خمـس دورات، اتفاقيـة الأمم المتحـدة بشـأن التصحـر، التـي جـرى اعتمادهـا والتوقيـع عليهـا في باريـس في عـام 1994م.

مـن بـين النتائـج المُهمَّـة للاتفاقيـة التركيـز بشـكل خـاصٍّ علـى الأراضـي الجافـة في أفريقيـا. لا تحـوي الاتفاقيـة علـى ملحـق تنفيـذي لأفريقيـا فحسـب، بـل تحـوي أيضـاً علـى أهـداف والتزامـات مفصلـة علـى المسـتوى القطـري، التـي تهـدف إلـى مكافحـة التصحـر وتخفيـف آثـار الجفـاف علـى المسـتوى الوطنـي.

يعتبـر التصحـر أحـد القضايـا البيئيـة الرئيسـية التـي تهـدد الرفاهيـة والتنميـة الاجتماعيـة والاقتصاديـة لآلاف الأشـخاص في العديـد مـن بلـدان العالـم الثالـث، ولا سـيَّما منطقـة السـاحل الأفريقـي. وقـد اتخـذ عـدد مـن المبـادرات علـى المسـتويات العالميـة والإقليميـة والوطنيـة والمحليـة لمعالجـة المشـكلة. أحـدث مبـادرة عالميـة هـي اتفاقيـة الأمم المتحـدة لمكافحـة التصحـر (UNCCD) التـي جـرى تبنيهـا في يونيـو 1994م ووقعـت في 13–14 أكتوبـر 1994م في باريـس مـن قِبـل 85 دولـة.

حتـى وقـت قريـب، كان يُنظـر إلـى التصحـر إلـى حـدٍ كبيـرٍ علـى أنـه مشـكلة سـببها الرعـاة والبـدو الذيـن يعيشـون في صحـاري العالـم، ويرتبطـون عـن بُعْـد بالعمليـات المعقـدة للتنميـة البشـرية المسـتدامة. مـع وجـود وجهـات نظـر متباينـة فيمـا يتعلـق بأسـباب التصحـر ونطاقـه المـادي بـين العلمـاء، إلا أن القليـل منهـم يجـادل في حقيقـة أنـه أحـد أهـم العقبـات التـي تعتـرض التنميـة البشـرية المسـتدامة،

لا سِيَّما بالنسبة لسكان الريف الذين يعتمدون على زراعة الكفاف والرعي لكسب عيشهم.

من المعترف به حالياً أن التصحر يمثل مشكلة بيئية عالمية كبرى وسبباً للجوع والفقر وهجرة السكان على نطاق واسع والتشريد الاجتماعي في الأراضي الجافة في عالم الجنوب، ولا سِيَّما أفريقيا جنوب الصحراء الكبرى.

ربما كان اعتماد الاتفاقية الدولية لمكافحة التصحر في البلدان التي تعاني من الجفاف الشديد (و / أو) التصحر بخاصة في أفريقيا، في يونيو 1994، أهم معلم نحو الاعتراف الدولي بالآثار المدمرة للجفاف والتصحر. ويشكل أول إطار قانوني دولي لتعبئة وتسخير الإجراءات المتضافرة من قِبل الحكومات والمجتمعات المتضررة للتعامل بشكل شامل مع مشكلة التصحر.

الاتفاقية مُهمَّة بشكل خاصٍّ لوضع المرأة لأنها تضع مبادئ توجيهية محددة لإدماج الفئات الضعيفة والمهمشة في تشخيص المشكلات وتحديد التدابير اللازمة للتخفيف منها.

يعتبر التصحر مشكلة بيئية رئيسية لها آثار اجتماعية واقتصادية سلبية في سُبل عيش السكان في الأراضي القاحلة وشبه القاحلة والجافة شبه الرطبة في العالم بشكل عامٍّ وفي البلدان النامية على وجه الخصوص.

في السودان مثلاً، يسعى السكان الفقراء نسبيّاً في المناطق الريفية للحصول على القوت من الموارد الطبيعية لنظامهم البيئي الهشِّ. الناس يزرعون الأراضي الهامشية بمحاصيلهم المستقرة، ويقطعون الأخشاب للوقود وبناء منازلهم وإنشاء حاويات لحيواناتهم. قطعانهم ترعى في القُرى حول نقاط المياه. تتسبب هذه الأنشطة البشرية في تدهور الأراضي الذي يتسارع بشكل مطرد بسبب زيادة الضغوط البشرية والحيوانية.

أسـبـاب التصحـر

متغير بيئي واحد غير كافٍ لتفسير هذا الشكل من التدهور الذي يصيب الأراضي. إن الجمع والتفاعل بين مجموعة متنوعة من العوامل البيئية والاجتماعية والاقتصادية التي تميز هذه العمليات، هي التي تحدد حالة التصحر. العوامل الطبيعية مثل التقلبات المناخية الشديدة والأنشطة البشرية (أي بشرية المنشأ) كلها متورطة. هناك أربعة عوامل بشرية رئيسية تميل إلى أن يكون لها تأثير مباشر في التصحر:

1. الرعـي الجائـر

ينتج عن ذلك عندما تتجاوز كثافات الحيوانات العاشبة قدرة الغطاء النباتي على الحفاظ على ضغط الرعي، مما يؤدي إلى إزالة الغطاء النباتي وضغط التربة وتآكلها. يؤدي نزوح الرعاة من الأراضي الهامشية التي كانت تستخدم سابقاً إلى محميات رعي موسم الجفاف، من قِبل المزارعين الذين يشغلون أراضي الرعي ذات الإمكانات العالية لزراعة الكفاف، إلى الرعي الجائر للمراعي المتاحة.

2. فقـدان الغطـاء النباتـي

يمثل هذا خطوة أولى على طريق التصحر. في الأراضي الجافة حيث يكون الغطاء النباتي قليلاً نسبيّاً، تؤدي النباتات دوراً حيويّاً في تثبيت التربة، والحفاظ على الدورة الهيدرولوجية، وتوفير الظل، من بين أمور أخرى. إن إزالة الغطاء النباتي يعرض المراعي لتقلبات الطقس، وبالتالي تمثل إزالة الغابات المؤشر الأكثر ديناميكية للتصحر لأنه يتقاطع مع استخدامات الأرض المختلفة.

3. التعدي على الأراضي الهامشية أو الحدية

يحدث هذا عندما تستخدم الأراضي الزراعية بشكل مكثف أكثر مما تسمح به خصوبتها الطبيعية. غالباً ما يفشل المزارعون في تعويض صادرات المغذيات باستخدام الأسمدة الاصطناعية أو الإراحة للسماح بالتجدد الطبيعي للخصوبة، وبالتالي فإن الإفراط في الزراعة يميل إلى تقليل خصوبة التربة وإلحاق الضرر ببنية التربة وتعريضها للتعرية.

4. ممارسات الري السيئة

إذا لم تتم إدارتها بشكل صحيح، يمكن أن تتدهور الأراضي المروية من خلال تملح التربة أو قطع الأشجار بالمياه، مما يجعل الأرض غير منتجة.

ترتبط العوامل الأربعة الموضحة أعلاه بالعنصر البشري في إدارة الأراضي الجافة، ويميل السعي لتحقيق التنمية الاجتماعية والاقتصادية وكذلك السياسة الحكومية إلى التأثير في مدى تأثيرها في مناطق الأراضي الجافة.

ويعد الفقر، أكثر من أي شيء آخر، القاسم الأكثر شيوعاً الذي يحدد الحماية والإدارة السليمة للموارد الطبيعية. غالباً ما يؤدي الافتقار إلى وسائل بديلة صالحة لكسب الرزق لسكان المناطق الجافة إلى أساليب استخدام الموارد غير المستدامة، مما يؤدي في النهاية إلى التدهور.

نورد فيما يأتي موجز للأسباب الطبيعية للتصحر:

❖ الإجهاد المناخي (التفاعل بين المناخ والتصحر) يتجلى من خلال:

1. **الجفاف المطول** الذي يؤدي إلى تدمير الغطاء النباتي وخسارة في الإنتاجية البيولوجية والاقتصادية للأراضي الجافة.
2. **التعرية** بسبب الرياح.
3. **الانجراف المائي** غالباً ما يتبع فترات الجفاف الشديدة في العديد من الأراضي الجافة حالات هطول أمطار شديدة الارتفاع تؤدي إلى تآكل التربة.
4. **تغير المناخ** تحول دائم في الأنماط التقليدية للمعاملات المناخية.

الطبيعة قادرة على إصلاح الخسارة في الإنتاجية البيولوجية والاقتصادية للأراضي الجافة بسبب التقلبات المناخية الشديدة في ظل غياب الإجهاد الخارجي. أي لا يمكن أن تؤدي جميع الضغوط المناخية الشديدة إلى التصحر. وبالتالي، فإن تأثير الإجهاد المناخي في التصحر يعتمد على قدرة الإنسان على التعامل مع هذه الآثار من أجل تقليل الآثار البشرية المنشأ على الدورات الطبيعية للأراضي الجافة.

وبالتالي، فإن عدم وجود ممتصات صدمات جيدة للإجهاد المناخي الشديد يمكن أن يؤدي إلى انخفاض في إنتاج الغذاء والمجاعة والهجرة والرعي الجائر والعديد من الأنشطة التي تؤدي إلى تدهور الأراضي التي قد تؤدي بشكل غير مباشر إلى التصحر.

❖ الإطار المفاهيمي لعمليات التصحر ونظام المناخ العالمي

يتم التحكم في نظام المناخ العالمي من خلال أنظمة فيزيائية وبيولوجية

وكيميائية معقدة وشديدة التفاعل من بين العديد من الأنظمة الأخرى التي تشمل الغلاف الجوي للإشعاع قصير وطويل الموجة والتربة وسطح الأرض وأجسام المياه العذبة والمحيطات والنباتات والحيوانات.

في الوقت الحاضر، أبعاد المكان والزمان لبعض هذه العمليات غير معروفة جيداً. وتجدر الإشارة إلى أن العمليات المناخية مدفوعة بشكل طبيعي بالطاقة الشمسية. تضيف العمليات البشرية، بما في ذلك عملية التصحر، اتجاهاً جديداً للعمليات الطبيعية، التي كانت تتحكم في نظام المناخ العالمي، على سبيل المثال: التلوث البيئي، وارتفاع درجة حرارة غازات الدفيئة، وتغير المناخ،... إلخ.

❖ التصحر والتنمية البشرية المستدامة

مع أنّ البحث العلمي قد أزال حالياً الصورة الشعبية الطويلة عن تقدم الصحراء الكبرى، فإن الرمزية في تلك الصورة تصور بيانيّاً التحديات الهائلة التي تفرضها مشكلات الجفاف والتصحر على التنمية المستدامة، ولا سِيَّما لحياة النساء اللائي يعشن في المناطق المهددة، أو المتأثرة بالتصحر. يؤثر التصحر في 25 % من سطح الأرض ويهدد بشكل مباشر سُبل عيش 900 مليون شخص فيما لا يقل عن 100 دولة. إن مسألة كيفية منع عواقب التصحر على المدى الطويل تزداد أهمية بالنسبة للبلدان النامية، التي يتأثر 90 منها بالظواهر.

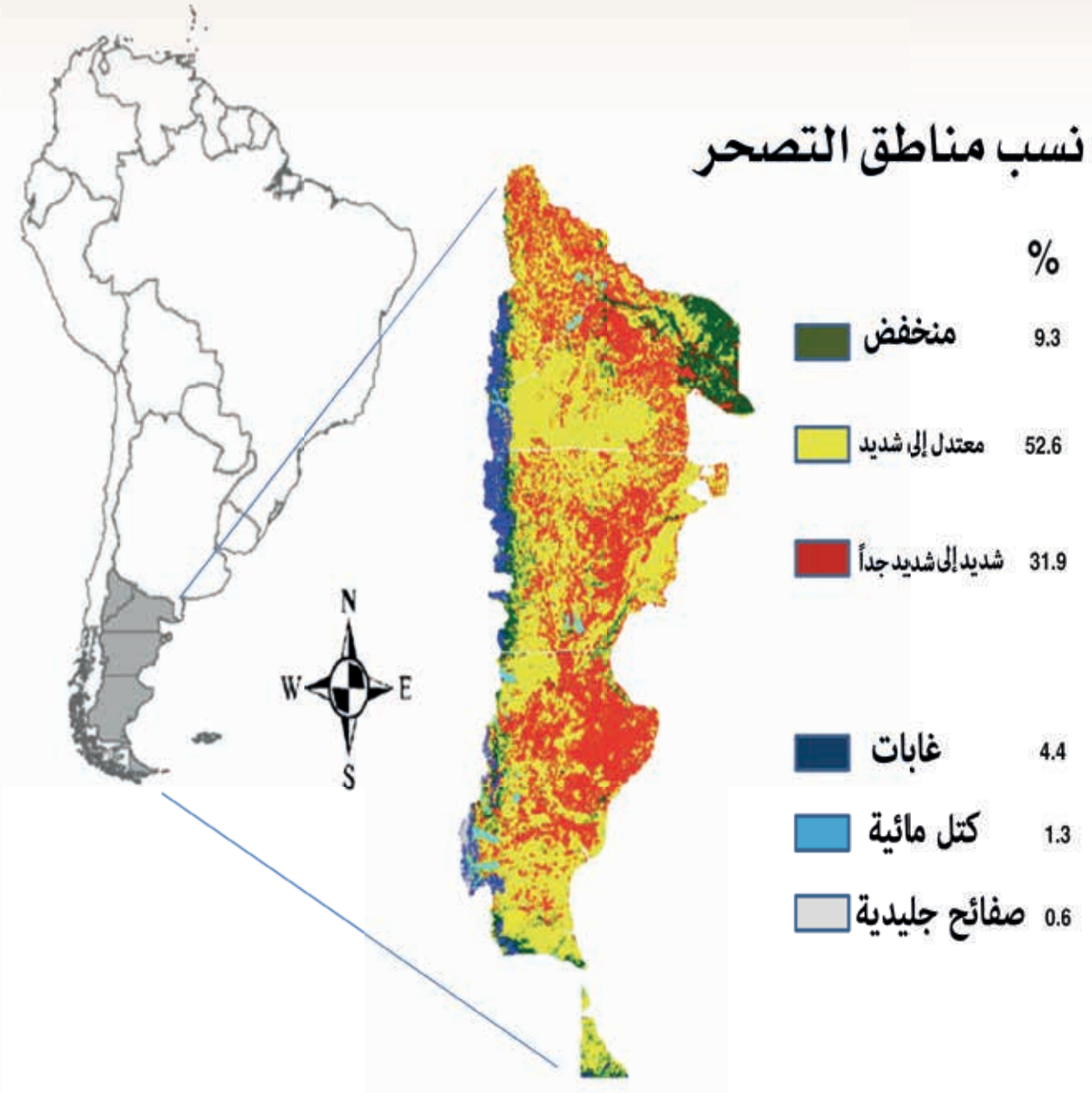
وفقاً لتقديرات منظمة الأغذية والزراعة، يعاني ما لا يقل عن 40 مليون شخص من سوء التغذية بسبب آثار التصحر في أفريقيا وحدها. إن شبح انعدام الأمن الغذائي، والجوع الأسري وسوء التغذية، والمجاعات المتكررة، والهجرة الجماعية لا تهدد البيئة والتوازن البيئي فحسب، بل تهدد أيضاً رفاهية المجتمعات الريفية الفقيرة التي تعيش في المناطق القاحلة وشبه القاحلة من العالم.

يتمثل التحدي الذي يواجه صانعي السياسات، النساء والرجال الذين يعيشون في ظل القيود التي يفرضها التصحر، في تسخير الموارد المحلية والمعرفة والخبرة في البرامج التعاونية التي تضم شركاء وخبرات وطنيين وخارجيين على مدى فترة زمنية طويلة.

❖ السكان والتصحر

العلاقات بين الناس والغذاء والتصحر معقدة. المناطق الأكثر كثافة سكانية في العالم ليست عادة تلك الخاضعة للتصحر.

ومع ذلك، فإن المناطق الدافئة شبه القاحلة وشبه الرطبة هي أماكن مواتية للعيش: السكان عادة قريبون من القدرة الداعمة المحتملة. وقد تتجاوز أيضاً سعة الأراضي، لا سيَّما عندما تكون مدخلات إنتاج الغذاء منخفضة جدّاً للحفاظ على الغلات. عندما تحدث تقلبات مناخية طويلة الأجل أو عندما يكون هناك تعدين للأرض، يمكن أن تؤدي هذه العوامل مع مرور الوقت إلى تدهور بفعل الرياح وتآكل المياه، وانخفاض في الخصوبة الكيميائية، وتدهور مادي في بنية التربة، وتدمير الغطاء النباتي النافع، وفي النهاية خسارة الأرض المنتجة.



موقع باتاغونيا الأرجنتينية في أمريكا الجنوبية (يسار) ودرجات التصحر بناءً على خريطة عام 1998.

الجفـــــــاف

تعد الأراضي القاحلة وشبه القاحلة (ASAL) في العديد من مناطق العالم موطناً لما يقرب من 25 % من السكان وأكثر من 50 % من الماشية، فضلاً عن استضافة معظم حدائق الحياة البرية والمحميات. ومن المفارقات أن هذه هي المناطق المهددة بالتصحر. حيث تميل المناطق القاحلة وشبه القاحلة إلى أن تشهد نموّاً سكانيّاً سريعاً بسبب الهجرة من ارتفاع هطول الأمطار والمناطق المحتملة الأعلى زراعياً حيث تكون الكثافة السكانية مرتفعة، والأرض المجزأة الرازحة تحت الزراعة المكثفة.

• تعريفـــات الجفـــاف

مع أن للجفاف عدة تعريفات، فإن العنصر الأساسي في هذه التعريفات هو نقص المياه. ونظراً لأن الجفاف يؤثر في العديد من القطاعات الاقتصادية والاجتماعية، فقد جرى تطوير عشرات التعريفات من خلال مجموعة متنوعة من التخصصات. بالإضافة إلى ذلك، ونظراً لأن الجفاف يحدث بتواتر متفاوت في جميع مناطق العالم تقريباً، وفي جميع أنواع النظم الاقتصادية، وفي البلدان المتقدمة والنامية على حد سواء، فإن الأساليب المتبعة لتعريفه تعكس أيضاً الاختلافات الإقليمية وكذلك الاختلافات في المنظورات الأيديولوجية. تختلف التأثيرات أيضاً مكانيّاً وزمانيّاً، اعتماداً على السياق المجتمعي للجفاف. لذلك فإن وضع تعريف عالمي للجفاف سيكون أمراً غير واقعي.

- يُعرّف الجفاف بأنه فترة ممتدة – موسم، أو سنة، أو عدة سنوات – من نقص هطول الأمطار مقارنة بالمتوسط الإحصائي متعدد السنوات لمنطقة

ما. ينتج عن هذا النقص نقص المياه لبعض الأنشطة أو المجموعات أو القطاعات البيئية.

- وفق اتفاقية الأمم المتحدة لمكافحة التصحر فإنّ الجفاف هو: (ظاهرة تحدث بشكل طبيعي عندما يكون هطول الأمطار أقل بكثير من المستويات المسجلة العادية، مما يتسبب في اختلالات هيدرولوجية خطيرة تؤثر سلباً في نظم إنتاج موارد الأرض).
- فترة طويلة من الطقس الجاف يؤدي خلالها قلة الأمطار إلى نقص حادٍّ في المياه.

يمكن تصنيف تعريفات الجفاف على نطاق واسع على أنها إما مفاهيمية إما وظيفية. التعريفات المفاهيمية هي من النوع (القاموسي)، وتحدد بشكل عامٍّ حدود مفهوم الجفاف، وبالتالي فهي عامة في وصفها للظاهرة. على سبيل المثال، يُعرِّف قاموس التراث الأمريكي الجفاف بأنه (فترة طويلة بدون مطر، بخاصة أثناء موسم الزراعة).

وتحاول التعريفات الوظيفية تحديد بداية نوبات الجفاف وشدتها واستمرارها وانتهائها. غالبًا ما تستخدم التعريفات من هذا النوع في وضع التشغيل. يمكن أيضاً استخدام هذه التعريفات لتحليل وتيرة الجفاف وشدته ومدته لفترة تاريخية معينة.

قد يكون التعريف الوظيفي للجفاف الزراعي هو ذلك الذي يقارن الهطول اليومي بمعدلات التبخر (ET) لتحديد معدل نضوب مياه التربة ثم يعبر عن هذه العلاقات من حيث تأثيرات الجفاف على سلوك النبات في مختلف مراحل التطور. سيعاد تقييم آثار هذه الظروف الجوية في نمو النبات بشكل مستمر من قِبل المتخصصين الزراعيين مع تقدم موسم النمو.

توجد العديد من المنظورات للجفاف. يتضمن كل منظور عوامل فيزيائية وبيولوجية (و / أو) اجتماعية اقتصادية مختلفة في تعريفه للجفاف. بسبب هذه الآراء العديدة والمتنوعة، غالباً ما يوجد ارتباك كبير حول ما يشكل الجفاف بالضبط. أظهرت الأبحاث أن عدم وجود تعريف دقيق وموضوعي في مواقف محددة كان عقبة أمام فهم الجفاف، مما أدى إلى التردد (و / أو) التقاعس من جانب المديرين وصانعي السياسات وغيرهم. يجب التسليم بأن أهمية الجفاف تكمن في آثاره. وبالتالي يجب أن تكون التعريفات منطقية من ناحية وصف التأثيرات أو التطبيقات من أجل استخدامها في وضع وظيفي من قِبل صانعي القرار.

تجري مراجعة الجفاف بشكل عامٍّ باعتباره حدثاً مستداماً وواسع النطاق إقليميّاً لتوافر المياه الطبيعية بشكل ملحوظ أقل من المتوسط، سواء في شكل هطول أمطار أو جريان الأنهار أو المياه الجوفية. إنها ميزة مؤقتة ناتجة عن التقلبات المناخية. السبب الأساسي للجفاف ليس فقط عدم كفاية هطول الأمطار.

اعتماداً على التعريف المستخدم، مثل التعريف الذي يعتمد على المياه المتاحة، يمكن اعتبار المناطق القاحلة في العالم تعاني من الجفاف بشكل دائم تقريباً، ولكن بالإشارة إلى هطول الأمطار العادي، يمكن تصنيفها على أنها ليست أكثر عرضة للجفاف من بعض المناطق الغزيرة مناطق هطول الأمطار.

• أســـــباب الجفـــــاف

يمكن أن يحدث الجفاف من خلال:

1. وجود مستوى عالٍ من ضوء الشمس المنعكس، (ارتفاع العاكسية Albedo).
2. أنظمة ضغط عالية غير عادية وفوق المتوسط.
3. الرياح تحمل الكتل الهوائية القارية، وليس المحيطية (أي انخفاض بخار الماء).
4. حواف مناطق الضغط المرتفع التي تمنع أو تقيد تطور نشاط العواصف الرعدية أو هطول الأمطار على المنطقة.
5. تجعل دورات الطقس المحيطية والجوية مثل النينيو - التذبذب الجنوبي (ENSO) الجفاف سمة متكررة منتظمة للمناطق الواقعة في أحزمة الضغط العالي شبه الاستوائية في جنوب أفريقيا.

• أنـــــواع الجفـــــاف

تـؤدي التعاريـف العديـدة السـابقة إلـى تصنيـف الجفـاف حسـب النـوع علـى النحـو الآتـي: الجـوي والهيدرولوجـي والزراعـي والاجتماعـي والاقتصـادي. تتـم هـذه التصنيفـات وفقـاً لعـدد مـن المعاييـر التـي تتضمـن عـدة متغيـرات، تُسـتخدم إمـا بمفردهـا وإمـا مجتمعـة: هطـول الأمطـار، ودرجـة الحـرارة، والرطوبـة، والتبخـر مـن الميـاه الحـرة، والنتـح مـن النباتـات، ورطوبـة التربـة، والريـاح، وتدفـق الأنهـار والجـداول، وحالـة النبـات.

1. الجفـــــاف الجـــوي

التعريـف الـذي يعتمـد فقـط علـى هطـول الأمطـار يسـمى الجفـاف الجـوي ويشـير إلـى فتـرات الجفـاف القصيـرة أو فتـرات الجفـاف، عندمـا يكـون هطـول الأمطـار أقـل بكثيـر مـن المعـدل الطبيعـي المتوقـع. يتـم التعبيـر عـن الجفـاف الجـوي فقـط علـى أسـاس درجـة الجفـاف (غالبـاً بالمقارنـة مـع بعـض الكميـة (العاديـة) أو المتوسـطة) ومـدة فتـرة الجفـاف.

يجـب اعتبـار تعريفـات الجفـاف الجـوي علـى أنهـا خاصـة بمنطقـة محـددة لأن الظـروف الجويـة التـي تـؤدي إلـى قصـور في هطـول الأمطـار متغيـرة بدرجـة كبيـرة مـن منطقـة إلـى أخـرى. علـى سـبيل المثـال، تميـز بعـض التعريفـات الجفـاف الجـوي علـى أسـاس عـدد الأيـام التـي يقـل فيهـا هطـول الأمطـار عـن بعـض العتبـة المحـددة. تعتبـر الفتـرات الممتـدة دون هطـول الأمطـار أمـراً شـائعاً في العديـد مـن المناطـق؛ مثـل هـذا التعريـف غيـر واقعـي هـذه الحـالات.

قـد تشـمل التعريفـات الأخـرى انحرافـات هطـول الأمطـار الفعليـة إلـى متوسـط المقاديـر علـى النطاقـات الزمنيـة الشـهرية أو الموسـمية أو السـنوية أو السـنوية.

التعاريف المشتقة للتطبيق على منطقة ما عادة ما تكون غير قابلة للتحويل إلى منطقة أخرى لأن خصائص الأرصاد الجوية تختلف. مع تصورات الإنسان لهذه الظروف متغيرة بشكل متساوٍ، يجب أخذ هاتين النقطتين في الاعتبار من أجل تحديد خصائص الجفاف وإجراء مقارنات بين المناطق.

2. الجفـــــاف الزراعـــــي

يرتبط هذا النوع بالجفاف الفسيولوجي، الذي يُحدد من ظروف الغطاء النباتي الطبيعي والمحاصيل والثروة الحيوانية والمراعي والنظم الزراعية الأخرى. يجري تعريفه من خلال قياس توافر مياه التربة للنباتات أو الحيوانات. في هذه الحالة، يصير الإشعاع (الحرارة) وجفاف الرياح والتبخر عوامل مُهمَّة.

عادةً ما يُقاس هذا النوع من الجفاف من خلال آثار نقص المياه من ناحية الخسائر الاقتصادية للمزارعين. يمكن أن تشمل شروط الخسارة الاقتصادية عوامل، مثل: انخفاض إنتاج المحاصيل، ونفوق الماشية، والخسائر الصناعية، والنباتات غير المزروعة أو المعاد زرعها، والتغيرات في استخدام الأراضي، ونفقات الإغاثة في حالات الطوارئ، وكذلك الخسائر المتكبدة بعد الجفاف الزراعي (مثل الخسائر من خلال الرياح ومياه التعرية).

قد يكون من الصعب جدّاً تقدير الخسائر الزراعية من الناحية الاقتصادية أو مقارنتها مع بعض الفترات السابقة لأن أنماط الجفاف المماثلة قد يكون لها تأثير اقتصادي مختلف في مراحل مختلفة من التنمية للمزارع. على سبيل المثال، قد تتسبب نوبة الجفاف في حدوث انخفاض في الإنتاج الزراعي مشابه لبعض المنتجات السابقة، ولكن الارتفاع الحاد في أسعار السوق للمنتجات خلال فترة الجفاف قد يؤدي إلى أرباح أعلى للمزارعين.

وهكذا يربط الجفاف الزراعي خصائص حالات الجفاف في الأحوال الجوية والجفاف الهيدرولوجي بالتأثيرات الزراعية، مع التركيز على نقص هطول الأمطار، والاختلافات بين التبخر الفعلي والمحتمل، ونقص مياه التربة، وما إلى ذلك. يعتمد طلب النبات على المياه على الظروف الجوية السائدة، والخصائص البيولوجية للنبات المحدد، ومراحل نموه، والخصائص الفيزيائية والبيولوجية للتربة. يجب أن يراعي التعريف الوظيفي للجفاف الزراعي القابلية المتغيرة للتأثر بالمحاصيل في مراحل مختلفة من تنمية المحاصيل.

3. الجفـــــــاف الهيدرولوجـــــــي

الجفاف الهيدرولوجي هو نقص الجريان السطحي في الأنهار وموارد المياه السطحية الأخرى وفي موارد المياه الجوفية. يتضمن وصف توفر المياه، في شكل جريان هطول أمطار، وتبخر، وتسرب، وأنظمة الأنهار، وأنظمة تدفق المياه (السطحية / الجوفية) الأخرى، التي يمكن تضمينها في معادلة توازن المياه الهيدرولوجية على النحو الآتي:

$$W = G - L$$

حيث إنّ: W = المياه المتاحة لاستخدام النظام.

G = إجمالي المياه الواردة للنظام (هطول أمطار، تسرب، تخزين،... إلخ).

L = إجمالي فقد الماء (جريان التبخر،... إلخ).

وبالتالي، فإن حالات الجفاف الهيدرولوجية مرتبطة أكثر بتأثيرات فترات نقص هطول الأمطار على إمدادات المياه السطحية أو الجوفية (أي تدفق التيار، ومستويات الخزانات والبحيرات) بدلاً من نقص هطول الأمطار. عادة

ما تكون حالات الجفاف الهيدرولوجي خارج الفترة أو تتأخر عن حدوث حالات الجفاف الجوي والزراعي. تنجم حالات الجفاف الجوي عن نقص التهطال؛ يعود الجفاف الزراعي إلى حد كبير إلى نقص رطوبة التربة.

ينقضي المزيد من الوقت قبل ظهور نقص هطول الأمطار في مكونات النظام الهيدرولوجي، مثل: (الخزانات، والمياه الجوفية). ونتيجة لذلك، فإن التأثيرات خارجة عن فترتها مع تلك الموجودة في القطاعات الاقتصادية الأخرى. أيضاً، غالباً ما تستخدم المياه في أنظمة التخزين الهيدرولوجي لأغراض متعددة ومنافسة، مثل: (توليد الطاقة، والتحكم في الفيضانات، والري، والترفيه) مما يزيد من تعقيد تسلسل التأثيرات وتقديرها. لقد تصاعدت المنافسة على المياه في أنظمة التخزين هذه أثناء الجفاف، وازدادت النزاعات بين مستخدمي المياه بشكل كبير.

4. الجفاف الاجتماعي والاقتصادي

يربط هذا النوع من الجفاف العرض والطلب على بعض السلع أو الخدمات الاقتصادية بعناصر الجفاف الجوي والهيدرولوجي والزراعي. يقترح بعض العلماء أن عمليات الزمان والمكان للعرض والطلب هما العمليتان الأساسيتان اللتان يجب تضمينهما في تعريف موضوعي للجفاف.

على سبيل المثال، يعتمد توفير بعض السلع الاقتصادية، مثل: (المياه، والطعام، والطاقة الكهربائية) على الطقس. في معظم الحالات، يزداد الطلب على هذه السلع نتيجة لزيادة عدد السكان (و / أو) الاستهلاك الفردي. لذلك، يمكن تعريف الجفاف على أنه يحدث عندما يتجاوز الطلب العرض نتيجة لنقص العرض المرتبط بالطقس.

يدعـم مفهـوم الجفـاف هـذا التكافـل القـوي الموجـود بـين الجفـاف والأنشـطة البشـرية. وبالتالـي، يمكـن أن يـزداد معـدل حـدوث الجفـاف بسـبب التغييـر في وتيـرة الحـدث المـادي، أو التغييـر في تعـرض المجتمـع لنقـص الميـاه أو كليهمـا.

علـى سـبيل المثـال، يمكـن لممارسـات اسـتخدام الأراضـي السـيئة مثـل الرعـي الجائـر أن تقلـل مـن قـدرة الحيوانـات علـى التحمـل وتزيـد مـن تـآكل التربـة، ممـا يـؤدي إلـى تفاقـم آثـار الجفـاف في المسـتقبل والتعـرض لـه. هـذا المثـال مهـم بشـكل خـاصٍّ في المناطـق شـبه القاحلـة وفي مناطـق التـلال أو التضاريـس المنحـدرة.

الكثبان الرملية المرتبطة بالرواسب الرباعية الخشنة والكثبان الطينية في الهضاب الوسطى شائعة، وغالباً ما يؤدي سوء الإدارة إلى جعلها نشطة.

• خصائص الجفاف وشدته

تختلف حالات الجفاف عن بعضها بعضاً في ثلاث خصائص أساسية: الشدة، والمدة، والتغطية المكانية.

حيث تشير الشدة إلى درجة النقص في هطول الأمطار (و / أو) شدة التأثيرات المرتبطة بالنقص. وهي تُقاس عموماً بخروج بعض المؤشرات المناخية من الوضع الطبيعي وترتبط ارتباطاً وثيقاً بالمدة في تحديد التأثير. أبسط مؤشر في الاستخدام الواسع هو النسبة المئوية للتساقط العادي. وباستخدام هذا المؤشر، تجري مقارنة هطول الأمطار الفعلي بالمطر (العادي) أو متوسط هطول الأمطار لفترات زمنية تتراوح بين شهر و اثني عشر شهراً أو أكثر. عادة ما تقارن الانحرافات الفعلية لهطول الأمطار بالمقادير المتوقعة أو المتوسطة على فترة زمنية شهرية أو موسمية أو سنوية.

تتمثل إحدى الصعوبات الرئيسية في هذا المؤشر أو (أي مؤشر آخر) في اختيار العتبة التي يجب أن ينخفض النقص أو التهطال دونها (على سبيل المثال، 75 % من المعدل الطبيعي) لتحديد بداية الجفاف. عادة ما يجري اختيار العتبات بشكل تعسفي. في الواقع، يجب ربطها بالتأثير. تستخدم العديد من مؤشرات الجفاف على نطاق واسع اليوم، مثل: النهج العشري، ومؤشر بالمر لشدة الجفاف، ومؤشر رطوبة المحاصيل.

السمة المميزة الأخرى للجفاف هي مدته. تتطلب حالات الجفاف عادةً ما لا يقل عن شهرين إلى ثلاثة أشهر حتى يجري إثباتها، ولكن يمكن أن تستمر بعد ذلك لعدة سنوات متتالية. يرتبط حجم تأثيرات الجفاف ارتباطاً وثيقاً بتوقيت بداية نقص هطول الأمطار، وشدته، ومدة الحدث.

أخيـراً، تختلـف حـالات الجفـاف أيضـاً مـن ناحيـة خصائصهـا المكانيـة. حيـث تتطـور المناطـق المتأثـرة بالجفـاف الشـديد تدريجيّـاً، وتتحـول المناطـق ذات الكثافـة القصـوى مـن موسـم إلـى آخـر. في البلـدان الأكبـر، مثـل: البرازيـل أو الصـين أو الهنـد أو الولايـات المتحـدة أو أسـتراليا، نـادراً مـا يؤثـر الجفـاف في البلـد بكاملـه.

مـن ناحيـة أخـرى، مـن النـادر فعـلاً ألا يحـدث الجفـاف في جـزء من هـذه البلدان كل عـام. وبالتالـي، فـإن حكومـات هـذه الـدول الكبـرى معتـادة أكثـر علـى التعامـل مـع نقـص الميـاه وقـد أنشـأت بنيـة تحتيـة للاسـتجابة.

بالنسـبة للبلـدان الأصغـر، مـن المرجـح أن يتأثـر البلـد بكاملـه لأن حـالات الجفـاف عـادة مـا تكـون ظاهـرة إقليميـة، فهـي ناتجـة عـن شـذوذ واسـع النطـاق في أنمـاط دوران الغـلاف الجـوي التـي صـارت ثابتـة وتسـتمر لفتـرات مـن الأشـهر أو المواسـم أو أطـول.

مـن منظـور التخطيـط، فـإن الخصائـص المكانيـة للجفـاف لهـا آثـار خطيـرة. قـد يؤثـر الجفـاف الإقليمـي الواسـع النطـاق بشـكل كبيـر في قـدرة الدولـة علـى اسـتيراد الغـذاء، وهـي اسـتراتيجية محتملـة لتخفيـف الأثـر، مـن البلـدان المجـاورة التـي قـد تتأثـر بالتسـاوي. وبالمثـل، فـإن حـدوث الجفـاف في جميـع أنحـاء العالـم أو في الـدول المصـدرة الرئيسـية للحبـوب، مثـل حـدث آلنينيـو - التذبـذب الجنوبـي (ENSO) (وهـي ظاهـرة التبايـن الـدوري غيـر منتظـم في درجـات حـرارة الريـاح وسـطح البحـر فـوق المنطقـة الاسـتوائية الشـرقية للمحيـط الهـادئ، ممـا يؤثـر في منـاخ الكثيـر مـن المناطـق الاسـتوائية وشـبه الاسـتوائية) بـين عامـي 1982-1983، قـد يغيـر بشـكل كبيـر وصـول البلـدان الناميـة إلـى الغـذاء مـن الحكومـات المانحـة.

حـالات الجفـاف فريـدة مـن نوعهـا علـى عكـس الفيضانـات أو الـزلازل أو

الأعاصير؛ أثناء حدوث أحداث عنيفة لمدة قصيرة نسبيّاً، تشبه حالات الجفاف سرطاناً على الأرض يبدو أنه ليس له بداية معترف بها. توجد بالفعل حالات جفاف تغطي بضع مئات من الكيلومترات المربعة ولكنها عادة ما تكون محدودة المدة وذات شدة متواضعة.

من الشائع أن تغطي حالات الجفاف مساحات شاسعة نسبيّاً، أي نسبة كبيرة من القارة أو شبه القارة تقترب من ملايين الكيلومترات المربعة. الجفاف ظاهرة زاحفة تجعل التنبؤ الدقيق ببدء أو إنهاء مُهمَّة صعبة.

لاحظ الباحثون أنه لا يوجد تعريف جيد شامل للجفاف. قد نقول بصدق أننا نادراً ما نعرف الجفاف عندما نراه. نرحب بأول يوم صاف بعد موجة ممطرة. تستمر الأيام غير المؤلمة لبعض الوقت ويسعدنا أن نمر بفترة طويلة من مثل هذا الطقس الجيد. إنه يستمر ونحن قلقون قليلاً، وبعد أيام قليلة نشعر بالفعل أننا في مأزق. يسهم اليوم الأول غير الممطر في موجة من الطقس الجيد في حدوث الجفاف مثل اليوم الأخير، ولكن لا أحد يعرف مدى خطورته حتى يذهب آخر يوم جاف، وتعود الأمطار مرة أخرى، لسنا متأكدين من ذلك حتى تذبل المحاصيل وتموت.

• تدهـــــــور الأراضـــــي

تشمل عمليات التحلل التعرية والضغط وختم السطح والتحميض وتدهور المادة العضوية للتربة ونضوب خصوبة التربة والتدهور البيولوجي وتلوث التربة. يصف تدهور الأراضي ظروف انخفاض الإنتاجية البيولوجية.

تؤدي معظم أنواع التدهور إلى فقدان النبات والقدرة المائية المتاحة، وهو العامل الأكثر أهمية الذي يؤثر في إنتاجية التربة في العديد من أنواع التربة. يعتبر تدهور الغطاء النباتي الطبيعي المؤشر الرئيسي لتدهور الأراضي.

تتميز المؤشرات الخضرية بتدهور واضح للغطاء النباتي الطبيعي حتى درجة التدمير الكامل. تظهر المساحات الشاسعة التي جرى تطهيرها بالكامل من الغطاء النباتي الطبيعي خسارة لا رجعة فيها للتجدد الطبيعي للأشجار أو الشجيرات أو الغطاء العشبي. يمكن أن يكون التغيير في تكوين الأنواع مؤشراً إضافيّاً.

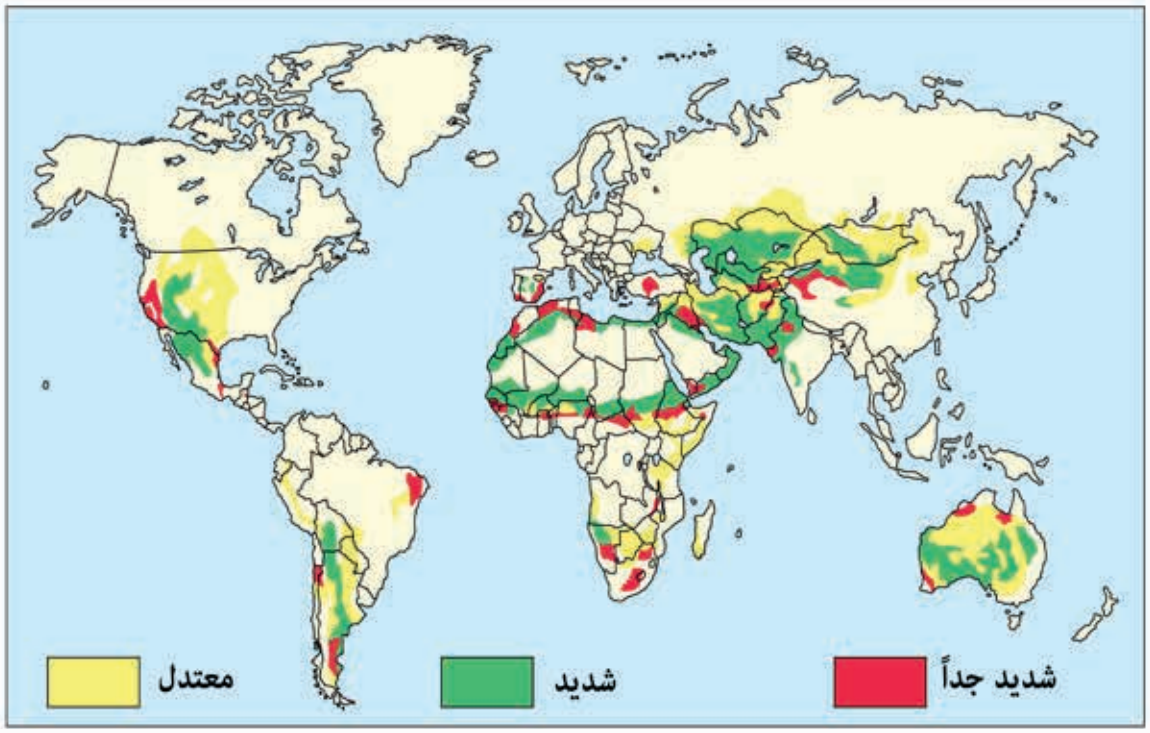
لقد عُرّف تدهور الأراضي في الأراضي الجافة بأنه (انخفاض في الإنتاجية البيولوجية للنظم الإيكولوجية للأراضي الجافة، بما في ذلك المراعي والأراضي الزراعية البعلية والمروية، نتيجة لتسريع بعض العمليات الطبيعية الفيزيائية والكيميائية والهيدرولوجية، بما في ذلك التعرية والترسب بفعل الرياح والمياه، وتراكم الأملاح في التربة، والمياه الجوفية والجريان السطحي، وانخفاض كمية أو تنوع الغطاء النباتي الطبيعي، وانخفاض قدرة التربة على نقل المياه وتخزينها لنمو النبات).

خصائص التربة التي تؤثر في نمو النبات هي محتويات العناصر الغذائية، والقدرة على الاحتفاظ بالمياه، ومحتويات المواد العضوية، وتفاعل التربة

(الحموضة)، وعمق التربة السطحية، والملوحة، والكتلة الحيوية للتربة. وقد تشكل هذه التغييرات بمرور الوقت في هذه الخصائص (تدهوراً) أو (تحسنًا).

معيار مهم لتدهور التربة هو فقدان المادة العضوية للتربة. مقارنة بالتربة في المناطق الأكثر رطوبة، فإن تلك الموجودة في المناطق القاحلة تميل إلى أن تكون بطبيعتها فقيرة في محتويات المواد العضوية، بسبب الغطاء النباتي الطبيعي المتناثر نسبيّاً ومعدل التحلل السريع بسبب درجات الحرارة المرتفعة نسبيّاً.

تحمي المخلفات النباتية الموجودة على السطح التربة من التأثيرات التآكلية المباشرة لقطرات المطر ومن التعرية بفعل الرياح وتساعد في الحفاظ على مياه التربة عن طريق تقليل التبخر. عند إزالة الغطاء النباتي الطبيعي، هناك عمليات سريعة لتحلل المواد العضوية واستنفادها. كما تزيل التعرية المتسارعة طبقة التربة السطحية الأكثر ثراءً بالمواد العضوية؛ وبالتالي، تميل التربة غير المستقرة إلى تكوين قشرة سطحية تمنع التسرب بشكل أكبر. وزيادة فاقد المياه عن طريق الجريان السطحي والتبخر.



توضح هذه الخريطة كيف تباين تصحر الأراضي القاحلة وشبه القاحلة في عام 2007. وهو ناتج عن مزيج من الجفاف المطول والأنشطة البشرية التي تعرض التربة السطحية للتعرية.

علاوة على ذلك، تفقد التربة مصدراً مُهمّاً من العناصر الغذائية. تصير التربة السطحية غير المحمية بالنباتات الدائمة عرضة للتآكل بفعل المياه والرياح، وتتقشر بفعل رذاذ قطرات المطر، ودوسات الحيوانات، والملوحة بالتبخر، وتسجيل المياه في المنخفضات الطبوغرافية، حيث لم تعد المياه تستخرج عن طريق الغطاء النباتي الدائم. السبب الأكثر انتشاراً لتدهور الأراضي في الأراضي الجافة هو التعرية المائية، تليها التعرية بفعل الرياح، والتدهور الكيميائي والفيزيائي. وشكل الرعي الجائر نصف التدهور، تليها الأنشطة الزراعية، وإزالة الغابات والإفراط في الاستغلال.

التعرية المائية هي شكل خطير من أشكال تدهور الأراضي يؤدي إلى التصحر في جميع أنحاء العالم. دمرت مناطق شاسعة بشكل دائم بسبب التعرية المائية. عرّف تآكل التربة بأنه عملية فصل ونقل مواد التربة بواسطة عوامل التآكل.

يرتبط انفصال جزيئات التربة والجريان السطحي بكثافة ومدة هطول الأمطار، فضلاً عن انحدار وخشونة المناظر الطبيعية. تؤدي خصائص التربة والغطاء النباتي وممارسات الزراعة أيضاً دوراً مُهمّاً في التعرية المائية. وقد ذكر أن التعرية المائية هي آلية طبيعية لتشكيل التضاريس، التي عندما تتسارع من خلال الأنشطة البشرية والعمل المائي يتسبب في تدهور الأرض.

المكونات في عمليات تدهور النظام الإيكولوجي شبه القاحلة هي زيادة بياض السطح (انعكاس للإشعاع الشمسي) وزيادة توليد الغبار، وكلتاهما نتيجة لتعرض التربة العارية كأرض جافة بعد إزالة الغطاء النباتي الأصلي.

تعتمد البياض في التربة العارية على محتوى المادة العضوية والتركيب المعدني للتربة السطحية. يعتمد أيضاً على محتوى الرطوبة في سطح التربة. التربة الرطبة بشكل عامٍّ أقل قدرة في الانعكاس من التربة الجافة.

• الاختلافـــــات في التعـــرض للجفـــــاف

يوجد بعض البلدان التي يعمل الجزء الأكبر من سكانها في الزراعة على أساس الكفاف. إنهم يعتمدون على هطول الأمطار وليس لديهم سدود وأنظمة ري ووسائل أخرى، مثل أنظمة الإنذار المبكر من خبراء الأرصاد الجوية لإبلاغهم بالجفاف الوشيك.

لا تزال الأسباب الجذرية للتعرض لكوارث الجفاف في جنوب أفريقيا هي انخفاض متوسط هطول الأمطار والفقر والتنمية غير المتكافئة. يؤدي النمو السكاني السريع والتحضر والأنماط القبلية لملكية الأراضي ونقص التعليم وزراعة الكفاف على الأراضي الهامشية إلى إزالة الغابات وتدهور البيئة وسوء التغذية والبطالة، وكلها عوامل تزيد من الضعف.

تضع موجات الجفاف مزيداً من الناس في براثن الفقر حيث لا تتوفر لديهم الوسائل لبيع بعض منتجاتهم.

يسير سوء التغذية جنباً إلى جنب مع ظروف الجفاف، حيث تجف الأنهار التي تكون مصدر مياه الشرب لكثير من الفقراء. هناك احتمالات أكبر لانتشار الأوبئة (مثل الكوليرا).

تؤدي حالات الجفاف المتكررة إلى زيادة التحضر. المُدن لا تملك الموارد اللازمة لإنتاج المساكن والوظائف والمرافق الطبية والمدارس وما شابه ذلك.

يوجد في بعض البلدان مزارعون لديهم إمكانية الوصول إلى المياه المخزنة وقادرون على زراعة محاصيل أكثر مقاومة للجفاف. سيكون لديهم بعض التحذير المسبق بشأن ظروف الجفاف الوشيكة لذلك فإنهم قد يكونون أفضل حالاً من سابقيهم.

آثار التصحر والجفاف

من المعروف أن تدهور الأراضي والتصحر يشكلان أسباباً رئيسية للهجرة البشرية القسرية واللاجئين البيئيين، والصراعات المميتة حول استخدام الموارد الطبيعية المتضائلة، وانعدام الأمن الغذائي والمجاعة، وتدمير الموائل الحراجية وفقدان التنوع البيولوجي، وعدم الاستقرار الاجتماعي والاقتصادي والفقر والتقلبات المناخية من خلال تقليل إمكانات عزل الكربون. تعد تأثيرات الجفاف والتصحر من بين الأحداث والعمليات الأكثر تكلفة في أفريقيا. انتشار الفقر، وحقيقة أن نسبة كبيرة من اقتصادات أفريقيا تعتمد على القطاعات الحساسة للمناخ التي هي بشكل رئيسي: الزراعة البعلية، والبنية التحتية السيئة، وأعباء الأمراض الثقيلة، والاعتماد الكبير على الموارد الطبيعية والاستغلال غير المستدام لها، والصراعات كل ذلك يجعل القارة معرضة بشكل خاصٍّ لآثار الجفاف والتصحر. يتحمل أفقر الناس والدول الجزرية الصغيرة النامية العواقب في الغالب. في المنطقة، تتحمل النساء والأطفال على وجه الخصوص العبء الأكبر عندما تتدهور موارد الأراضي وعندما يبدأ الجفاف. ونتيجة للجفاف المتكرر والتصحر، استمرت أفريقيا في مواجهة انعدام الأمن الغذائي بما في ذلك المجاعات المدمرة، وندرة المياه، وسوء الحالة الصحية، والصعوبات الاقتصادية، والاضطرابات الاجتماعية والسياسية.

مثل جميع التغيرات البيئية الرئيسية، قد يكون للتصحر آثار في ثلاثة مستويات، في الموقع وخارجه وعالمي. تتعلق التأثيرات في الموقع بالتغيرات في نمو النبات، وانخفاض الكتلة الحيوية الدائمة، وتأثير التعاقب البيئي حيث يستبدل مجتمع نباتي بآخر، وتنخفض أعداد الحيوانات، بما في ذلك حيوانات التربة، وفقدان حالة الماشية والحيوانات العاشبة الأخرى؛ والتغيرات في الرواسب السطحية، وتآكل التربة، وفقدان المواد العضوية للتربة، والتملح، وما إلى ذلك.

غالباً ما تؤدي هذه التغييرات إلى تغيير المناخ المحلي وقد تؤدي أيضاً إلى زيادة حمل الغبار في الغلاف الجوي. الآثار خارج الموقع عديدة ومتنوعة، بما في ذلك الرواسب السطحية المنقولة من خلال تآكل المياه والرياح، والترسيب في خزانات المياه؛ والجسيمات العالقة في الغلاف الجوي، التي قد تؤثر في صحة الإنسان والماشية؛ قد تنتج الأسطح المملحة والقلوية لأراضي الري المهجورة الفقيرة جزيئات ملح قابلة للنقل إلى الأراضي الزراعية المنتجة الأخرى.

لكن التأثير في حياة الإنسان هو الأكثر أهمية. يؤدي التنقل القسري للأشخاص الذين يتعين عليهم مغادرة أراضيهم بسبب تعطل أنظمة دعم حياتهم إلى خلق لاجئين بيئيين يجلبون معهم المزيد من الضغط على مواقعهم المضيفة الجديدة. على المستوى العالمي لا يمكن المبالغة في التأكيد على آثار التصحر في إنتاج الغذاء والتنوع البيولوجي وتغير المناخ.

تتضح خطورة آثار الجفاف والتصحر في المنطقة من خلال ما يأتي:

1. التأثير في النمو الاقتصادي والحد من الفقر

يعيش غالبية السكان في معظم البلدان الأفريقية في أراضٍ هامشية في المناطق الريفية ويمارسون الزراعة البعلية. يهدد التصحر الإنتاج الزراعي في هذه الأراضي الهامشية، مما يؤدي إلى تفاقم الفقر وتقويض التنمية الاقتصادية. إن المستويات المتزايدة للفقر المتأصل، والتدهور البيئي، والتصحر، وتخلف المناطق الريفية يميّز معظم المناطق الريفية في البلدان الأفريقية. إن تأثير الجفاف والتقلبات المناخية من الناحيتين الاقتصادية والوفيات أكبر بشكل عامٍّ بالنسبة للاقتصادات البسيطة نسبيّاً التي يغلب عليها الطابع الزراعي. هذه الأنواع من الاقتصادات تهيمن على أفريقيا. في عام 2004، قدرت اتفاقية مكافحة التصحر أن نحو ستة ملايين هكتار من الأراضي المنتجة تُفقد كل عام منذ عام

1990م، بسبب تدهور الأراضي. وقد تسبب هذا بدوره في خسائر في الدخل في جميع أنحاء العالم بلغت 42 بليون دولار أمريكي سنويّاً. مع توقع خسارة ثلثي الأراضي الصالحة للزراعة في أفريقيا بحلول عام 2025، يؤدي تدهور الأراضي حالياً إلى خسارة أكثر من 3 % سنويّاً من إجمالي الناتج المحلي الزراعي في منطقة أفريقيا جنوب الصحراء. في إثيوبيا، تقدر خسارة الناتج المحلي الإجمالي بسبب انخفاض الإنتاجية الزراعية بنحو 130 مليون دولار في السنة. وفي أوغندا، يهدد تدهور الأراضي في الأراضي الجافة بإحداث فوضى في اقتصاد البلاد وتصعيد الفقر. هذا لأن هذه الأراضي الجافة تشكل ممر الأبقار في أوغندا، الذي يمثل أكثر من 90 % من قطيع الماشية الوطني، ويسهم الإنتاج الحيواني بنسبة 7.5 % في الناتج المحلي الإجمالي و17 % في الناتج المحلي الإجمالي الزراعي.

يتسبب الجفاف والفيضانات في 80 % من الخسائر في الأرواح و 70 % من الخسائر الاقتصادية المرتبطة بالأخطار الطبيعية في أفريقيا جنوب الصحراء. تراجع قيمة البورصة، وتراجع إنتاج التصنيع بنسبة 9 %، وانخفاض الناتج المحلي الإجمالي بنسبة 11 % وبالمثل، في كينيا، كلف جفاف 1999–2001م الاقتصاد نحو 2.5 بليون دولار. كنسبة من الاقتصاد الوطني، فهذه خسارة كبيرة جدّاً، ويمكن اعتبارها 2.5 بليون دولار من التنمية الضائعة، على سبيل المثال، لم يجرِ بناء المستشفيات والمدارس.

يعتبر التصحر في أفريقيا سبباً رئيسيّاً ونتيجة للفقر واستنفاد الموارد، مما يهدد النمو الاقتصادي. في العديد من البلدان الأفريقية، من المتوقع أن يرتفع الفقر والتصحر خلال القرن الحادي والعشرين بالنظر إلى أن معظم الحكومات غير قادرة على زيادة الإنفاق على الإنتاج الاقتصادي والزراعي لدفع التنمية الاقتصادية الريفية والحضرية وتقليل اعتماد الفقراء على البيئة الطبيعية،

العملية التي تؤدي إلى تفاقم التصحر والفقر. تسهم زيادة الإنفاق على التنمية الزراعية والاقتصادية الريفية كل عام في تحسين الأمن الغذائي وفي الانخفاض المطرد في انتشار الفقر الريفي وعملية التصحر.

2. التأثـــــير في الأمن الغذائـــــي

يؤثر فقدان الموارد الطبيعية والتدهور البيئي والتصحر في الأمن الغذائي. إذْ لا تملك الأسر الفقيرة المتضررة من الجفاف والتصحر الموارد الكافية للتعامل مع نقص الغذاء الذي يؤدي إلى انعدام الأمن الغذائي والجوع الذي يؤثر في الملايين من الناس. إذا استمر تدهور الأراضي بالوتيرة الحالية، فمن المتوقع أن تكون أكثر من نصف المساحة الزراعية المزروعة في أفريقيا غير صالحة للاستعمال بحلول عام 2050م وقد تكون المنطقة قادرة على إطعام 25 % فقط من سكانها بحلول عام 2025م. تعتبر الزراعة أحد الأنشطة الاقتصادية الرئيسية في أفريقيا (التي تمثل نحو 40 % من الناتج المحلي الإجمالي للمنطقة وتوظف نحو 60 % من القُوى العاملة النشطة)، وهذا من شأنه أن يؤدي إلى كارثة ذات تداعيات غير مسبوقة. في المنطقتين الشماليتين من غانا اللتين تضررتا بشدة من تدهور التربة، تشير التقديرات إلى أن سوء التغذية بين الأطفال ارتفع من 50 % في عام 1986 إلى 70 % في عام 1990م.

أخطر عواقب الجفاف هي المجاعة. تمثل المعونة الغذائية لشبه القارة الهندية ما يقرب من 50 % من الميزانية السنوية لبرنامج المعونة الغذائية العالمي. كما أدت موجات الجفاف المتتالية التي حدثت في الجنوب الأفريقي منذ عام 2001 إلى نقص خطير في الغذاء. أدى الجفاف في الفترة 2002-2003 إلى نقص غذائي قدره 3.3 مليون طن، مع وجود 14.4 مليون شخص في حاجة إلى المساعدة.

في ذروة جفاف القرن الأفريقي في عام 2000م، كان 3.2 مليون كيني يعتمدون على المساعدات الغذائية، وبلغ سوء التغذية 40 % من السكان، أي أكثر من 3 أضعاف المستوى العادي. في عام 2005م، قدمت شركة كونسيرن Concern، بالشراكة مع أبرشية ماليندي، كينيا، البذور والدعم الفني إلى 2129م أسرة زراعية تأثرت بشدة بالجفاف.

خلال العام نفسه 2005، واجهت العديد من البلدان الأفريقية الأخرى نقصاً في الغذاء بسبب الآثار المشتركة للجفاف الحادِّ والتصحر الذي يمكن أن يصير شبه دائم في ظل تغير المناخ. وشملت البلدان الأشد تضرراً إثيوبيا وزيمبابوي وملاوي وإريتريا وزامبيا، وهي مجموعة من البلدان التي سيعاني فيها ما لا يقل عن 15 مليون شخص من الجوع دون مساعدة. كما تدهور الوضع بسرعة في النيجر وجيبوتي والسودان. لقد شهد العديد من هذه البلدان أسوأ محاصيلها منذ أكثر من 10 سنوات وكانت تعاني من الجفاف الشديد الثالث أو الرابع على التوالي.

يعتبر الجفاف والمجاعة في منطقة الساحل من 1968م إلى 1974م بمثابة تذكرة مروعة بالآثار والتداعيات المشتركة للتصحر والجفاف. في غُضون ست سنوات، مات مئات الآلاف من الناس ونفقت ملايين الحيوانات. سرعان ما استحوذت الماشية النافقة والأراضي المقفرة على انتباه العالم وأدت إلى التصحر في مركز الصدارة. في أفريقيا ككل، تجاوز استهلاك الغذاء الإنتاج المحلي بنسبة 50 % في الثمانينيات وبنسبة تزيد على 30 % في التسعينيات. مع أن الزراعة ستبقى لسنوات عديدة مساهماً رئيسيّاً في اقتصادات معظم البلدان النامية، إلا أن نصيبها من الناتج المحلي الإجمالي في بعض البلدان سوف ينخفض تدريجيّاً حيث يتسبب الجفاف والتصحر في زيادة نقص الغذاء في الوقت نفسه.

3. التأثـــــير في المـــــاء

يؤثر كل من الجفاف والتصحر في توافر المياه، والذي يُتوقع أن يكون أحد أكبر المعوّقات أمام النمو الاقتصادي في المستقبل. في أفريقيا، من المتوقع أن يؤدي تغير المناخ إلى تفاقم حالة المياه الحرجة في القارة.

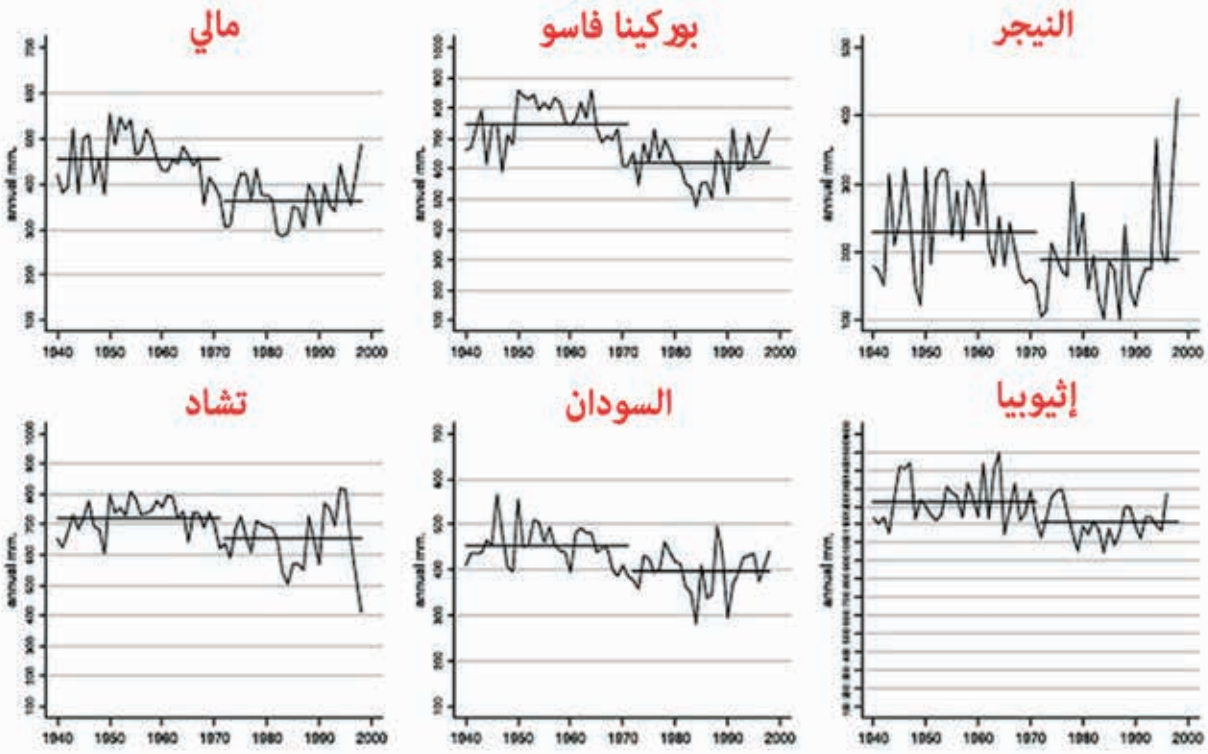
من شأن انخفاض المتوسط السنوي لسقوط الأمطار وجريانها أن يفاقم التصحر في الجنوب الأفريقي. وكون هذه المنطقة دون الإقليمية واحدة من العديد من المناطق التي تعاني من الإجهاد المائي، فقد تشهد بالتالي انخفاضاً إضافيّاً في تدفق مجاري المياه وقدرة المياه الجوفية على (إعادة التغذية).

علاوة على ذلك، من المتوقع أنه بحلول عام 2025 ستنضم جنوب أفريقيا أيضاً إلى معظم البلدان في شمال أفريقيا التي يمكن تصنيفها بالفعل على أنها تعاني من ندرة مطلقة في المياه اليوم. وهذا يعني أن البلدان في هذه المناطق لن يكون لديها موارد مائية كافية للحفاظ على المستوى الحالي لنصيب الفرد من إنتاج الغذاء من الزراعة المروية - حتى عند المستويات العالية من كفاءة الري- وأيضاً لتلبية احتياجات المياه المعقولة للأغراض المنزلية والصناعية والبيئية.

للحفاظ على احتياجاتهم، يجب نقل المياه من الزراعة إلى قطاعات أخرى، مما يجعل هذه البلدان أو المناطق تعتمد بشكل متزايد على الغذاء المستورد. بحلول عام 2025، تشير التقديرات إلى أن ما يقرب من 230 مليون أفريقي سيواجهون ندرة المياه، وسيعيش 460 مليون في البلدان التي تعاني من الإجهاد المائي.

بالفعل، هناك 14 دولة أفريقية معرضة للإجهاد المائي أو ندرة المياه، حيث سترتفع إلى 25 دولة بحلول عام 2025، وهو وضع سيزيد من تفاقم التصحر والأمن الغذائي الخطير والتخلف الاقتصادي.

في منطقة النيل، تقدر معظم السيناريوهات انخفاضاً في تدفق النهر يصل إلى أكثر من 75 % بحلول عام 2100م. وسيكون لهذا آثار كبيرة في الزراعة، حيث سيؤدي انخفاض التدفق السنوي لنهر النيل إلى ما يزيد على 20 % إلى انقطاع الري العادي. يمكن أن يتسبب مثل هذا الوضع في حدوث صراع لأن التخصيص الحالي للمياه، الذي يجري التفاوض عليه خلال فترات التدفق الأعلى، سيصير غير مقبول.



تتغير معدلات هطول الأمطار بشدة في دول الساحل الأفريقي.

4. التأثير في التنوع البيولوجي

يدعم التنوع البيولوجي الموجود في الأراضي الجافة والموائل الأخرى خدمات النظم البيئية الحيوية لسُبل عيش ملايين الأشخاص في أفريقيا. إنها أساس التنمية المستدامة في المنطقة والعالم. المناطق الجافة في العالم هي أصل عدد كبير من الحبوب والبقوليات الغذائية المُهمَّة عالمياً، مثل: الشعير، والقمح، والفول، والعدس. يعتمد 400 مليون شخص، أي ثلثا سكان أفريقيا جنوب الصحراء، على سلع وخدمات الغابات في معيشتهم. وقد كان للجفاف وتدهور الأراضي والتصحر تأثير خطير في ثراء وتنوع التنوع الأفريقي. وتبقى هذه العوامل من أخطر التهديدات للإدارة والاستخدام المستدام والتقاسم العادل لمنافع التنوع البيولوجي. الآثار المدمرة المتوقعة لتغير المناخ في المنطقة بما في ذلك تفاقم هذه العوامل ستؤدي إلى تصعيد تدهور التنوع البيولوجي والخسارة المرتبطة بالجفاف وتدهور الأراضي والتصحر.

تؤثر هذه العوامل في التنوع البيولوجي بشكل مباشر وغير مباشر. تشمل التأثيرات في الموقع: تدهور الموائل والأنواع وفقدانها، مما يؤدي إلى خسارة شاملة في الإنتاجية الاقتصادية والبيولوجية. على سبيل المثال، في المراعي، لا يقلل الرعي الجائر من الغطاء الواقي للتربة ويزيد من تآكل التربة فحسب، بل يؤدي أيضاً إلى تغيير طويل المدى في تكوين الغطاء النباتي.

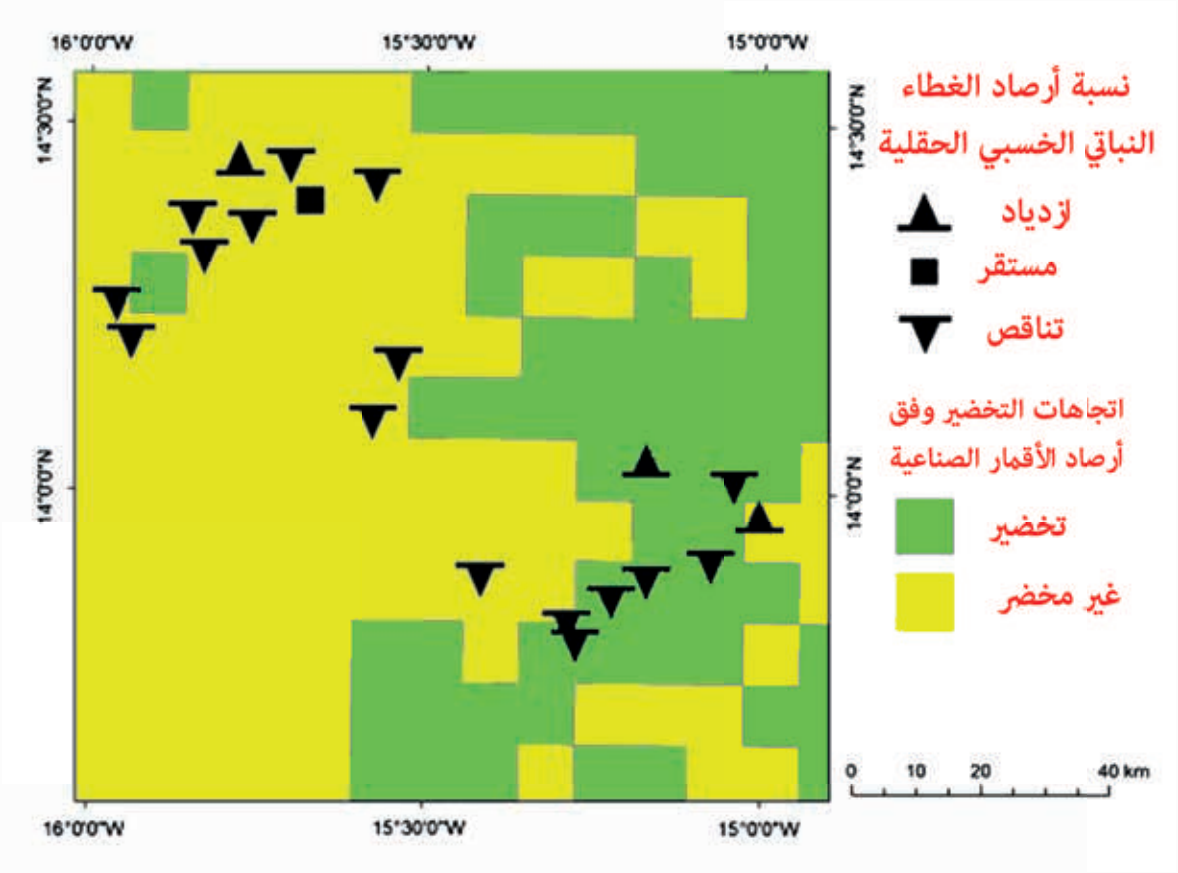
سيتغير التنوع البيولوجي النباتي بمرور الوقت، وستهيمن الأنواع غير المستساغة، وسيقل إجمالي إنتاج الكتلة الحيوية. وهذه بدورها تطلق وتسهم في تأثيرات غير مباشرة أو خارج الموقع. سيسهم تآكل التربة في تعرية وتلوث الأراضي الرطبة والمسطحات المائية. مع تدهور الإنتاجية البيولوجية والاقتصادية، تضطر المجتمعات إلى الهجرة إلى مناطق أخرى أو الانخراط في أنشطة تكيف أخرى تسهم أيضاً في تدهور التنوع البيولوجي.

وفقاً لتوقعات البيئة الأفريقية الثانية، فقد ما يقرب من نصف المناطق الإيكولوجية الأرضية في أفريقيا أكثر من 50 % من مساحتها بسبب الزراعة أو التدهور أو التحضر. وينص أيضاً على أن بعض المناطق البيئية مثل فسيفساء هضبة ماندارا، والغابات الانتقالية عبر النيجر، وفسيفساء غابات جوس بلاتو، وغابات الأراضي المنخفضة النيجيرية قد شهدت أكثر من 95 % من التحول.

فقدت تسع مناطق إيكولوجية أخرى أكثر من 80 % من موطنها، بما في ذلك الأراضي المنخفضة الغنية بالأنواع فينبوس ورينوسترفيلد والغابات والمراعي في المرتفعات الإثيوبية؛ كذلك فقدت غابات البحر الأبيض المتوسط أكثر من 75 % من موطنها الأصلي، وصارت الكتل القليلة المتبقية من الموائل مجزأة جدّاً.

تآكل التربة في تجمعات ديكالي الرعوية في مايو 2013 في إثيوبيا، مع أمثلة على (a) المراحل المبكرة من تكوين الأخاديد و (b) أخدود عميق فيه ماشية.

في مناطق الكثبان الرملية في بلدان، مثل: موريتانيا، ومالي، والنيجر، ونيجيريا، والسنغال، تتراكم عمليات ترسب الطمي في أحواض الأنهار الرئيسية، والمواد التي تبتلع الغطاء النباتي الطبيعي، مثل غابات أكاسيا نيلوتيكا النهرية. يسهم تآكل التربة في تحريك رأس المال البذري للأرض، واقتلاع الأنواع العشبية والأخشاب، وفي مناطق التراكم يخنق الأنواع القيمة.



التراكب المكاني لاتجاه التغيرات في وفرة الغطاء النباتي الخشبي كما لوحظ على الأرض وخريطة ثنائية لاتجاهات الخضرة التي تمت ملاحظتها عبر الأقمار الصناعية (التخضير مقابل عدم التخضير) لمجموعة فرعية من مواقع الدراسة في وسط السنغال. يبدو أن الملاحظات الأرضية لتناقص الغطاء النباتي الخشبي تهيمن في جميع أنحاء المنطقة، سواء تزامنت مع اتجاه التخضير الملاحظ بواسطة القمر الصناعي أم لا.

في غرب أفريقيا، أدى تحرك الناس جنوباً نحو المناطق الاستوائية شبه الرطبة إلى فقدان الغابات الأولية والأراضي الحراجية، وتكرار قطع الأشجار للنباتات الثانوية، واستنفاد عدد من الأنواع.

يحدث تدهور أكثر انتشاراً لموارد الأراضي في الأجزاء القاحلة وشبه الرطبة. ويشمل هذه استخراج الموارد الشجرية خارج الغابات لصنع الفحم (نحو 150 مليون طن / سنة من مناطق السافانا والأراضي الحراجية)، واستخدام الأخشاب عالية القيمة. الأكثر تضرراً هي عائلة ميلياكيا (أنواع خايا).

هناك أدلة متزايدة لإثبات أن الجفاف والتصحر اللذين يتفاقمان بسبب تغير المناخ سيكون لهما آثار مدمرة على الموائل والأنواع في المنطقة. على سبيل المثال، يمكن أن تؤثر التحولات في أنماط هطول الأمطار على الفينبوس والكارو في جنوب أفريقيا من خلال تغيير نظام الحرائق الضروري لتجديدها. يمكن أن يؤثر انخفاض الجريان في النظم البيئية للأراضي الرطبة، مثل: دلتا أوكافانغو، ومنطقة سود.

5. التأثير في الطاقة

تظهر آثار الجفاف والتصحر على قطاع الطاقة في المقام الأول من خلال الخسائر في إمكانات الطاقة الكهرومائية لتوليد الكهرباء وآثار الجريان السطحي (وما يترتب عليه من ترسب الطمي) على توليد الطاقة الكهرومائية.

تتجلى خطورة تأثيرات توليد الكهرباء بشكل أكبر في حالة غانا، حيث انخفض مستوى المياه في سد أكوسومبو في النصف الأول من عام 2007م (ومن المتوقع أن يستمر هذا العام) إلى ما دون المستوى الأدنى 240 قدماً. وقد أدى ذلك إلى انخفاض في توليد الطاقة الكهرومائية، وبالتالي فصل الأحمال عن الكهرباء في جميع أنحاء البلاد. تظهر تأثيرات الطاقة أيضاً من خلال

التغييـرات في معـدلات نمـو الأشـجار التـي تعتمـد عليهـا الغالبيـة العظمـى مـن النـاس في المنطقـة للحصـول علـى حطـب الوقـود.

بسـبب محدوديـة البدائـل المتاحـة لهـم والأولويـة المنخفضـة الممنوحـة لتلبيـة احتياجاتهـم في أوقـات النـدرة، تتحمـل المناطـق الريفيـة وفقـراء الحضـر أكبـر تكلفـة لانخفـاض مـوارد الطاقـة. وهـذا يقـوض الجهـود المبذولـة لانتشـال هـذه الفئـات مـن النـاس مـن براثـن الفقـر.

6. التـــأثـــير في الهجـــــرة

تمتـد آثـار التصحـر والجفـاف إلـى مـا وراء مناطـق الأراضـي الجافـة المتضـررة. مـع زيـادة مسـتوى الضعـف بسـبب الآثـار المشـتركة للتصحـر والقابليـة الاجتماعيـة والاقتصاديـة، تـزداد احتماليـة الهجـرة البشـرية. يـؤدي التصحـر إلـى نـزوح أعـداد كبيـرة مـن السـكان وإجبارهـم علـى تـرك منازلهـم وأراضيهـم بحثـاً عـن سُـبل عيـش أفضـل.

وتتخـذ الهجـرة المرتبطـة بالتصحـر والجفـاف العديـد مـن الأشـكال التـي تحـدث في الغالـب علـى شـكل هجـرات داخليـة، أي نـزوح السـكان داخـل الحـدود الوطنيـة. الذيـن هـم الأكثـر عرضـة للخطـر هـم أولئـك الذيـن في الطـرف الأدنـى مـن الطيـف الاجتماعـي والاقتصـادي، في كل مـن المناطـق المتقدمـة والناميـة.

في المناطـق الناميـة، غالبـاً مـا يُجبـر السـكان الأشـد فقـراً علـى العيـش في أراض هامشـية خـارج المناطـق الحضريـة أو المناطـق السـاحلية، ممـا قـد يكـون عرضـة للتصحـر. غالبـاً مـا تكـون الهجـرة آليـة تأقلـم، مـع القليـل مـن الثقـة في العثـور علـى إقامـة دائمـة.

يدفع توافر الموارد الطبيعية -على سبيل المثال- الرعاة على طول حدود إثيوبيا وكينيا وأوغندا للهجرة بعيداً عن مناطق الموارد المتضائلة؛ مما يؤدي إلى زيادة المنافسة على الموارد المحدودة مع زيادة حدوث الصراع عندما ينتقل هؤلاء الأفراد إلى مناطق مجتمعات زراعة المحاصيل.

تشير التقديرات إلى أن 135 مليون شخص - ما يعادل مجموع سكان فرنسا وألمانيا- معرضون لخطر النزوح بسبب التصحر. يبدو أن المشكلة أكثر حدة في أفريقيا جنوب الصحراء الكبرى، والساحل، والقرن الأفريقي. تشير التقديرات إلى ويبدو أن نحو 60 مليوناً انتقلوا في نهاية المطاف من المناطق المتصحرة في أفريقيا جنوب الصحراء باتجاه شمال أفريقيا وأوروبا بحلول عام 2020م.

بالفعل، يُذكر أنه في العشرين عاماً الماضية، هاجر ما يقرب من نصف إجمالي السكان الذكور في مالي مرة واحدة على الأقل إلى البلدان الأفريقية المجاورة (96 %) أو إلى أوروبا (2.7 %). في بوركينا فاسو، يمكن تحديد التصحر على أنه سبب 60 % من تضخم المراكز الحضرية الرئيسية.

تتمثل إحدى عواقب التصحر في كينيا في التدفق المستمر لفقراء الريف إلى نيروبي. نما عدد سكان نيروبي بنسبة 800 % من 350000 في عام 1963م إلى 2818000 في عام 2005م.

في ظل هذه الخلفية للتأثير المدمر للجفاف والتصحر، الذي يتغلغل ويقوض أُسس تأمين سُبل العيش المستدامة والنمو الاقتصادي، يرتبط القضاء على الفقر في أفريقيا ارتباطاً وثيقاً بالنجاح في مكافحة التصحر والتخفيف من آثار الجفاف.

بالنسبة للملايين في القارة، فإن الآمال في الخروج من الفقر تتوقف على الجهود المبذولة على المستويات الوطنية والإقليمية والعالمية لإعطاء الأولوية لتوفير الدعم وتدابير التنفيذ لمكافحة التصحر والتعامل مع الجفاف.

الآثـــــار البيئيـــــة

- فقدان التنوع البيولوجي للأنواع.
- هجرة التغييرات للحيوانات المتجولة.
- انخفاض جودة الهواء.
- زيادة تآكل التربة.
- خلال موسم الرياح الموسمية، غالباً ما تعاني المناطق التي تعتمد على الأمطار الموسمية من الجفاف إذا فشلت الأمطار الموسمية.
- بمجرد فشل المحاصيل، يمكن أن تصبح المجاعة مشكلة كبيرة.
- في بعض البلدان الأفريقية، غالباً ما تُستخدم طقوس المطر لمحاولة إحباط مواسم الجفاف وجلب المطر.
- في حين أنه ليس علاجاً، فقد طورت التكنولوجيا الحديثة طرائق للمساعدة في رؤية حالات المجاعة المحتملة حيث ترى الأقمار الصناعية ظروف المجاعة من الفضاء.

استراتيجيات مواجهة التصحر والجفاف

ينشأ الجفاف من نقص في هطول الأمطار مما يؤدي إلى نقص المياه لبعض الأنشطة أو بعض المجموعات.

يلاحظ أنه نتيجة لتقليل الكتلة الحيوية الخشبية المتاحة وما يترتب على ذلك من نقص في خشب الوقود أو مواد البناء، فإن نقص المياه بسبب تدهور أنظمة دعم الحياة التي غالباً ما تتطلب المساعدة الخارجية أو البحث عن سُبل العيش في مكان آخر. كانت حالات الجفاف الشديد مسؤولة عن فقدان الماشية والحياة البرية وحتى فقدان الأرواح البشرية.

مثلاً الموقع الجغرافي لجنوب كالاهاري في أفريقيا على حزام الضغط العالي شبه الاستوائي (خط عرض 25 درجة – 35 درجة جنوباً) يسبب جفافها. مناطق الضغط المرتفع مثل هذه عادة ما تتلقى القليل من المطر. يكون الهواء المتجه إلى البر من الغرب جافًا بسبب تيار المحيط البارد ومياه المحيط الباردة.

ومنذ الجفاف المدمر في 1980–1984م الذي ضرب دول الساحل، صارت منطقة وادي المغادم في السودان أكثر عرضة للجفاف وتغير المناخ في المستقبل.

تؤدي الآثار التراكمية للجفاف المتكرر إلى تناقص خطير في المياه السطحية، ونضوب الغطاء النباتي، وتدمير خصوبة التربة العُلوية، وانخفاض إنتاجية المحاصيل البدائية والقابلة للزراعة، بسبب تدهور الأراضي. صار المزارعون والرعاة الذين فقدوا قطعانهم الحيوانية عاجزين عن زراعة الخضراوات أو المحاصيل من أجل الغذاء. قبل خمسين عاماً، كانت ملكية الأسرة للحيوانات تمثل أكثر من 100 رأس من الأغنام و110 مِعاز و110 جمال و10 حمير.

كما قام الأهالي بزراعة بعض الخضراوات والمحاصيل في موسم الأمطار لسد رمقهم في أحواض وبنوك الأودية وحصلوا على غلات تتراوح بين 6 و11 جول / فدان. في السنوات الأخيرة، انخفضت ملكية الحيوانات إلى 6 أغنام و5 مِعاز وجمل واحد وحمار وفقدت الماشية تماماً الظروف المناسبة لحياتها حيث اختفت. صار النشاط الزراعي محدوداً جدّاً اعتماداً على الظروف الجوية.

كل هذا التدهور في الموارد والأصول، أدى إلى تدهور الأوضاع الاجتماعية والاقتصادية، وتقويض سُبل العيش الريفية، وبالتالي انخفاض دخل الأسرة، وزيادة الفقر، وإجبار الناس على ترك قُراهم والهجرة إلى البلدات والمُدن المجاورة، والعمل في المناطق الهامشية.

مع أن القارة الأفريقية عانت من أكثر الآثار دراماتيكية من الجفاف خلال العقود العديدة الماضية، فقد جرى التأكيد مراراً وتكراراً على تعرض جميع الدول لفترات طويلة من نقص المياه خلال نفس الفترة الزمنية.

في العقد الماضي وحده، حدثت حالات الجفاف بوتيرة وشدة كبيرين في معظم العالم المتقدم والنامي. البرازيل، والأرجنتين، وأوروغواي، وأستراليا، والولايات المتحدة، وكندا، والهند، والصين، ومعظم دول جنوب شرق آسيا ليست سوى أمثلة قليلة من البلدان التي اجتاحها الجفاف.

ينتشر القلق من قِبل أعضاء الأوساط العلمية ومجتمعات السياسات بشأن عدم قدرة الحكومات على الاستجابة بطريقة فعَّالة وفي الوقت المناسب للجفاف وما يرتبط به من آثار في جميع أنحاء العالم. كانت هناك العديد من (الدعوات للعمل) لتحسين التخطيط والإدارة للجفاف من قِبل الحكومات الوطنية والمنظمات المهنية والمنظمات الحكومية الدولية والمنظمات غير الحكومية وغيرها.

ومع ذلك، فإن مُهمَّة تغيير تصور صانعي السياسات والعلماء في جميع أنحاء العالم حول الجفاف وتثقيفهم حول مناهج الإدارة البديلة يمثل تحدياً هائلاً. تعامل الحكومات عادة الجفاف على أنه حدث نادر وعشوائي لا يمكن التنبؤ به أو بطبيعته؛ إنهم غير مستعدين للاستجابة بفعالية عند حدوثه. تتطلب الاستجابة الفعَّالة للجفاف تخطيطًا بعيد المدى، وهي مُهمَّة صعبة بالنسبة لمعظم الحكومات.

لقد صار لدى العديد من العلماء وصانعي السياسات حالياً فهم أفضل للجفاف وعواقبه الاقتصادية والاجتماعية والبيئية. على الرغم من وجود عوائق أمام التخطيط للجفاف، فإن التقدم الأخير قد خلق شعوراً بالتفاؤل الحذر بأن المجتمع يتجه بثبات نحو مستوى أعلى من التأهب. كما تتوافر التقنيات والمعلومات التي من شأنها أن تمكن البلدان من التخفيف بشكل أكثر فعالية من آثار الجفاف من خلال تطوير نهج أكثر استباقية ومنهجية لإدارة المخاطر.

إن حدوث الجفاف الشديد في جميع أنحاء العالم أثناء وبعد حدوث ظاهرة النينيو El Niño / أو التذبذب الجنوبي الشديد (ENSO) في عامي 1982 - 1983 وعامي 1997–1998 يفسر جزئياً زيادة وعي الحكومات وفهمها للجفاف والاهتمام بالتخطيط.

وقد لفتت حالات الجفاف هذه الانتباه على قابلية التأثر والافتقار إلى القدرة على التكيف لدى جميع الدول. كما يبدو أن التعرض الاجتماعي للجفاف آخذ في الازدياد، ويرجع ذلك إلى حد كبير إلى النمو السكاني وتزايد طلب المجتمع والتنافس على موارد المياه المحدودة.

بالإضافة إلى ذلك، أصبح لدى العديد من الحكومات الآن تقدير أفضل للتكاليف المرتبطة بالجفاف. لا تشمل هذه التكاليف الآثار المباشرة للجفاف

فحسب، بل تشمل أيضاً التكاليف غير المباشرة (أي المصاعب الشخصية، وتكاليف الإغاثة، وتأخر التنمية الاقتصادية، والتدهور البيئي المتسارع). لم تعد الدول قادرة على تخصيص الموارد المالية الشحيحة لبرامج الاستجابة التي غالباً ما تكون قصيرة النظر والتي لا تفعل شيئاً يذكر للتخفيف من آثار الجفاف في المستقبل، بل قد تؤدي في الواقع إلى تفاقمها.

في أذهان الجمهور صارت موضوعات الجفاف والتغيرات المتوقعة في المناخ الناتجة عن زيادة تركيزات ثاني أكسيد الكربون والغازات النزرة الأخرى في الغلاف الجوي مرتبطة ارتباطاً وثيقاً. على سبيل المثال، كان بعض العلماء ينظرون إلى جفاف عام 1988 في الولايات المتحدة (ونشرته وسائل الإعلام) على أنه تحذير مسبق من ظاهرة الاحتباس الحراري.

يقترح آخرون أن التغيرات في المناخ ستؤدي إلى زيادة تواتر وشدة الجفاف، مع أن هذه التوقعات تخمينية جدّاً في الوقت الحالي. ومع ذلك، فإننا نعلم أن الجفاف جزء طبيعي من المناخ في جميع المناطق تقريباً؛ وتكراره أمر لا مفر منه، مع أو بدون وجود تغيرات في المناخ.

من وجهة نظر مؤسساتية، فإن التعلم اليوم للتعامل بشكل أكثر فعالية مع الأحداث المناخية المتطرفة مثل الجفاف سوف يخدمنا جيداً في إعداد استراتيجيات الاستجابة المناسبة للقضايا ذات الصلة بالمناخ على المدى الطويل.

استراتيجيات إدارة الجفاف

يعتبر الجفاف سمة رئيسية لمناخ الجنوب الأفريقي، وله تأثير مدمر في كثير من الأحيان. في خطة إدارة الجفاف (DMP) التي وضعتها حكومة جنوب أفريقيا، تشمل القضايا التي يجب معالجتها ما يأتي:

1. خطة بحث مناسبة.
2. تنبؤات الجفاف.
3. أنظمة الإنذار المبكر والمراقبة (الاستشعار عن بُعْد بالأقمار الصناعية).
4. أدوات دعم القرار لإدارة الجفاف.
5. وضع معايير التربة والمحاصيل والمناخ للزراعة في منطقة زراعية متجانسة بشكل معقول (RHFA) من أجل زراعة منتجات زراعية مربحة (وليس بالضرورة الغذاء).
6. وضع قواعد ومعايير للأراضي العشبية والحيوانات في مناطق RHFA، كما هو الحال في تحديد أحجام القطيع وبيع الماشية قبل حدوث الجفاف.
7. تطوير خطط زراعية مستجيبة بمعنى أن الزراعة المربحة لا تقتصر على إنتاج الغذاء، بل المحاصيل النقدية التي يمكن بيعها بشكل مربح.
8. تحسين البحث العلمي، بما في ذلك ما يتعلق بتغير المناخ.
9. تحديد تأثير التغير البيئي العالمي في خصائص كارثة الجفاف والإنتاج الزراعي.

• اســـــتراتيجيات إدارة التصحـــــر

إنّ آثار التصحر خطيرة جدّاً عندما ينظر المرء بشكل شامل إلى النظام البيئي القائم على الأرض. يعتمد البشر على الأراضي الخصبة لإنتاج الغذاء لعدد متزايد من السكان. في الوقت نفسه، يحدث انقراض جماعي للأنواع البرية يوميّاً حيث تتحرك الصحاري بلا هوادة فوق أرض كانت خصبة ذات مرة.

لقد دخلت اتفاقية الأمم المتحدة لمكافحة التصحر (UNCCD) حيز التنفيذ في عام 1996.

كما رأينا سابقاً، غالباً ما يقترن تآكل التربة بالتصحر. من خلال معالجة أحدهما، يمكنك التأثير على الآخر.

تهدف بعض الاستراتيجيات المتضمنة في اتفاقية مكافحة التصحر إلى حل المشكلات التي يسببها التصحر. يجب أن تكون هناك زيادة في كمية الطعام التي يمكن زراعتها في المناطق التي يعيش فيها الناس ويزرعون الأرض.

يمكن معالجة مشكلات التصحر الآتية من خلال الحلول المقابلة لها كما في الجدول الآتي:

المشكلة	الحل المقترح
إزالة الغابات	التشجير، أي إعادة زراعة الأشجار، بخاصة في أحزمة الحماية. يمكن أن تساعد زراعة الحشائش في تثبيت التربة وتقليل التعرية بفعل الرياح والأمطار.
الإفراط في الزراعة	استخدام الممارسات الزراعية الجيدة، مثل: التدوير السليم للمحاصيل، واستخدام السماد الطبيعي.
الرعي الجائر	التحكم في أحجام القطيع لضمان عدم أكل العشب قبل استبداله.
الري السيء	تأكد من عدم تبخير الماء على سطح يهدر الماء ويزيد ملوحته.
الجريان السطحي	سيسمح تلطيف الأرض لإبطاء الجريان بالتسرب والتربة الرطبة.
زيادة عدد السكان	السيطرة على تزايد عدد السكان في المناطق الزراعية الهامشية من خلال خلق بدائل للتوظيف.

الإجراءات العامة الموصى بها لمكافحة التصحر والجفاف

نقدم فيما يأتي بعض النهج والإجراءات الموصى بها لتعزيز تنفيذ البرامج للتصدي بفعالية للجفاف والتصحر وكذلك لتحقيق النمو المستدام والحد من الفقر.

1. توسيع نطاق تنفيذ برامج العمل الوطنية وخطط الإدارة المستدامة للأراضي الأخرى مع التركيز بشكل خاصٍّ على البرامج والأنشطة المجتمعية الملموسة على الأرض بهدف تحقيق نتائج قابلة للقياس بشأن الإدارة المستدامة للأراضي والحد من الفقر. إن الحاجة الملحة لتحقيق ذلك تتطلب:

أ. آليات أكثر سهولة وابتكاراً لتوجيه مستويات متزايدة من الدعم، لا سِيَّما التمويل للمزارعين وغيرهم من مديري الموارد الطبيعية في الخطوط الأمامية.

ب. تسخير المعرفة والمهارات المحلية وتمكين السلطات المحلية والمجتمع المدني والقطاع الخاص والمجتمعات المحلية من خلال زيادة بناء القدرات المرتبطة بتحقيق نتائج ملموسة في الحد من الفقر، والإدارة المتكاملة للموارد الطبيعية، وإدارة مخاطر الجفاف.

ج. تحديد وتوثيق وتبادل أفضل الممارسات وتعزيز تكرار المشروعات الناجحة.

د. ضمان الالتزام الكافي بتنفيذ الخطة وإطار العمل الاستراتيجيين للسنوات العشر من أجل تعزيز تنفيذ اتفاقية الأمم المتحدة لمكافحة التصحر والقرارات المعتمدة ذات الصلة.

2. **التعميم** والإدماج المنهجي للأولويات المحددة في برامج العمل الوطنية وغيرها من عمليات الإدارة المستدامة للأراضي في برامج التنمية الوطنية بما في ذلك التنمية المستدامة الوطنية واستراتيجيات الحد من الفقر من أجل تعبئة موارد التنفيذ، وتعزيز الالتزام السياسي المتوسط وطويل الأجل لبرامج التخفيف من حدة الجفاف ومكافحة التصحر.

لا بد من تعبئة الموارد المحلية وضمان أقصى قدر من المشاركة المجتمعية في برامج وأنشطة مكافحة التصحر والحد من مخاطر الجفاف.

بالنظر إلى الصعوبات التي تواجهها البلدان والنتائج المختلطة التي حققتها البلدان من الجهود المبذولة لإدماج قضايا الجفاف والتصحر في أُطر التنمية بما في ذلك أُطر الميزانية، فمن المناسب التركيز على ما يأتي:

أ. القيام بإجراءات لإعلام القيادة السياسية بالمشكلة بهدف تحفيز وتعزيز الالتزام السياسي.

ب. تعزيز الترتيبات المؤسساتية من أجل الإدماج الفعَّال.

ج. شحذ ونشر أدوات التكامل.

د. توليد المعلومات والأدلة القاطعة بما في ذلك التحليلات الاقتصادية والحجج بشأن الروابط بين الإدارة المستدامة للأراضي والحد من الفقر، لتشجيع صانعي السياسات على اتخاذ قرارات مواتية فيما يتعلق بالتدخلات المطلوبة لمكافحة التصحر.

هـ. تطوير وتنفيذ استراتيجيات اتصال فعَّالة تستجيب وتناسب التحديات والظروف والاحتياجات المعرفية لمختلف الجماهير، وبخاصة صانعو السياسات والقرارات ومديرو الموارد في الخطوط الأمامية.

و . تحديد وتعزيز الأطر الحافزة وتدابير الأداء لتشجيع التكامل.

ز. إظهار الرفاه البشري الملموس على أرض الواقع ونتائج الإدارة المستدامة للأراضي لإدماج قضايا الجفاف والتصحر في تدخلات الحد من الفقر.

3. **إنشاء** وتعزيز الحوافز ومعالجة العوائق أمام التنمية الزراعية والإدارة المستدامة للأراضي والموارد الطبيعية الأخرى.

ومن شأن هذا القيام بالإجراءات الآتية ذات الأولوية:

أ. تزويد مناطق الأراضي الجافة بإمكانية متزايدة للوصول إلى التكنولوجيات الزراعية المناسبة والميسورة التكلفة مثل أصناف المحاصيل المقاومة للجفاف، وتسهيلات الائتمان الميسورة والروابط مع الأسواق.

ب. تطويـر البنيـة التحتيـة الاقتصاديـة والاجتماعيـة مثـل الطـرق والبنيـة التحتيـة لإمـدادات الطاقـة والميـاه مـن أجـل تسـهيل إدارة تنميتهـا للسـكان المحليـين في المناطـق المتضـررة.

ج. معالجـة الاختناقـات التـي يشـكلها عـدم ضمـان الحيـازة (و / أو) حقـوق الوصـول إلـى الأراضـي والميـاه والمـوارد الطبيعيـة الأخـرى مـن خـلال تنفيـذ الإصـلاح (و / أو) الإنفـاذ الفعَّـال للأُطـر التنظيميـة للأراضـي والمـوارد الطبيعيـة الأخـرى بهـدف ضمـان حقـوق واضحـة وآمنـة للحيـازة والوصـول إلـى هـذه المـوارد، بنـاءً علـى حقـوق ومسـؤوليات محـددة جيـداً وقابلـة للتنفيـذ لجميـع أصحـاب المصلحـة.

لمكافحة التصحر لا بد من تعزيز الاستخدام المستدام للأراضي من خلال بناء القدرات في تخطيط استخدام الأراضي.

4. **تعزيز** قاعدة المعلومات المتعلقة بالجفاف والتصحر وتعزيز تطبيق المعرفة بما في ذلك من خلال تحديد أفضل الممارسات وتوثيقها ونشرها وتبادلها.

ينبغي تطوير البرامج ودعمها على المستوى الإقليمي ودون الإقليمي والوطني لتعزيز جمع المعلومات بما في ذلك من خلال البحوث الموجهة؛ وإدارة ونشر وتطبيق المعلومات مع إيلاء الاعتبار الواجب لما يأتي:

أ. إنشاء نظم معلومات شاملة للتصحر وتقييم فعالية الاستجابات للجفاف والتصحر.

ب. تعزيز مراقبة تدهور الأراضي وتقييمه، من خلال تقديم الدعم لتطوير وتطبيق المعايير والمؤشرات والمنهجيات لرصد تدهور الأراضي، وتوسيع نطاق تطبيق أدوات ومنهجيات مشروع LADA.

ج. تعزيز المشاركة النشطة للمجتمع المحلي في أبحاث ورصد تدهور الأراضي والجفاف، بما في ذلك الحصول على المعارف التقليدية.

د. التقاط وتبادل الممارسات الجيدة بما في ذلك الممارسات المحلية المستخدمة لمعالجة الجفاف والتصحر.

هـ - تعزيز مراكز التميز من أجل تجميع الموارد.

و - تنفيذ برامج للتوعية العامة والتعليم، بما في ذلك برامج التثقيف الرسمي بشأن الاستخدام المستدام والإدارة المستدامة للغابات وموارد الأراضي الأخرى بمشاركة منظمات المجتمع المدني، للمجتمعات المحلية ومستخدمي الموارد المتأثرين مباشرة بالجفاف والتصحر.

5. **ربط** وتنسيق تدابير مكافحة الجفاف والتصحر مع تلك التدابير التي تهدف إلى معالجة تغير المناخ وحفظ التنوع البيولوجي من أجل تنويع الموارد المتاحة لتنفيذ برامج العمل الوطنية والبرامج ذات الصلة وبالتالي توسيع نطاق الإدارة المستدامة للأراضي.

لذلك ينبغي إجراء التحليل وإقامة الروابط في تنفيذ اتفاقية الأمم المتحدة لمكافحة التصحر واتفاقية الأمم المتحدة الإطارية بشأن تغير المناخ (UNFCCC) واتفاقية الأمم المتحدة بشأن التنوع البيولوجي (CBD) على جميع المستويات. وعلى هذا النحو، هناك حاجة إلى تعزيز القدرة على تطوير برامج متكاملة تهدف إلى تعزيز أوجه التآزر بين اتفاقية مكافحة التصحر واتفاقية التنوع البيولوجي واتفاقية الأمم المتحدة الإطارية بشأن تغير المناخ؛ وبالتالي، فإن التنفيذ التآزري لبرامج العمل الوطنية للتكيف (NAPAs) تحت رعاية اتفاقية الأمم المتحدة الإطارية بشأن تغير المناخ وبرامج العمل الوطنية ودون الإقليمية والإقليمية (برامج العمل الوطنية، وبرامج العمل دون الإقليمية، وبرامج العمل الإقليمية) في إطار اتفاقية الأمم المتحدة لمكافحة التصحر والاستراتيجيات وخطط العمل الوطنية للتنوع البيولوجي (NBSAPs) في إطار اتفاقية التنوع البيولوجي سيكون مفيداً جدّاً.

يوفر التركيز الذي كرسته اتفاقية الأمم المتحدة الإطارية بشأن تغير المناخ على التكيف وتقليل القابلية للتأثر فرصاً للاستثمارات التآزرية في معالجة تدهور الأراضي وعزل الكربون في إطار آلية التنمية النظيفة لاتفاقية الأمم المتحدة الإطارية بشأن تغير المناخ (CDM) بخاصة في الأراضي الجافة. ومع ذلك، لكي تكون هذه الاستثمارات مثالية، يجب أن تراعي عن كثب احتياجات السكان المحليين من أجل تحقيق الإدارة المستدامة للأراضي والحد من الفقر.

6. **تعزيز** الإدارة والتكيف مع آثار الجفاف والتصحر بخاصة في مواجهة تغير المناخ المتوقع وشدة تعرض المنطقة لتأثيرات تغير المناخ.

7. **تشمل** الإجراءات المطلوبة هنا ما يأتي:

أ. تعزيز القدرة على المراقبة المنهجية للمناخ والتوعية في الوقت المناسب بالمعلومات المناخية وتطبيقها، ولا سِيَّما من أجل صنع السياسات وعلى المستويات الشعبية، بما في ذلك من خلال تعزيز القدرة على رصد الجفاف بشكل أقوى من قِبل مراكز خدمات الإنذار المبكر ودون الإقليمية والإقليمية مثل المركز الدولي لحماية المحيط الهادئ ICPAC، وDMCHarare، وACMAD وOSS.

ب. تطوير وإدماج استراتيجيات إدارة الجفاف وغيره من الكوارث في أُطر التنمية على المستويات الوطنية ودون الإقليمية والقارية.

ج. تعزيز وضمان أنظمة الإنذار المبكر الشاملة ومؤسسات إدارة مخاطر الجفاف.

د. الانتقال من السياسة على المستوى الوطني إلى بناء القدرة على الصمود في مواجهة الجفاف على مستوى المجتمع.

هـ. تعزيز منصات وأدوات شبكات المعرفة مثل المنتديات الإقليمية ودون الإقليمية واستخدام تكنولوجيا المعلومات والاتصالات القائمة على مزيج من التكنولوجيا التقليدية والحديثة.

تطوير آليات الاستجابة المسبقة للجفاف. النهج المبتكر مثل التأمين على مؤشر الطقس هو إحدى هذه الآليات التي يمكن أن توفر الحماية للمزارع الصغيرة بأقساط ميسورة.

8. **تعزيز** الترتيبات المؤسساتية وقدرات الموارد البشرية لتوفير قيادة فعَّالة للتنسيق والتخطيط والرصد والدفاع عن برامج الجفاف والتصحر.

عند القيام بذلك، يجب إيلاء اهتمام خاص لما يأتي:

أ. تزويد المؤسسات الرائدة مثل البنوك المركزية الوطنية بسياسة وقاعدة قانونية وتمويلية مناسبة لتمكينها من أداء مهامها بفعالية.

ب. تعزيز تقاسم المسؤوليات وتآزرها بين المؤسسات.

ج. تعزيز قدرة النظم اللامركزية والمنظمات غير الحكومية والقطاع الخاص والمجتمعات المحلية، وبخاصة النساء، والعمل على إشراكهن في التخطيط وعملية صنع القرار بشأن الإدارة المستدامة للأراضي.

لمكافحة التصحر والجفاف لا بد من تنمية قدرات الموارد البشرية على المدى الطويل.

9. **توفير** الدعم والموارد الكافية للبرامج الإقليمية ودون الإقليمية مثل برامج العمل دون الإقليمية، وبرنامج العمل الإقليمي، والبرامج ذات الصلة بالإدارة المستدامة للأراضي والمجموعات الاقتصادية الإقليمية.

هناك حاجة ماسة إلى ذلك لتمكينهم من الاضطلاع بولايتهم فيما يتعلق بتيسير التنسيق والتخطيط الاستراتيجي وتحفيز البرامج المتعلقة بمكافحة التصحر وإدارة الجفاف والتنمية المستدامة. كما أن لها دوراً رئيسيّاً في معالجة القضايا العابرة للحدود والمشتركة بما في ذلك توجيه التكنولوجيا المناسبة والمعرفة والدراية الفنية للأطراف المهتمة، وتبادل الدروس المستفادة وأفضل الممارسات داخل وبين الدول الإقليمية.

10. **تعزيز** إدارة المعرفة بشأن التكنولوجيا الملائمة وميسورة التكلفة والحصول عليها من أجل تحسين الإنتاج الزراعي والإدارة المستدامة للأراضي.

يستلزم ذلك إجراءات من أجل:

أ. إنشاء آليات تمويل أكثر مرونة لتطوير التكنولوجيا، وتحسين الوصول إلى تسهيلات ائتمانية ميسورة للحصول على التكنولوجيا وتطبيقها بخاصة في المناطق الريفية.

ب. توسيع خدمات الطاقة للفقراء، ولا سيَّما النساء في المناطق الريفية والنائية الجافة للاستخدام المنزلي وكذلك الأنشطة الاقتصادية.

ج. توفير مصادر الطاقة المتجددة والأنظف والتقنيات الموفرة للطاقة والاستفادة منها بشكل أكبر.

د. تعزيز تطبيق المعرفة والابتكارات المحلية والأصلية في الزراعة المحلية وأنظمة الموارد الطبيعية المتكاملة للإدارة المستدامة للأراضي بتطبيق العلوم والتكنولوجيا الحديثة ذات الصلة.

هـ. تعزيز البحث المدفوع بالطلب والتدريب التكنولوجي طويل الأجل.

و. دعم وتنفيذ الشراكات بما في ذلك (بين القطاعين العام والخاص والعام والخاص) والشبكات والبرامج الخاصة بتطوير التكنولوجيا ونقلها ونشرها. وفي هذا السياق، فإن تنفيذ خطة بالي أمر وثيق الصلة بالموضوع.

إنّ تسريع تطوير ونشر التقنيات الزراعية ميسورة التكلفة بما في ذلك الأسمدة وأنواع المحاصيل المقاومة للجفاف والمدخلات الزراعية الأخرى من شأنه أن يكافح التصحر.

11. **تعزيز** القدرة على تعبئة الموارد المالية وتوجيه التمويل المتزايد لتنفيذ برامج العمل الوطنية وبرامج العمل دون الإقليمية وبرامج العمل الإقليمية وغيرها من مبادرات الإدارة المستدامة للأراضي.

بصرف النظر عن الإجراءات اللازمة لدمج هذه البرامج وتوضيحها كأولويات ضمن الخطط القائمة على الأهداف الإنمائية للألفية واستراتيجية الحد من الفقر، التي تعد حالياً الأدوات والتي يجري من خلالها توجيه التمويل المحلي وتدفقات المعونة الكبيرة، تشمل الإجراءات الإضافية اللازمة لتعبئة المزيد من التمويل ما يأتي:

أ. دمج برامج الإدارة المستدامة للأراضي ومنحها مرتبة عالية في أولويات سياسات المساعدة الإنمائية وأدوات البرمجة من أجل توفير بيئة مواتية لزيادة وتحسين مستويات الوصول إلى التمويل لهذه البرامج.

ب. تعزيز تعبئة موارد الإدارة المستدامة للأراضي وآليات التمويل على المستويات العالمية والإقليمية ودون الإقليمية مثل مرفق البيئة العالمية والآلية العالمية. ويجب ضمان تنسيق أفضل بين هذه الآليات. كما يجب زيادة نسبة تمويل مرفق البيئة العالمية المخصص للإدارة المستدامة للأراضي.

ج. بالإضافة إلى ذلك، ينبغي تبسيط الإجراءات والمبادئ التوجيهية التي وضعتها وكالات تمويل الإدارة المستدامة للأراضي للحصول على تمويل لبرامج الإدارة المستدامة للأراضي ولا سِيَّما على المستوى الميداني.

د. وضع وتنفيذ أجندة واضحة واستراتيجيات لجمع الأموال لتمويل الإدارة المستدامة للأراضي من مصادر محلية بما في ذلك من القطاع الخاص والمخططات الناشئة مثل الدفع مقابل خدمات النظام البيئي.

لمكافحة التصحر والجفاف لا بد من زيادة مخصصات الميزانية الوطنية للإدارة المستدامة للأراضي.

بالإضافة إلى ذلك، هناك حاجة إلى استراتيجيات وإجراءات للتعامل مع اللاجئين بسبب البيئة والجفاف ولمساعدة النازحين داخليّاً.

حرائـــق الغابـــات

حرائـق الغابـات Wildfire أو حرائـق البـراري أو حرائـق الريـف هـي حرائـق غيـر مخطـط لهـا وغيـر منضبطـة ولا يمكـن التنبـؤ بهـا في منطقـة بهـا نباتـات قابلـة للاشـتعال. اعتمـادًا علـى نـوع الغطـاء النباتـي الموجـود، يمكـن تحديـد حرائـق الغابـات بشـكل أكثـر تحديـدًا علـى أنهـا حرائـق الغابـات (في أسـتراليا)، أو حرائـق الصحـراء، أو حرائـق العشـب، أو حرائـق التـلال، أو حرائـق الخـث، أو حرائـق البـراري، أو حرائـق النباتـات، أو حرائـق الحقـول.

تعتمـد بعـض النظـم البيئيـة للغابـات الطبيعيـة علـى حرائـق الغابـات. تختلـف حرائـق الغابـات عـن الاسـتخدام البشـري المفيـد لحرائـق البـراري، والتـي تسـمى الحـرق الخاضـع للرقابـة أو الموصـوف، مـع أن الحـروق الخاضعـة للرقابـة يمكـن أن تتحـول إلـى حرائـق غابـات. غالبًـا مـا تقـوم الإدارة الحديثـة للغابـات بعمليـات حـروق موصوفـة للتخفيـف مـن المخاطـر وتعزيـز دورات الغابـات الطبيعيـة.

غالبًـا مـا يتـم تصنيـف حرائـق الغابـات حسـب خصائـص مثـل سـبب الاشـتعال، والخصائـص الفيزيائيـة، والمـواد القابلـة للاحتـراق الموجـودة، وتأثيـر الطقـس علـى النـار. ينجـم سـلوك الحرائـق الهائلـة وخطورتهـا عـن مجموعـة مـن العوامـل مثـل الوقـود المتوفـر والإعـدادات الماديـة والطقـس.

الـدورات المناخيـة ذات الفتـرات الرطبـة التـي تنتـج كميـات كبيـرة مـن الوقـود، تليهـا الجفـاف والحـرارة، غالبًـا مـا تـؤدي إلـى حرائـق غابـات شـديدة. وقـد تم تكثيـف هـذه الـدورات بسـبب تغيـر المنـاخ.

لحرائـق الغابـات التـي تحـدث بشـكل طبيعـي آثـار مفيـدة علـى النباتـات المحليـة والحيوانـات والنظـم البيئيـة التـي تطـورت مـع الحرائـق. تعتمـد العديـد مـن أنـواع النباتـات علـى تأثيـرات النـار في النمـو والتكاثـر.

تعتمد بعض الغابات الطبيعية على حرائق الغابات. قد تؤدي حرائق الغابات الشديدة إلى إنشاء موائل غابات معقدة مبكرة (وتسمى أيضًا «موائل الغابات المعقبة» Snag Forest Habitat)، والتي قد تحتوي على ثراء وتنوع أكبر في الأنواع من الغابة القديمة غير المحترقة.

يمكن أن تتأثر المجتمعات البشرية بشدة بالحرائق. وتشمل تلك الآثار: الأضرار الصحية المباشرة للدخان والحرائق، وتدمير الممتلكات (خاصة في الواجهات بين الأراضي البرية والحضرية)، والخسائر في الخدمات الاقتصادية وخدمات النظام البيئي، وتلوث المياه والتربة.

تعد حرائق الغابات من بين أكثر أشكال الكوارث الطبيعية شيوعًا في بعض المناطق، بما في ذلك سيبيريا وكاليفورنيا وكولومبيا البريطانية وأستراليا. المناطق ذات مناخ البحر الأبيض المتوسط أو في منطقة التايغا الحيوية معرضة بشكل خاص.

على المستوى العالمي، أدت الممارسات البشرية إلى تفاقم آثار حرائق الغابات، مع تضاعف مساحة الأراضي المحروقة بسبب حرائق الغابات مقارنة بالمستويات الطبيعية. لقد أثر البشر على حرائق الغابات من خلال تغير المناخ، وتغير استخدام الأراضي، وإخماد حرائق الغابات. تؤدي الزيادة في شدة الحرائق في الولايات المتحدة إلى خلق حلقة ردود فعل إيجابية من خلال إطلاق الكربون المحتجز بشكل طبيعي مرة أخرى إلى الغلاف الجوي، مما يزيد من تأثير الاحتباس الحراري في الغلاف الجوي وبالتالي المساهمة في تغير المناخ.

سنتعرف في هذا الفصل على طبيعة الحرائق وأسبابها وعلاقتها بالطقس، وكيفية تقييم مخاطرها، وسبل الوقاية منها والتخفيف من آثارها.

ما هية حرائق الغابات؟

مع أن الكثير من الناس يطلقون على أي حادث حرق واسع النطاق اسم «حريق الغابة»، فمن المهم التمييز بين الأنواع المختلفة، لا سيما بالنظر إلى كيفية تفاعل القوى الطبيعية والنوايا البشرية في إشعال الحريق والسيطرة عليه. ابدأ معرفتك بتهديد الحرائق في منطقتك من خلال فهم المصطلحات.

تذكرنا هذه الفروق أيضًا بعدد الطرق التي يمكن أن تبدأ بها حرائق الغابات:

حريق الغابة: هو أي حريق غير هيكلي يحدث في البرية. هذا هو المصطلح الأوسع ويشمل ثلاثة أنواع أكثر تحديدًا من الحرائق: حرائق الغابات، والحرائق الموصوفة، واستخدام حرائق البراري.

حرائق الغابات: حرائق الغابات هي أي حريق غير مخطط له وغير مرغوب فيه يحدث في البرية. يمكن أن يكون حريق الغابات حريقًا اندلع عن طريق الخطأ، إما بشكل طبيعي أو لأسباب بشرية، ويمكن أيضًا أن يكون حريقًا متعمدًا وخرج عن نطاق السيطرة.

النار الموصوفة: النار الموصوفة التي تم إشعالها عمداً تحت إشراف وكالة إدارية وتلبي أهدافًا بيئية محددة. لكي يقوم شخص ما بإشعال حريق محدد، يجب تقديم خطة والموافقة عليها، بما يتوافق مع الإرشادات المحلية والوطنية.

استخدام حرائق البراري: يمكن إدارة حرائق الغابات العرضية وتحويلها لصالح إدارة الموارد. يشير هذا المصطلح إلى حريق هائل تحول إلى نار موصوفة.

• ما الذي يسبب حرائق الغابات؟

من المؤكد أن ضربات البرق تسبب بعض الحرائق. في جبال روكي الشمالية، على سبيل المثال، يقدر العلماء أن البرق ربما يسبب نحو 90 % منها. لكن في الولايات المتحدة ككل، 90 % من حرائق الغابات لا تبدأ لأسباب طبيعية بل بسبب الأنشطة البشرية.

يمكن أن تؤدي السجائر التي يتم التخلص منها بلا مبالاة، وشرارات الاشتعال التلقائي، والحطام المحترق، ونيران المخيمات غير المراقبة، والحرق المتعمد (للأسف) إلى حرائق تنتشر بعد ذلك خارج نطاق السيطرة. ومع زيادة تطوير الأراضي الحرجية للإسكان والترفيه، يزداد خطر الحرائق العرضية التي يسببها الإنسان.

في بعض الأحيان يمكن إلقاء اللوم على البصمة البشرية وحدها؛ بدأ حريق لاس كونشاس عام 2011م في نيو مكسيكو، والذي انتشر عبر أكثر من 150 ألف فدان بالقرب من لوس ألاموس، بسبب سقوط شجرة أسبن على خط كهرباء.

قد يكون الوجود البشري مسؤولاً إلى حد كبير عن اندلاع حرائق الغابات، لكن مصير الحريق – مدته ومداه وشدته – يتحدد إلى حد كبير بالقوى الطبيعية مثل المناخ والتضاريس والنمو الطبيعي في مساره.

إن درجات الحرارة المرتفعة، والجفاف، والرياح، وأنماط الطقس الأخرى، الفورية والطويلة الأجل، كلها تشكل المسار الذي تتطور به حرائق الغابات، وتتصرف، وتنتهي.

تتصاعد أعمدة حرائق الغابات عالياً في الغلاف الجوي في نيو مكسيكو.

• لماذا تحدث الحرائق في جهة الغرب؟

يمكن أن تندلع حرائق الغابات في أي مكان، ولكن هناك أجزاء معينة من الولايات المتحدة القارية أكثر عرضة لها من غيرها. المناطق الأكثر عرضة للخطر تقع في الغرب والجنوب الغربي، وخاصة كاليفورنيا ونيفادا وأريزونا ويوتا وكولورادو ونيو مكسيكو وغرب تكساس، بالإضافة إلى الحافة الشمالية لمونتانا وأجزاء معينة من ولاية أوريغون. تم تصنيف جميع هذه المناطق على أنها «مناطق خطرة للغاية» من قبل دائرة الغابات الأمريكية.

تساهم مجموعة معقدة من العوامل في ضعف أو مقاومة المنطقة المشجرة لانتشار الحرائق. إن أنواع الأشجار وعمرها، وكثافة نمط نموها، والارتفاع، وتكوين التربة، والمناخ - بما في ذلك درجة الحرارة الحالية وأنماط هطول الأمطار الأخيرة - كلها تؤثر على احتمال نشوب الحرائق. وكل هذه العوامل مجتمعة تجعل الغرب الأميركي أكثر عرضة للحريق من الشرق.

تعتمد العديد من الغابات على ثلوج الشتاء للحصول على الرطوبة. ومع ذوبان ثلوج الجبال، فإنها تشبع التربة، وتزود مجاري المياه، وتضيف إلى احتياطيات المياه الطبيعية. وبدون هذه الخطوة الأساسية في دورة المياه، تجف الغابات وتصبح أكثر قابلية للاشتعال.

ويعني الجفاف الشتوي أن النظم البيئية المعتمدة على الثلوج تصبح جافة في وقت أبكر بكثير من المعتاد، ويمكن أن تؤدي هذه الحالة إلى موسم حرائق ممتد وأكثر شراسة.

في الغرب القاحل، عندما تموت الأشجار، فإنها تبقى في المشهد الطبيعي لعدة عقود، حتى قرنًا أو أكثر. نظرًا لأن المناخ جاف جدًا، فإن الأشجار الميتة

والحطام المتساقط لا تتعفن بالسرعة التي يحدث بها في الشرق. تعمل الغابات غير المحترقة على تراكم كميات هائلة من المواد القابلة للاحتراق على مدار العقود الماضية، مما يؤدي إلى تأجيج حرائق الغابات بشكل أكثر شراسة.

جودة الهواء ودرجات الحرارة عامل في ذلك أيضًا. عادة ما تأتي موجات الحرارة شرق جبال روكي مصحوبة برطوبة عالية، ويميل الهواء الدافئ الرطب إلى إخماد الحرائق. تؤدي حرارة الصيف الأكثر جفافًا في الغرب إلى جفاف الغابات خلال أوقات ارتفاع درجات الحرارة في العام، مما قد يجعلها أكثر عرضة للهب.

• فوائـــد الحرائـــق

ليس كل حريق واسع النطاق يؤدي إلى أشياء سيئة. كانت الحرائق مشتعلة في العالم الطبيعي قبل وقت طويل من تسببها أي شيء بشري. تحتاج العديد من النباتات والحيوانات – والمناظر الطبيعية نفسها – إلى حرائق عرضية كجزء من دورة حياتها وموتها وتجديدها.

تنتج بعض الأشجار دائمة الخضرة مخاريط متينة مملوءة بالراتنج تعتمد على النار لإذابة الختم وإطلاق بذورها. على سبيل المثال، تنبت أشجار السكويا العملاقة بشكل أفضل بعد أن اجتاحتها النيران.

تساعد الحرارة الناتجة عن النار المخاريط على إطلاق البذور في التربة العارية المخصبة بالرماد، مما يخلق بيئة مثالية لها. تساعد النار أيضًا أشجار السكويا العملاقة عن طريق قتل أشجار التنوب البيضاء قبل أن تنمو بشكل كبير؛ عند تركها لأجهزتها الخاصة، تعمل أشجار التنوب بمثابة سلالم للنار لتصعد إلى تيجان السكويا، مما يؤدي إلى المزيد من الضرر العقابي.

تلتهم الحرائق النباتات الميتة والمتحللة المتراكمة على أرض الغابة، مما يمهد الطريق لنمو جديد. تعيد النار العناصر الغذائية إلى التربة بسرعة ويمكن أن تفتح مناطق كثيفة وتساعد في الحفاظ على موائل المروج. تستخدم العديد من أنواع الحيوانات هذه المناطق المفتوحة للغذاء والمأوى.

كل هذه الأسباب تجعل الحرائق مفيدة للغابات، لكننا بشر ونميل إلى الخوف من النار بشكل غريزي. لم يكن العلم قد قاد بروتوكول مكافحة الحرائق لدينا حتى وقت قريب. ابتداءً من أوائل القرن العشرين، كانت إدارة الحرائق تعني إخماد الحرائق: فبدلاً من ترك الحرائق الصغيرة تحرق مسارها، قام رجال الإطفاء بإخماد حرائق الغابات في أسرع وقت ممكن.

بحلول السبعينات، انقلب المد، مع دعم الأبحاث لخطة السماح لبعض الحرائق بالاشتعال من أجل النظام البيئي. لكن ما هو جيد للغابة ليس بالضرورة جيدًا لتقسيمها الفرعي.

وفي تسعينات القرن العشرين، توسع الزحف العمراني في الضواحي إلى الأراضي البرية، مما أضاف خطر الأضرار بالممتلكات إلى المعادلة، والحاجة إلى تحليل ما إذا كان ينبغي السماح لحرائق الغابات الطبيعية بأن تأخذ مجراها.

وتزداد هذه الأمور تعقيدًا: فقد أدى حريق سيرو غراندي في نيو مكسيكو في مايو/أيار 2000م إلى حرق 47 ألف فدان وألحق أضرارًا بـ 235 منزلاً – وكان حريقًا أشعله موظفو خدمة المتنزهات عمدًا لإدارة الغابة.

• من هـــــم في خطـــر؟

ووفقا للباحثين، فإن ما يقرب من ثلث المساكن في البلاد - المنازل والشقق وما إلى ذلك - تقع فيما يسمونه الواجهة البرية والحضرية. وهذا يعني أن المزيد من الناس يعيشون بالقرب من الغابات حيث يمكن أن تشتعل الحرائق (بل وينبغي في بعض الحالات).

علاوة على ذلك، فقد زاد عدد وشدة حرائق الغابات واسعة النطاق على مدى السنوات الثلاثين الماضية. تشير الولايات المتحدة إلى أن الأحياء القريبة من الغابات يجب أن تصبح «مستعدة لقبول حرائق الغابات بأمان كجزء من المناظر الطبيعية المحيطة بها».

فيما يلي بعض الخطوات الأساسية التي يمكنك أنت وعائلتك ومجتمعك اتخاذها لتحويل حي معرض للحرائق إلى حي متكيف مع الحرائق:

تصميم الهياكل لتكون مقاومة للاشتعال. اجعل الأفاريز والأرضيات وما إلى ذلك في الأجزاء السفلية. واستخدم الزجاج، ويفضل أن يكون مزدوج الألواح أو مقسى، للنوافذ والمناور.

استخدام مواد بناء غير قابلة للاشتعال أو مقاومة للحريق. إذا قمت بتعديل أي شيء لمقاومة الحريق، فاجعله سقف منزلك باستخدام مواد مقاومة للحريق ذات تصنيف عالي مثل القوباء المنطقية أو المعدن أو الطين أو الخرسانة.

قم بتنسيق ساحة منزلك لمقاومة الاشتعال. قم بالتنظيف والقص والماء باستمرار في محيط 30 قدمًا حول منزلك. حافظ بشكل انتقائي على نمو الأشجار في محيط 100 قدم حول منزلك.

قم بإزالة المواد القابلة للاشتعال من خارج منزلك، بما في ذلك السياج والغطاء النباتي وتخزين الحطب وما إلى ذلك. استخدم مواد مقاومة للحريق للشرفات والطوابق والجراجات.

العمل على المساعدة في وضع القواعد المحلية والمعايير الدنيا للمنازل المقاومة للاشتعال إذا لم تكن موجودة بالفعل.

الاتفاق على مناطق آمنة داخل المجتمع وطرق إخلاء آمنة لمغادرة المجتمع إذا لزم الأمر.

حافظ على الغابة داخل مجتمعك وبالقرب منه لتقليل خطر الحريق المباشر.

تعلـــم التدريبـــات

على الرغم من أن التدريبات على مكافحة الحرائق في المدارس تعتبر روتينية، إلا أن أقل من 20 % من الأسر في الولايات المتحدة قد مارست أو مارست خطة إطفاء الحرائق في المنزل، وفقًا للخبراء. توصي إدارة الإطفاء الأمريكية، وهي جزء من الوكالة الفيدرالية لإدارة الطوارئ (FEMA)، بالخطوات الأربع التالية لإنشاء خطة محلية لحرائق الحرائق، خاصة للعائلات التي تعيش في المناطق المعرضة لحرائق الغابات:

- تأكد من وجود طريقين للخروج من كل غرفة، وتأكد من أن كل فرد في العائلة يعرفهما.
- اتفق على مكان للاجتماع بالقرب من المنزل إذا كان عليك المغادرة سريعًا، حيث يمكن لرجال الإطفاء رؤيتك ومعرفة أنك بالخارج.
- تعرف على رقم الطوارئ الخاص بقسم الإطفاء المحلي وشاركه معه.
- مارس تدريبات الهروب مع عائلتك معًا.
- حافظ على الأرضيات والممرات والسلالم خالية من الحطام والفوضى، وشارك خطة التدريب على مكافحة الحرائق مع جليسات الأطفال والزوار المتكررين.

• الاستعداد المجتمعي

يجب أن تكون المجتمعات في المناطق عالية الخطورة استباقية ومجتهدة بشأن الاستعداد لحرائق الغابات. نظرًا لأن العديد من عمليات الإخلاء من الحرائق عادةً ما تأتي مع إشعار مدته ثلاث ساعات على الأقل، إذا كنت مستعدًا، فقد يكون لديك الوقت لمساعدة الجيران أو كبار السن أو أفراد المجتمع الآخرين الذين يحتاجون إلى المساعدة.

قد ترغب أيضًا في إبرام اتفاقية تعاون مع أفراد المجتمع في أجزاء مختلفة من مدينتك لمشاركة الموارد وأماكن الإقامة إذا تم إخلاء أحد الطرفين ولم يتم إخلاء الطرف الآخر.

إذا كان الإخلاء وشيكًا، فسيقوم المستجيبون المحليون للطوارئ مثل الشرطة وإدارات الإطفاء بتوجيهك إلى ملجأ قريب. يمكنك أيضًا العثور على أقرب ملجأ باستخدام هاتفك الذكي.

• كيفية إنشاء منطقة آمنة

وفقًا لوكالة إدارة الطوارئ الفيدرالية (FEMA)، إليك أفضل طريقة لإنشاء منطقة مقاومة للحريق تتراوح من 30 (المنطقة 1) إلى 100 قدم (المنطقة 2) حول منزلك (كما في الشكل الآتي):

قم بقص قمم الأشجار بحيث يكون هناك مسافة 15 قدمًا على الأقل بين تيجان الأشجار (30 قدمًا للصنوبريات)، وقم بإزالة أطراف الأشجار على بعد 15 قدمًا من الأرض.

- قم بتجميع الأوراق والأطراف الميتة والأغصان وتخلص منها في مكب النفايات المحلي.
- قم بإزالة جميع النباتات القابلة للاشتعال، وتأكد من إزالة جميع الأوراق والقمامة من تحت الهياكل.
- قم بإزالة جميع الفروع الميتة التي تمتد بالقرب من السطح أو فوقه. اتصل بشركة الطاقة المحلية لديك واطلب منهم إزالة أي فروع من خطوط الكهرباء.
- تأكد من إزالة أي نباتات متسلقة من على جدران منزلك.

- قم بإخلاء مساحة عشرة أقدام حول أي خزانات غاز البروبان قد تكون لديك، ثم ضع حاجزًا فوق شواية الشواء الخاصة بك باستخدام شبكة مقاس ربع بوصة.
- قم بتخزين أشياء مثل البنزين والخرق وغيرها من المواد القابلة للاشتعال في علب آمنة معتمدة، ثم ضع العلب على مسافة آمنة من منزلك أو المرآب.
- قم بتجميع كومة الحطب الخاصة بك على بعد 100 قدم على الأقل من منزلك وصعودًا، إن أمكن.

• ماذا تتوقع عند حدوث حريق في الغابة؟

لقد احترق أكثر من 9.3 مليون فدان في الولايات المتحدة في عام 2012م؛ وكانت الحرائق هائلة الحجم، حيث تجاوزت 51 حريقًا 40 ألف فدان، و14 حريقًا تجاوزت مساحتها 100 ألف فدان.

في يونيو 2013م، أوضح رئيس خدمة الغابات الأمريكية توم تيدويل للجنة الطاقة والموارد الطبيعية بمجلس الشيوخ الأمريكي أن فلوريدا، وجورجيا، ويوتا، وكاليفورنيا، وتكساس، وأريزونا، ونيو مكسيكو، وكولورادو جميعها عانت من أكبر الحرائق و/أو أكثرها تدميرًا في عام 2013م. تاريخهم في السنوات الست الماضية. ومقارنة بما كانت عليه الحال قبل 40 عامًا، تحرق حرائق الغابات في المتوسط ضعف الأفدنة كل عام اليوم.

ويأتي ارتفاع الحرائق الكبيرة في الغرب مع ارتفاع درجات الحرارة وذوبان الثلوج في وقت مبكر، مما أدى إلى مواسم حرائق أطول؛ منذ السبعينيات، زاد طول موسم الحرائق بأكثر من شهرين.

يلقـي تيدويـل باللـوم في جـزء منـه علـى الجفـاف الشـديد الـذي يـؤدي إلـى طقـس شـديد الحرائـق. ويتفـق العديـد مـن الخبـراء الآخريـن. ويحـذر دون ويبلـز، الـذي تقاسـم جائـزة نوبـل للسـلام لعـام 2007م لـدوره في اللجنـة الحكوميـة الدوليـة المعنيـة بتغيـر المنـاخ، مـن أن درجـات الحـرارة الأكثـر دفئـا والتغيـرات في هطـول الأمطـار يمكـن أن تـؤدي إلـى مضاعفـة المسـاحة التـي تسـتهلكها الحرائـق كل عـام في المتوسـط خـلال الثلاثـين عامـا المقبلـة.

• حماية حيواناتك الأليفة

يجـب أن تكـون الحيوانـات الأليفـة مسـتعدة لحرائـق الغابـات أيضًـا. تقـدم جمعيـة الرفـق بالحيـوان الأمريكيـة النصائـح التاليـة علـى موقعهـا الإلكترونـي.

◂ قبل حدوث الحريق

- قم بإخلاء حيواناتك الأليفة في أقرب وقت ممكن.
- احصـل علـى قائمـة بمرافـق الإقامـة والفنـادق الصديقـة للحيوانـات الأليفـة ومواقـع الإيـواء في حـالات الطـوارئ.
- تأكـد مـن أن حيواناتـك ترتـدي الياقـات بالمعلومـات الحاليـة. ضـع في اعتبـارك وضـع شـرائح إلكترونيـة دقيقـة علـى حيواناتـك للتعـرف عليهـا احتياطيًـا. قـم بتخزيـن مسـتلزمات الحيوانـات الأليفـة الإضافيـة في سـيارتك.
- تـدرب علـى تحميـل القطـط والـكلاب في ناقـلات الحيوانـات الأليفـة قبـل أن تضطـر إلـى ذلـك.
- تـدرب علـى تحميـل الحيوانـات الكبيـرة في مقطـورة وقيادتهـا قبـل أن تضطـر إلـى ذلـك.

بعد حدوث الحريق

- لا تسمح للحيوانات الأليفة بالتجول في المباني المتضررة من الحرائق.
- احتفظ بالكلاب مقيدة والقطط في حاملة حتى تعرف أن المنزل والفناء آمنان.
- انتبه للأشياء التي قد تسبب إصابة أو أذى لحيواناتك الأليفة.
- امنح الحيوانات الأليفة الوقت لإعادة توجيه نفسها. قد تتغير الروائح والمعالم المألوفة وتتسبب في إرباك حيوانك الأليف أو ضياعه.
- أبعد الحيوانات الأليفة عن خطوط الكهرباء والحطام المتساقط.

حريق غابات النسر الأحمر عام 2006 في مونتانا. وقد تسبب في إحراق أكثر من 34000 فدان في حديقة جلاسير الوطنية وعلى أرض بلاكفيت القبلية.

• حرائق مشتعلة

خلال صيف عام 2004، شهدت ألاسكا سلسلة قياسية من حرائق الغابات التي أتت على ما يقدر بنحو 5 ملايين فدان.

أحد أسوأ حرائق الغابات في الولايات المتحدة كان حريق الغابة السوداء في كولورادو في عام 2013م. وهو الأكثر تدميراً في تاريخ الولاية، حيث أحرق 486 منزلاً، وأجبر الآلاف على الإخلاء.

في عام 2008م، اندلع حريق غابات ساوث وان في المستنقع الكئيب الكبير في ولاية فرجينيا، واستمر لمدة أربعة أشهر لأنه احترق بعمق في التربة الخثية.

يمكن لحرائق الغابات، مثل تلك التي اندلعت في ولاية فرجينيا، أن تشتعل ليلاً ونهارًا لأسابيع.

وفي عام 2009م، تسببت موجة حارة في جنوب أستراليا في اندلاع نحو 400 حريق في نفس اليوم. استمرت حرائق غابات السبت الأسود لمدة شهر تقريبًا، مما أسفر عن مقتل 173 شخصًا وإجبار الآلاف على الإخلاء.

كما حدث أحد أكبر حرائق الغابات في التاريخ الحديث في جنوب أستراليا. حريق غابات الجمعة السوداء، المعروف باسم حرائق الجمعة السوداء، أحرق ما يقرب من 8000 ميل مربع في عام 1939م.

حدثت إحدى أكبر الحرائق في الولايات المتحدة في ولاية ويسكونسن عام 1871م. وأحرق حريق البشتيغو الكبير 1.5 مليون فدان وقتل ما بين 1200 و2400 شخص.

حرائق الغابات والطقس

ترتبط حرائق الغابات والطقس ارتباطًا وثيقًا. الجفاف الموسمي الطبيعي، كما هو الحال في معظم أنحاء غرب الولايات المتحدة، أو الجفاف في مناطق أخرى يمهد الطريق لحرائق الغابات عن طريق تجفيف الأعشاب والأغصان والأشجار لتوفير الوقود.

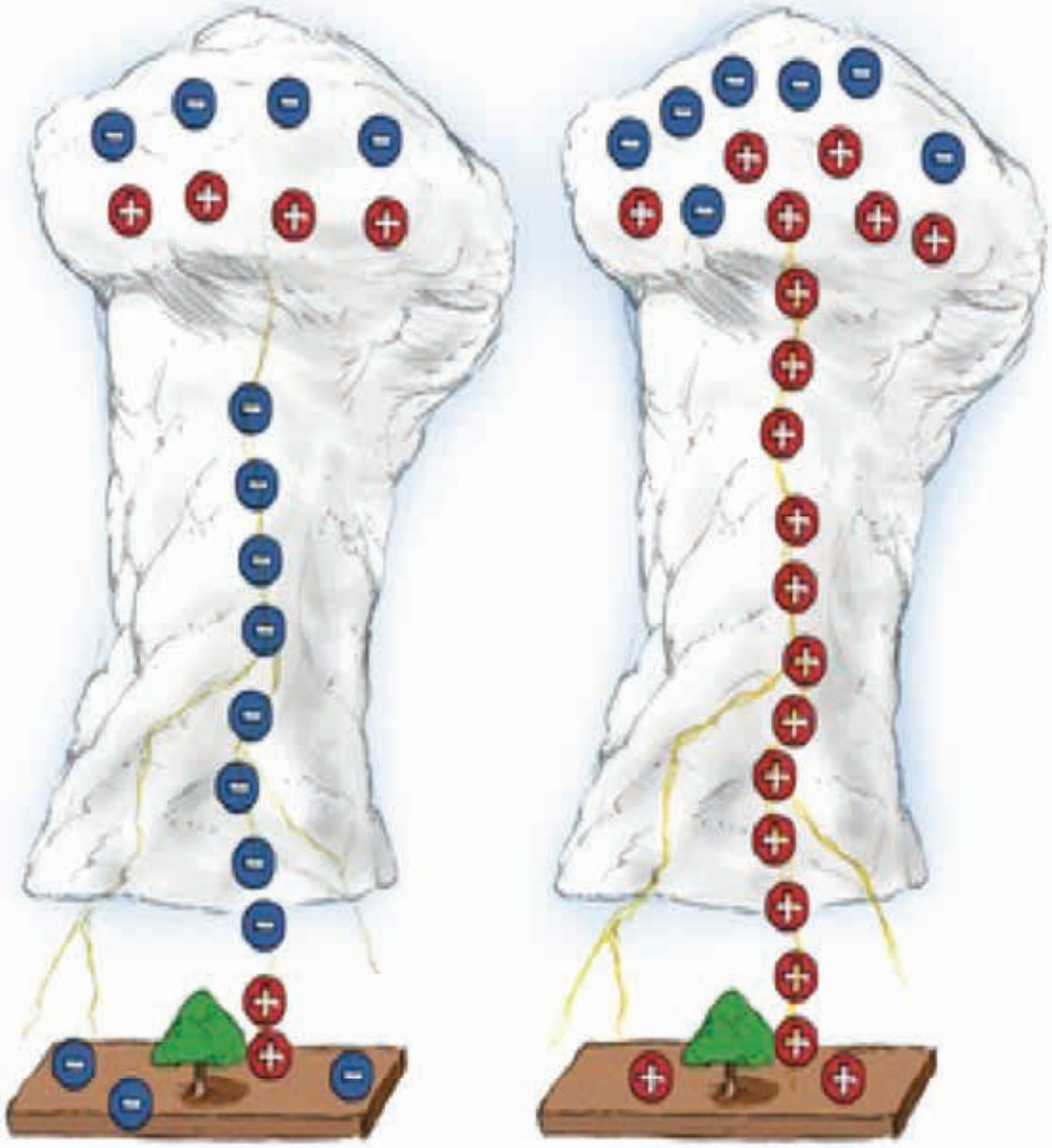
على الرغم من أن الناس هم المسؤولون عن معظم حرائق الغابات، إلا أن بعضها يبدأ بـ «البرق الجاف Dry lightning» عواصف رعدية مصحوبة ببرق يضرب الأرض ولكن مع أمطار تتبخر في الطريق إلى الأسفل. هذه هي الأكثر شيوعا في الغرب.

عندما يرتفع الهواء الساخن المدخن الناتج عن النار، فإنه يخلق رياحًا عاصفة ومتغيرة حول النار حيث يندفع الهواء ليحل محل الهواء الصاعد. تكون حرائق الغابات أكثر خطورة عندما تكون الظروف الجوية مواتية «للحرائق التي يهيمن عليها الأعمدة».

وتشمل هذه الرياح الخفيفة في الأعلى والتي لن تزعج عمودًا من الهواء الساخن الذي يرتفع فوق النار والهواء البارد نسبيًا في الأعلى الذي يبقي الهواء الساخن الصاعد أكثر طفوًا. يخلق الهواء المرتفع سحابة ركامية يمكن أن تتطور إلى عاصفة رعدية، ولكن نادرًا ما تكون مصحوبة بأمطار غزيرة.

يمكن للرياح العاصفة المتغيرة التي تسبب هبوب الهواء عبر الأرض ليرتفع إلى العمود أن تعرض رجال الإطفاء للخطر عن طريق إرسال ألسنة اللهب نحوهم. والأسوأ من ذلك أنه في بعض الأحيان انهارت الأعمدة، مما أدى إلى هبوب رياح نارية قوية على رجال الإطفاء بسرعة كبيرة جدًا بحيث لا يمكنهم

الهروب. كما يمكن أن تتسبب الجبهات الباردة سريعة الحركة في تحولات سريعة للرياح مما يعرض رجال الإطفاء للخطر.

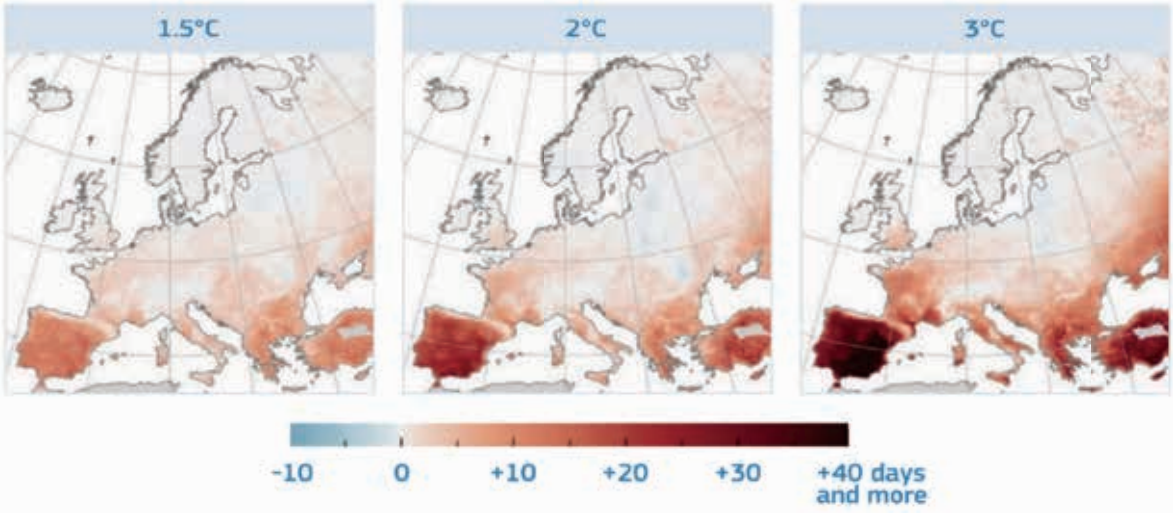


يؤدي التبادل العنيف للشحنات الكهربائية الإيجابية والسلبية بين السحب والأرض إلى حدوث البرق، وهو سبب طبيعي لحرائق الغابات.

• حرائق الغابات وظاهرة الاحتباس الحراري

لقد أصبحت حرائق الغابات أكثر شدة وأكثر تواترا، وتدمر المجتمعات والنظم البيئية في طريقها. شهدت السنوات الأخيرة مواسم حرائق غابات قياسية في جميع أنحاء العالم من أستراليا إلى القطب الشمالي إلى أمريكا الشمالية والجنوبية. مع ارتفاع درجات الحرارة العالمية، أصبحت الحاجة إلى الحد من مخاطر حرائق الغابات أكثر أهمية من أي وقت مضى.

ومن المتوقع أن يرتفع عدد الأيام التي ترتفع فيها مخاطر حرائق الغابات في كل عام تقريبًا في كل مكان تقريبًا في أوروبا مع ظاهرة الاحتباس الحراري نتيجة لارتفاع درجات الحرارة وزيادة فترات الجفاف (انظر الشكل الآتي). ومن المتوقع حدوث انخفاضات طفيفة فقط في أجزاء متفرقة من شمال أوروبا. سوف يتفاقم خطر الحرائق خاصة في المناطق الجنوبية من أوروبا التي تواجه بالفعل ظروف خطر الحرائق العالية في كثير من الأحيان.



عدد إضافي من الأيام في السنة مع خطر حرائق مرتفع إلى شديد (مؤشر طقس الحرائق اليومي ≤ 30) لمستويات مختلفة من الاحتباس الحراري مقارنة بالوقت الحاضر (1981-2010م) في أوربا الغربية.

مع أن التفاقم المتوقع لخطر الحرائق يكون أقل مع ارتفاع درجة حرارة الأرض بمقدار 1.5 درجة مئوية، مقارنة بارتفاع درجة الحرارة بمقدار 2 درجة مئوية أو 3 درجات مئوية، إلا أن خطر الحرائق سيظل أسوأ باستمرار مقارنة بالوقت الحاضر. ويشير هذا إلى أن التخفيف وحده لن يكون كافيا لتقليل التأثيرات المحتملة لتغير المناخ.

• التنبؤ بحرائق الغابات

ترسل NWS خبراء الأرصاد الجوية للحوادث إلى مكان حرائق الغابات الكبيرة لتنبيه رجال الإطفاء عند احتمال حدوث تحولات مفاجئة في الرياح، وكذلك لإنتاج تنبؤات يستخدمها رجال الإطفاء لتخطيط الاستراتيجيات.

• تطبيقات مفيدة

هذه التطبيقات متاحة للتنزيل من iTunes و/أو Google Play، وقد تكون مفيدة أثناء استعدادك لمواجهة مخاطر حرائق الغابات:

يقدم تطبيق Red Cross Wildfire تحديثات ونصائح حول الاستعدادات لكل ولاية على حدة بشأن حرائق الغابات، بالإضافة إلى وظيفة تتيح لأحبائك معرفة أنك آمن. اتصل (**73327677) REDCROSS** من هاتفك الذكي؛ للحصول على رابط التنزيل، قم بزيارة www.redcross.org/mobile-apps/wildfire-app، أو ابحث في متجر التطبيقات.

ويرسم تطبيق Wildfire Info المجاني لأجهزة iPhone وiPad جميع حرائق الغابات النشطة في الولايات المتحدة، بما في ذلك خرائط محيطية لجميع

الحرائق. تتضمن الإصدارات المميزة، واحدة لرجال الإطفاء والأخرى لأصحاب المنازل، خريطة تراكبية لطقس الحرائق، وآلات حاسبة لمخاطر الطقس/الحرائق، وغيرها من الأمور العرضية. يتوفر Wildfire Pro لنظام التشغيل Android أيضًا. تفضل بزيارة متجر التطبيقات أو www.firewhat.com/app/.

باستخدام بيانات الأقمار الصناعية، يحدد تطبيق Burnt Planet المجاني النقاط الساخنة، بدءًا من حرائق الغابات وحتى الحرائق الصغيرة التي يتم التحكم فيها، من جميع أنحاء العالم.

بالنسبة لسكان كولورادو، تقوم Colorado Wildfire Watch من قسم الوقاية من الحرائق ومكافحتها بالولاية بتحديث المعلومات حول حرائق الغابات وجهود الإغاثة.

Wildland Toolkit من Peakview Software، بسعر 5.99 دولار، هي أداة إطفاء احترافية تستخدم للتنبؤ بسلوك حرائق الغابات. تقنية عالية ولكنها تهم أولئك الذين يدرسون سلوك الحرائق.

تقييم مخاطر حرائق الغابات

يمكن أن تؤدي حرائق الغابات إلى تأثيرات كبيرة وطويلة الأمد على الأنظمة البيئية والاجتماعية والاقتصادية؛ لذلك، من الضروري تحديد وقياس المخاطر التي تشكلها حرائق الغابات، ومن ثم تطوير استراتيجيات تخفيف فعالة من حيث التكلفة.

وللقيام بذلك، يحتاج مديرو الإطفاء والوقود إلى معلومات حول المكان الذي من المحتمل أن تحدث فيه الحرائق، وكثافة حدوثها، وما هي التأثيرات على الموارد والأصول ذات القيمة العالية Highly Valued Resources and Assets (HVRs)؛ أي الأشياء التي نهتم بها). يحتاج المديرون إلى تقييم مخاطر حرائق الغابات.

تقييم المخاطر Risk Assessment هو نهج علمي ناضج لقياس المخاطر، ويعمل كأداة لدعم القرار التي يمكن أن تفيد عملية اتخاذ القرارات الاستراتيجية والتشغيلية والتكتيكية. يساعد تحليل المخاطر المديرين على اتخاذ القرارات عندما تكون النتائج غير مؤكدة بطبيعتها.

أدت التطورات الأخيرة في التكنولوجيا وأنظمة دعم القرار إلى تحسين القدرة على تقييم مخاطر حرائق الغابات ومراقبتها والاستجابة لها. من المحتمل أن يكون الكثيرون في مجتمع إدارة الحرائق على دراية بنظام دعم اتخاذ القرار بشأن حرائق Wildland Fire Decision Support System (WFDSS)، والذي يعتمد على مبادئ إدارة المخاطر.

وفي غياب تقييمات مخاطر حرائق الغابات، فمن المرجح أن تكون القرارات والإدارة أقل فعالية. تساعد تقييمات الظروف الحالية مديري الأراضي والموارد:

- على فهم أفضل لكيفية توزيع المخاطر عبر مناطقهم الطبيعية.

- تحديد مناطق HVRs التي تواجه أكبر خسارة متوقعة (أو المنفعة).
- اتخاذ القرارات المتعلقة بتخطيط الاستعداد وتصميم معالجة الوقود.

علاوة على ذلك، فإن تقييم كيفية تغير مخاطر حرائق الغابات على HVRs استجابة لسيناريوهات الإدارة البديلة من خلال تقييم المخاطر المقارن هو عنصر حاسم في اتخاذ القرارات المستنيرة بالمخاطر.

في الأساس، يدور تحليل مخاطر حرائق الغابات حول البحث عن إجابات لعدة أسئلة مهمة:

- ما حجم الحرائق التي من المحتمل أن تنمو؟
- ما هي HVRs الأكثر تعرضًا لخطر حرائق الغابات؟
- ما هي التأثيرات المحتملة لـ HVRs للنار عند مستويات شدة مختلفة؟
- أين يمكن أن تسبب الحرائق الأذى/الضرر، وأين يمكن أن تؤدي إلى فوائد؟
- كيف يتم توزيع مخاطر حرائق الغابات عبر المناظر الطبيعية؟
- ما هي المناطق الأكثر احتمالاً للتعرض للخسارة، وما مقدار الخسارة، وما هي عمليات HVRs؟

يسهل قياس مخاطر حرائق الغابات تحليل المفاضلات عبر عمليات HVRs، ويتيح تحليل فعالية التكلفة كأساس لتقييم خيارات تخفيف المخاطر. أحد الجوانب الحاسمة لتقييم المخاطر هو استخدام المعلومات الاحتمالية لالتقاط عدم اليقين المحيط بحدوث الأحداث الخطرة أو شدتها.

على الرغم من أننا لا نعرف على وجه اليقين أين أو متى ستحدث حرائق الغابات، إلا أنه يمكننا جمع معلومات من أنماط المناخ والطقس، وحدوث الحرائق التاريخية، وظروف الوقود، وما إلى ذلك، لإجراء تقدير مستنير لاحتمالية تعرض منطقة معينة لحرائق غابات، أو التعرض لحريق هائل بكثافة معينة.

يمكن تصور المكونات الأساسية لقياس مخاطر حرائق الغابات – الاحتمالية والشدة والقابلية للتأثيرات – على أنها مثلث مخاطر حرائق الغابات (كما في الشكل الآتي). في هذا الإطار المفاهيمي، تعد شدة النار مؤشرا لتأثيرات الحرائق.

إن اللبنات الأساسية الثلاثة لتقييم مخاطر حرائق الغابات هي الاحتمالية والشدة والتأثيرات. يتضمن هذا المثلث ضمنيًا تقييم المخاطر التي تتعرض لها منطقة HVRA معينة، أو مجموعة من HVRAs، وتقاطعها المكاني مع احتمالية حرائق الغابات وكثافتها.

اعتمادًا على HVRA ومستوى شدة الحريق المعني، يمكن أن تكون تأثيرات الحريق سلبية أو إيجابية. تعتبر شدة الحريق إحدى خصائص الحرائق القوية التي تدمج خاصيتين مهمتين للنار - استهلاك الوقود ومعدل الانتشار.

ويمكن استخدام خصائص أخرى للنار بدلاً من شدة النيران أو بالإضافة إليها، ولكننا في هذا التقرير نركز على العلاقة بين شدة الحرائق وتأثيراتها. يتطلب تقييم مخاطر حرائق الغابات قياس كثافة حرائق الغابات المحتملة، وتحديد احتمالية حدوثها، وتقدير تعرض وقابلية تعرض HVRs لحرائق الغابات.

ومن الممكن قياس هذه العناصر الأساسية ونمذجتها بعدة طرق، وبهذا المعنى فإن إطار تقييم المخاطر يتسم بالمرونة إلى حد كبير. تتوافق الأساليب التي نروج لها ونوضحها هنا مع الأساس العلمي للاستراتيجية المتماسكة، وقد تم تطبيقها بشكل متزايد لتطبيقات تخطيط إدارة الحرائق والأراضي على مجموعة متنوعة من النطاقات.

يتم تنفيذ إطار تقييم المخاطر في سياق جغرافي مكاني يأخذ في الاعتبار بشكل صريح موقع HVRs فيما يتعلق بالمكونات الثلاثة لمثلث مخاطر حرائق الغابات. يعد التفاعل المكاني لاحتمالية حرائق الغابات وشدتها مع HVRs هو المحرك الرئيسي لمخاطر حرائق الغابات (المعروف أيضًا باسم تحليل التعرض).

علاوة على ذلك، فإن قابلية أو استجابة HVRA للحرائق الهائلة (المصطلح عليها «وظيفة الاستجابة» Response Function) تميز الخسائر والفوائد المحتملة المرتبطة بالحرائق لكل HVRA المدرجة في التقييم.

ولا تكشف تقييمات المخاطر في حد ذاتها بالضرورة عن استراتيجيات التخفيف المناسبة. العوامل الأخرى التي يجب مراعاتها هي القوانين واللوائح ذات الصلة، والأهداف الإستراتيجية، وخطط إدارة الأراضي والموارد الأوسع Land and Resource Management Plans (LRMPs)، وفرص العلاج، والفعالية المحتملة والعواقب السلبية لبدائل العلاج المختلفة.

ومع ذلك، فإن تقييمات مخاطر حرائق الغابات أمر بالغ الأهمية لإرشاد تطوير وتنفيذ جهود تخفيف المخاطر الفعالة من حيث التكلفة، ويمكن استخدام تقييم المخاطر المقارن كأساس لتقييم بدائل العلاج المختلفة.

وهذا يعني أن التقييم الكمي لمخاطر حرائق الغابات هو بمثابة المقياس الذي يمكن من خلاله قياس فعالية بدائل التخفيف. يتضمن تصميم استراتيجيات فعالة لإدارة الحرائق طرح الأسئلة التالية:

- أين يمكن التخفيف من مخاطر حرائق الغابات بشكل أفضل؟
- ما هي العلاجات والأنشطة الإدارية الممكنة؟
- أين يمكن تنفيذ العلاجات المختلفة، وإلى أي مدى؟
- كيف ستؤثر العلاجات على عوامل الخطر المختلفة (الاحتمالية والشدة)؟
- كيف ستؤثر المعالجات على التأثيرات المحتملة لـ HVRs؟
- ما هي مجموعات الأنشطة التي يمكن أن تخفف من مخاطر حرائق الغابات بشكل أكثر فعالية من حيث التكلفة؟

إن الهدف من معرفة تقييم مخاطر حرائق الغابات هو تزويد مديري الحرائق والأراضي بمجموعة مفيدة من المبادئ والأدوات التوجيهية لتقييم وتخفيف مخاطر حرائق الغابات. تشمل الأهداف الرئيسية ضمان قدرة القراء على:

- فهم المفاهيم الأساسية لمخاطر حرائق الغابات والتعرض لها وآثارها وعلاقتها بإدارة الحرائق.

- تحديد المصطلحات والمفاهيم الأساسية لمخاطر حرائق الغابات، وفهم المكونات الرئيسية للتقييم الكمي لمخاطر حرائق الغابات.
- تفسير مخرجات نمذجة الحرائق، وبشكل أساسي احتمالات الاحتراق وكثافة خط النار.
- توفير الدعم لتقييم مخاطر حرائق الغابات على المناظر الطبيعية التي تهمهم.
- التعرف على كيفية استخدام معلومات مخاطر حرائق الغابات والتعرض لها والمخاطر في خطط إدارة الحرائق وفي تحديد أولويات إدارة الوقود.

لاحقًا سنقدم إطارًا يحدد مخاطر حرائق الغابات، في سياق مكاني، يستوعب عدة HVRs في وقت واحد. ثم نقوم بعد ذلك بوصف عملية مجربة لتنفيذ هذا الإطار، بما في ذلك وصف النمذجة الأساسية والمكونات التحليلية، لمساعدة مديري الموارد على تطبيق هذه المفاهيم والأدوات لإدارة الحرائق في مناطقهم الطبيعية.

• حرائق الغابات المكانية

ينجم خطر حرائق الغابات عن التفاعلات المعقدة بين عمليات الإشعال والوقود والتضاريس والطقس. يؤثر التباين المكاني في الخصائص الاجتماعية والاقتصادية والفيزيائية الحيوية على الأنماط المكانية في تواتر الاشتعالات الطبيعية والتي يسببها الإنسان. يؤثر التباين المكاني في ظروف الوقود والتضاريس على شدة الحريق ومعدل انتشاره.

يؤثر اتجاه انتشار النار (الرأس، والجانبين، والخلف، والنقاط بينهما) أيضًا بشكل كبير على شدة النار، ويتأثر في حد ذاته بخصائص انتشار النار في المشهد الطبيعي الأوسع. يعد دمج احتمالية انتشار الحرائق في تقييم المخاطر أمرًا مهمًا بشكل خاص بالنسبة للمناطق الكبيرة في غرب الولايات المتحدة حيث تكون المنطقة المحروقة مدفوعة إلى حد كبير بالانتشار من الاشتعال عن بعد.

• خطر حرائق الغابات المكاني

يتم تحديد مخاطر حرائق الغابات بشكل مشترك من خلال احتمالية حدوث حرائق الغابات وشدتها، والتعرض لحرائق الغابات باستخدام HVRA، وتأثيرات حرائق الغابات على HVRs. كما هو موضح أعلاه، فإن احتمالية حرائق الغابات وشدتها كلاهما مكانيان بطبيعتهما. بالإضافة إلى ذلك، يؤدي التباين المكاني في موقع HVRAs إلى عدم التجانس المكاني في تعرض HVRA للحرائق الهائلة.

علاوة على ذلك، يمكن أن يؤثر التباين المكاني في الخصائص البيئية على حجم ومدى الخسائر والمنافع المحتملة المرتبطة بالحرائق. وبالتالي، فإن جميع عناصر خطر حرائق الغابات مكانية بطبيعتها.

• إدارة حرائق الغابات المكانية

يمكن أن يؤثر التباين المكاني في الخسائر والمنافع المتوقعة على التباين المكاني في أهداف وأولويات إدارة الحرائق. يمكن لهذه المعلومات المكانية عن مخاطر حرائق الغابات أن تفيد في تطوير خطط إدارة الحرائق والاستجابات لحرائق الغابات. ويمكنه أيضًا الاستفادة من تصميم معالجة الوقود، أو منع الاشتعال، أو غيرها من استراتيجيات تخفيف المخاطر.

• مفهوم الخطـــر والمخاطـــر

من المهم أن نبدأ بفهم مشترك للمصطلحات والمفاهيم المستخدمة في تقييم مخاطر حرائق الغابات ومخاطرها. إن مصطلحي الخطر والمخاطر مرتبطان، ولكنهما ليسا مترادفين. الخطر هو موقف مادي من المحتمل أن يسبب ضررًا لـ HVRs، مما يؤدي إلى خسارة (القيمة).

في سياق حرائق الغابات، يجب توسيع مفهوم مخاطر حرائق الغابات ليشمل إمكانية إجراء تغييرات مفيدة على HVRA التي تعوض أي ضرر جزئيًا أو كليًا.

ويرتبط توصيف المخاطر عادة بالخصائص الفيزيائية للظاهرة الطبيعية نفسها، على سبيل المثال ارتفاع مستوى سطح البحر المرتبط بهبوب عاصفة ساحلية، أو سرعة الرياح المستمرة في الأعاصير المدارية.

في سياق حرائق الغابات، نستخدم مقاييس شدة الحرائق – شدة خط النار وطول اللهب – كمقاييس لخطر حرائق الغابات، على الرغم من أن المقاييس الأخرى مثل استهلاك الوقود أو خصائص الحرائق الأخرى قد تكون مفيدة أيضًا.

يتضمن تقييم مخاطر حرائق الغابات أيضًا احتمال تعرض HVRA لحدث ما وقابلية HVRA إذا حدث ذلك، أي العواقب المترتبة على HVRAs الناتجة عن التعرض لمستويات شدة متفاوتة). تعتمد قابلية المنزل لارتفاع العواصف الساحلية على مواد البناء والتصميم.

وبالتالي، فإن مقدار الضرر سيختلف بالنسبة للمنازل ذات المواد والتصميمات المختلفة، حتى بالنسبة لنفس ارتفاع العواصف. وبالمثل، فإن مخاطر حرائق الغابات الناجمة عن HVRA ستختلف باختلاف مستوى شدة الحرائق، واحتمالات حدوثها، وقابلية التعرض لـ HVRA.

وبالتالي، يتم تصور «الخطر» بشكل مشترك على أنه احتمالية وشدة وقابلية التعرض لتأثيرات حرائق الغابات على HVRs. شدة الحرائق هي الخاصية الأساسية لحرائق الغابات المرتبطة بتأثيرات الحرائق المحتملة – عادةً، كلما زادت الشدة زادت الخسارة، ولكن هذا ليس هو الحال دائمًا.

• احتمالية حرائق الغابات وشدتها

خطر حرائق الغابات هو موقف مادي من المحتمل أن تسبب فيه حرائق الغابات تأثيرات مفيدة أو سلبية على HVRs. يمكن وصف الخطر الذي تمثله حرائق الغابات بشكل مبسط إلى حد ما على أنه حدوث حرائق الغابات نفسها، ولكن التوصيف الأكثر فائدة يحدد أيضًا الكثافة المحتملة (أو التوزيع الاحتمالي للشدة) لحرائق الغابات في حالة حدوثها.

ضمن إطار مخاطر حرائق الغابات، من الضروري أيضًا تحديد احتمالية حدوث حرائق الغابات (في بعض المجالات، يُسمى هذا باحتمالية حدوث

الخطـر)، سـواء كان ذلـك احتماليـة حرائـق الغابـات الشـاملة أو احتماليـة حـدوث حرائـق الغابـات عنـد مسـتوى معـين مـن شـدة الحرائـق.

بالمعنـى الدقيـق للكلمـة، مسـتوى شـدة الحريـق مسـتقل عـن الاحتماليـة؛ إنهـا تدابيـر منفصلـة. ولأغراضنـا، سـوف نقـوم بوصـف خطـر حرائـق الغابـات مـن حيـث الاحتماليـة والشـدة. هـذا الاختيـار مدفـوع بثلاثـة اعتبـارات رئيسـية:

أولًا: تشـترك نمـاذج محـاكاة حرائـق الغابـات الحديثـة في تقديـر احتماليـة حـدوث الحرائـق وشـدتها، والتـي تحركهـا مجموعـة مماثلـة مـن العوامـل البيئيـة.

ثانيًا: كمـا سـيتم توضيحـه أدنـاه، غالبًـا مـا تكـون الطريقـة المفيـدة لتوصيـف المخاطـر في موقـع معـين وفقًـا لتوزيـع الاحتمـالات علـى مسـتويات شـدة حرائـق الغابـات.

ثالثًا: وبشـكل أكثـر بديهيـة، فـإن النظـر في كل مـن الاحتماليـة والشـدة كمقاييـس متكاملـة للخطـر يتناسـب مـع مفهـوم الخطـر باعتبـاره موقفًـا ينطـوي علـى احتمـال حـدوث ضـرر.

لنتأمـل هنـا موقعـين قادريـن علـى إنتـاج شـدة حرائـق غابـات متطابقـة، ولكـن باحتمـالات مختلفـة: مـن المرجـح أن يتعـرض أحـد الموقعـين لحرائـق غابـات أكثـر مـن الآخـر (بسـبب احتماليـة اشـتعال أعلـى، علـى سـبيل المثـال).

الموقـع الـذي لديـه احتماليـة أكبـر للتعـرض لكثافـة حرائـق الغابـات لديـه احتماليـة أكبـر للتسـبب في أضـرار، وبالتالـي يمكـن اعتبـاره أكثـر خطـورة. إن احتماليـة حرائـق الغابـات وشـدتها معًـا تعتبـر مقاييـس كميـة ممتـازة لخطـر حرائـق الغابـات.

تشـمل العوامـل التـي تؤثـر علـى شـدة حرائـق الغابـات عناصـر مثـل سـلوك الحرائـق - الوقـود، والطقـس، والتضاريـس - بالإضافـة إلـى اتجـاه الانتشـار

(الرأس، والجانبين، والمساندة، وما إلى ذلك). على المستوى الأساسي، يمكن تقييم شدة حرائق الغابات في نقطة أو موقف أو منظر طبيعي دون النظر إلى انتشار الحريق من خلال افتراض حدوث حريق في موقع (مواقع) معينة في ظل ظروف الطقس المحددة ورطوبة الوقود ومعلمات انتشار الحريق (العنوان، المرافقة أو المساندة).

عادةً ما يتم تقييم ذلك على أنه الإمكانية شبه القصوى (على سبيل المثال، توجيه النار تحت نسبة 97 المئوية من رطوبة الوقود وظروف الرياح). قد يكون هناك احتمال منخفض جدًا لحدوث حرائق الغابات في ظل هذه الظروف في أي منطقة معينة، ولكن مع ذلك يوفر هذا المستوى من التقييم معلومات مفيدة حول سلوك حرائق الغابات المحتملة التي يمكن أن تنتجها مناطق مختلفة من المناظر الطبيعية.

على مستوى المناظر الطبيعية، يمكن أيضًا استخدام هذا النوع من تقييم مخاطر حرائق الغابات لتحديد الأماكن التي توجد فيها إمكانية تلبية أو تجاوز عتبات سلوك حرائق الغابات المحددة، مما يساعد في تحديد فرص الإدارة وتحديد أولوياتها.

في تقييم كامل لخطر حرائق الغابات، تتم محاكاة حدوث حرائق الغابات وانتشارها من أجل تحديد مدى تأثير التقلب الزمني في الطقس والتقلب المكاني في الوقود والتضاريس وكثافة الاشتعال على احتمالية حرائق الغابات عبر المناظر الطبيعية. في مثل هذه الحالات، يتضمن تقييم المخاطر نمذجة احتمالية الاحتراق، والتي تحدد احتمالية أن يحرق حريق هائل نقطة معينة – عادة خلية شبكية واحدة (بكسل) – خلال فترة زمنية محددة.

يمكن لتقييمات احتمالية الحروق تحديد احتمالية نشوب حرائق الغابات بأي شدة أو احتمالية حدوث حرائق الغابات في فئات مختلفة من شدة الحرائق.

غالبًا ما يتم الإبلاغ عن احتمالية الاحتراق لتطبيقات تخطيط إدارة الحرائق على أساس سنوي - احتمالية الاحتراق خلال موسم حريق واحد.

العامل المميز لنمذجة احتمالية الاحتراق السنوي هو المحاكاة الإضافية لاحتمالية الاشتعال ومدة الحريق، من أجل حساب الترددات النسبية والأنماط المكانية للاشتعالات التاريخية.

وبدلاً من ذلك، تشير بعض تطبيقات التخطيط إلى احتمالية الاحتراق المشروط بحدوث حريق أثناء سيناريو الطقس المحدد «لمشكلة الحريق». وعلى النقيض من ذلك، تعبر تطبيقات إدارة حوادث حرائق الغابات عن احتمالات الحروق لحريق واحد على مدار أيام أو أسابيع.

على الرغم من أن بعض الأساليب لتوصيف مخاطر حرائق الغابات لا تتضمن الاحتمالية، فإن نمذجة احتمالية الحرق تلعب دورًا رئيسيًا في توصيف احتمالية تسبب حرائق الغابات في حدوث آثار، خاصة عندما يهتم المحللون بنمذجة انتشار الحرائق بمجموعات متغيرة من موقع الاشتعال والظروف الجوية.

تنتج بعض أنظمة نمذجة حرائق الغابات مقاييس لسلوك الحرائق من حيث الاحتمالات، وبالتالي فإن التحديد الكمي لمخاطر حرائق الغابات سيكون له في الأساس عنصر احتمالي.

تتضمن المخرجات النموذجية لتقييم المخاطر الاحتمالية ملخصات وخرائط لاحتمالية الحروق الإجمالية، واحتمالية الحروق حسب مستوى شدة الحريق، ومتوسط شدة حرائق الغابات أو طول اللهب (أي متوسط جميع عمليات المحاكاة، بما في ذلك اتجاه الانتشار غير المتجه ومجموعة من الظروف الجوية المحاكاة)، والقيمة المتوقعة لكثافة حرائق الغابات/طول اللهب المحسوبة كمنتج إجمالي لاحتمال الحرق ومتوسط شدة حرائق الغابات/طول اللهب.

• تحليل التعرض

بعد توصيف مخاطر حرائق الغابات، فإن الخطوة الحاسمة التالية في تقييم مخاطر حرائق الغابات هي تحليل التعرض. يشير تحليل التعرض للحرائق الهائلة إلى تقييم شدة حرائق الغابات واحتمالية الحروق في المواقع التي توجد بها HVRs. وبالتالي فإن هذه الخطوة التحليلية تعتمد على القدرة على رسم خريطة لجميع HVRs بشكل متسق على كامل المدى المكاني للتحليل.

يمكن قياس التعرض بعدة طرق، بما في ذلك الإحصائيات الموجزة مثل المساحة المتوقعة المحروقة أو متوسط احتمالية الحرق أو متوسط شدة الحريق عبر وحدات بكسل HVRA المعينة. تقييم التعرض للحرائق الهائلة له قابلية تطبيق واسعة في تخطيط الغابات. قد يكون القراء على دراية بخرائط التقييم السريع للقيم المعرضة للخطر (RAVAR) التي تقيم التعرض الناتج عن حادث حرائق الغابات المستمر.

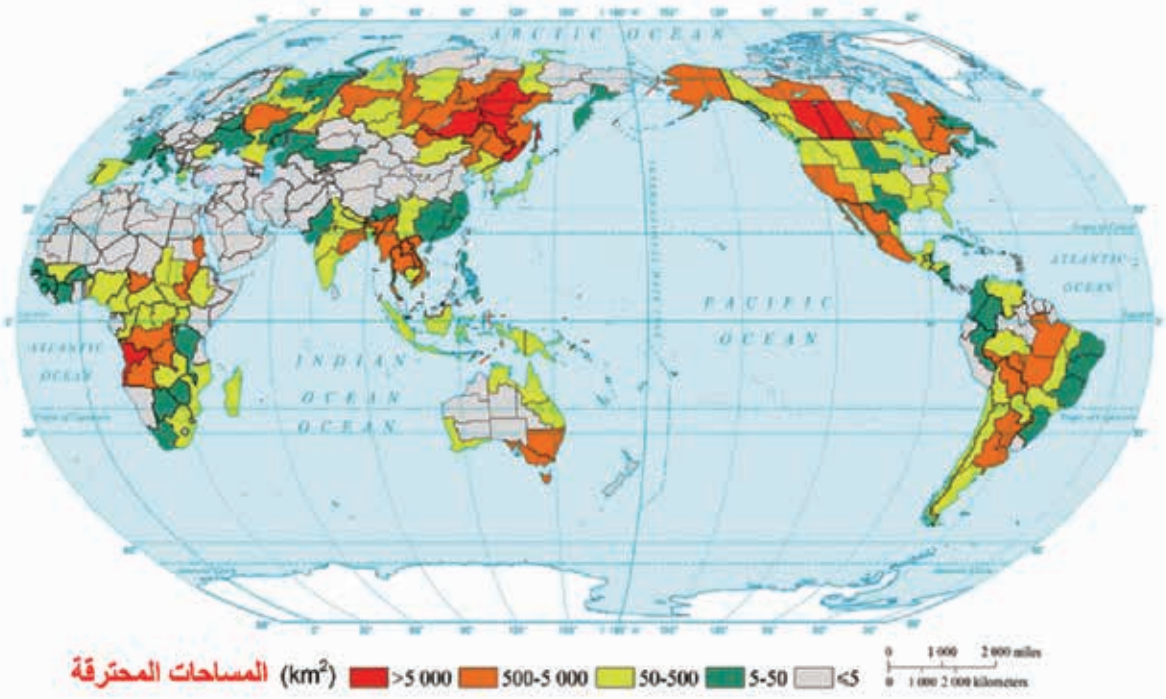
يمكن أيضًا استخدام تحليل التعرض في تقييمات قانون السياسة البيئية الوطنية (NEPA) لمقارنة الاختلافات في التعرض لـ HVRs في ظل بدائل متعددة أو في قانون إدارة الغابات الوطنية (NFMA) ومشاريع مراجعة خطة الغابات لتحديد HVRs التي من المرجح أن تتفاعل مع حرائق الغابات. والمكان الذي من المرجح أن تحدث فيه حرائق الغابات.

وتشمل التطبيقات المحتملة الأخرى مراجعة خطط إدارة الحرائق، وتقييم احتمالية تأثير الاشتعال عن بعد على HVRs محددة في ظل سيناريوهات مختلفة لإدارة الحرائق.

• تحليل التأثيرات

الخطـوة التاليـة في عمليـة التقييـم هـي تحديـد كيفيـة تأثـر HVRs بالحرائـق الهائلـة. يمكـن أن يكـون التنبـؤ بآثـار الحرائـق وقياسـها أمـرًا معقـدًا وصعبًـا للغايـة، خاصـة بالنسـبة للعديـد مـن عمليـات HVRAs البيئيـة وغيرهـا مـن غيـر السـوق.

تختلـف تأثيـرات الحرائـق عبـر النطاقـات المكانيـة والزمانيـة، وتؤثـر الاضطرابـات المسـتقبلية أو غيرهـا مـن العمليـات غيـر المؤكـدة علـى تلـك التأثيـرات. يواجـه التنبـؤ بآثـار الحرائـق تحديـات بسـبب الملاحظـات التجريبيـة المحـدودة أو غيـر الكافيـة، ونقـص النمـاذج التنبؤيـة، والفجـوات في علـوم الحرائـق الأساسـية وعلـم آثـار الحرائـق. ومـع ذلـك، فـإن تقديـر اسـتجابة HVRA لحرائـق الغابـات يعـد خطـوة حاسـمة لتقييـم المخاطـر الكميـة ولتحديـد أولويـات جهـود التخفيـف.



المناطق المتوقع أن تحدث فيها حرائق غابات في العالم بمعدل سنوي.

يعتمد تحليل مدى قابلية HVRs لمستويات مختلفة من شدة الحرائق على مزيج من نمذجة تأثيرات الحرائق وحكم الخبراء. على الرغم من توفر نماذج لتأثيرات الحرائق من الدرجة الأولى (على سبيل المثال، موت الأشجار، وتسخين التربة، واستهلاك الوقود، وانبعاثات الدخان)، لا يزال هناك مستوى معين من الاستدلال ضروريًا لتوصيف تأثيرات الدرجة الثانية (على سبيل المثال، الترسيب، وفقدان الموائل) في والتي عادةً ما يكون المديرون أكثر اهتمامًا بها.

في بعض الحالات، قد توجد نماذج تأثيرات الحريق لـ HVRA معين، وربما نموذج ملاءمة الموائل الذي يمكن أن يفسر الحريق. في معظم الظروف، قد تكون هناك حاجة إلى وكلاء أو الاعتماد على حكم الخبراء.

يلتقط تحليل آثار الحرائق الفوائد والخسائر المتعلقة بالحرائق، ويتم قياسه كميًا من حيث تغير القيمة، معبرًا عنه بالقيمة النسبية على أساس النسبة المئوية (على سبيل المثال، الخسارة الكاملة = 100 %).

في هذا الإطار، تقوم «وظائف الاستجابة» التي يحددها الخبراء بترجمة تأثيرات الحرائق إلى تغير في القيمة، بناءً على شدة الحريق والخصائص البيئية المحتملة الأخرى. تنتج وظائف الاستجابة هذه مقياسًا مشتركًا لمخاطر حرائق الغابات عبر عمليات HVRs السوقية وغير السوقية.

• الأهمية النسبية والنطاق النسبي

يستوعب إطار المخاطر مجموعة متنوعة من HVRs باستخدام مقياس مشترك (NVC)؛ عند دمج خطر حرائق الغابات في العديد من عمليات HVRs المتزامنة، من المهم دمج الأهمية النسبية (RI) لـ HVRs.

وهـذا يعنـي أن الجمـع المرجـح للمخاطـر [E(wNVC)] عبـر HVRs قـد يكـون أكثـر تمثيـلاً للعواقـب الاجتماعيـة الأوسـع للخسـائر والمنافـع، ويجـب أن يعكـس أهـداف وأولويـات إدارة الحرائـق.

علـى سـبيل المثـال، قـد يتـم وزن نفـس الدرجـة مـن E(NVC) بشـكل مختلـف عبـر المجتمعـات البشـرية، ومسـتجمعات الميـاه البلديـة، والمناطـق الترفيهيـة، وموائـل الحيـاة البريـة.

إذا تمكنـا مـن إجـراء مقارنـات القيمـة بسـهولة عبـر HVRs السـوقية وغيـر السـوقية مـن حيـث القيمـة النقديـة (علـى سـبيل المثـال، الـدولار) فـإن صياغـة RI سـتكون واضحـة. ومـع ذلـك، هنـاك عـدد مـن التحديـات التـي تحـول دون اسـتخدام التقييـم غيـر السـوقي وتحديـد وظائـف الاسـتجابة مـن حيـث القيمـة النقديـة لمعظـم التطبيقـات العمليـة.

لحسـن الحـظ، يمكـن اسـتخدام تقنيـات تحليـل القـرار متعـدد المعاييـر للمسـاعدة في تحقيـق التـوازن وقيـاس المفاضـلات ولتوضيـح التفضيـلات وRI لـ HVRs. إن إنشـاء أوزان RI عبـر HVRs يتيـح التكامـل المرجـح للمخاطـر عبـر HVRs المتعـددة، ويسـمح برسـم خرائـط وتصـور أبسـط، ويمكـن أن تسـهل قـرارات تحديـد الأولويـات.

قيـم HVRA E(NVC) المفـردة. وبالتالـي، فـإن توضيـح درجـات RI لا يـؤدي إلا إلـى زيـادة إثـراء نتائـج تقييـم المخاطـر.

$$E(wNVC) = \sum_{j}\sum_{i}\left(BP_i * NVC_{ij} * \frac{RI_j}{RE_j}\right)$$

يتـم تقسـيم الأهميـة النسـبية لمختلـف HVRAs مكانيًـا وفقًـا للمـدى النسـبي لـ HVRA (RE). يمكـن قيـاس المـدى النسـبي بـأي وحـدة قيـاس (علـى سـبيل المثـال، عـدد الهكتـارات أو خلايـا الشـبكة).

ستحصل HVRA التي تم تعيينها على نطاق واسع على قيمة أهمية نسبية أقل لكل وحدة مساحة، في حين أن HVRA النادرة في المناظر الطبيعية ستحصل على قيمة أهمية نسبية أعلى لكل وحدة مساحة.

• خطوات النمذجة الأولية

من أجل تحديد المخاطر وتوصيفها عبر أي مشهد طبيعي، من الضروري الحصول على مدخلات من الموظفين المحليين، ولا سيما المسؤولين التنفيذيين وأخصائيي الموارد.

تستلزم الخطوة 1 (محاكاة حرائق الغابات) الحصول على طبقات بيانات الوقود وتحديثها، وتحليل طقس الحرائق التاريخي وحدوث الحرائق، وإخراج تقديرات تم حلها مكانيًا لاحتمالية الحرائق وشدتها.

تستلزم الخطوة 2 استنباط حكم الخبراء من متخصصي الموارد فيما يتعلق بتقييم HVRs وكيفية تأثير الحريق عليهم. تستخدم الخطوة 3 تحليل القرار متعدد المعايير لتحديد أوزان الأهمية النسبية عبر HVRs.

• الإعداد لتنفيذ الإطار

وبشكل عام، فإن تقييم المخاطر يدور حول أكثر من مجرد القياس الكمي للمخاطر. وتتكون عملية التقييم من ثلاث خطوات أساسية: صياغة المشكلة، وتحليل المشكلة، وتوصيف المخاطر.

صياغة المشكلة هي خطوة أولى حاسمة؛ يجب أن يتم صياغة كل تحليل وفقًا لسياق الإدارة المحدد ومعالجة أهداف الإدارة المحددة. تتضمن صياغة المشكلة تحديد النطاق المكاني والزماني للتحليل، وHVRs التي سيتم تضمينها، وأهداف التقييم، والاستخدام المقصود لنتائج التقييم.

الهدف من مرحلة التحليل هو تقدير احتمالية التعرض لمستويات مختلفة من شدة حرائق الغابات، والتنبؤ باستجابات HVRA الناتجة عن التعرض لمستويات مختلفة من شدة حرائق الغابات.

وأخيرًا، يلخص توصيف المخاطر كل المخاطر التي تتعرض لها مختلف عمليات HVRs، ويفسر تقديرات المخاطر، ويقيم حالات عدم اليقين.

تتمثل المرحلة الأولى في تقييم المخاطر في صياغة المشكلة المراد حلها بوضوح، والتي قد تتعلق في كثير من الحالات ببيان الغرض والحاجة. خطوة أخرى مهمة هي تحديد النطاق المكاني والزماني للتحليل.

بالنسبة للإطار المعروض هنا، فإن النطاق المكاني للتحليل هو منظر طبيعي (بمعنى آخر، ليس قائمًا على قائم أو قائم على شجرة)، مع تحديد النطاق النهائي بحجم المشهد الطبيعي قيد النظر.

والإطار نفسه قابل من الناحية النظرية للمناظر الطبيعية من أي حجم، ويتوقف على توافر وكفاية البيانات الجغرافية المكانية والقدرة على المعالجة. من الناحية الجغرافية، فإن العملية التي نؤكد عليها في هذا التقرير تكون أكثر ملاءمة للمناطق التي يكون فيها انتشار الحرائق هو المصدر السائد لحدوث الحرائق وتمثل الحرائق «الكبيرة» غالبية الأفدنة المحروقة.

يمتد النطاق الزمني للعملية على المدى القصير، بما في ذلك فقط التأثيرات الأكثر فورية بعد الحريق؛ يولد نهج نمذجة حرائق الغابات احتمالات الحروق في ظل الظروف الحالية، دون نمذجة الديناميكيات طويلة المدى للتعافي من الحرائق أو الخلافة أو الاضطراب. ومع استمرار التوقعات في المستقبل، فإن درجة عدم اليقين المرتبطة بالتنبؤ بآثار الحرائق سوف تميل إلى الزيادة.

إن تمهيد الطريق لهذا النوع من تقييم المخاطر لن يأتي دون جهد. ومع ذلك، فإن الوقت الذي يتم قضاؤه مقدمًا في تنظيم وتوضيح عملية التقييم أمر مهم، وينبغي أن يؤتي ثماره على المدى الطويل من خلال عملية تحليل أكثر بساطة، ومن الناحية المثالية، من خلال تحسين عملية اتخاذ القرار.

يجب على مديري الحرائق والأراضي وصناع القرار الذين يتطلعون إلى تنفيذ هذه العملية أن يبدأوا بالنظر في:

- حالة البيانات الجغرافية المكانية.
- الوقت والموارد المتاحة للتقييم.
- دور القيادة.
- دور أخصائيي الموارد وغيرهم من الموظفين.
- عدد ومدى HVRs التي يتعين النظر فيها.

كيف نخفف من مخاطر حرائق الغابات؟

سواء كنت قريبًا من غابة أو بعيدًا عنها، فإن التعرض لخطر النيران وارد في كل يوم. لذلك سنقدم فيما يأتي أهم الخطوات والإجراءات الوقائية التي يجب اتباعها لتجنب الأذى والضرر أو التخفيف من آثاره في حال وقع حريق لا سمح الله.

• ما يجب القيام به

➢ في داخـــل المـــــنزل

- عالج منزلك، أو قم ببنائه بمواد غير قابلة للاحتراق، خاصة الأسطح أو الجوانب أو الأسطح أو الزخارف. توصي الوكالة الفيدرالية لإدارة الطوارئ (FEMA) بتقييم المواد الكيميائية المقاومة للحريق من قبل مختبر معترف به وطنيًا، مثل مختبرات Underwriters Laboratories.
- قم بفحص مدخنتك كل ستة أشهر، وقم بتنظيفها مرة واحدة في السنة. تأكد من أن المخمدات تعمل، وقم بتركيب مانعة الشرر التي تلبي متطلبات المعيار 211 للجمعية الوطنية للحماية من الحرائق، كما توصي الوكالة الفيدرالية لإدارة الطوارئ (FEMA). يمكنك الطلب من خلال nfpa.org. اتصل بقسم الإطفاء المحلي لديك للحصول على المواصفات الدقيقة.
- استخدم شاشات شبكية كمثبطات للحريق تحت الشرفات والطوابق والمساحات الأرضية.
- احصل على جهاز إنذار دخان مزدوج المستشعر لكل مستوى من منزلك، وضعه بالقرب من غرف النوم.
- اختبر أجهزة إنذار الدخان كل شهر، وقم بتغيير البطاريات كل عام.

- قم بتعليم كل فرد من أفراد الأسرة كيفية استخدام طفاية الحريق، وأظهر لهم مكان الاحتفاظ بها. توصي الوكالة الفيدرالية لإدارة الطوارئ (FEMA) باستخدام طفاية حريق من نوع ABC.
- قم بتركيب مصاريع وستائر واقية من الحريق، إذا أمكن.
- فكر في شراء مولد كهربائي في حالة انقطاع الكهرباء في حالة تأثر خطوط الكهرباء بالحريق.

خارج المنزل

المناظر الطبيعية مع الشجيرات والأشجار المقاومة للحريق. أشجار الصنوبر، دائمة الخضرة، والتنوب أكثر قابلية للاشتعال من أشجار الخشب الصلب.

- قم بتنظيف السقف والمزاريب بشكل منتظم.
- التزم بالقوانين عند حرق نفايات الفناء، واحتفظ بأدوات الحريق وطفايات الحريق في متناول اليد.
- تأكد من أن خرطوم حديقتك طويل بما يكفي للوصول إلى أي منطقة في منزلك.
- تأكد من وجود مصدر مياه قريب منك مثل بركة صغيرة أو صهريج أو بئر أو حمام سباحة أو صنبور مياه.
- توخي الحذر الشديد مع السوائل القابلة للاشتعال والوقود، وكذلك مع الأجهزة المحمولة مثل الفوانيس أو المواقد أو السخانات.
- قم بتركيب منافذ مياه خارجية مقاومة للتجمد على جانبين على الأقل من منزلك، وقم بوضع المنافذ على بعد 50 قدمًا على الأقل من منزلك.

• ما الذي عليك عدم فعله

➢ فـــي داخـــل المـــــنزل

- لا تستخدم الأسطح والباحات والشرفات كمواقع تخزين للمواد القابلة للاحتراق مثل الصحف والمجلات أو الخرق أو الملابس.
- لا تترك المساحات ذات التهوية، مثل باطن الأرض، والأفاريز، ومساحات الزحف مفتوحة. تم تجهيز الصندوق بمواد مقاومة للحريق، بما في ذلك حاجز معدني بقياس $\frac{1}{8}$ بوصة، لمنع الجمر الساخن من الطيران وانتشار النار.
- لا تسكن من دون مجموعة أدوات الطوارئ وخطة الإخلاء، خاصة إذا كنت تعيش في منطقة معرضة للحريق.

➢ خـــارج المنـــــزل

- لا تترك الحطام الذي يمكن أن يحترق بسهولة خارج المنزل، بما في ذلك أكوام الخشب وأثاث الحديقة وشوايات الشواء وأغطية القماش والسوائل القابلة للاشتعال (مثل علب الزيت أو الغاز).
- لا ترمي السجائر أو أعواد الثقاب أو أي مادة مشتعلة أخرى من سيارتك أو تتخلص منها على الأرض. استخدم منفضة سجائر، والأفضل تخلص من عادة التدخين.
- لا تترك النار في الخارج دون مراقبة. عند مغادرة موقع المخيم، أو إذا كنت تخطط للنوم طوال الليل، تأكد من إطفاء نار المخيم تمامًا. اغمريه بالماء، واخلطي الرماد والجمر.
- لا تقم بأي حرق للنفايات في الفناء الخلفي في ظروف الرياح، ولا تنس التحقق من القيود المحلية.

كيفية البقاء على قيد الحياة عند حدوث حريق

ما يجب القيام به

في داخل المنزل

- أغلق جميع النوافذ والفتحات والأبواب لمنع تيار الهواء.
- قم بإيقاف تشغيل جميع إمدادات الغاز الطبيعي أو البروبان أو النفط إلى منزلك.
- املأ أحواضك وأحواضك بالماء، واملأ صناديق القمامة والدلاء من الخارج. إذا كان لديك حوض سباحة أو حوض استحمام ساخن، فاملأه. هذا يبطئ ويثبط مسارات النار.
- احتفظ بأدوات النار مثل المكابس والفؤوس والمناشير اليدوية أو المناشير والدلاء والمجارف في متناول اليد وجاهزة للاستخدام.
- أغلق أي فتحات خارجية، بما في ذلك تلك الموجودة في العلية والطابق السفلي. تأكد من إغلاق أبواب الحيوانات الأليفة أيضًا.
- قم بإزالة أي ستائر أو ستائر قابلة للاشتعال، وأغلق جميع الستائر والستائر وأغطية النوافذ. أغلق جميع الأبواب داخل المنزل لمنع تيار الهواء. افتح المخمد الموجود على المدفأة، ولكن أغلق شاشة المدفأة.
- قم بتخزين الأشياء الثمينة (بما في ذلك المستندات المهمة) داخل سيارتك حتى تتمكن من المغادرة بسرعة. يجب وضع العناصر الثمينة التي لن تتضرر بالمياه في حوض السباحة أو البركة.

- قـم بإخـلاء مناطـق الغرفـة وانقـل الأثـاث القابـل للاشـتعال إلـى وسـط منزلـك، بعيـدًا عـن النوافـذ والأبـواب قـدر الإمـكان.
- قـم بتشـغيل كل ضـوء في كل غرفـة في منزلـك وكذلـك الأضـواء الخارجيـة. وهـذا يجعـل الأمـور أكثـر وضوحـا في ظـروف الدخـان الكثيـف.

خـــارج المنـــــزل

- إذا سـمح الوقـت، قـم بإزالـة المـواد القابلـة للاحتـراق، بمـا في ذلـك الحطـب والشـوايات وحاويـات الوقـود مـن حديقتـك.
- تأكـد مـن توصيـل خراطيـم حديقتـك بصنابيـر الميـاه، وقـم بوضـع الرشاشـات في الأماكـن المعرضـة للخطـر بشـكل خـاص مثـل السـقف وخزانـات الوقـود. قـم بتشـغيلها إذا تجـاوزت النـار.
- ابحث عن منطقة منخفضة خالية من الحطام والنباتات واتجه إليها.
- في حـالات الطـوارئ فقـط، يجـب عليـك البقـاء في سـيارتك. إنـه أقـل خطـورة مـن محاولـة الهـروب مـن النـار سـيرًا علـى الأقـدام. وفقًـا لوكالـة إدارة الطـوارئ الفيدراليـة (FEMA)، نـادرًا مـا تنفجـر خزانـات الغـاز المعدنيـة.
- تأكد من إيقاف تشغيل المياه إذا كان عليك الإخلاء.
- إذا التهمـت النـار المنطقـة المحيطـة بـك، اسـتلقِ علـى الأرض واغمـر ملابسـك بالمـاء وغـط نفسـك ببطانيـة أو تربـة.
- تنفس من خلال قطعة قماش مبللة.

• ما الذي عليك عدم فعله

➢ داخل المنزل

- لا تحاول الانتظار حتى انتهاء الحريق؛ الإخلاء على الفور.
- لا تهمل ما ترتديه: ارتدي حذاءً يمكنك الركض به، وسراويل طويلة، وقميصًا بأكمام طويلة، وقفازات ومنديلًا لحماية وجهك.
- لا تفترض أن شخصًا آخر قد اتصل بقسم الإطفاء؛ اتصل ووصف أي مشاهدات للحريق.
- لا تعتمد على الكهرباء العاملة. افصل جميع الأجهزة غير الضرورية، بما في ذلك أجهزة فتح أبواب الجراج التي يمكنك فتحها يدويًا. أبقِ أبواب المرآب الخاص بك مغلقة.
- لا تبقى واقفا. اقترب من الأرض قدر الإمكان، وقم بالزحف لتجنب الغازات والحرارة (التي ترتفع).
- لا تعود أبدًا إلى داخل مبنى محترق.

➢ خارج المنزل

- لا تحاول الهرب من النار. بدلًا من ذلك، ابحث عن مسطح مائي مثل بركة أو نهر لتقفز فيه.

- لا تبقى على الجانب الصاعد. بدلاً من ذلك، ابحث عن مأوى في أي منحدر قريب.
- لا تقود السيارة وسط دخان كثيف. إذا كان لا بد من ذلك، أوقف سيارتك بعيدًا عن الأشجار واستخدم الفرشاة.
- لا تقود بسرعة كبيرة عبر منطقة حرائق الغابات. احترس من المشاة والمركبات الأخرى. قم بلف النوافذ وأغلق جميع فتحات الهواء في سيارتك.

كيفية التعافي من الحريق

• ما يجب القيام به

➢ في داخل المنزل

- إذا تعرضت للحروق، أو كنت مع ضحايا الحروق، على الفور
- تغطية كامل منطقة الحرق وتبريد الإصابة.
- افحص منزلك بحثًا عن أي علامات حريق أو تلف أو مخاطر باقية مثل الجمر. تحقق بشكل خاص من مناطق العلية والسقف.
- حافظ على مراقبة الحريق لبضع ساعات بعد انتهاء الحريق، للتحقق من وجود دخان أو علامات حريق أخرى.
- اطلب من أحد الجيران أن يراقب الممتلكات الخاصة بك إذا أصبح منزلك غير آمن للبقاء فيه.
- انتبه لحفر الرماد، وابتعد عنها. ضع علامة عليها إذا لزم الأمر.
- اعتني بحيواناتك الأليفة وحيواناتك. يمكن أن تتسبب النقاط الساخنة المخفية في إصابتهم إذا مشوا على الجمر.
- استخدم الأقنعة والأدوات والمعدات المناسبة لتنظيف الرماد. اتبع الإرشادات الصحية.
- قم بخرطوم أو غمر الحطام بالماء لمنع تطاير جزيئات الغبار.
- ارتداء القفازات الجلدية والأحذية ذات النعل الثقيل لحماية اليدين والقدمين.

- التخلص بشكل صحيح من أي سوائل قابلة للاشتعال ومنتجات التنظيف وحاويات الوقود. احتفظ بها بعيدًا عن أي مكان يمكن أن تتعرض فيه لخطر الحرارة أو الشرر.

خـــارج المنـــزل

- ارتدِ حذاءًا قويًا، وغطي نفسك بأكبر قدر ممكن من الملابس لحماية أي مناطق مكشوفة من الجسم. وهذا سوف يحمي أيضًا من الشرر والجمر والرماد المحترق.
- قم بالإخلاء، واختر طريقًا بعيدًا عن النار. راقب باستمرار التغيرات في أي سرعة أو اتجاه للحريق. افعل ذلك على فترات منتظمة.
- اتصل بصديق أو أحد أفراد العائلة لتنبيهه بموقعك والاتجاه الذي تسلكه.

ما الذي عليك عدم فعله

داخـــل المـــنزل

- لا تدخل إلى منزلك مجددًا حتى يمنحك المسؤولون الموافقة للقيام بذلك.
- لا تخمن علامات التفتيش؛ إذا قام مفتش البناء بوضع لافتة على منزلك، فابق خارجًا حتى تتلقى التعليمات.
- لا تأكل الطعام الذي تعرض للنار.
- لا تستخدم المياه التي قد تكون ملوثة.
- لا تحاول فتح الخزنة أو الصندوق القوي الخاص بك على الفور. يمكن

أن تظل ساخنة لساعات، ويمكن أن تشتعل النيران في محتوياتها.

- لا تقترب من خطوط الكهرباء أو الأعمدة التي سقطت أو تضررت.

خارج المنزل

- لا تدع الأرض المحروقة تبقى. ساعد التربة على التعافي عن طريق إعادة زراعتها أو تغطيتها بدلاً من محاولة البدء بالبذور. يعتمد الغطاء النباتي المناسب على المنطقة التي تعيش فيها.
- لا تظن أن النار لن تصيب نفس المنطقة مرتين؛ يمكن أن تتكرر.
- لا تتجاهل احتمالات الفيضانات. تسمح الأرض المحروقة بتدفق المياه بسهولة أكبر على السطح وغالباً ما تؤدي إلى حدوث فيضانات. اتخذ تدابير السيطرة على الفيضانات عند إعادة البناء.

موسوعة المخاطر الطبيعية
Encyclopedia of Natural Hazards

الفصل الرابع

المخاطر الجوية

العواصف والأعاصير | تلوث الهواء | الرياح والغبار

موسوعة المخاطر الطبيعية
Encyclopedia of Natural Hazards

العواصف والأعاصير

مُقَدِّمَة

تسمى الأعاصير أحياناً «العواصف الدوارة» وتحدث نتيجة تقابل كتلتين هوائيتين مختلفتين – بشكل مفاجئ – أحدهما دافئة رطبة والأخرى باردة حيث تندفع الكتلة الهوائية الباردة تحت الكتلة الدافئة ويحدث أثناء ذلك الإعصار وغالباً يصاحب حدوث الأعاصير الأمطار الغزيرة وتظهر الأعاصير في الحالة المذكورة أضرار الملاحة البحرية والفيضانات التي تكتسح المناطق الساحلية حيث تلحق الأضرار بالمنازل والنباتات الحيوانات والإنسان .

تحدث أهم الأعاصير في الكرة الأرضية في منطقتين: المناطق المعتدلة وتشمل أهم مناطق حدوث أعاصير المناطق المعتدلة شمال غرب أوربا وشمال شرق أمريكا الشمالية وبعض الدول الواقعة شمال البحر الأبيض المتوسط. المناطق المدارية وتعد أعاصير المناطق المدارية الأكثر انتشاراً وشهرة ومن أهم مناطق حدوث تلك الأعاصير المناطق المتاخمة لخليج البنغال مثل الهند وبنغلادش والمناطق المجاورة لبحر الصين وخليج المكسيك وتعرف الأعاصير المدارية بأسماء محلية حسب مواقعها من الكرة الأرضية ومن أهمها : زوابع الهوريكان و عاصفة الإعصار (سيكلون) وعاصفة الرياح الشديدة (تورنادو) إعصار التايفون.

ومن حوادث الأعاصير المفجعة الإعصار الذي تعرضت له سواحل بنغلاديش سنة 1970م والذي كانت سرعته 350كم / ساعة ذهب ضحيته ما يقرب من نصف مليون شخص إضافة إلى أعدادا مماثلة أصبحوا بدون مأوي أو تعرضوا للجروح ونتيجة لتلك الأعاصير غرقت جزر بأكملها.

العواصـــف

يعتبر الإعصار عاصفة مدارية عندما تبلغ سرعة الرياح المستمرة ما بين 63 إلى 118 كيلومترا في الساعة، فيدرج حينها ضمن قائمة العواصف المدارية التي حددتها المنظمة العالمية للأرصاد الجوية.

العواصف والأعاصير ظواهر جوية عنيفة شديدة. وتوجد لهذه الظواهر عدة أشكال نوردها فيما يأتي.

➢ العاصفة الترابية

وتسمى أيضًا العاصفة الرملية، هي ظاهرة مناخية شائعة في المناطق القاحلة وشبه القاحلة. تنشأ العواصف الترابية عندما تهب جبهة عاصفة أو رياح قوية أخرى على الرمال السائبة والأوساخ من سطح جاف. يتم نقل الجسيمات الدقيقة عن طريق الملح والتعليق، وهي عملية تنقل التربة من مكان وترسبها في مكان آخر.

المناطق القاحلة في شمال أفريقيا وشبه الجزيرة العربية وآسيا الوسطى والصين هي المصادر الأرضية الرئيسية للغبار المحمول جوا. لقد قيل إنّ سوء إدارة الأراضي الجافة على الأرض، مثل إهمال النظام البور، يؤدي إلى زيادة حجم وتواتر العواصف الترابية من أطراف الصحراء وتغيير المناخ المحلي والعالمي، وكذلك التأثير على الاقتصادات المحلية.

يستخدم مصطلح العاصفة الرملية في أغلب الأحيان في سياق العواصف الترابية الصحراوية، خاصة في الصحراء الكبرى، أو الأماكن التي تكون فيها الرمال نوعًا من التربة أكثر انتشارًا من التربة أو الصخور، عندما تتراكم

كمية كبيرة من الجزيئات الدقيقة التي تحجب الرؤية، بالإضافة إلى الجزيئات الدقيقة التي تحجب الرؤية. يتم نفخ جزيئات الرمل الأكبر حجمًا بالقرب من السطح. من المرجح أن يتم استخدام مصطلح العاصفة الترابية عندما يتم تطاير الجزيئات الدقيقة لمسافات طويلة، خاصة عندما تؤثر العاصفة الترابية على المناطق الحضرية.

عاصفة رملية في أرض الصومال.

مع زيادة قوة الغبار الذي يمر فوق الجزيئات غير المتماسكة، تبدأ جزيئات الرمل في الاهتزاز أولاً، ثم تتحرك عبر السطح في عملية تسمى الملوحة. عندما تضرب الأرض بشكل متكرر، فإنها تتفكك وتكسر جزيئات الغبار الصغيرة التي تبدأ بعد ذلك في السفر بشكل معلق. عند سرعة الرياح الأعلى من تلك التي تتسبب في تعليق الأصغر، سيكون هناك مجموعة من حبيبات الغبار تتحرك من خلال مجموعة من الآليات: التعليق، والتمليح، والزحف.

توصلت دراسة أجريت عام 2008م إلى أن الملوحة الأولية لجزيئات الرمل تحفز مجالًا كهربائيًا ثابتًا عن طريق الاحتكاك. يكتسب الرمل المملح شحنة سالبة بالنسبة للأرض مما يؤدي بدوره إلى تفكيك المزيد من جزيئات الرمل التي تبدأ بعد ذلك في التمليح. وقد وجد أن هذه العملية تضاعف عدد الجسيمات التي تنبأت بها النظريات السابقة.

تصبح الجسيمات غير ثابتة بشكل رئيسي بسبب الجفاف الطويل أو الظروف القاحلة وسرعات الرياح العالية. قد تنتج جبهات الرياح عن طريق تدفق الهواء المبرد بالمطر من عاصفة رعدية شديدة.

أو قد تنتج هبوب الرياح عن جبهة باردة جافة: أي جبهة باردة تتحرك نحو كتلة هوائية جافة ولا تنتج أي هطول - وهو نوع العاصفة الترابية التي كانت شائعة خلال سنوات الغبار في الولايات المتحدة. بعد مرور جبهة باردة جافة، يمكن أن يؤدي عدم استقرار الحمل الحراري الناتج عن ركوب الهواء البارد فوق أرض ساخنة إلى استمرار العاصفة الترابية التي بدأت في الجبهة.

في المناطق الصحراوية، تحدث العواصف الترابية والرملية بشكل شائع إما بسبب تدفقات العواصف الرعدية، أو بسبب تدرجات الضغط القوية التي تسبب زيادة في سرعة الرياح على مساحة واسعة.

يتم تحديد المدى الرأسي للغبار أو الرمال التي يتم رفعها إلى حد كبير من خلال استقرار الغلاف الجوي فوق الأرض وكذلك من خلال وزن الجسيمات. في بعض الحالات، قد يقتصر الغبار والرمال على طبقة ضحلة نسبيًا بسبب انعكاس درجة الحرارة المنخفضة. وفي حالات أخرى، قد يتم رفع الغبار (ولكن ليس الرمال) لارتفاع يصل إلى 6000 متر. العواصف الترابية تشكل خطرًا كبيرًا على الصحة.

ويساهم الجفاف والرياح في ظهور العواصف الترابية، كما تفعل ممارسات الزراعة والرعي السيئة من خلال تعريض الغبار والرمال للرياح. يمكن أن تؤدي حرائق الغابات إلى عواصف ترابية أيضًا.

إحدى الممارسات الزراعية السيئة التي تساهم في العواصف الترابية هي زراعة الأراضي الجافة. وتتمثل تقنيات زراعة الأراضي الجافة الفقيرة بشكل خاص في الحراثة المكثفة أو عدم إنشاء محاصيل أو تغطية المحاصيل عندما تضرب العواصف في أوقات معرضة للخطر بشكل خاص قبل إعادة الغطاء النباتي. وفي المناخ شبه الجاف، تزيد هذه الممارسات من قابلية التعرض للعواصف الترابية. ومع ذلك، يمكن تنفيذ ممارسات الحفاظ على التربة للسيطرة على تآكل الرياح.

سحابة عاصفة ترابية ضخمة (هبوب) تقترب من محيط ثكنة عسكرية أثناء مرورها فوق منطقة عين الأسد في العراق، قبل حلول الظلام في 27 أبريل 2005. صورة وزارة الدفاع التقطتها العريف أليسيا إم جارسيا، من مشاة البحرية الأمريكية.

➢ الآثار الطبيعية والبيئية

يمكن للعاصفة الرملية أن تنقل وتحمل كميات كبيرة من الرمال بشكل غير متوقع. يمكن أن تحمل العواصف الترابية كميات كبيرة من الغبار، حيث تتكون الحافة الأمامية من جدار من الغبار الكثيف يصل ارتفاعه إلى 1.6 كيلومتر. تُعرف العواصف الترابية والرملية التي تنطلق من الصحراء الكبرى محليًا باسم

سموم أو سيمون. الهبوب هي عاصفة رملية منتشرة في منطقة السودان حول الخرطوم، وتكون أكثر شيوعًا في فصل الصيف.

تعد الصحراء الكبرى مصدرًا رئيسيًا للعواصف الترابية، وخاصة منخفض بوديلي ومنطقة تغطي التقاء موريتانيا ومالي والجزائر. ينبعث غبار الصحراء الكبرى بشكل متكرر إلى الغلاف الجوي للبحر الأبيض المتوسط وتنقله الرياح أحيانًا إلى الشمال حتى وسط أوروبا وبريطانيا العظمى.

لقد تزايدت العواصف الترابية في الصحراء الكبرى بنحو عشرة أضعاف خلال نصف القرن منذ خمسينيات القرن العشرين، مما تسبب في خسارة التربة السطحية في النيجر وتشاد وشمال نيجيريا وبوركينا فاسو. في موريتانيا، كانت هناك عاصفتان ترابيتان فقط سنويًا في أوائل الستينيات؛ هناك حوالي 80 منطقة سنويًا منذ عام 2007م، وفقًا للجغرافي الإنجليزي أندرو جودي، الأستاذ بجامعة أكسفورد.

كانت مستويات الغبار الصحراوي المنطلق قبالة الساحل الشرقي لأفريقيا في يونيو/حزيران 2007م خمسة أضعاف تلك التي لوحظت في يونيو/حزيران 2006م، وكانت أعلى مستوياتها منذ عام 1999م على الأقل، والتي ربما تكون قد أدت إلى تبريد مياه المحيط الأطلسي بدرجة كافية لتقليل نشاط الإعصار بشكل طفيف في أواخر عام 2007م.

كما ثبت أن العواصف الترابية تزيد من انتشار الأمراض في جميع أنحاء العالم. تنتقل البكتيريا وأبواغ الفطريات الموجودة على الأرض إلى الغلاف الجوي بواسطة العواصف مع الجسيمات الدقيقة وتتفاعل مع تلوث الهواء في المناطق الحضرية.

تشمل الآثار قصيرة المدى للتعرض لغبار الصحراء زيادة فورية في الأعراض وتدهور وظائف الرئة لدى الأفراد المصابين بالربو، وزيادة الوفيات والمراضة بسبب الغبار المنقول لفترة طويلة من العواصف الترابية الصحراوية والآسيوية، مما يشير إلى أن جزيئات العواصف الترابية المنقولة منذ فترة طويلة تؤثر سلبًا. الدورة الدموية. الالتهاب الرئوي الغباري هو نتيجة استنشاق كميات كبيرة من الغبار.

إن التعرض المطول وغير المحمي للجهاز التنفسي في عاصفة ترابية يمكن أن يسبب أيضًا داء السحار السيليسي، والذي إذا ترك دون علاج، سيؤدي إلى الاختناق؛ داء السحار السيليسي هو حالة غير قابلة للشفاء وقد تؤدي أيضًا إلى سرطان الرئة. هناك أيضًا خطر الإصابة بالتهاب القرنية والملتحمة الجاف («جفاف العيون») والذي، في الحالات الشديدة دون علاج فوري ومناسب، يمكن أن يؤدي إلى العمى.

➢ الآثار الاقتصادية

وتتسبب العواصف الترابية في فقدان التربة من الأراضي الجافة، والأسوأ من ذلك أنها تزيل بشكل تفضيلي المواد العضوية والجزيئات الأخف وزنا الغنية بالمغذيات، وبالتالي تقلل الإنتاجية الزراعية. كما أن التأثير الكاشط للعاصفة يلحق الضرر بنباتات المحاصيل الصغيرة. كما تقلل العواصف الترابية من الرؤية، مما يؤثر على الطائرات والنقل البري.

يمكن أن يكون للغبار أيضًا تأثيرات مفيدة حيث يترسب: تحصل الغابات المطيرة في أمريكا الوسطى والجنوبية على كميات كبيرة من العناصر الغذائية المعدنية من الصحراء الكبرى؛ مناطق المحيط الفقيرة بالحديد تحصل على

الحديد؛ والغبار في هاواي يزيد من نمو الموز. في شمال الصين وكذلك في الغرب الأوسط من الولايات المتحدة، تعتبر رواسب العواصف الترابية القديمة المعروفة باسم الرواسب الطينية تربة شديدة الخصوبة، ولكنها أيضًا مصدر مهم للعواصف الترابية المعاصرة عندما تتعطل النباتات التي تحافظ على التربة.

العواصف الرعدية

وهي عبارة عن تفريغ للشحنات الكهربية بسبب حدوث بعض الاضطرابات الجوية، حيث انها تكون مشحونة بشحنات موجبة وأيضا سالبة، الظاهرة التي تعرف باسم البرق الذي يتبعه صوت قوي مزلزل للغاية يعرف باسم الرعد، وعادة ما تكون تلك العواصف مصحوبة بالأمطار والثلوج والبرد الشديد، وواحد من أشهر تلك العواصف في العالم هي تلك العاصفة التي حدثت في مدينة بكين في الصين عام 2010م، وأيضا تلك التي حدثت في مدينة لاس فيجاس ونيويورك في الولايات المتحدة الامريكية.

العواصف الثلجية

ان العواصف الثلجية تعتبر من اقوى الأعاصير التي من الممكن ان تحدث، وهي عادة ما تضرب عدة أماكن حول العالم، وهي تكون مصحوبة ببرودة شديدة ورياح قوية للغاية، ويكون مصاحب للعواصف الثلجية سقوط الكثير من الثلج بكميات كبيرة جدا، وهي التي من الممكن ان تكون سبب في اغلاق الطرق وأيضا المطارات في بعض الوقت، كما انها تكون سبب في إعاقة المساعدات وفرق الإنقاذ من الوصول الى تلك المناطق المنكوبة. كما ان البرودة الشديدة التي تكون في العواصف الثلجية تتكون واحدة من اهم أسباب حوادث الطرق المميتة التي تؤدي الى الوفاة، وذلك بسبب البرد القاسي، وواحدة من اشهر الاماكن التي تتعرض بشكل دائم الى العواصف الثلجية هي الولايات المتحدة الامريكية وأيضا كندا، وسيبيريا في شمال روسيا، وأيضا قارة اسيا، والدول الاسكندنافية في قارة أوروبا.

الأعاصـــير

الإعصار (Cyclone) عبارة عن كتلة من الهواء تدول حول مركز ضغط منخفض على مدار واسع، ويتميز برياحه الحلزونية المتصاعدة نحو الداخل، والتي تدور باتجاه عقارب الساعة في نصف الكرة الأرضية الجنوبي، وبعكس عقارب الساعة في نصف الكرة الأرضية الشمالي، وعادة ما ترتبط الأعاصير بالمطر والثلج، وتحدث بشكل رئيس في مناطق خطوط العرض المتوسطة والعالية، أي التي تتراوح بين 30°-60°، وتتشكل بشكل رئيس فوق المحيطات؛ لأنّها تشكيل معظم مساحة سطح الأرض. وهناك العديد من المخاطر التي تصاحب الأعاصير، نتيجة الرياح القوية والأمطار الغزيرة، فمن هذه المخاطر والتي تؤثر في الإنسان وقد تؤدي في بعض الأحيان إلى الموت بسبب الانهيارات والإصابات الناتجة عن الحطام المتناثر بفعل الرياح، وقد تتسبب الأمطار الغزيرة بالعديد من الفيضانات التي قد تسبب الغرق وانتشار الأمراض المعدية عن طريق الماء، وقد يؤثر الإعصار في البنى التحتية كانقطاع الخدمات العامة (المياه والكهرباء).

تظهر الأعاصير بأشكال مختلفة وكل ما يجمع بينها هو كونها عاصفة هوائية شديدة تدور حول نقطة ثابتة؛ لذلك تختلف أنواع وأسماء تلك الأعاصير تبعًا لقوتها وحجمها وكيفية ومكان نشأتها، وهناك عدة أسماء اشتهرت بها الأعاصير ومن بينها الهوريكان و والسيكلون والتايفون وهذه الأسماء الثلاثة ما هي إلا مصطلحات مختلفة للتعبير عن شيء مشترك وهو الإعصار الإستوائي، وتُعرف هذه الظاهرة قبالة سواحل أمريكا الشمالية وفي المحيط الأطلسي، وخليج المكسيك أو البحر الكاريبي باسم الهوريكان (Hurricane)، أما قبالة شرق وجنوب شرق آسيا والمحيط الهادئ فيُطلق عليها اسم التايفون، (Typhoon)

بينما تُعرف قبالة الهند وجنوب شرق آسيا والمحيط الهندي اسمها «سايكلون» (Cyclone)، الزوبعة، وعلى الرغم من اختلاف الأسماء والأنواع إلا أن هذه الظاهرة تتكون بنفس الطريقة ولها نفس التأثير التدميري ولكن بدرجات حسب قوتها.

أمّا مصطلح الإعصار القُمعي أو التورنادو (Tornado) فهو نوع آخر من الرياح، ويُطلق على الأعاصير الأصغر حجمًا، والأقل مساحة من الأعاصير المدارية، وتكون قادرة على إنشاء رياح ذات سرعات عالية.

تعد الأعاصير أعنف العواصف على الأرض، ووفقا لوكالة «ناسا" (NASA) يتغذى الإعصار بمكونين فقط وهما الحرارة والماء. وتنشأ الأعاصير فوق المياه الدافئة عند خط الاستواء، ويمتص الهواء فوق سطح المحيط الحرارة والرطوبة، لتنشأ بعدها دوامات من الهواء نتيجة ارتفاع الهواء الساخن للأعلى من منطقة الضغط المنخفض إلى منطقة الضغط المرتفع. وما إن يرتفع هذا «الهواء الساخن» بدرجة كافية في الغلاف الجوي، حتى يبرد ويتكثف في السحب، لتنشأ عندها دوامة من الهواء والسحب المتنامية وتتحول إلى عاصفة رعدية. وهكذا فإن الشرط الأول اللازم لمواجهة الأعاصير هو السيطرة على زيادة درجة حرارة مياه المحيطات التي تُعد السبب الرئيسي في زيادة الأعاصير لا سيما في المحيط الأطلسي. وتصنف الأعاصير المدارية وفق 5 فئات وفق سرعة الرياح فيها حسب مقياس «سافير- سيمبسون» (Saffir-Simpson).

• أنـــــواع الأعاصـــــير

تم تصنيف أنواع الأعاصير وفقًا لسرعتها ومدى قوتها في الدمار وما يترتب عليه من خسائر، وأنواع الأعاصير هي:

- **إعصـــار خفيف :** يتميز هذا الإعصار بكونه إعصارًا من الدرجة الأولى، وتتراوح سرعة الرياح فيه بين 118 إلى 133 كيلومترًا في الساعة، ويسبب بعض الأضرار البسيطة مثل تدمير المزروعات والمعدات الموجودة على سطح المنازل، بالإضافة إلى حركة المنازل المتحركة.

- **إعصـــار متوسط:** ينتمي هذا الإعصار إلى الدرجة الثانية، وتتراوح سرعة الرياح فيه بين 118–180 كيلومترًا في الساعة، ويترك أضرارًا متوسطة، حيث يقتلع الأشجار الخفيفة ويتصدع الأشجار الكبيرة، كما يقتلع الخيام وتتحطم نوافذ المنازل، بالإضافة إلى أنه يتسبب في انقلاب السيارات.

- **إعصـــار قوي:** يتعلق هذا الإعصار بالدرجة الثالثة وقوته كبيرة، حيث تصل سرعة الرياح إلى ما بين 181–210 كيلومترًا في الساعة، مما يؤدي إلى كسر الأشجار الضخمة وانتزاعها من مكانها، وتحطيم واجهات المنازل وانتزاع أسقفها، وتقلب السيارات.

- **إعصـــار قوي جدًا :** وهو الإعصار الذي يصنف في الدرجة الرابعة، حيث تتراوح سرعة الرياح فيه بين 210–250 كيلومترًا في الساعة، ويتسبب في تدمير شامل للمنازل وخاصة الأسقف، كما يتم قطع خطوط الكهرباء وإغلاق الطرق، ويتم تقليع الأشجار.

- **إعصـــار عنيف:** الإعصار هو من الدرجة الخامسة وتبلغ سرعة الرياح فيه ما بين 251–330 كيلومترًا في الساعة، ويؤدي إلى دمار المنازل وتسويتها بالأرض حيث يطرحها الإعصار، كما يحمل الأجزاء الكبيرة المتهشمة إلى مسافات بعيدة.

• الأعاصير المدارية وتغير المنـــاخ

الإعصار الاستوائي: ويعرف أيضا بالعاصفة المدارية الدوامية أو «هوريكين (Hurricane)، وهي عواصف مدارية تتشكل فوق شمال المحيط الأطلسي وشمال شرق المحيط الهادئ. وتتشكل الأعاصير الاستوائية شمال خط الاستواء حيث تدور عكس اتجاه عقارب الساعة بسبب دوران الأرض. وينقلب اتجاهها في نصف الكرة الجنوبي. وتتميز هذه الأعاصير بمركز ضغط منخفض وعدد كبير من العواصف الرعدية التي تؤدي إلى رياح قوية دورانية وأمطار غزيرة و فيضانات. وتنشأ الأعاصير الاستوائية عندما يتبخر الماء الدافئ من المحيط ويرتفع إلى أعلى في هواء مشبع بالبخار. ما يخلق نظاما لضغط منخفض يمتص الهواء من المناطق المحيطة، و يؤدي بالتالي إلى ارتفاع درجة حرارة المحيط.

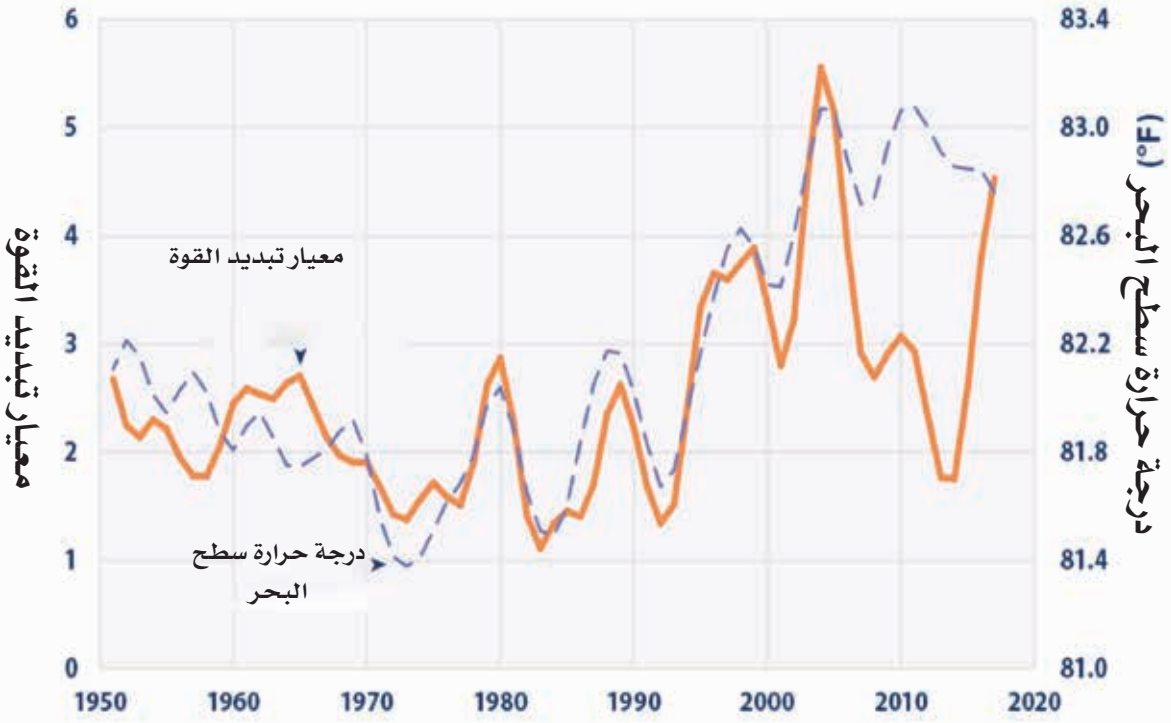
وعندما يرتفع البخار، يبرد ويتكثف في نطاقات السحب التراكمية. وينمو هذا النظام ويدور بشكل أسرع، ويمتص المزيد من الهواء ويغذي الطاقة في مياه البحر التي تم تسخينها بواسطة الشمس. وتنشأ في الوسط، «عين» هادئة من العاصفة، حيث يغرق الهواء البارد باتجاه منطقة الضغط المنخفضة للغاية أدناه، وتحيط به رياح متصاعدة من الهواء الدافئ. وكلما زادت سرعة الرياح، انخفض ضغط الهواء في الوسط وتصبح العاصفة أقوى فأقوى. وعادة ما تضعف الأعاصير المدارية عندما تضرب اليابسة لأنها لم تعد تتغذى من التبخر الناتج عن البحر الدافئ. ويمكن للعاصفة الاستوائية أن تتحول إلى إعصار عندما يمتص ضغط الهواء المنخفض مستوى سطح البحر أعلى من المعتاد، حيث يمكن أن يغمر السواحل المنخفضة إذا تزامن مع ارتفاع المد.

يمكن أن يؤثر تغير المناخ على الأعاصير المدارية بعدة طرق: تكثيف هطول الأمطار وسرعة الرياح، وانخفاض التردد الإجمالي، وزيادة تواتر العواصف الشديدة للغاية، وامتداد القطب حيث تصل الأعاصير إلى أقصى شدة، من بين التأثيرات المحتملة. عواقب تغير المناخ الناجم عن النشاط البشري. تستخدم الأعاصير المدارية الهواء الدافئ الرطب كمصدر للطاقة أو «الوقود». وبما أن تغير المناخ يؤدي إلى ارتفاع درجات حرارة المحيطات، فمن المحتمل أن يكون هناك المزيد من هذا الوقود المتاح.

بين عامي 1979 و2017م، كانت هناك زيادة عالمية في نسبة الأعاصير المدارية من الفئة 3 وما فوق على مقياس سفير-سيمبسون. وكان الاتجاه أكثر وضوحا في شمال المحيط الأطلسي وجنوب المحيط الهندي. وفي شمال المحيط الهادئ،

كانت الأعاصير المدارية تتحرك باتجاه القطب نحو المياه الباردة ولم تكن هناك زيادة في شدتها خلال هذه الفترة.

مع ارتفاع درجة الحرارة بمقدار درجتين مئويتين، من المتوقع أن تصل نسبة أكبر (13+ %) من الأعاصير المدارية إلى الفئتين 4 و5. تشير دراسة أجريت عام 2019 إلى أن تغير المناخ كان يقود الاتجاه الملحوظ المتمثل في التكثيف السريع للأعاصير المدارية في حوض المحيط الأطلسي. ومن الصعب التنبؤ بالأعاصير التي تشتد بسرعة، وبالتالي تشكل خطرًا إضافيًا على المجتمعات الساحلية.



نشاط الأعاصير المدارية في شمال المحيط الأطلسي وفقًا لمؤشر تبديد الطاقة، 1949–2015. تم رسم درجة حرارة سطح البحر جنبًا إلى جنب مع PDI لإظهار كيفية المقارنة بينها. وقد تمت تسوية الخطوط باستخدام المتوسط المرجح لخمس سنوات، المرسوم في السنة الوسطى.

يمكن للهواء الأكثر دفئًا أن يحمل المزيد من بخار الماء: يتم تحديد الحد الأقصى النظري لمحتوى بخار الماء من خلال علاقة كلاوزيوس-كلابيرون، والتي تنتج زيادة بنسبة ≈7 % في بخار الماء في الغلاف الجوي لكل ارتفاع بمقدار 1%. تُظهر جميع النماذج التي تم تقييمها في ورقة المراجعة لعام 2019م زيادة مستقبلية في معدلات هطول الأمطار. سيؤدي الارتفاع الإضافي في مستوى سطح البحر إلى زيادة مستويات العواصف.

ومن المعقول أن تشهد موجات الرياح الشديدة زيادة نتيجة للتغيرات في الأعاصير المدارية، مما يزيد من تفاقم مخاطر العواصف على المجتمعات الساحلية. ومن المتوقع أن تزداد الآثار المركبة الناجمة عن الفيضانات وعرام العواصف والفيضانات الأرضية (الأنهار) بسبب ظاهرة الاحتباس الحراري.

لا يوجد حاليًا إجماع حول كيفية تأثير تغير المناخ على التكرار الإجمالي للأعاصير المدارية. تُظهر غالبية النماذج المناخية انخفاضًا في وتيرة التوقعات المستقبلية.

على سبيل المثال، وجدت دراسة أجريت عام 2020م تقارن تسعة نماذج مناخية عالية الدقة انخفاضات قوية في وتيرة الأعاصير في جنوب المحيط الهندي ونصف الكرة الجنوبي بشكل عام، بينما وجدت إشارات مختلطة للأعاصير المدارية في نصف الكرة الشمالي.

أظهرت الملاحظات تغيرًا طفيفًا في التواتر الإجمالي للأعاصير المدارية في جميع أنحاء العالم، مع زيادة تواترها في شمال المحيط الأطلسي ووسط المحيط الهادئ، وانخفاض كبير في جنوب المحيط الهندي وغرب شمال المحيط الهادئ.

لقد كان هناك توسع قطبي في خط العرض الذي تحدث فيه أقصى شدة للأعاصير المدارية، والتي قد تكون مرتبطة بتغير المناخ. وفي شمال المحيط الهادئ، ربما كان هناك أيضًا توسع شرقًا.

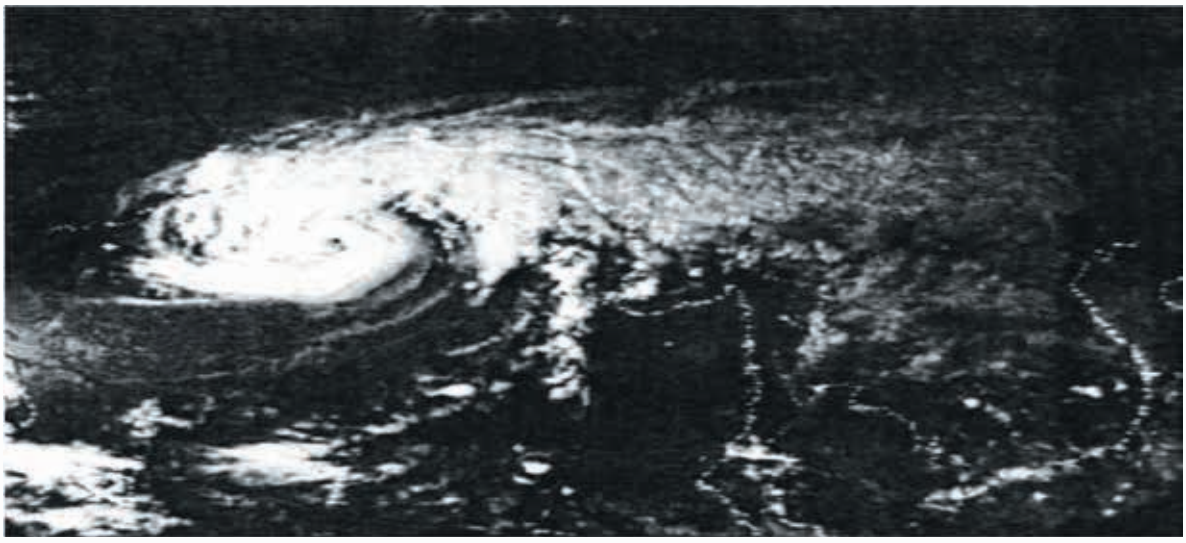
بين عامي 1949 و2016م، كان هناك تباطؤ في سرعة ترجمة الأعاصير المدارية. ومن غير الواضح بعد إلى أي مدى يمكن أن يعزى ذلك إلى تغير المناخ: فالنماذج المناخية لا تظهر جميعها هذه الميزة.

الإعصار المداري هو نظام عاصفة سريع الدوران يتميز بمركز ضغط منخفض ودوران جوي منخفض المستوى ورياح قوية وترتيب حلزوني من العواصف الرعدية التي تنتج أمطارًا غزيرة أو عواصف. وتتشكل غالبية هذه الأنظمة كل عام في أحد أحواض الأعاصير المدارية السبعة، والتي يتم مراقبتها من قبل مجموعة متنوعة من خدمات الأرصاد الجوية ومراكز الإنذار.

إن العوامل التي تحدد نشاط الأعاصير المدارية مفهومة جيدًا نسبيًا: فمستويات سطح البحر الأكثر دفئًا مواتية للأعاصير المدارية، فضلاً عن طبقة التروبوسفير غير المستقرة والرطبة، في حين أن قص الرياح العمودية يقمعها. كل هذه العوامل سوف تتغير في ظل تغير المناخ، ولكن ليس من الواضح دائما أي عامل هو الذي يهيمن.

• التغيرات في الأعاصير المدارية

قد يؤثر تغير المناخ على الأعاصير المدارية بعدة طرق: من بين العواقب المحتملة تكثيف هطول الأمطار وسرعة الرياح، وانخفاض التردد الإجمالي، وزيادة تواتر العواصف الشديدة للغاية، وامتداد الأعاصير نحو القطب حيث تصل إلى أقصى شدة. لتغير المناخ الناتج عن النشاط البشري.



صورة لإعصار بهولا تم التقاطها في 11 نوفمبر 1970.

• هطول الأمطار

يمكن للهواء الأكثر دفئًا أن يحمل المزيد من بخار الماء: يتم تحديد الحد الأقصى النظري لمحتوى بخار الماء من خلال علاقة كلاوزيوس-كلابيرون، والتي تنتج زيادة بنسبة ≈7 % في بخار الماء في الغلاف الجوي لكل ارتفاع بمقدار 1%. تظهر جميع النماذج التي تم تقييمها في ورقة المراجعة لعام 2019م زيادة مستقبلية في معدلات هطول الأمطار، وهو المطر الذي يسقط في الساعة.

ذكرت المنظمة العالمية للأرصاد الجوية في عام 2017م أن كمية الأمطار الناجمة عن إعصار هارفي قد زادت على الأرجح بسبب تغير المناخ.

يتم التحكم في منطقة هطول الأمطار في الأعاصير المدارية (على عكس المعدل) في المقام الأول من خلال درجة حرارة سطح البحر البيئية (SST) – نسبة إلى المتوسط الاستوائي SST، الذي يسمى درجة حرارة سطح البحر النسبية. سوف يتوسع هطول الأمطار إلى الخارج مع زيادة درجة حرارة سطح البحر النسبية، المرتبطة بتوسع مجال الرياح العاصفة.

تُلاحظ أكبر الأعاصير المدارية في المناطق الاستوائية في غرب شمال المحيط الهادئ، حيث توجد أكبر القيم النسبية لدرجات حرارة سطح البحر والرطوبة النسبية في منطقة التروبوسفير الوسطى. وبافتراض أن درجات حرارة المحيطات ترتفع بشكل منتظم، فمن غير المرجح أن يؤثر ارتفاع درجة حرارة المناخ على منطقة هطول الأمطار.

• الشـــدة

تستخدم الأعاصير المدارية الهواء الدافئ الرطب كمصدر للطاقة أو «الوقود». وبما أن تغير المناخ يؤدي إلى ارتفاع درجات حرارة المحيطات، فمن المحتمل أن يكون هناك المزيد من هذا الوقود المتاح. تشير دراسة نشرت في عام 2012 إلى أن درجات حرارة سطح البحر قد تكون ذات قيمة كبديل لقياس الشدة المحتملة (PI) للأعاصير المدارية، حيث أن الأعاصير حساسة لدرجات حرارة حوض المحيط.

بين عامي 1979 و2017م، حدثت زيادة عالمية في نسبة الأعاصير المدارية من الفئة 3 وما فوق على مقياس سفير–سيمبسون، وهي أعاصير تزيد سرعة

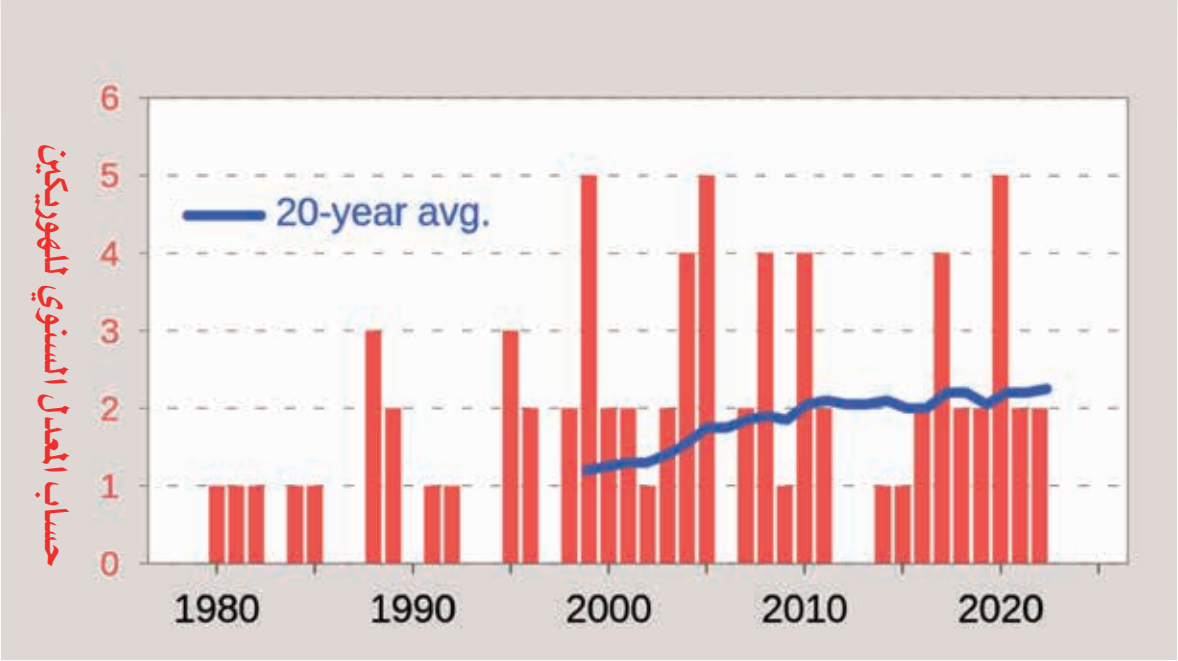
رياحها عن 178 كم في الساعة. وكان الاتجاه أكثر وضوحا في شمال المحيط الأطلسي وجنوب المحيط الهندي.

وفي شمال المحيط الهادئ، كانت الأعاصير المدارية تتحرك باتجاه القطب نحو المياه الباردة ولم تكن هناك زيادة في شدتها خلال هذه الفترة. مع ارتفاع درجة الحرارة بمقدار درجتين مئويتين، من المتوقع أن تصل نسبة أكبر (13+ %) من الأعاصير المدارية إلى الفئتين 4 و5.

خلصت دراسة لعواصف عام 2020م ذات قوة العواصف الاستوائية على الأقل إلى أن تغير المناخ الناجم عن الإنسان أدى إلى زيادة معدلات هطول الأمطار الشديدة لمدة 3 ساعات بنسبة 10 %، وكميات الأمطار الغزيرة المتراكمة لمدة 3 أيام بنسبة 5 %، وبالنسبة للعواصف بقوة الإعصار، وارتفعت الأرقام إلى 11 % و8 %.

من المحتمل أن يكون تغير المناخ هو الدافع وراء الاتجاه الملحوظ المتمثل في التكثيف السريع للأعاصير المدارية في حوض المحيط الأطلسي، مع تضاعف نسبة العواصف التي تشهد تكثيفًا تقريبًا خلال الأعوام من 1982 إلى 2009. ومن الصعب التنبؤ بالأعاصير سريعة الشدة وتشكل خطرًا إضافيًا على المجتمعات الساحلية.

كما بدأت العواصف في التراجع بشكل أبطأ بمجرد وصولها إلى اليابسة، مما يهدد مناطق داخلية أبعد مما كانت عليه في الماضي. كان موسم الأعاصير الأطلسية لعام 2020م نشطًا بشكل استثنائي وحطم العديد من الأرقام القياسية من حيث تكرار العواصف وشدتها.



تضاعف تقريبا متوسط عدد الأعاصير السنوية من الفئتين 4 و 5 في منطقة المحيط الأطلسي على مدى 20 عاما منذ عام 2000.

• التكـــــرار

لا يوجد إجماع حول كيفية تأثير تغير المناخ على التكرار الإجمالي للأعاصير المدارية. تُظهر غالبية النماذج المناخية انخفاضًا في وتيرة التوقعات المستقبلية.

على سبيل المثال، وجدت دراسة أجريت عام 2020م تقارن تسعة نماذج مناخية عالية الدقة انخفاضات قوية في وتيرة الأعاصير في جنوب المحيط الهندي ونصف الكرة الجنوبي بشكل عام، بينما وجدت إشارات مختلطة للأعاصير المدارية في نصف الكرة الشمالي. أظهرت الملاحظات تغيرًا طفيفًا في التردد الإجمالي للأعاصير المدارية في جميع أنحاء العالم.

خلصت دراسة نشرت في عام 2015م إلى أنه سيكون هناك المزيد من الأعاصير المدارية في مناخ أكثر برودة، وأن نشوء الأعاصير المدارية ممكن مع درجات حرارة سطح البحر أقل من 26 %. ومع ارتفاع درجات حرارة سطح البحر، خاصة في نصف الكرة الجنوبي، بالتزامن مع زيادة مستويات ثاني أكسيد الكربون، فمن المحتمل أن ينخفض تواتر الأعاصير المدارية في المستقبل.

خلص البحث الذي أجراه موراكامي وآخرون. بعد موسم الأعاصير عام 2015م في شرق ووسط المحيط الهادئ حيث حدث عدد قياسي من الأعاصير المدارية وثلاثة أعاصير متزامنة من الفئة 4، إلى أن تأثير الغازات الدفيئة يعزز ارتفاع درجة حرارة المحيط الهادئ شبه الاستوائي والذي يتوقعون أنه سيزيد من تواتر الأعاصير المدارية النشطة للغاية في هذا منطقة.

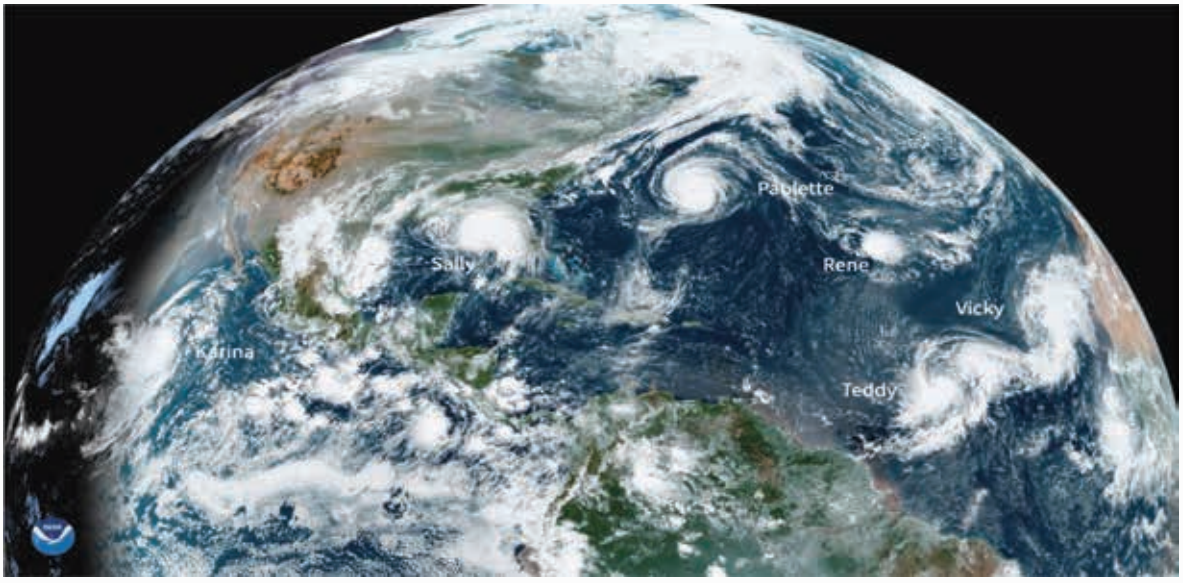
• مسارات العاصفة

لقد كان هناك توسع قطبي في خط العرض الذي تحدث فيه أقصى شدة للأعاصير المدارية، والتي قد تكون مرتبطة بتغير المناخ. وفي شمال المحيط الهادئ، قد يكون هناك أيضًا توسع شرقًا. بين عامي 1949 و2016م، كان هناك تباطؤ في سرعة ترجمة الأعاصير المدارية. ومن غير الواضح بعد إلى أي مدى يمكن أن يعزى ذلك إلى تغير المناخ: فالنماذج المناخية لا تظهر جميعها هذه الميزة.

• العواصف ومخاطر الفيضانات

سيؤدي الارتفاع الإضافي في مستوى سطح البحر إلى زيادة مستويات العواصف. ومن المعقول أن تشهد موجات الرياح الشديدة زيادة نتيجة للتغيرات في الأعاصير المدارية، مما يزيد من تفاقم مخاطر العواصف على المجتمعات الساحلية. بين عامي 1923 و2008م، أظهرت حوادث العواصف على طول ساحل المحيط الأطلسي للولايات المتحدة اتجاها إيجابيا.

نظرت دراسة أجريت عام 2017م في الآثار المركبة الناجمة عن الفيضانات وعرام العواصف والفيضانات الأرضية (الأنهار)، وتوقعت زيادة بسبب تغير المناخ. ومع ذلك، لا يزال العلماء غير متأكدين مما إذا كانت الزيادات الأخيرة في عواصف العواصف هي استجابة لتغير المناخ الناتج عن النشاط البشري.



في صباح يوم 14 سبتمبر 2020، رصد القمر الصناعي GOES-East التابع لـ NOAA ستة أنظمة استوائية نشطة تمتد عبر المحيطين الأطلسي والهادئ. وفقًا للمركز الوطني للأعاصير، كانت هناك 5 عواصف مسماة - بوليت، ورينيه، وسالي، وتيدي، وفيكي - في المحيط الأطلسي. وفي شرق المحيط الهادئ، تثير كارينا المياه. هذه هي المرة الأولى منذ عام 1971 التي تحدث فيها خمس عواصف مسماة، كلها مرة واحدة، في حوض المحيط الأطلسي.

• مخاطر العواصف الاستوائية

هناك العديد من المخاطر المرتبطة بزيادة العواصف الاستوائية، مثل أنها يمكن أن تسبب إصابات أو وفيات بشكل مباشر أو غير مباشر. وكانت الإستراتيجية الأكثر فعالية لإدارة المخاطر هي تطوير أنظمة الإنذار المبكر.

هناك سياسة أخرى من شأنها التخفيف من مخاطر الفيضانات وهي إعادة تشجير المناطق الداخلية من أجل تعزيز تربة المجتمعات والحد من الفيضانات الساحلية. يوصى أيضًا بتجهيز المدارس المحلية والكنائس وغيرها من البنية التحتية المجتمعية بشكل دائم لتصبح ملاجئ للأعاصير.

إن التركيز على تخصيص الموارد من أجل الإغاثة الفورية للمتضررين قد يصرف الانتباه عن الحلول الطويلة الأجل. ويتفاقم هذا الأمر بشكل أكبر في المجتمعات والبلدان ذات الدخل المنخفض حيث أنها تعاني أكثر من غيرها من عواقب الأعاصير المدارية.

العواصف الرعدية

يمكن أن تولد العواصف الشديدة والسحب الترابية والانفجارات البركانية البرق. وبصرف النظر عن الأضرار المرتبطة عادة بالعواصف، مثل الرياح والبرد والفيضانات، فإن البرق نفسه يمكن أن يلحق الضرر بالمباني، ويشعل الحرائق، ويقتل عن طريق الاتصال المباشر.

ومن بين حوادث البرق المميتة على وجه الخصوص، ذلك الذي وقع عام 2007م في أوشاري دارا، وهي قرية جبلية نائية في شمال غرب باكستان، أدى إلى مقتل 30 شخصًا؛ وتحطم طائرة لانسا الرحلة 508 التي أودت بحياة 91

شخصًا؛ وانفجار وقود في درونكا بمصر بسبب البرق عام 1994م والذي أدى إلى مقتل 469 شخصًا.

تحدث معظم الوفيات الناجمة عن البرق في البلدان الفقيرة في الأمريكتين وآسيا، حيث ينتشر البرق، ولا توفر المساكن المبنية من الطوب اللبن سوى القليل من الحماية.

• تشكل العواصف الرعدية

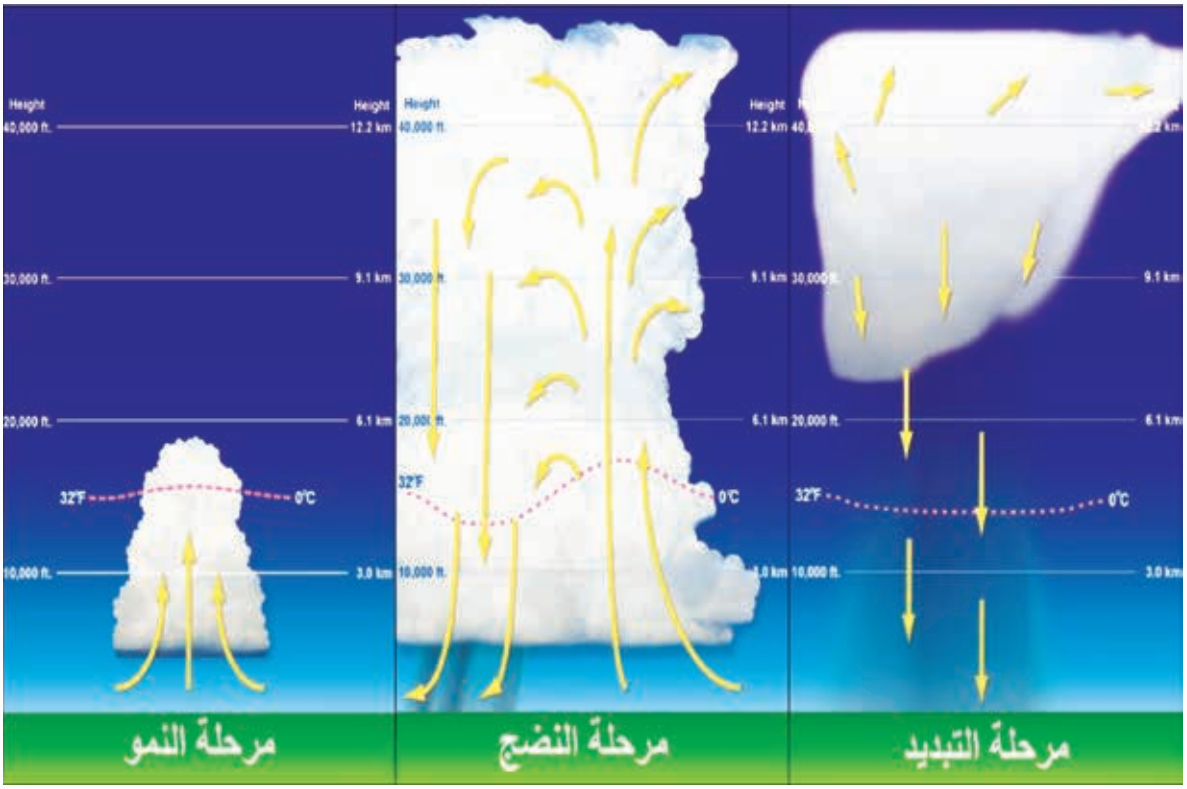
الهواء الدافئ له كثافة أقل من الهواء البارد، لذلك يرتفع الهواء الدافئ إلى أعلى ويستقر الهواء البارد في الأسفل (يمكن رؤية هذا التأثير باستخدام منطاد الهواء الساخن). تتشكل الغيوم على شكل هواء أكثر دفئًا نسبيًا، يحمل الرطوبة، ويرتفع داخل الهواء البارد.

يرتفع الهواء الرطب، وأثناء ذلك يبرد، ويتكثف بعض بخار الماء الموجود في هذا الهواء الصاعد. عندما تتكثف الرطوبة، فإنها تطلق طاقة تعرف باسم حرارة التكثيف الكامنة، والتي تسمح لحزمة الهواء الصاعدة أن تبرد بدرجة أقل من الهواء البارد المحيط بمواصلة صعود السحابة.

إذا كان هناك ما يكفي من عدم الاستقرار في الغلاف الجوي، فستستمر هذه العملية لفترة كافية لتكوين السحب الركامية وإنتاج البرق والرعد. يمكن استخدام مؤشرات الأرصاد الجوية مثل طاقة الحمل الحراري المتاحة (CAPE) والمؤشر المرتفع للمساعدة في تحديد التطور الرأسي التصاعدي المحتمل للسحب. بشكل عام، تتطلب العواصف الرعدية ثلاثة شروط لتشكلها:

- رُطُوبَة.
- كتلة هوائية غير مستقرة
- قوة الرفع (الحرارة).

تمر جميع العواصف الرعدية، بغض النظر عن نوعها، بثلاث مراحل: مرحلة النمو، ومرحلة النضج، ومرحلة التبدد. ويبلغ متوسط حجم العواصف الرعدية 24 كيلومترا. واعتمادًا على الظروف الموجودة في الغلاف الجوي، تستغرق كل مرحلة من هذه المراحل الثلاث في المتوسط 30 دقيقة.



رسم تخطيطي يوضح مراحل تكوّن وتبدد عاصفة رعدية.

• أنواع العواصف الرعدية

هناك أربعة أنواع رئيسية من العواصف الرعدية: أحادية الخلية، ومتعددة الخلايا، وخط العاصفة (وتسمى أيضًا خط متعدد الخلايا) والخلية الفائقة. يعتمد نوع الأشكال على عدم الاستقرار وظروف الرياح النسبية في طبقات مختلفة من الغلاف الجوي («قص الرياح»). تتشكل العواصف الرعدية أحادية الخلية في بيئات ذات قص رياح عمودي منخفض وتستمر لمدة 20–30 دقيقة فقط.

يمكن أن تتمتع العواصف الرعدية المنظمة ومجموعات/خطوط العواصف الرعدية بدورات حياة أطول لأنها تتشكل في بيئات ذات قص رياح عمودي كبير، وعادة ما تزيد سرعتها عن 25 عقدة (13 م/ث) في أقل 6 كيلومترات من طبقة التروبوسفير، مما يساعد على تطوير تيارات صاعدة أقوى. فضلا عن أشكال مختلفة من الطقس القاسي.

تعد الخلية الفائقة أقوى العواصف الرعدية، وترتبط عادةً بتساقط حبات البَرَد الكبيرة والرياح العاتية وتكوين الإعصار. تساعد قيم المياه المتساقطة التي تزيد عن 31.8 ملم في تطوير مجمعات العواصف الرعدية المنظمة.

صورة بطائرة بدون طيار لخلية فائقة من تشامبرلين، داكوتا الجنوبية في 18 يوليو 2023.

عادةً ما تكون قيم المياه المتساقطة في المناطق التي تعاني من هطول أمطار غزيرة أكبر من 36.9 ملم. عادةً ما تكون القيم الأولية لـ CAPE التي تزيد عن 800 جول/كجم مطلوبة لتطوير الحمل الحراري المنظم.

• مخاطر العواصف الرعدية

في كل عام، يُقتل العديد من الأشخاص أو يُصابون بجروح خطيرة بسبب العواصف الرعدية الشديدة على الرغم من التحذير المسبق. في حين أن العواصف الرعدية الشديدة تكون أكثر شيوعًا في فصلي الربيع والصيف، إلا أنها يمكن أن تحدث في أي وقت تقريبًا من العام.

• البرق من السحابة إلى الأرض

يحدث البرق من السحابة إلى الأرض بشكل متكرر ضمن ظواهر العواصف الرعدية وله مخاطر عديدة على المناظر الطبيعية والسكان. واحدة من أهم المخاطر التي يمكن أن يشكلها البرق هي حرائق الغابات التي يمكن أن تشعلها.

في ظل نظام العواصف الرعدية ذات هطول الأمطار المنخفض (LP)، حيث يكون هطول الأمطار قليلًا، لا يمكن لهطول الأمطار منع الحرائق من البدء عندما تكون النباتات جافة حيث ينتج البرق كمية مركزة من الحرارة الشديدة. يحدث الضرر المباشر الناجم عن ضربات البرق في بعض الأحيان. في المناطق ذات التردد العالي للبرق من السحابة إلى الأرض، مثل فلوريدا، يسبب البرق العديد من الوفيات سنويًا، والأكثر شيوعًا للأشخاص الذين يعملون في الخارج.

المطر الحمضي هو أيضًا خطر متكرر ناتج عن البرق. يحتوي الماء المقطر على درجة حموضة محايدة قدرها 7. أما الأمطار «النظيفة» أو غير الملوثة فلها درجة حموضة حمضية قليلاً تبلغ حوالي 5.2، لأن ثاني أكسيد الكربون والماء في الهواء يتفاعلان معًا لتكوين حمض الكربونيك، وهو حمض ضعيف (الرقم الهيدروجيني 5.6 في الماء المقطر). لكن المطر غير الملوث يحتوي أيضًا على مواد كيميائية أخرى.

ضربة عودة، ضربة صاعقة من السحابة إلى الأرض أثناء عاصفة رعدية.

أكسيد النيتريك الموجود أثناء ظاهرة العواصف الرعدية، الناتج عن أكسدة النيتروجين في الغلاف الجوي، يمكن أن يؤدي إلى إنتاج أمطار حمضية، إذا شكل أكسيد النيتريك مركبات مع جزيئات الماء في هطول الأمطار، وبالتالي خلق أمطار حمضية. يمكن أن يؤدي المطر الحمضي إلى إتلاف البنى التحتية التي تحتوي على الكالسيت أو بعض المركبات الكيميائية الصلبة الأخرى. في النظم البيئية، يمكن للأمطار الحمضية أن تذيب الأنسجة النباتية للنباتات وتزيد من عملية التحمض في المسطحات المائية والتربة، مما يؤدي إلى موت الكائنات البحرية والبرية.

• عواصف البَرَد

تنتج عواصف البَرَد عن طريق العواصف الرعدية. ويتراوح قطر حبات البَرَد عادةً بين 5 و150 ملم.

يتشكل البَرَد في السحب الرعدية القوية، خاصة تلك التي تحتوي على تيارات صاعدة شديدة، ومحتوى عالي من الماء السائل، وامتداد عمودي كبير، وقطرات ماء كبيرة، وحيث يكون جزء كبير من الطبقة السحابية أقل من درجة التجمد (0 درجة مئوية). يمكن أن تشير هذه الأنواع من التيارات الصاعدة القوية أيضًا إلى وجود إعصار. يتأثر معدل نمو حبات البرد بعوامل مثل الارتفاع العالي ومناطق التجمد المنخفضة وقص الرياح.

غالبًا ما تظهر سحب البَرَد بلون أخضر مميز.

يمكن أن يسبب البَرَد أضرارًا جسيمة، لا سيما في السيارات والطائرات والمناور والهياكل ذات الأسطح الزجاجية والماشية والمحاصيل الأكثر شيوعًا. غالبًا ما يمر الضرر الذي يلحق بالأسطح دون أن يلاحظه أحد حتى يتم رؤية المزيد من الأضرار الهيكلية، مثل التسربات أو الشقوق. من الصعب التعرف على أضرار البَرَد على الأسطح ذات الألواح الخشبية والأسقف المسطحة، ولكن جميع الأسطح لها مشاكلها الخاصة في اكتشاف أضرار البَرَد. الأسطح المعدنية مقاومة إلى حد ما لأضرار البرد، ولكنها قد تتراكم الأضرار التجميلية في شكل خدوش وطلاءات تالفة.

يمكن أن تكون عواصف البَرَد مدمرة بشكل خاص للحقول الزراعية، حيث تدمر المحاصيل وتتلف المعدات. ضربت عاصفة بَرَد مدمرة بشكل خاص ميونيخ، ألمانيا، في 12 يوليو 1984، مما تسبب في مطالبات تأمينية بقيمة 2 بليون دولار.

عاصفة برد في أبريل 2015 في ماروبرا، سيدني.

يعد البرد أحد أهم مخاطر العواصف الرعدية على الطائرات. عندما يتجاوز قطر حبات البرد (13 ملم)، يمكن أن تتعرض الطائرات لأضرار جسيمة خلال ثوانٍ. كما يمكن أن تشكل حبات البرد المتراكمة على الأرض خطراً على هبوط الطائرات. يعد البَرَد مصدر إزعاج شائع لسائقي السيارات، حيث يؤدي إلى انبعاج السيارة بشدة وتشقق أو حتى تحطيم الزجاج الأمامي والنوافذ ما لم تكن متوقفة في المرآب أو مغطاة بمادة درعية. يعد القمح والذرة وفول الصويا والتبغ من أكثر المحاصيل حساسية للضرر. يعد حائل أحد أغلى المخاطر في كندا.

في حالات نادرة، من المعروف أن حبات البَرَد الضخمة تسبب ارتجاجات أو صدمات قاتلة في الرأس. لقد كانت العواصف الثلجية سببًا لأحداث مكلفة ومميتة عبر التاريخ. وقعت إحدى أقدم الحوادث المعروفة في حوالي القرن التاسع في روبكوند، أوتارانتشال، الهند، حيث يبدو أن ما بين 200 إلى 600 من البدو قد ماتوا متأثرين بجروح ناجمة عن حبات برد بحجم كرات الكريكيت.

التورنـــادو

إعصار التورنادو هو عمود من الهواء يدور بعنف، ملامسًا للأرض، إما معلقًا من سحابة ركامية أو أسفل سحابة ركامية، وغالبًا ما يكون مرئيًا (ولكن ليس دائمًا) على شكل سحابة قمع. لكي يتم تصنيف الدوامة على أنها إعصار، يجب أن تكون على اتصال بالأرض وقاعدة السحابة. لم يتم تعريف المصطلح بدقة. على سبيل المثال، هناك خلاف حول ما إذا كانت عمليات الهبوط المنفصلة لنفس القمع تشكل أعاصيرًا منفصلة. يشير الإعصار إلى دوامة الرياح، وليس سحابة التكثيف.

• الســـحابة القمعيـــة

الإعصار ليس بالضرورة مرئيًا؛ ومع ذلك، فإن الضغط المنخفض الشديد الناجم عن سرعات الرياح العالية (كما هو موضح في مبدأ برنولي) والدوران السريع (بسبب التوازن السيكلوستروفيكي) عادة ما يتسبب في تكثيف بخار الماء في الهواء في قطرات السحب بسبب التبريد الأديباتي. وينتج عن هذا تكوين سحابة قمع مرئية أو قمع تكثيف.

هناك بعض الخلاف حول تعريف سحابة القمع وقمع التكثيف. وفقًا لمسرد الأرصاد الجوية، فإن السحابة القمعية هي أي سحابة دوارة معلقة من الركام

أو المزن الركامي، وبالتالي يتم تضمين معظم الأعاصير تحت هذا التعريف.

من بين العديد من خبراء الأرصاد الجوية، يتم تعريف مصطلح «السحابة القمعية» Funnel Cloud بشكل صارم على أنها سحابة دوارة لا ترتبط برياح قوية على السطح، وقمع التكثيف هو مصطلح واسع لأي سحابة دوارة أسفل سحابة ركامية.

غالبًا ما تبدأ الأعاصير على شكل سحب قمعيّة لا توجد رياح قوية مرتبطة بها على السطح، ولا تتطور جميع السحب القمعية إلى أعاصير. تنتج معظم الأعاصير رياحًا قوية على السطح بينما لا يزال القمع المرئي فوق الأرض، لذلك يصعب تمييز الفرق بين السحابة القمعية والإعصار من مسافة بعيدة.

إعصار حبلي في مرحلته المتبددة، تيكومسيه، أوكلاهوما.

• الانتشـــــــار والعائـــلات

في بعض الأحيان، تنتج عاصفة واحدة أكثر من إعصار واحد، إما في وقت واحد أو على التوالي. يشار إلى الأعاصير المتعددة التي تنتجها نفس خلية العاصفة باسم «عائلة الإعصار». أحيانًا تنتج عدة أعاصير من نفس نظام العواصف واسع النطاق. إذا لم يكن هناك انقطاع في النشاط، فهذا يعتبر اندلاع إعصار (على الرغم من أن مصطلح «تفشي الإعصار» له تعريفات مختلفة). فترة عدة أيام متتالية مع تفشي الإعصار في نفس المنطقة العامة (الناتجة عن أنظمة الطقس المتعددة) هي تسلسل اندلاع الإعصار، يُطلق عليه أحيانًا اندلاع الإعصار الممتد.

• الحجـــــم والشـــــكل

تأخذ معظم الأعاصير شكل قمع ضيق، يبلغ عرضه بضع مئات من الأمتار، مع سحابة صغيرة من الحطام بالقرب من الأرض. قد يتم حجب الأعاصير تمامًا بسبب المطر أو الغبار. تعتبر هذه الأعاصير خطيرة بشكل خاص، حيث قد لا يراها حتى خبراء الأرصاد الجوية ذوي الخبرة.

قد تكون المجاري الأرضية الصغيرة والضعيفة نسبيًا مرئية فقط على شكل دوامة صغيرة من الغبار على الأرض. على الرغم من أن قمع التكثيف قد لا يمتد إلى الأرض، إلا أنه إذا كانت الرياح السطحية المرتبطة به أكبر من 64 كم/ساعة (40 ميلاً في الساعة)، فإن الدورة تعتبر إعصارًا.

يُشار أحيانًا إلى الإعصار ذو الشكل الأسطواني تقريبًا والارتفاع المنخفض نسبيًا باسم إعصار «المدخنة». يمكن للأعاصير الكبيرة التي تظهر على الأقل

بنفس عرض ارتفاعها من السحابة إلى الأرض أن تبدو وكأنها أسافين كبيرة عالقة في الأرض، ومن ثم تُعرف باسم «الأعاصير الإسفينية» أو «الأوتاد».

يتم استخدام تصنيف «الموقد» أيضًا لهذا النوع من الإعصار إذا كان يناسب هذا الملف. يمكن أن يكون الإسفين عريضًا جدًا بحيث يبدو وكأنه كتلة من السحب الداكنة، أوسع من المسافة من قاعدة السحابة إلى الأرض. حتى مراقبي العواصف ذوي الخبرة قد لا يتمكنون من التمييز بين السحابة المنخفضة المعلقة والإعصار الإسفيني من مسافة بعيدة. العديد من الأعاصير الكبرى، ولكن ليس كلها، عبارة عن أسافين.

إعصار إسفيني، يبلغ عرضه حوالي ميل (1.6 كم)، ضرب بينغر، أوكلاهوما، في مايو 1981.

• طـــول المســـــار

في الولايات المتحدة، يسافر الإعصار المتوسط على الأرض لمسافة 5 أميال (8.0 كم). ومع ذلك، فإن الأعاصير قادرة على إحداث مسارات ضرر أقصر وأطول بكثير: تم الإبلاغ عن أن أحد الإعصار له مسار ضرر يبلغ طوله 7 أقدام (2.1 متر) فقط، في حين أن الإعصار الذي يحمل الرقم القياسي لطول المسار – إعصار Tri-State، والذي الأجزاء المتضررة من ميسوري وإلينوي وإنديانا في 18 مارس 1925 – كانت على الأرض بشكل مستمر لمسافة 219 ميلاً (352 كم).

العديد من الأعاصير التي يبدو أن أطوال مساراتها 100 ميل (160 كم) أو أكثر تتكون من عائلة من الأعاصير التي تشكلت في تتابع سريع؛ ومع ذلك، لا يوجد دليل ملموس على حدوث ذلك في حالة إعصار Tri-State Tornado. في الواقع، تشير إعادة التحليل الحديثة للمسار إلى أن الإعصار ربما بدأ على بعد 15 ميلاً (24 كم) غربًا مما كان يُعتقد سابقًا.

• المظهـــــر

يمكن أن يكون للأعاصير مجموعة واسعة من الألوان، اعتمادًا على البيئة التي تتشكل فيها. تلك التي تتشكل في البيئات الجافة يمكن أن تكون غير مرئية تقريبًا، وتتميز فقط بالحطام الدوامي عند قاعدة القمع. يمكن أن تكون مسارات تحويل التكثيف التي تلتقط القليل من الحطام أو لا تلتقطه على الإطلاق، ذات لون رمادي إلى أبيض.

أثناء السفر فوق مسطح مائي (مثل عمود الماء)، يمكن أن تتحول الأعاصير إلى اللون الأبيض أو حتى الأزرق. عادةً ما تكون المسارات البطيئة الحركة،

والتي تستوعب كمية كبيرة من الحطام والأوساخ، أغمق وتأخذ لون الحطام. يمكن أن تتحول الأعاصير في السهول الكبرى إلى اللون الأحمر بسبب اللون المحمر للتربة، ويمكن أن تنتقل الأعاصير في المناطق الجبلية فوق الأراضي المغطاة بالثلوج، وتتحول إلى اللون الأبيض.

تعتبر ظروف الإضاءة عاملاً رئيسياً في ظهور الإعصار. يبدو الإعصار «المضاء من الخلف» (الذي يُرى مع وجود الشمس خلفه) داكنًا جدًا. نفس الإعصار، عند رؤيته مع وجود الشمس خلف الراصد، قد يظهر باللون الرمادي أو الأبيض اللامع. يمكن أن تكون الأعاصير التي تحدث بالقرب من وقت غروب الشمس بألوان مختلفة، حيث تظهر بألوان الأصفر والبرتقالي والوردي.

الغبار الذي تثيره رياح العاصفة الرعدية الأم والأمطار الغزيرة والبرد وظلام الليل كلها عوامل يمكن أن تقلل من رؤية الأعاصير.

تعتبر الأعاصير التي تحدث في هذه الظروف خطيرة بشكل خاص، نظرًا لأن ملاحظات رادار الطقس فقط، أو ربما صوت إعصار يقترب، هي بمثابة تحذير لمن هم في مسار العاصفة. تتشكل معظم الأعاصير المهمة تحت قاعدة التيار الصاعد للعاصفة، وهي خالية من المطر، مما يجعلها مرئية. كما أن معظم الأعاصير تحدث في وقت متأخر بعد الظهر، عندما تتمكن الشمس الساطعة من اختراق حتى السحب الكثيفة.

صورتان لإعصار ووريكا، أوكلاهوما في 30 مايو 1976، التقطها مصوران في الوقت نفسه تقريبًا. في الصورة العلوية، يضاء الإعصار بواسطة ضوء الشمس المركز من خلف الكاميرا، وبالتالي يبدو القمع مزرقًا. وفي الصورة السفلية، حيث تواجه الكاميرا الاتجاه المعاكس، تكون الشمس خلف الإعصار، مما يمنحه مظهرًا مظلمًا.

• دوران الأعاصـــــــير

تـدور الأعاصيـر عـادةً بشـكل إعصـاري (عنـد النظـر إليهـا مـن الأعلـى، يكـون هـذا عكـس اتجـاه عقـارب السـاعة في نصـف الكـرة الشـمالي وباتجـاه عقـارب السـاعة في النصـف الجنوبـي). في حـين أن العواصـف واسـعة النطـاق تـدور دائمًـا بشـكل دوري بسـبب تأثيـر كوريوليـس، فـإن العواصـف الرعديـة والأعاصيـر تكـون صغيـرة جـدًا بحيـث يكـون التأثيـر المباشـر لتأثيـر كوريوليـس ضئيـلًا، كمـا يتضـح مـن أرقـام روسـبي الكبيـرة. تـدور الخلايـا الفائقـة والأعاصيـر بشـكل دوري في عمليـات المحـاكاة العدديـة حتـى عنـد إهمـال تأثيـر كوريوليـس. ترجـع الأعاصيـر المتوسـطة والأعاصيـر ذات المسـتوى المنخفـض إلـى عمليـات معقـدة داخـل الخليـة الفائقـة والبيئـة المحيطـة.

• أضـــــــرار الأعاصـــير

مقيـاس فوجيتـا ومقيـاس فوجيتـا المحسـن معـدل الأعاصيـر حسـب الأضـرار الناجمـة. كان مقيـاس فوجيتـا المحسـن (EF) بمثابـة تحديـث لمقيـاس فوجيتـا الأقدم، مـن خـلال اسـتنباط الخبـراء، باسـتخدام تقديـرات الريـاح الهندسـية وأوصـاف أفضـل للأضـرار.

تم تصميـم مقيـاس EF بحيـث يحصـل الإعصـار المصنـف علـى مقيـاس فوجيتـا علـى نفـس التصنيـف العـددي، وتم تنفيـذه بـدءًا مـن الولايـات المتحـدة في عـام 2007. مـن المحتمـل أن يـؤدي إعصـار EF0 إلـى إتـلاف الأشـجار ولكـن ليـس الهيـاكل الكبيـرة، في حـين أن إعصـار EF5 يمكـن أن يمـزق المبانـي خـارج أساسـاتها ممـا يجعلهـا عاريـة وحتـى تشـوه ناطحـات السـحاب الكبيـرة.

يتراوح مقياس TORRO المماثل من T0 للأعاصير الضعيفة للغاية إلى T11 لأقوى الأعاصير المعروفة. يمكن أيضًا تحليل بيانات رادار الطقس دوبلر والمسح المساحي وأنماط الدوامة الأرضية (العلامات الدائرية) لتحديد الشدة ومنح التصنيف.

تختلف الأعاصير القمعية في شدتها بغض النظر عن الشكل والحجم والموقع، على الرغم من أن الأعاصير القوية عادة ما تكون أكبر من الأعاصير الضعيفة. يختلف أيضًا الارتباط بطول المسار ومدته، على الرغم من أن الأعاصير ذات المسار الأطول تميل إلى أن تكون أقوى. في حالة الأعاصير العنيفة، يكون جزء صغير فقط من المسار ذو شدة عنيفة، ومعظم الشدة الأعلى تأتي من الدوامات الفرعية.

في 20 مايو 2013، اجتاح إعصار كبير من الفئة الأعلى، EF5، مور، أوكلاهوما.

العاصفة الجليدية

هي نوع من العواصف الشتوية التي تتميز بأمطار متجمدة. تُعرّف خدمة الأرصاد الجوية الوطنية الأمريكية العاصفة الجليدية بأنها عاصفة تؤدي إلى تراكم ما لا يقل عن (6.35 ملم) من الجليد على الأسطح المكشوفة.

يبدأ تكوين الجليد بطبقة من الهواء فوق درجة التجمد فوق طبقة من درجات حرارة تحت التجمد الأقرب إلى السطح. يذوب الهطول المتجمد ليتحول إلى مطر أثناء سقوطه في طبقة الهواء الدافئة، ثم يبدأ في التجمد مرة أخرى في الطبقة الباردة الموجودة بالأسفل. إذا تجمد الراسب مرة أخرى وهو لا يزال في الهواء، فسوف يهبط على الأرض على شكل صقيع ثلجي.

تراكم الجليد على فرع بعد عاصفة ثلجية. التقطت هذه الصورة في نيو إيبسويتش بولاية نيو هامبشاير، على قمة جبل برات.

وبدلاً من ذلك، يمكن أن تستمر القطرات السائلة في السقوط دون أن تتجمد، مروراً عبر الهواء البارد الموجود فوق السطح مباشرة. تقوم هذه الطبقة الرقيقة من الهواء بتبريد المطر إلى درجة حرارة أقل من درجة التجمد (0 درجة مئوية).

ومع ذلك، فإن القطرات نفسها لا تتجمد، وهي ظاهرة تسمى التبريد الفائق (أو تشكيل «قطرات فائقة التبريد»). عندما تصطدم القطرات شديدة البرودة بالأرض أو أي شيء آخر تقل درجة حرارته عن 0 درجة مئوية (مثل خطوط الكهرباء وأغصان الأشجار والطائرات)، تتراكم طبقة من الجليد مع تقطر الماء البارد، لتشكل طبقة سميكة ببطء من الجليد، وبالتالي هطول أمطار متجمدة.

في حين أن خبراء الأرصاد الجوية يمكنهم التنبؤ بموعد ومكان حدوث عاصفة ثلجية، إلا أن بعض العواصف لا تزال تحدث دون سابق إنذار أو بدون سابق إنذار. في الولايات المتحدة، تحدث معظم العواصف الجليدية في المنطقة الشمالية الشرقية، لكن العواصف المدمرة حدثت في الجنوب؛ أدت عاصفة جليدية في فبراير 1994 إلى تراكم هائل للجليد جنوبًا حتى المسيسيبي، وتسببت في أضرار تم الإبلاغ عنها في تسع ولايات.

يغطي المطر المتجمد الناتج عن العاصفة الجليدية كل شيء بجليد زجاجي ثقيل وناعم. بالإضافة إلى ظروف القيادة أو المشي الخطرة، قد تتكسر الفروع أو حتى الأشجار بأكملها بسبب ثقل الجليد. يمكن أن تؤدي الفروع المتساقطة إلى سد الطرق وتدمير خطوط الكهرباء والهاتف والتسبب في أضرار أخرى.

حتى بدون سقوط الأشجار وأغصان الأشجار، يمكن لوزن الجليد نفسه أن يقطع خطوط الكهرباء بسهولة ويكسر أيضًا أعمدة الكهرباء/المرافق ويسقطها؛ حتى أبراج الكهرباء ذات الإطارات الفولاذية. وهذا يمكن أن يترك الناس بدون كهرباء في أي مكان من عدة أيام إلى شهر. وفقًا لمعظم خبراء الأرصاد الجوية،

فإن مجرد (6.4 ملم) من تراكم الجليد يمكن أن يضيف حوالي (230 كجم) من الوزن لكل امتداد خطي. الأضرار الناجمة عن العواصف الجليدية قادرة بسهولة على إغلاق مناطق حضرية بأكملها.

الدمار الناجم عن عاصفة جليدية.

بالإضافة إلى ذلك، تسبب انقطاع الطاقة أثناء العواصف الجليدية بشكل غير مباشر في العديد من الأمراض والوفيات بسبب التسمم غير المقصود بأول أكسيد الكربون (CO). عند المستويات المنخفضة، يسبب التسمم بأول أكسيد الكربون أعراضًا مثل الغثيان، والدوخة، والتعب، والصداع، ولكن المستويات المرتفعة يمكن أن تسبب فقدان الوعي، وفشل القلب، والموت.

تحدث نسبة عالية نسبيًا من حالات التسمم بثاني أكسيد الكربون أثناء العواصف الجليدية بسبب استخدام طرق بديلة للتدفئة والطهي أثناء انقطاع التيار الكهربائي لفترات طويلة، وهو أمر شائع بعد العواصف الجليدية الشديدة.

تساهم مولدات الغاز، وحفلات الشواء بالفحم والبروبان، وسخانات الكيروسين في التسمم بأول أكسيد الكربون عندما تعمل في أماكن محصورة. يتم إنتاج ثاني أكسيد الكربون عندما تحرق الأجهزة الوقود دون وجود كمية كافية من الأكسجين، مثل الأقبية والأماكن الداخلية الأخرى.

يمكن أن يؤدي انقطاع الكهرباء أثناء العواصف الجليدية بشكل غير مباشر إلى انخفاض حرارة الجسم ويؤدي إلى الوفاة. كما يمكن أن يؤدي إلى تمزق الأنابيب بسبب تجمد الماء داخل الأنابيب.

الأضرار الناجمة عن العواصف والأعاصير

■ العواصف الرعدية:

قد تصل سرعة الرياح في العواصف الرعدية إلى ما يقرب من 120 كيلومتراً في الساعة. وقد تتسبب في هدم أسقف المنازل ونزع الأشجار من جذورها وقلب المنازل المتنقلة. ونظراً لطبيعة الرياح العنيفة والمتولدة أثناء العواصف الرعدية، فإنها تسمى غالباً ب «الرياح القاتلة».

■ العواصف الترابية:

تتلف العاصفة الترابية أراضي كثيرة وتودي بأرواح كثيرة. فهي تتلف الأراضي ذات المحاصيل الزراعية الصغيرة وتجرف التربة وتتلف العربات والمكائن الزراعية. بمعنى آخر يتهدم الاقتصاد الزراعي حيث أن الفلاحين يجدون القليل فقط لحرثه. بالإضافة إلى ذلك، تقتل العاصفة الترابية الكثير من الأشخاص، وتتلف رئتي الآخرين. أما في الصحراء الرملية، عندما تهب الرياح الجافة الساخنة، يحرك الريح تلال كاملة من الرمال والمسماة بالكثبان

الرملية عبر الصحراء. وقد تسبب الكثبان الرملية هذه قدر كبير من التدمير عندما تتجول في الصحراء. وقد تختفي في بعض الأحيان مدن صحراوية كاملة بفعل الكثبان المتحركة.

■ العواصف الثلجية:

أثناء العاصفة الثلجية، يسقط الثلج على هيئة جزيئات صغيرة من البودرة الدقيقة، فتقل الرؤية إلى عدة أمتار فقط. وتعتبر العواصف الثلجية هي أخطر العواصف الشتوية، حيث تضيع فيها المئات من الأرواح وتتلف الممتلكات، وعندما تضرب العاصفة الثلجية منطقة ما، فإنها تشل مناطق واسعة بالكامل، وتقتل وتعزل الناس في طريقها.

■ الإعاصير الدوامية:

إذا قابل القمع الناتج عن الإعصار الدوامي سطح الأرض، فإنه يشفط أي أشياء إلى أعلى من سيارات أو أشجار أو أشخاص أو حتى منازل صغيرة أو متحركة. وقد يسبب الإعصار الدوامي في بعض الأحيان انفجار المنازل. فعندما يشفط الإعصار الدوامي الهواء إلى أعلى من حول المنزل، يتسبب في انخفاض ضغط الهواء الخارجي لمنزل عن ضغط الهواء بداخله، ومن ثم تدفع قوة الهواء الداخلية حوائط المنزل إلى الخارج مسببة انفجارا قوياً. ويندفع حطام الانفجار بمساعدة الرياح القوية إلى الأمام في الهواء كستار مميت.

والإعصار الدوامي هو أكثر الرياح تدميراً على الأرض، حيث تسبب الرياح الشديدة وضغط الهواء المنخفض خسارة جسيمة. وأساساً يقوم الإعصار الدوامي بمهامه التدميرية من خلال تفاعل الرياح الدائرية القوية والفراغ الجزئي المتولد في مركز المخروط. ويعرف معظم الناس أنه يمكن أن يحدث أي شيء خلال الإعصار الدوامي، ويكسر الأعمدة والأسوار، ويرفع شاحنة من

على الأرض ويرطمها مرة أخرى، وينزع أسقف المنازل ويفجرها بحيث لا يبقى منها شيئاً، وينزع الأشجار من جذورها.

■ البرق والصواعق:

في الجو العاصف، تحتوي جزيئات المطر والثلج داخل السحابة على عدد متساو من الشحنات الموجبة والسالبة. وعندما تهب العاصفة تتلاطم جزيئات المطر والثلج داخل السحابة في بعضها البعض، فتتفرق الشحنات عن بعضها. وتتحرك معظم الشحنات الموجبة إلى أعلى السحابة وتتحرك معظم الشحنات السالبة إلى قاع السحابة.

البرق هو شرارة كهربائية ضخمة في السماء. وتتحدث هذه الشرارة عندما تتقابل الشحنات السالبة في السحب الرعدية مع الشحنات الموجبة في سحابة أخرى. أما إذا قابلت الشحنات الموجبة الصاعدة من الأرض سميت حينئذ ب «الصاعقة» . وتضرب الصاعقة أنحاء المعمورة حوالي مائة مرة كل ثانية.

إذن فالصاعقة هي ضوء فجائي يظهر بالسماء أثناء يوم عاصف. إنها شرارة كهربائية قوية في الهواء. وقد تحرق الحرارة الناتجة عنها الأرض وقد تتسبب في حرق الأشجار والمنازل وقد تقتل الناس. وتنتشر الطاقة الكهربائية المتولدة عنها في الهواء وقد تضر بالطائرات التي تنتقل خلالها، وتسخن هذه الطاقة الهواء إلى درجة تتعدى 33 ألف درجة مئوية أحياناً. وتختلف ومضات الصاعقة في الطول. وقد تصل الومضة بين السحابة والأرض إلى 13 كيلومتراً طولياً، أما الومضة التي تسافر خلال السحب جنباً إلى جنب فقد تصل إلى 140 كيلومتراً طولياً.

الاحتياطات اللازمة للتخفيف من العواصف والأعاصير

- المسح المسبق للمنطقة المحتمل تعرضها وتحديد درجة ومستوى الإعصار ووضع الإمكانات اللازمة لمواجهته.
- تدريب المقاولين والمهندسين لتحسين تطبيق المقاييس الخاصة بالمباني كوضع أربطة حول الأسقف وزيادة درجة مقاومتها.
- تطوير إجراءات التنسيق بإيجاد حلقة اتصال مع المنظمات الدولية والمحلية التي يمكن مساهمتها في مواجهة الحادث.
- اتخاذ تدابير مضاعفة فقد تتعرض المنطقة المتضررة لنقص شديد في المواد الغذائية نتيجة لتلف المحاصيل ومستودعات الأغذية.
- الاستعداد لمواجهة ما قد يلحق بالمنشات والمرافق من تدمير وإصلاح المرافق والاتصالات المعرضة للإعصار .
- تحسين إجراءات الإيواء وتهيئة وتدريب مختصين لمواجهة مثل هذه المواقف.
- أخذ الحيطة بطلب المزيد من الطائرات العمودية للانتقال إلى مناطق انقطعت عنها الطرق وإلى قوارب لتوزيع المواد الغذائية في المناطق البحرية.
- العمل على إصلاح الموانئ والمطارات وجعلها صالحة للاستخدام.
- توفير متطلبات تحذير وإنذار السكان وأجهزة رصد الإعصار.

- أهمية توفير عناصر مدربة على إدارة الكارثة والاحتياط في توفير بدائل المرافق الطبية التي قد تتعرض للدمار.
- رصد حركة الإعصار ومسح المناطق المهددة ووضع الإمكانات اللازمة لمواجهتها.
- عدم مغادرة المنازل والاحتماء بأماكن واقية بعيداً عن سقوط الجدران وعدم السير في المناطق المكشوفة والتعرض لما قد يحمله الإعصار من مواد ومخلفات أثناء العاصفة ما لم تكن هناك تعليمات بالإخلاء.
- إغلاق المناطق البحرية الممتدة على الشواطئ للحد من وقوع فيضانات.
- قفل المولدات والأدوات الكهربائية للحد من وقوع حرائق.
- إزالة جميع المواد المتحركة فوق الأسطح.
- ملاحظة الأخطار المترتبة على سقوط لوحات الإعلانات وسقوط أعمدة نقل شبكة الكهرباء.

تلوث الهواء وطبقة الأوزون

يقصد بتلوث الهواء انطلاق الغازات المختلفة، والمواد الصلبة الدقيقة، والسوائل المتناثرة إلى الغلاف الجوي بمعدلات عالية تتجاوز قدرة البيئة على تبديدها، أو تخفيفها أو امتصاصها، وقد تسبب تراكيز هذه المواد في الهواء العديد من المشاكل الصحية، والاقتصادية، وبعض المشاكل الجمالية غير المرغوب فيها. إنّ ظاهرة تلوث الهواء ليست جديدة، إذ إنّها تعود إلى العصور الوسطى، كمّا أنّ تلوث الهواء قد تسبّب في حصول العديد من الحوادث المأساوية في الآونة الأخيرة

إن تلوث الهواء الخارجي هو إحدى أكبر مشاكل الصحة البيئية التي يتضرر منها جميع سكان البلدان المنخفضة الدخل والمتوسطة الدخل والمرتفعة الدخل.

وتشير تقديرات عام 2019م إلى أن تلوث الهواء المحيط (الهواء الخارجي) في المدن والمناطق الريفية، على السواء، يتسبب في وقوع نحو 4,2 ملايين وفاة مبكرة سنوياً في العالم؛ وتُعزى هذه الوفيات إلى التعرض للمواد الجسيمية الصغيرة التي تسبب الإصابة بالأمراض القلبية الوعائية وأمراض الجهاز التنفسي وأنواع السرطان.

وتشير تقديرات منظمة الصحة العالمية (المنظمة) إلى أن نسبة تقرب من 37 % من حالات الوفاة المبكّرة الناجمة عن تلوث الهواء الخارجي عُزيت في عام 2019م إلى الإصابة بمرض القلب الإقفاري والسكتة الدماغية، وأن نسبة 18 % ونسبة 23 % من هذه الوفيات عُزيت إلى الإصابة بمرض الرئة الانسدادي المزمن وعدوى الجهاز التنفسي السفلي الحادة، على التوالي، وأن سرطان الجهاز التنفسي تَسبب في وقوع 11 % منها.

ويتعرض سكان البلدان المنخفضة والمتوسطة الدخل، على نحو غير متناسب، للعبء الناجم عن تلوث الهواء الخارجي، إذ تحدث نسبة 89 % (من أصل 4,2 ملايين حالة وفاة مبكرة) في هذه المناطق. ويوجد العبء الأكبر في إقليمي المنظمة لجنوب شرق آسيا وغرب المحيط الهادئ. وتعكس التقديرات الأخيرة لهذا العبء الدور الكبير الذي يؤديه تلوث الهواء في الإصابة بالاعتلالات القلبية الوعائية والوفاة.

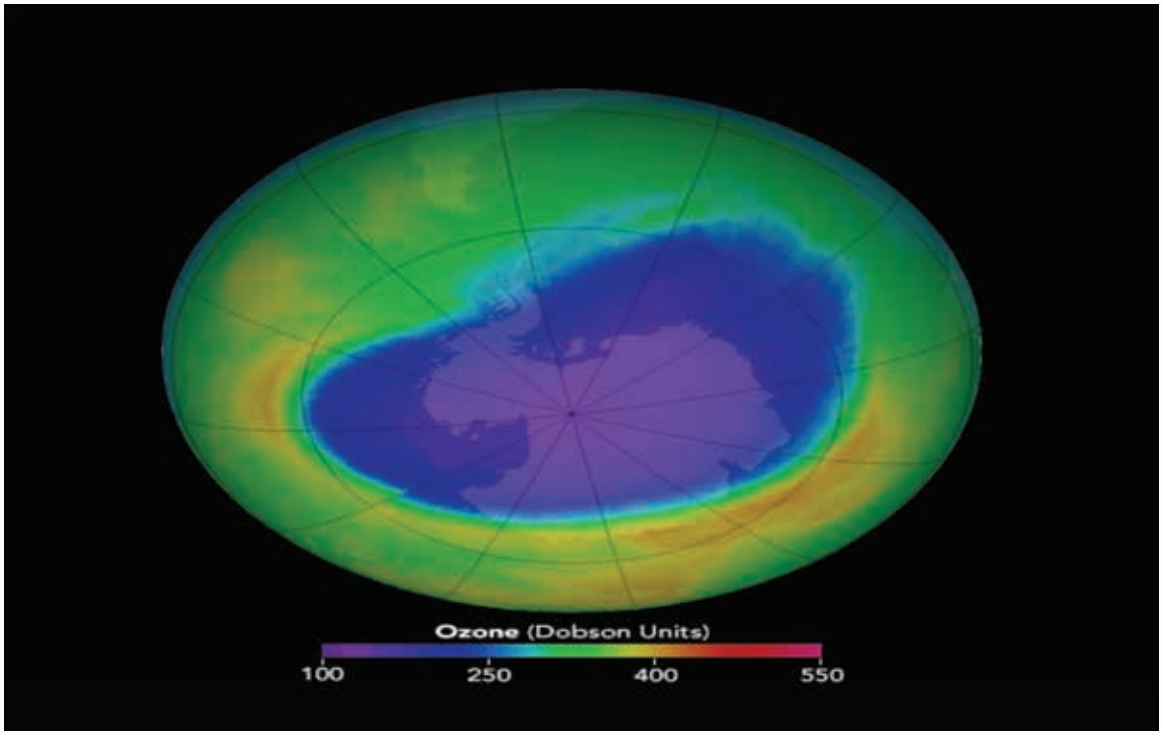
المصادر الطبيعية لتلوث الهواء

قد يحتوي الهواء الجوي على بعض الجزيئات الدقيقة العالقة الناتجة من المصادر الطبيعية ومنها:

- الغبار الموجود على سطح الكرة الأرضية كالغبار وحبوب اللقاح، والأبواغ التي تحملها الرياح.
- الجسيمات العالقة في هواء الغلاف الجويّ الناتجة عن عمليات التعرية بواسطة الرياح.
- أملاح البحار الموجود في المناطق الساحلية. بقايا الكائنات الحيوانية والنباتية.
- المواد الدقيقة التي تنتج بكميات كبيرة من حرائق الغابات التي تحدّث في المناطق الريفية بشكل دوريّ، وتطلق بكميات كبيرة إلى الجو.
- كميات كبيرة من أكاسيد النيتروجين (NOx) التي تنتجها الصواعق وكبريتيد الهيدروجين (H2S) التي تطلق من الطحالب على سطح المحيطات وغاز الميثان (CH4) الذي يُساهم في اطلاقه البيئات الرطبة.
- الانبعاثات البركانيّة التي تُطلّق كميات كبيرة من الغازات والجزئيات الضارة إلى الغلاف الجوي؛ ومن الأمثلة عليها ما يأتي: بركان إنتا (Enta)، حيث يبعث هذا البركان حوالي 3000 طن من غاز ثاني أكسيد الكبريت (SO_2) يومياً، وقد تزداد هذه الانبعاثات إلى ما يصل تقريباً 10000 طن في أوقات النشاط الكبير للبركان. بركان تامبورا (بالإنجليزية: Tambora)، والذي حدث في عام 1815م في أندونيسيا، حيثُ قام بقذف 100 مليار طن من الملوثات في الهواء، ووصل حوالي 300 مليون طن منها إلى طبقة الستراتوسفير، ما أدّى إلى انخفاض متوسط درجات الحرارة إلى ما يُقارب 0.7° درجة مئوية في جميع أنحاء الكرة الأرضية.

يعتبر تلوث طبقة الأوزون وثقب الأوزون من القضايا المهمة في عصرنا الحالي، إذ يعد من المشاكل الضخمة التي يسعى العالم لتقليلها والحد منها. طبقة الأوزون ويطلق عليها البعض اسم غلاف الأوزون، وهي جزءٌ من الغلاف الجوي الموجود في أعلى الكرة الأرضية، وتشكل المنطقة المحصورة بين ارتفاع 15 و 35 كيلومترًا فوق سطح الأرض، وتتكون بصورة رئيسية من جزيئات الأوزون (O_3)، وأهم وظائفها أهنا تمنع بعض الأشعة الضارة من الدخول إلى سطح الأرض، كالأشعة فوق البنفسجية

هناك العديد من المخاطر الناجمة عن تلوث الهواء فهو يؤثر على صحة الإنسان والبيئة أيضًا، إلا أن هناك بعض المخاطر المترتبة على تلوث طبقة الأوزون بملوثات الهواء، ويعد ثقب الأوزون أبرز هذه المخاطر والتابعيات فيمكن بدوره أن يسبب العديد من المخاطر.



تأثير تلوث الهواء على طبقة الأوزون

أنـــــواع ملوثـــات الهـــواء

يمكن تقسيم انبعاثات ملوثات الهواء من الأنشطة البشرية إلى فئات أولية وثانوية. ملوثات الهواء الأولية هي تلك التي تدخل مباشرة إلى الغلاف الجوي، بينما تتشكل ملوثات الهواء الثانوية عن طريق تفاعلات كيميائية مع مواد أخرى في الغلاف الجوي.

يمكن تصنيف تلوث الهواء إلى خمسة أنواع:

1. **تلوث الهواء بالجسيمات:** الهباء الجوي الأولي والثانوي.
2. **تلوث الهواء الغازي:** الغازات الأولية والثانوية المتضمنة في الضباب الدخاني الكيميائي الضوئي، والترسب الحمضي، واستنفاد طبقة الأوزون، وتغير المناخ العالمي.
3. **الأوزون التروبوسفيري وغيره من المؤكسدات الكيميائية الضوئية:** ملوثات الهواء الثانوية، مثل: (نترات البيروكسي أسيل (PANs) ، وحمض النيتريك (HNO3) ، والفورمالديهايد، والألدهيدات الأخرى).
4. **التلوث الإشعاعي والسام:** أول أكسيد الكربون (CO)، الرادون المشع، (مثل (الرادون)، الألياف، مثل (الأسبستوس)، تتبع المواد العضوية، مثل (متعدد الكلور ثنائي بنزو الديوكسينات والفوران)، ومعادن ثقيلة مختارة، مثل (البريليوم والكادميوم والزئبق).
5. **التلوث الحراري والضوضائي:** جزر الحرارة الحضرية والأصوات العالية أو عالية النبرة.

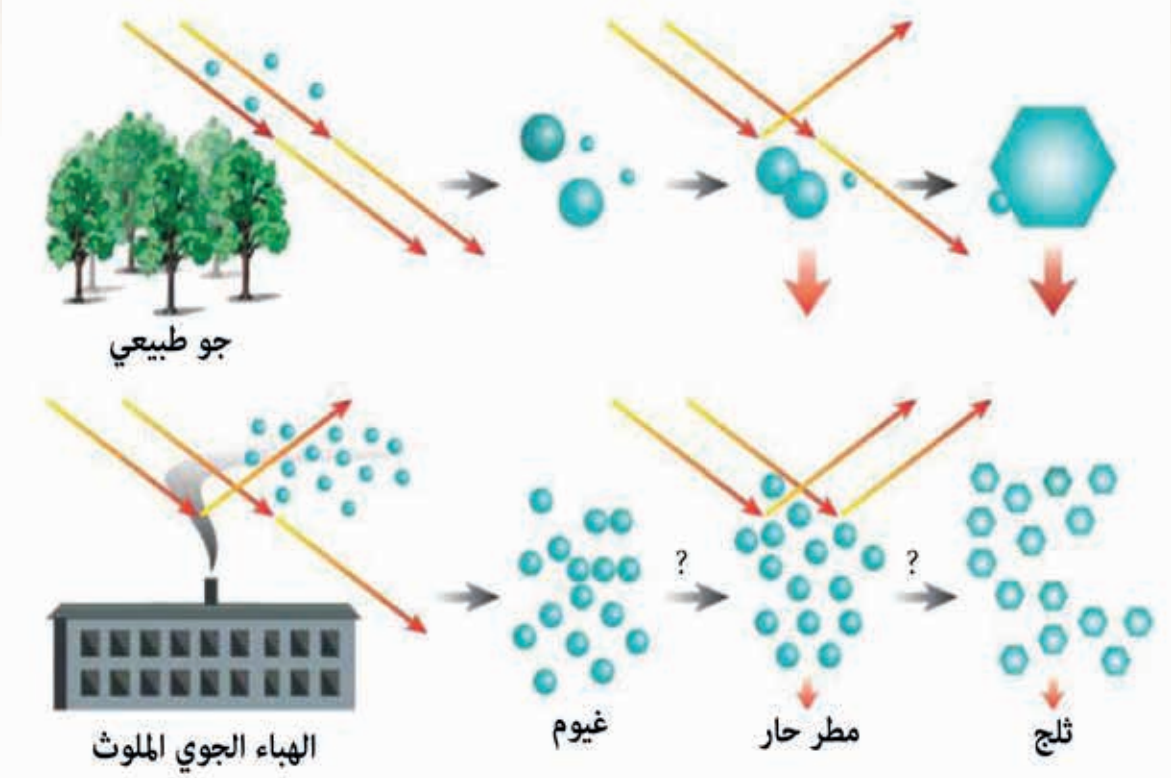
الهباء الجوي (الجسيمات) عبارة عن خليط كيميائي معقد من الجسيمات الصلبة والسائلة المعلقة في الغلاف الجوي، التي يمكن إنتاجها بوساطة آليتين متميزتين:

1. عن طريق الحقن المباشر للجسيمات في الغلاف الجوي (الهباء الجوي الأولي).

2. بوساطة تحويل السلائف الغازية أو (المركب الطليعي Precursor في الكيمياء، هي مركبات كيميائية تشارك في التفاعل الكيميائي لتكوين مركب آخر) إلى جسيمات سائلة أو صلبة (ضباء ثانوي).

وتشمل مصادر الهباء الطبيعية والبشرية المنشأ الغبار، وملح البحر، والثوران البركاني، واحتراق الوقود الأحفوري، وحرق الكتلة الحيوية، والنترات، والكبريتات. للأيروسولات تأثير تبريد في النظام المناخي العالمي بشكل مباشر عن طريق التشتت الخلفي للإشعاع الشمسي الوارد (الطول الموجي القصير) وبشكل غير مباشر من خلال العمل كنواة لتكوين قطرات السحب وتعزيز بياض الغيوم (الانعكاسية).

كما أن للهباء الجوي، مثل: (ملح البحر، وغبار الصحراء) تأثيراً احترارياً طفيفاً نسبيّاً عن طريق حبس الإشعاع الأرضي الخارج (طويل الموجة). يضعف الهباء الجوي الرؤية عن طريق تشتت الضوء ويسبب الضباب. تشير الدلائل المستمدة من بيانات الأقمار الصناعية إلى أن انبعاثات الهباء الجوي من الأنشطة الحضرية والصناعية تمنع هطول الأمطار وتساقط الثلوج بسبب قمع اندماج القطيرات وتساقط الجليد في السحب الملوثة بالهباء الجوي.



تلوث السحب بانبعاثات الهباء الجوي.

تؤثر السحب الملوثة سلباً في الدورة الهيدرولوجية، وبالتالي على الدورات الغازية والرسوبية والإنتاجية البيولوجية للكائنات على المستويات المحلية والإقليمية والعالمية.

لا يشمل ترسب الغلاف الجوي الأحماض (المحولة من الكبريت وأكاسيد النيتروجين) فحسب، بل يشمل أيضاً الفلزات العضوية والمعادن والملوثات العضوية التي، كما سنجد، تسبب تحمض المياه والتربة وموت الأشجار وفقدان التنوع البيولوجي واستقرار النظام البيئي.

جنباً إلى جنبٍ مع الملوثات التي نوقشت سابقاً، يجب علينا أيضاً النظر في دور الأوزون. يمكن أن يحدث الأوزون (O3) في الغلاف الجوي العلوي (الستراتوسفير)،

حيث يحمي الحياة على الأرض من أشعة الشمس فوق البنفسجية الضارة (UV-B)، وفي الغلاف الجوي السفلي (الجزء السفلي من الغلاف الجوي أو التروبوسفير) عن طريق تفاعل كيميائي بين أكاسيد النيتروجين (NOx) والمركبات العضوية المتطايرة (VOCs) في وجود ضوء الشمس.

تعد عوادم السيارات والانبعاثات الصناعية وأبخرة البنزين والمذيبات الكيميائية من المصادر الرئيسية لأكاسيد النيتروجين والمركبات العضوية المتطايرة، والمعروفة باسم سلائف الأوزون. يجري تسهيل تكوين التركيزات الضارة من الأوزون التروبوسفيري من خلال ضوء الشمس القوي والطقس الحار ويؤدي إلى تدهور جودة الهواء وصحة الإنسان والغطاء النباتي والعديد من المواد الشائعة. كلما زاد تركيزه في منطقة التروبوسفير، زاد تأثيره الضار في العديد من العمليات الفسيولوجية للحيوانات والنباتات والبشر.

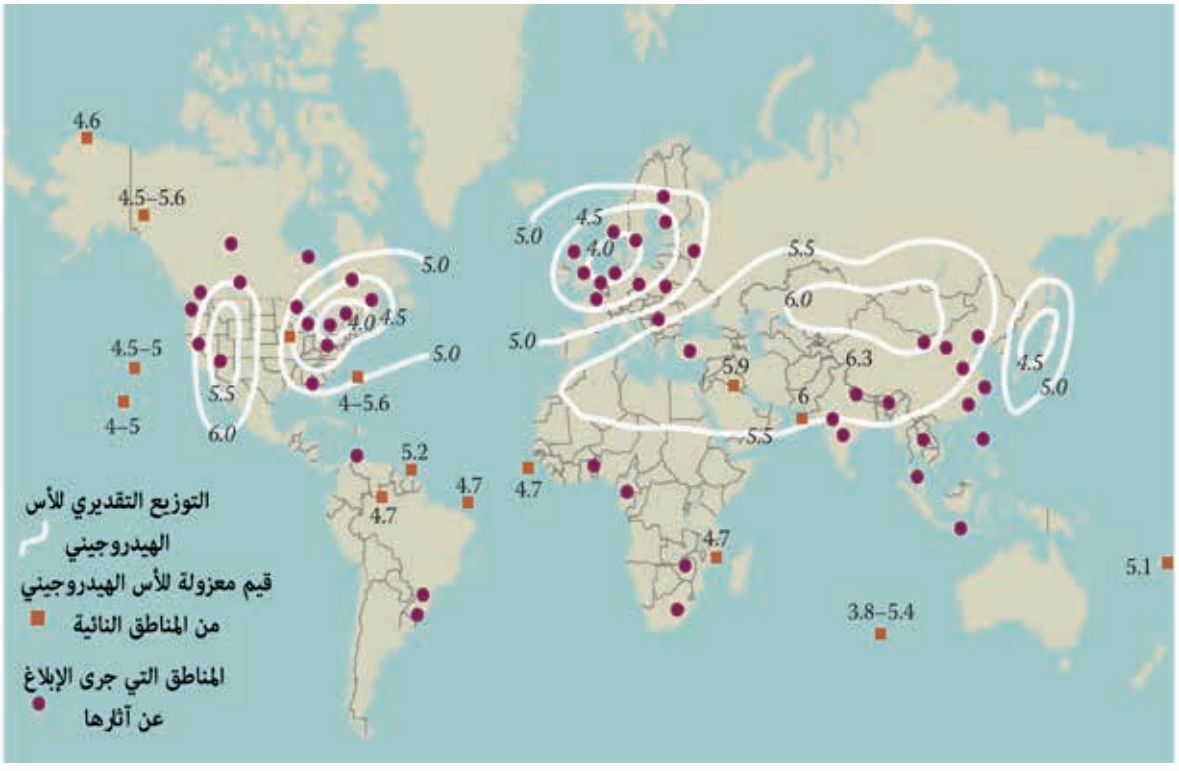
• تحـــولات ملوثـــات الهـــواء

على الصعيد العالمي، تحشد الأنشطة البشرية الحالية نحو 150 تيراغرام من النيتروجين و150 تيراغرام من الكبريت سنوياً. كمثال توضيحي، في عام 1997، عطلت إضافات النيتروجين التي يسببها الإنسان دورة النيتروجين من خلال سماد N (الذي أضاف 80 تيراغرام نتروجين)، واحتراق الوقود الأحفوري (30 تيراغرام نتروجين)، وزراعة البقوليات والأرز (40 تيراغرام نتروجين).

يترسب بين 20 و 80 % من إجمالي انبعاثات النيتروجين البشرية المنشأ في المحيطات والأراضي، على التوالي. يأتي نحو نصف الكبريت الذي يحركه الإنسان من احتراق الوقود الأحفوري وأنشطة التعدين، ويأتي الباقي من الأسمدة الكبريتية وتربية الحيوانات والأراضي الرطبة. وبالتالي، فإن أكسدة

انبعاثات أكاسيد الكبريت وأكاسيد النيتروجين وأكسيد النيتروجين إلى أحماض النيتريك والكبريتيك تزيد من حموضة الترسيب الطبيعي.

يحوي الترسيب بشكل طبيعي على درجة الحموضة PH حمضية تبلغ 5.6 تقريباً لأنه في حالة توازن مع ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي، والذي يشكل H2CO3 (حمض الكربونيك) عند دمجه مع الماء. لذلك، فإن أي أس هيدروجيني أقل من 5.6 يرجع إلى أحماض أخرى. في حالة عدم وجود أنشطة بشرية، فإن التثبيت البيولوجي للنيتروجين والبرق يوجدان النتروجين N تفاعليّاً من N2 في الغلاف الجوي، في حين أن التجوية المعدنية والانفجارات البركانية تخلق تفاعليّاً الكبريت S.



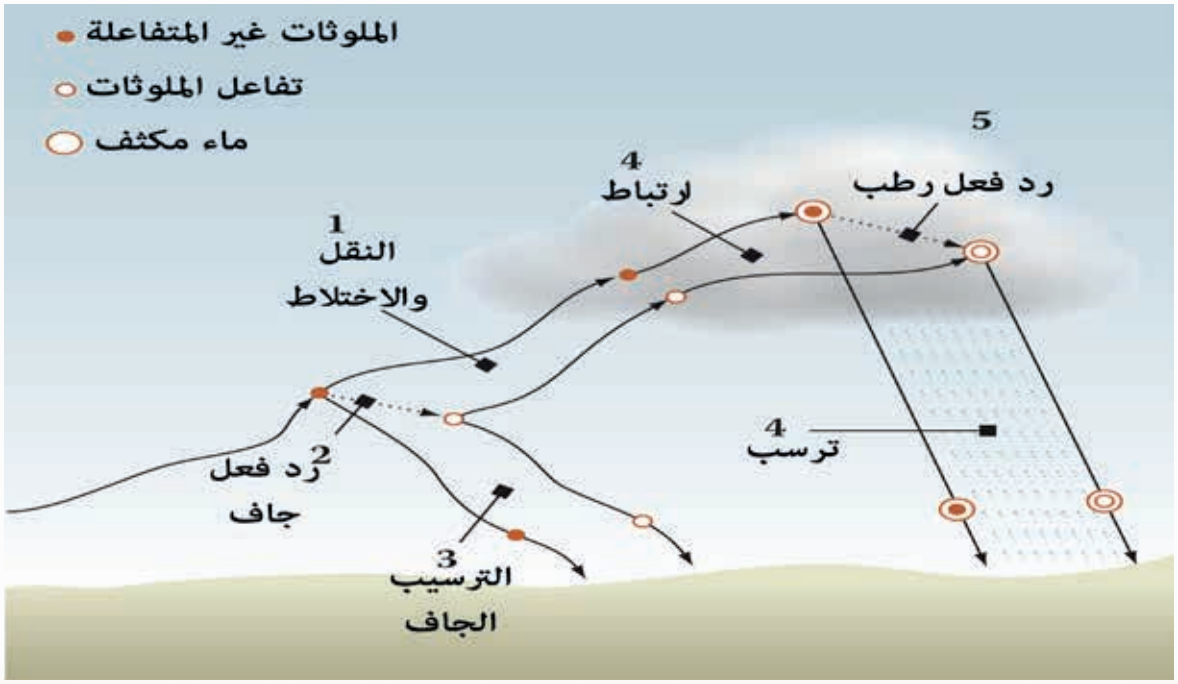
الأنماط العالمية لمتوسط قيم الأس الهيدروجيني للمطر.

• طرائـــق تشـــكل ملوثـــات الهـــواء

عندما تتولد هذه الملوثات، فإنها ترتفع إلى الغلاف الجوي ويتم نقلها في الوقت نفسه عالميّاً وكذلك تتحول كيميائيّاً. سيحدد الارتفاع الذي يتم عنده تصريف الملوثات في الغلاف الجوي إلى أي مدى سيُنقل.

أدى ازدياد ارتفاع محطة توليد الكهرباء وغيرها من مداخن الغاز الصناعية إلى تصريف ملوثات الهواء في الغلاف الجوي على ارتفاعات أكبر من الأرض، مما أدى إلى تجنيب الآثار المحلية مع ضمان الانتقال بعيد المدى. بدوره، يعتمد النقل بعيد المدى بشكل كبير على أنماط تدفق الهواء (سرعة الرياح) واتجاهه السائد.

تحدد طبيعة وتركيز الملوث تفاعله الكيميائي مع المكونات الأخرى للغلاف الجوي مثل ارتباطه ببخار الماء في الغلاف الجوي، والسرعة التي تحدث بها هذه التفاعلات، وأنواع المركبات الناتجة.



ممـــرات الغـــلاف الجـــوي التي تؤدي إلى ترســـب الحمـــض.

تعتبر ظروف الأرصاد الجوية، مثل: (الرطوبة النسبية والغطاء السحابي وشدة الإشعاع الشمسي) مُهمَّة جدّاً أيضاً. يُطلق على ارتباط الملوثات بالمياه في الغلاف الجوي (إزالة الترسبات)، وهي عملية مركبة تتضمن أربع خطوات:

أولاً: يجب أن يختلط الملوث والماء في الغلاف الجوي (سحابة أو مطر أو ثلج) داخل المجال الجوي نفسه.

ثانياً: يجب أن يلتصق الملوث بجزيء الماء المكثف.

ثالثاً: قد يتفاعل الملوث فيزيائيّاً و / أو كيميائيّاً داخل الطور المائي.

رابعاً: عناصر المياه المحملة بالملوثات يجب أن تصل إلى سطح الأرض عن طريق الترسيب.

مثلاً، جرى تحديد عدد من المسارات التي يجري من خلالها تكوين أحماض الكبريتيك (H_2SO_4) والنتريك (HNO_3). تختلف معدلات تفاعل أكسدة ثاني أكسيد الكبريت وأكسيد النيتروجين بشكل كبير في مراحل الغاز والسائل المتجانسة، من قليل إلى 20-30 % في الساعة في الطور الغازي إلى 100 % في الماء.

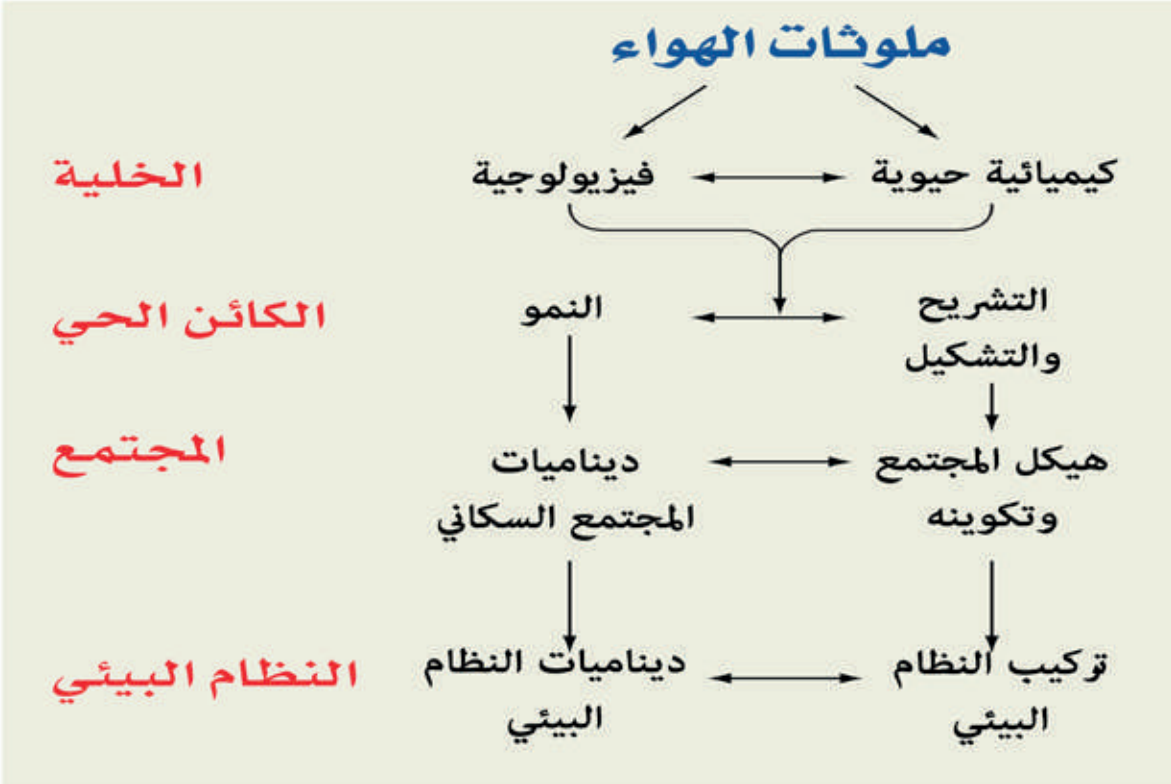
تشمل الأنواع المرتبطة بتكوين الحمض القاعدي Cl ، NH_3 ، HNO_3 ، SO_3 ، SO_2، والأيونات المعدنية. أكسيد النيتروز (N_2O) خامل نسبيّاً في طبقة التروبوسفير، لذلك لا يترسب بسهولة على الأرض من الغلاف الجوي، ولكن العكس هو الصحيح بالنسبة لأكاسيد النيتروجين (NO وNO_2). إن العمر القصير لأكاسيد النيتروجين في الغلاف الجوي وعدم وجود دليل على أنه يتراكم في الغلاف الجوي يفرضان التوازن بين مصادر وأحواض أكاسيد النيتروجين السطحية.

مع أنّ أكسيد النيتروجين المنبعث من التربة لا يترسب بسهولة في هطول الأمطار، فإن أول منتج من الأكسدة الكيميائية الضوئية في طبقة التروبوسفير NO_2، يمتص بقوة من قِبل كل من التربة والنباتات. بعد مزيد من الأكسدة، يترسب HNO_3 الناتج بكفاءة عالية على جميع الأسطح تقريباً.

• معاييـــــر جـــــودة الهـــــواء

وضعت وكالة حماية البيئة الأمريكية معايير جودة الهواء الوطنية لستة ملوثات رئيسية هي: أول أكسيد الكربون (CO)، والرصاص (Pb)، والجسيمات (PM)، وثاني أكسيد النيتروجين (NO2)، وثاني أكسيد الكبريت (SO2) والأوزون (O3). أظهر أحدث مخزون من المواد السامة لوكالة حماية البيئة (1998) أن الشركات الأمريكية أبلغت عن إطلاق 544.3 ألف طن من المواد الكيميائية في الهواء والماء، منها 514.2 ألف طن أُطلقت مباشرة في الهواء. من هذه المواد الكيميائية، 53 % معروفة أو مشتبه بها سموم عصبية أو نمائية. ويشير التقرير كذلك إلى أنه نظراً لأن الشركات الكيماوية أبلغت عن 5 % فقط من إجمالي الإطلاقات الكيميائية، فإن إجمالي الإطلاق المقدر قد يصل إلى 10.8 مليون طن.

تؤثر معايير ملوثات الهواء في علم وظائف الأعضاء والكيمياء الحيوية للخلايا ونموها وتشريحها وتشكلها، وبالتالي على هيكل ووظيفة وديناميكيات المجتمعات والنظم البيئية. مثلاً: الأوزون الموجود في طبقة التروبوسفير، لا سيَّما في منطقة التلامس بين الأرض والجو، لا ينبعث مباشرة في الهواء، بل يتشكل كمؤكسد كيميائي ضوئي قوي عن طريق تفاعل المركبات العضوية المتطايرة وأكاسيد النيتروجين في وجود الحرارة وأشعة الشمس.



تأثيرات ملوثات الهواء على المستويات البيئية المختلفة.

كلما زاد تركيزه في هذه المنطقة، زاد تأثيره في العديد من العمليات الفسيولوجية للحيوانات والنباتات والبشر. جرى ربط التعرض قصير المدى (1-3 ساعات) والمطول (6-8 ساعات) للأوزون المحيط بعدد من الآثار الصحية المثيرة للقلق، مثل: (عدوى الجهاز التنفسي، والتهاب الرئة، والربو، وألم الصدر، والسعال).

أظهر مستوى الأوزون المرتفع بشكل تجريبي أنه يقلل من التمثيل الضوئي، ونضج المحاصيل، وإنتاج المادة الجافة والغلة وزيادة قابلية النبات للإصابة بالأمراض والآفات والضغوط البيئية الأخرى. أظهرت الأنواع النباتية الحسَّاسة للأوزون تأثيرات أكبر: انخفاض ناقلية الأوراق، ومساحة الأوراق، وكفاءة استخدام المياه.

معايير الملوثات المتبقية لها تأثيرات متنوعة على البشر. يدخل أول أكسيد الكربون إلى مجرى الدم من خلال الرئتين ويقلل من توصيل الأكسجين إلى أعضاء وأنسجة الجسم، ويمكن أن يكون ساماً عند التعرض لمستويات أعلى.

ضعف البصر، وانخفاض القدرة على العمل، وانخفاض البراعة اليدوية، وضعف القدرة على التعلم، وصعوبة أداء المهام المعقدة كلها مرتبطة بالتعرض لمستويات مرتفعة من ثاني أكسيد الكربون. يحدث التعرض للرصاص بشكل رئيسي من خلال استنشاق الهواء وابتلاع الرصاص في الطعام أو الماء أو التربة أو الغبار. يتراكم في الدم والعظام والأنسجة الرخوة، مما يؤثر سلباً في الكلى والكبد والجهاز العصبي والأعضاء الأخرى. يمكن أيضاً أن يترسب الرصاص على أوراق النباتات، مما يشكل خطراً على حيوانات الرعي.

قد يؤدي التعرض لثاني أكسيد النيتروجين وثاني أكسيد الكبريت إلى زيادة أمراض الجهاز التنفسي والتغيرات في دفاعات الرئتين وقابلية الإصابة بعدوى الجهاز التنفسي. يمكن أن يؤدي التحول الجوي لأكاسيد النيتروجين إلى تكوين الأوزون والجسيمات الحاملة للنيتروجين، مما يؤدي إلى تفاقم الآثار الصحية الضارة. تشتمل المواد الجسيمية المستنشقة على كل من الجسيمات الدقيقة والخشنة؛ يرتبط التعرض للجسيمات الخشنة بشكل أساسي بتفاقم أمراض الجهاز التنفسي مثل الربو.

يرتبط التعرض للجسيمات الدقيقة ارتباطاً وثيقاً بزيادة حالات الدخول إلى المستشفى وزيارات غرفة الطوارئ لأمراض القلب والرئة، وزيادة أعراض وأمراض الجهاز التنفسي، وانخفاض وظائف الرئة، وحتى الموت المبكر. بالإضافة إلى المشكلات الصحية، فإن الجسيمات الدقيقة هي السبب الرئيسي لانخفاض الرؤية في المناطق الحضرية ويمكن أن تتسبب أيضًا في تلف الدهانات ومواد البناء.

• طبيعـــة الترســـيب الجـــوي

لقد ثبت بشكل قاطع أن بعض الملوثات التي نوقشت سابقاً تزيد من حموضة المطر (أي تقلل من قيمة الرقم الهيدروجيني). مع أنّ أهمية ترسب الحمض لم تتحقق إلا في الأربعين سنة الماضية أو نحو ذلك، فإن التعرف على مثل هذه المشكلات أقدم بكثير. فقد أُبلغ عن المعرفة العلمية للتحمض منذ منتصف القرن الثامن عشر وعلى وجه التحديد منذ عام 1845.

جرى التعرف على أن هذه الملوثات قد تختلط بالمطر، وتغير تركيبته الكيميائية، وتصل إلى الأرض في عام 1852 من قِبل الكيميائي الإنجليزي روبرت أنجوس سميث، الذي كان أول من استخدم مصطلح (المطر الحمضي Acid Rain).

عندما كان يُعتقد أن ملوثات الغلاف الجوي تصل إلى الأرض فقط عندما تختلط بالماء، كان المصطلح المستخدم على نطاق واسع هو المطر الحمضي. ومع ذلك، فإن الثلج والبرد يعملان أيضاً كناقلات للملوثات إلى الأرض؛ لذا فإن المصطلح الأفضل هو الترسيب الحمضي.

علاوة على ذلك، أظهرت الأبحاث أن الملوثات تستقر أيضاً في أشكال جافة على أسطح المباني والحيوانات والنباتات. قد يتراوح جزء الترسيب الجاف من 20 إلى 60 % من إجمالي الترسيب في الغلاف الجوي.

وهكذا، أدخل المصطلح المفضل الحالي، ترسب الغلاف الجوي، ليعكس مزيج الترسب الرطب (المطر والثلج وقطرات الضباب - السقوط الرطب) والترسب الجاف (الغبار والهباء الجوي والغازات - السقوط الجاف). تتفاعل الانبعاثات الناتجة عن حرق الوقود الأحفوري ومحطات المرافق الكهربائية ونقل أكاسيد النيتروجين والكبريت في الغلاف الجوي مع الماء والأكسجين والمواد المؤكسدة لتكوين مركبات حمضية (ثانوية) تزيد من حمضية الترسيب.

يؤثر ترسب الغلاف الجوي في الكائنات الحية والأجسام التي من صنع الإنسان بطرق متعددة. لتقييم آثار الترسب الحمضي ونوعية الهواء على الصحة العامة وصحة النظام البيئي، يجب إجراء قوائم جرد لانبعاثات التغييرات بمرور الوقت والمكان في التركيب الكيميائي للهطول والهواء.

جرى إنشاء البرنامج الوطني لترسب الغلاف الجوي / شبكة الاتجاهات الوطنية (1977) (NADP / NTN) وشبكة حالة واتجاهات الهواء النظيف (1987) (CASTNET) في الولايات المتحدة لمراقبة الترسبات الجوية الرطبة والجافة. تظهر مقارنة انبعاثات ستة ملوثات رئيسية انخفاضًا ملحوظاً وكبيراً في مستوياتها من 1980 إلى 2006. توضح مسارات النيتروجين في الغلاف الجوي الخطوات العديدة المتضمنة من المصدر إلى التأثيرات.

الريـــــاح والغبـــار

مُقَدِّمَة

تُمثل الحركة الطبيعية لدوران الهواء في الجو، ويلعب اختلاف الضغط الجوي دوراً هاماً في هبوب الرياح، حيث ينتقل الهواء من مناطق الضغط العالي إلى مناطق الضغط المنخفض. وتعد درجة الحرارة أهم العوامل المؤثرة في الضغط الجوي فإذا ارتفعت تمدد الهواء ومن ثم انخفض ضغطه، وبالعكس. حيث ينخفض ضغط الهواء على اليابس في النهار صيفا وعلى الماء في الليل شتاءً ويقابل ذلك ارتفاع في ضغط الهواء على اليابس في فصل الشتاء وانخفاض على الماء.

ويسبب اختلاف درجة حرارة الهواء فوق سطح الأرض تكوين مناطق ذات تيارات هوائية صاعدة في مناطق الضغط المنخفض ومناطق ذات تيارات هوائية هابطة في مناطق الضغط المرتفع ومن ثم تنشأ الدورة العامة للرياح حيث تهب من ناطق الضغط المرتفع (درجة حرارة منخفضة) الى مناطق الضغط المنخفض (درجة حرارة مرتفعة) .

كذلك يتسبب تكور الأرض ودورانها حول محورها من الغرب الى الشرق في تغير اتجاه دورة الرياح بحيث تنحرف الرياح التي تهب في نصف الكرة الشمالي إلى يمين اتجاهها صوب مناطق الضغط المنخفض في اتجاه مضاد لدوران عقارب الساعة، أما في نصف الكرة الجنوبي فيحدث العكس حيث تهب الرياح صوب مناطق الضغط المنخفض في اتجاه حرة عقارب الساعة، ويعرف ذلك

بقانون فيرل (FERREL) وينتج عن ذلك أن تصبح الرياح الآتية من الشمال في نصف الكرة الشمالي شمالية شرقية والآتية من الجنوب جنوبية غربية أما في نصف الكرة الجنوبي فتصبح الرياح الآتية من الشمال شمالية غربية والآتية من الجنوب جنوبية شرقية.

أما على الأرض، فإن السبب الرئيسي لـ الإختلافات في ضغط الهواء يكون بسبب الإختلاف في درجات الحرارة. فالهواء البارد يتسبب في حدوث ضغط هواء عالي والهواء الدافئ يتسبب في حدوث ضغط هواء منخفض. و الهواء الدافئ يريد أن يرتفع للأعلى. وعندما يرتفع الهواء الدافئ، فإن الهواء البارد سيتحرك و يحل محل الهواء الدافئ، مما يتسبب في حدوث الرياح.

ويوجد سبب آخر يؤثر على الرياح و هو دوران كوكب الأرض. و هذا ما يُسمى بـ (تأثير كوريوليس).

خبراء الأرصاد الجوية يستخدمون إثنين من القياسات الرئيسية لوصف الرياح، و هما: الإتجاه و السرعة.

اتجاه الرياح: يتم وصف إتجاه الرياح بإستخدام الاتجاه الذي جاءت منه الرياح. فمثلاً ، الرياح الجنوبية ستكون قادمة من الجنوب إلى الشمال. و يتم قياس إتجاه الرياح بـ عدد من الطرق بما في ذلك (دوارة الرياح)، و (الأعلام)، و(كُم الرياح).

سرعة الرياح: يتم قياس سرعة الرياح بـ (ميل في الساعة) أو بـ (كيلومتر في الساعة). والعلماء في العادة يستخدمون أداة تسمى (أنيمومتر - المرياح) وهو مقياس يقيس سرعة الرياح.

أنـــــواع الريـــاح

نظـراً للتوزيعـات المتباينـة لدرجـات الحـرارة والضغـط الجـوي مـن توزيعـات متباينـة على سـطح الكـرة الأرضيـة بسـبب وجـود نظـام للريـاح يكـون ثابتـاً في بعـض المناطـق ومتغيـراً في مناطـق أخـرى فقـد قسـم العلمـاء نظـام الريـاح الـى أربعـة أقسـام رئيسـية كمـا يلـي:

➢ الرياح الدائمة :

وهـي الريـاح التـي تهـب طـول العـام بنظـام ثابـت رغـم أنهـا تختلـف في سـرعتها وانتشـارها مـن فتـرة إلـى أخـرى ومـن أهـم الريـاح الدائمـة مـا يلـي :

- الريـاح التجاريـة : وتهـب الريـاح التجاريـة (The Trades) مـن مناطـق الضغـط المرتفـع وراء المداريـن باتجـاه مناطـق الضغـط المنخفـض الاسـتوائي ويكـون اتجـاه هـذه الريـاح شـمالية شـرقية في نصـف الكـرة الشـمالي وجنوبيـة شـرقية في نصـف الكـرة الجنوبـي وتعـد هـذه الريـاح المسـبب الرئيـس في تلطيـف درجـة حـرارة الجـو صيفـاً وتسـبب الامطـار في الأجـزاء الشـرقية مـن قـارات افريقيـا وامريـكا الجنوبيـة واسـتراليا وذلـك بسـبب هبوبهـا مـن محيطـات دافئـة .

- الريـاح العكسـية: تهـب الريـاح العكسـية (The Westerlies) مـن مناطـق الضغـط المرتفـع حـول المدريـن في خطـوط العـرض المعتدلـة (30 درجـة شـمال وجنـوب خـط الاسـتواء) وذلـك باتجـاه منطقتـي الضغـط المنخفـض عنـد الدائرتـين القطبيتـين وتكـون هـذه الريـاح جنوبيـة غربيـة في نصـف الكـرة الشـمالي وشـمالية غربيـة في نصـف الكـرة الجنوبـي . وتجلـب تلـك الريـاح - غالبـاً - معهـا الـدفء والأمطـار في نصـف الكـرة الشـمالي إلا أنهـا تكـون أحيانـا مصحوبـة بالأعاصيـر التـي تسـبب خطـراً على الملاحـة البحريـة خاصـة بـين دائرتـي عـرض 40 و 50 جنـوب خـط الاسـتواء.

➢ الرياح الموسمية :

- ومن المعتقد أن أصل المصطلح الأجنبي للرياح (The Monsons) قد جاء من الكلمة العربية (موسمية) وتتميز هذه الرياح بأن اتجاهها يتغير ما بين الصيف والشتاء وترجع حركتها إلى الارتفاع الشديد في درجة الحرارة داخل القارات خلال فصل الصيف الذي يقابلة انخفاض في درجة الحرارة فوق البحار ولذلك تسبب هذه الرياح الأمطار الغزيرة وتعد القارة الآسيوية أكثر القارات تعرضاً للرياح الموسمية ويبرز ذلك بشكل جلي في مناطق شرق وجنوب شرق آسيا والسواحل الجنوبية الغربية للمملكة العربية السعودية . وسواحل اليمن وأثيوبيا .

➢ الرياح المحلية :

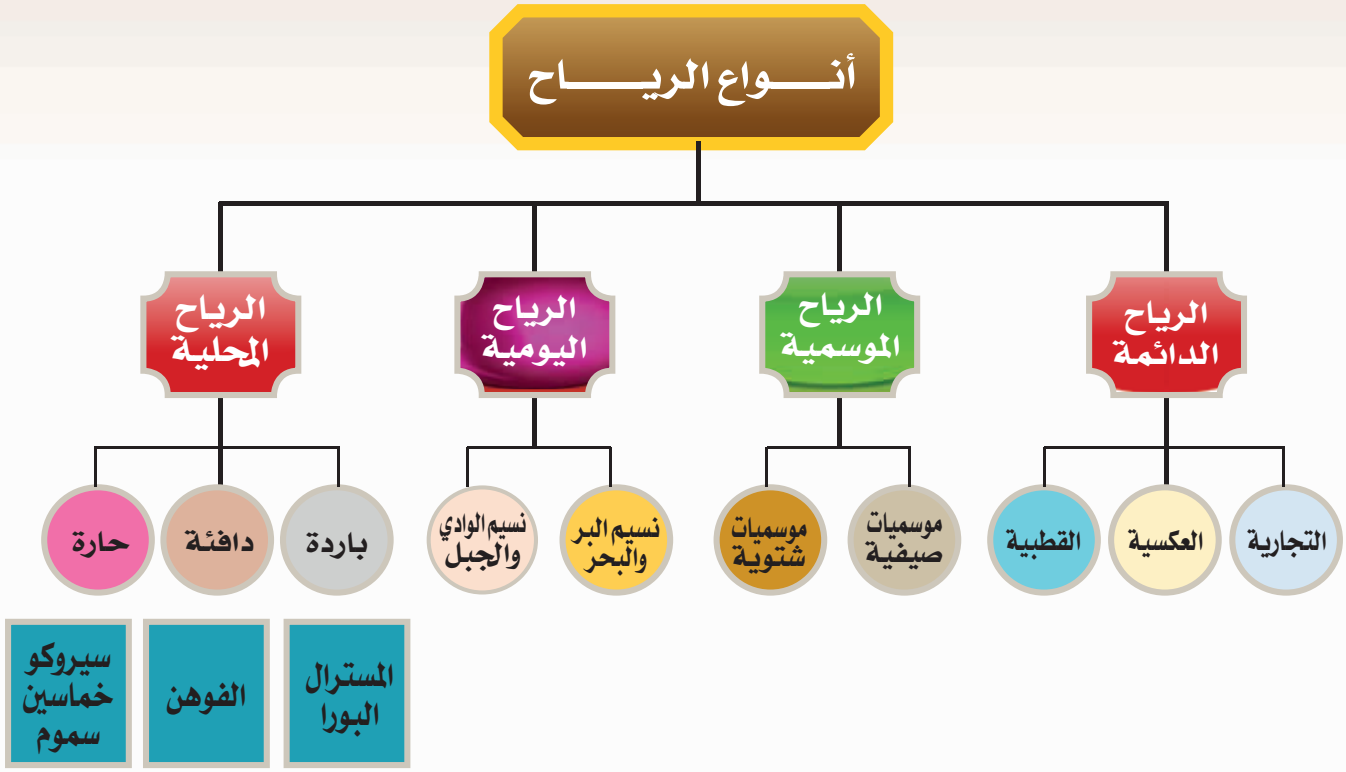
وتهب نتيجة لوجود انخفاضات جوية محلية بسبب الموقع الجغرافي أو طوبوغرافية سطح الأرض وذلك في مناطق محدودة المساحة وخلال فترات زمنية محددة والتي تكون غالباً خلال فصل الربيع أو أوائل فصل الصيف. وتكون هذه الرياح حارة أو باردة كما أنها تسمى بأسماء محلية ومنها ما يلي:

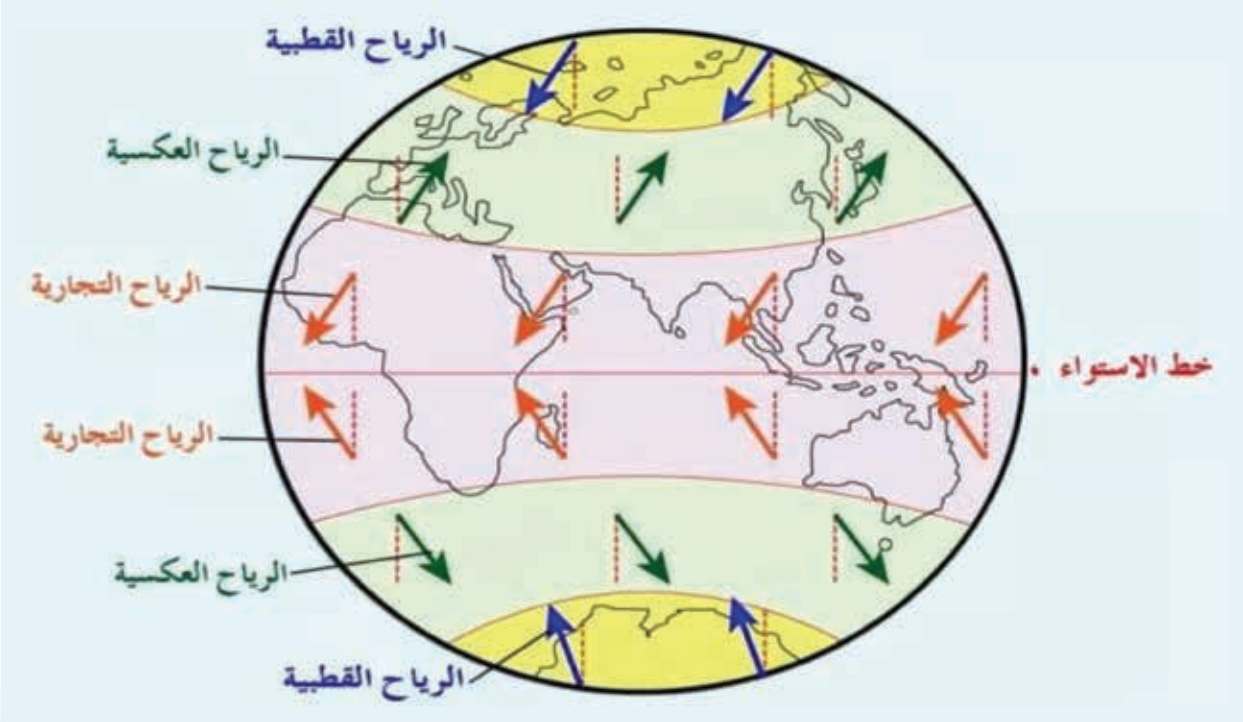
- **رياح السموم:** وهي رياح حرارة جافة محملة بالتراب والغبار تهب على أجزاء واسعة من المملكة العربية السعودية خاصة في بداية فصل الصيف .
- **رياح الخماسين:** وهي رياح حارة جافة محملة بالتراب والغبار وتؤثر سلباً على النباتات المزروعة وتهب على مصر ما بين شهري فبراير ويونيه.
- **رياح الهبوب (Haboob):** وهي رياح حارة ممطرة أحياناً وتصاحبها رمال وتهب على وسط وشمال السودان.

- **رياح القبلي** : وهي رياح حارة جافة تهب على تونس.
- **رياح المسترال** (Mistral): وتهب على جنوب فرنسا وتكون باردة وتؤثر سلباً على الزراعة ولتلافي ذل قامت فرنسا بزراعة غابات على طول الريفيرا الفرنسية.
- **رياح السيروكو** (Sirocco): وتهب على شمال الصحراء الكبرى وتتأثر بها معظم دول المغرب العربي وجنوب إيطاليا واليونان وهي رياح جافة وحارة ولكن عند عبورها للبحر الأبيض المتوسط تزداد رطوبتها .
- **رياح الفوهن** (Fohn): وهي رياح دافئة تهب على المنحدرات الشمالية لجبال الألب في أوربا خاصة سوسيرا ، النمسا ألمانيا . وتؤدي هذه الرياح إلى إذابة الثلوج ومن أثارها السلبية حدوث الحرائق في غابات تلك الدول
- **رياح البورا**: وهي رياح باردة تهب على أجزاء من إيطاليا ومنطقة البحر الأدرياتيكي.
- **رياح الشنوك**: وتهب على مناطق الوسط الغربي لأمريكا الشمالية وبسبب ارتفاع حرارة هذه الرياح فإنها تتسبب في إذابة الثلوج على جبال الروكي ويعتقد أن شنوك كملة يستعملها الهنود الحمر بمعنى «التهام الثلوج».

➢ الرياح اليومية :

وتنشأ نتيجة لظروف الطقس اليومية الناتجة عن الاختلاف بين درجات الحرارة في اليابس والماء ، وتهب هذه الرياح خلال النهار.


أنـــواع الريـــاح
الرياح الدائمة
الرياح الموسمية
الرياح اليومية
الرياح المحلية
التجارية
العكسية
القطبية
موسميات صيفية
موسميات شتوية
نسيم البر والبحر
نسيم الوادي والجبل
باردة
دافئة
حارة
المسترال البورا
الفوهن
سيروكو خماسين سموم


الرياح القطبية
الرياح العكسية
الرياح التجارية
خط الاستواء
الرياح التجارية
الرياح العكسية
الرياح القطبية

وبشكل عام هناك العديد من القوى التي تتحكم في حركة الرياح، وهي

- **قوة الجاذبية الأرضية:** إذ تتحرك معظم الرياح أفقياً عبر الأرض باستثناء العواصف الرعدية الهابطة بسبب قوة الجاذبية.

- **قوة الاحتكاك:** والتي تؤثر على الرياح القريبة من سطح الأرض، وتكون عادة باتجاه معاكس لاتجاه تدفق الهواء.

- **قوة تدرج الضغط:** تعتمد سرعة الرياح على مقدار فرق الضغط، وعلى المسافة بين نقطتي فرق الضغط؛ فإذا كان فرق الضغط كبيرًا بين نقطتين تكون سرعة الرياح أكبر، وفي حال كان فرق الضغط بين نقطتين كبيراً، وكانت النقطتان بعيدتان عن بعضهما فإن سرعة الرياح ستكون أقل مقارنة بما لو كانت تلك النقطتان أكثر قرباً من بعضهما.

- **قوة كوريوليس:** والتي تحدث نتيجة دوران كوكب الأرض فتنحرف الأشياء بما في ذلك الرياح، والطائرات، والطيور وغيرها عن الحركة المستقيمة، ويكون مقدار الانحراف أقل ما يمكن عند خط الاستواء وأكبر ما يمكن حول القطبين. يسبب توازن قوة كوريوليس وقوة الاحتكاك معًا مع قوة التدرج الأفقي للضغط إحداث توازن الغلاف الجوي، وهو الذي يفسر الحركة اللولبية للرياح بدلاً من الحركة المستقيمة إلى الداخل أو الخارج، حول أنظمة الضغط المنخفض والعالي.

مخاطر الرياح

ينتج عن حركة الرياح الشديدة مخاطر عديدة، منها:

- دمار البيوت والمزارع بسبب القوة الكبيرة التي تحملها الرياح.
- حوادث مرورية بسبب الأجسام المتطايرة والمحمولة من الرياح.
- إصابات العين بسبب الجزيئات الصغيرة من الحطام والغبار المتطاير.
- سقوط الأجسام من الأسطح المرتفعة.
- المساهمة في حدوث الفيضان في المناطق القريبة من المياه.

الحماية من الرياح

- يجب على الفرد أن يبحث عن مأوى بسرعة داخل مبنى كبير أو منزل. فالمنازل المتحركة وخاصة غير المثبتة بإحكام غالباً ما تكون غير مناسبة للحماية ضد الرياح القوية.
- إذا وجد شخص في الماء داخل مركب عندما تبدأ الرياح في الهبوب، فيجب عليه التوجه فوراً إلى الساحل، حيث أن موجات عالية ناتجة عن الرياح الشديدة قد تقلب المركب بسهولة حتى المراكب الكبيرة منها.

الفصل الخامس

المخاطر الأرضية

الزلازل | البراكين | الإنهيارات والإنزلاقات الأرضية

موسوعة المخاطر الطبيعية
Encyclopedia of Natural Hazards

الـــــزلازل

مُقَدِّمَة

تُعد الظواهر الطبيعية مثل الزلازل والبراكين والرياح والأعاصير والانزلاقات الأرضية والتصحر وغيرها أحد مظاهر الحياة على كوكب الأرض كما أنها أحد أهم أدوات البناء والهدم التي تتطلبها مقومات التجديد لحفظ التوازن على هذا الكوكب. وبالتحديد هناك عوامل أُطلق عليها عوامل هدم وهي التي تحدث على سطح الأرض وتسوي المرتفعات والصخور من خلال عمليات الحتّ والتعرية مثل الرياح والأمطار؛ وهناك عوامل تحدث في باطن الأرض وتظهر نتائجها على سطح الأرض، ويُطلق عليها عوامل بناء لكونها تُخرج مواد مصهورة من باطن الأرض، وترمي بها على سطح الأرض مكونةً جبالاً ومرتفعات، وهي **البراكين والزلازل**. وتُعد الزلازل أكثر الكوارث الطبيعية تأثيراً على الإنسان، لحدوثها المفاجئ والسريع ولما ينجم عنها من خسائر بشرية ومادية.

ويمكن تقسيم الآثار الزلزالية إلى نوعين هما الآثار الأولية وتتمثل في حدوث الحركة الأرضية العنيفة وما يصاحبها من تصدعات وسقوط المباني وغيرها، والآثار الثانوية وتتمثل في الحرائق والانهيارات الأرضية والفيضانات والتغيرات في مستوى سطح الماء. ويختلف حجم الخسائر التي تُسببها الزلازل من بلد إلى آخر، ويقل بصفة عامة في الدول المتقدمة التي أخذت بصورة جدية بالوسائل التي تؤدي إلى تخفيف الخطر الزلزالي.

تعتبر الزلازل من أخطر الكوارث الطبيعية على الأرض، وتخلف وراءها دماراً شاملاً، يلحق الضرر بكل من الطبيعة والإنسان والبنيان العمراني، وتحصد بعض الزلازل المفاجئة والبراكين الثائرة أرواح مئات الآلاف من البشر، كما تؤدي إلى إتلاف مساحات شاسعة من الأراضي الخضراء، وهدم عدد كبير من البيوت المأهولة والمصانع والشركات التي يعيش الكثيرون من ورائها. وهناك علاقة وطيدة بين البراكين والزلازل، فأحدهما قد يسبب الآخر، حيث يمكن أن يكون سبب الزلزال تحرك الكتل والحمم الملتهبة في باطن الأرض وضغطها على الأجزاء الضعيفة في القشرة الأرضية، كما قد يكون الزلزال سبباً للبركان في حالة الاهتزاز الشديد الذي قد يسبب تهيج الحمم البركانية والحمم في باطن الأرض. يمكن أن يؤدي كلا من الزلازل والبراكين إلى مجموعة من الفوائد أيضاً لسطح الأرض بغض النظر عن الأضرار حيث يساعدان بدور كبير في التخلّص من نسبة كبيرة من الاحتباس الحراري الذي نعاني منه في الفترة الأخيرة. لقد شهد منتصف القرن العشرين أكبر حدث علمي في مجال علم الزلازل عندما توصل العلماء إلى نظرية تكتونية الصفائح التي أمكن على أساسها تفسير عدد من الظواهر الغريبة على الأرض، مثل الحركة الظاهرية للقارات مع مرور الزمن، وتركز النشاط البركاني في مناطق معينة، ووجود السلاسل الجبلية الضخمة في قيعان المحيطات.

لقد اتجه المؤرخون منذ القدم إلى الاهتمام بالزلازل وتسجيل مواقعها وتواريخ حدوثها ووصف أحداثها وتقدير شدتها والأضرار الناجمة عنها، وتطور هذا الاهتمام حديثاً حتى أصبح علماً قائماً بذاته يسمى علم الزلازل Earthquake Seismology خاصة إذا علمنا أن الكرة الأرضية تتعرض سنوياً إلى حوالي 350 ألف زلزال لا يشعر بمعظمها الناس إما لضعفها إما لحدوثها في مناطق غير مأهولة بالسكان.

وعلى الرغم من أن مخاطر الزلازل لم تستطع يوماً أن تهزم في الإنسان غريزة البقـــاء والدليل استمرار الحياة رغم المآسي العديدة التي خلفها في أجزاء متعددة من العالم. إن حجم الضرر الذي يلحق بالأبنية نتيجة تعرضها للزلازل يعتمد على سعة اهتزاز القشرة الأرضية وتسارعها وعلى الصدوع والتشققات الأرضية وحركتها، وكذلك على احتمال تميع تربة الأساسات في حالة التربة الرملية أو الانزلاق الأرضي في حالة الأراضي شديدة الانحدار. علاوة على نوعية المنشآت والمباني القائمة والكثافة السكانية وطبيعة النشاط الإنساني.

إن التجارب البشرية اكتسبت خبراتٍ جيدة في التعامل مع هذه الظاهرة المقلقة سواء من حيث إعداد المواصفات الهندسية للمباني أو من حيث تهيئة المرافق والخدمات؛ لتكون على أهبة الاستعداد لمواجهة الكارثة إلا أن السيطرة الفعلية وتوقع الزلازل قبل حدوثها ما زالت خارج نطاق القدرة البشرية وانحصرت في التقليل من آثار الكارثة.

إن الزلازل وما ينجم عنها من إزهاق للأرواح وهدم لمقومات الحياة بصورة آنية - قد لا تتجاوز ثواني معدودة - لا سيَّما في المجتمعات المعاصرة التي تداخلت فيها مقومات الحياة بصورة معقدة، أدى إلى تطوير العديد من الحلول الهندسية لتقليل الآثار التي قد تسببها هذه الهزات الأرضية. ومع أن أي حل هندسي للتقليل من آثار الزلازل يعتمد على:

- إمكانية تحديد وقت وقوع الزلزال.
- تصميم المنشآت وتنفيذها بدون إغفال القُوى الناجمة عن الهزات الأرضية، فإن خيار التصميم الهندسي المناسب لمقاومة الزلازل يبقى هو الحل الوحيد، ويتمثل في اعتماد مواصفات البناء الهندسي الذي يحقق شرطين أساسيين هما:

- تفـادي انهيـار المبانـي حتـى عنـد وقـــوع زلـــــزال شـديـــــد، وبالتالـي تفادي وقوع نسبة عالية من الوفيات.
- القبـول بمبـدأ السـماح بالأضـرار الإنشـائية التـي يمكـن إصلاحهـا بتكلفـة تقـل بكثيـر عـن التكلفـة اللازمـة للبنـاء الإنشـائي الـذي لا يسـمح بـأي ضـرر عنـد وقوع زلزال شديد.

إن تطويـر تقنيـات هندسـة الـزلازل لـن يقضـي أبـداً علـى كـوارث الـزلازل. لـن يتمكـن البشـر أبـداً مـن التغلـب علـى الطبيعـة ولا يمكنهـم العيـش فيهـا إلا بعلاقـة أفضـل. لقـد حقـق المتخصصـون في هندسـة الـزلازل فهمـاً محـدوداً فقـط لسـلوك القشـرة الأرضيـة. في حـين أن التنبـؤ بحجـم الـزلازل الكبيـرة ومركزهـا ووقتهـا الدقيـق أمـر صعـب للغايـة ويتجـاوز معرفتنـا العلميـة، فمـن المؤكـد أن الـزلازل سـتحدث خـلال فتـرة زمنيـة طويلـة بمـا فيـه الكفايـة. تسـمح طـرق التصميـم الزلزاليـة الحاليـة للهيـاكل بالخضـوع لتشـوهات بلاسـتيكية في ظـل الـزلازل الكبيـرة، بينمـا تظـل مرنـة في ظـل الـزلازل الصغيـرة أو المتوسـطة. يعمـل تشـوه البلاسـتيك على تبديد طاقة الزلزال ويهدف إلى منع الانهيار الهيكلي.

هنـاك ارتبـاط وثيـق بـين الزلزاليـة الهندسـية Engineering Seismology التـي تقـوم بدراسـة مصـدر الـزلازل وحجمهـا وآلياتهـا، وكيـف تنتشـر حركـة الأرض مـن المصـدر إلـى موقـع الأهميـة الهندســـــية، وخصائـص حركـــــــــة الأرض في الموقـــــع وكيـف يتـــــم تقييـم حركـــــة الأرض للتصميـم الهندسـي. و هندسـة الـزلازل Earthquake Engineering الـذي يهتـم بتحليـل وتصميـم الهيـاكل لمقاومـة الضغـوط التـي يسـببها الزلـزال بحركـة الأرض. مقاومـة الضغـوط تعنـي إما المقاومـة دون فشـل أو الانصيـاع للضغـوط برشـاقة دون الانهيـار. يرتبـط هـذا الموضـوع بتعـرض الهيـاكل المبنيـة للحركـة الأرضيـة الزلزاليـة. يتـم التحكـم في الضعـف عـن طريـق التصميـم. يعتمـد قـرار التحكـم في ضعـف الهيـكل علـى اقتصاديـات الموقـف وعلى الحكم حول المخاطر المقبولة للمجتمع.

ماهيـــة الـــزلازل

الـــــزلازل لغـــويًـــا هـي تحريـك الشـيء حركـة شـديدة. أمـا علميّـاً فهـي عبـارة عـن اهتـزازات في القشـرة الأرضيـة تحـدث بمشـيئة اللّه تعالـى، ثـم بسـبب التحـرر السـريع للطاقـة المجتمعـة في الصخـور، والناتجـة عـن الحركـة التصدعيـة لكتـل الصخـور المكونـة للقشـرة الأرضيـة أو الانفجـار البركانـي أو انبثـاق المـواد المنصهـرة مـن باطـن الأرض أو الانهيـارات في مناطـق المغـارات والمناجـم وضـخ الميـاه أو التفجيـرات النوويـة وإنشـاء السـدود والبحيـرات الصناعيـة.

ومن أهم الآثار التخريبية للزلازل:

- **حدوث إزاحات أرضية عمودية أو أفقية أو كليهما معاً.**
- **حدوث انهيار أو انزلاق أرضي.**
- **تداعي المنشآت العمرانية.**
- **انقطاع المياه واندلاع الحرائق.**
- **طغيان مياه البحر بفعل أمواج الميناء (التسونامي)**

عنـد حـدوث الـزلازل أو مـا يسـمى بالهـزة الرئيسـية Main shock ينطلـق معهـا معظـم الطاقـة الزلزاليـــة الكامنـة في الصخـور ويبقـى جـزء آخـر ينطلـــق مـع الهـزات اللاحقـة والتوابـع Aftershocks، التـي في الغالـــب يكـون تأثيرهـا أقـل شـــدة مـن الهـزة الرئيسـية. ولقـد وصـف القـرآن الكـريم هـذا النـــوع مـن التوابـع

في قولـــه تعالـى: ﴿يَوْمَ تَرْجُفُ الرَّاجِفَةُ ۝٦ تَتْبَعُهَا الرَّادِفَةُ ۝٧﴾ [النازعات آية: 6 - 7] فالراجفة هي الزلزلة العظمى ﴿إِنَّ زَلْزَلَةَ السَّاعَةِ شَيْءٌ عَظِيمٌ﴾ [الحج آية: 1] والرادفة هي التابع الأقل قـــوة. ومن الملاحظ ارتباط الزلازل بخروج الحمم والصهارة من باطن الأرض وتكـــون البراكيـن وهو الارتبـــاط الذي نبأنـــا الله بحدوثه أيضاً في سورة الزلزلة في قوله ﴿إِذَا زُلْزِلَتِ الْأَرْضُ زِلْزَالَهَا ۝١ وَأَخْرَجَتِ الْأَرْضُ أَثْقَالَهَا ۝٢﴾ [الزلزلة آية: 1 - 2]

الهزات الارتدادية Aftershocks والسرب الزلزالية Swarms

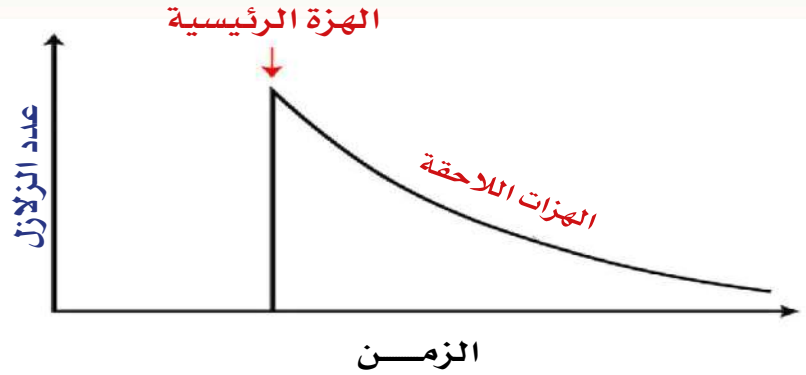
- **الهزات الأرضية السابقة** Foreshocks هي الزلازل التي تسبق الزلزال الأكبر في نفس الموقع. لا يمكن تحديد الزلزال على أنه نذير إلا بعد حدوث زلزال أكبر في نفس المنطقة.

- **الهزات الارتدادية اللاحقة** Aftershocks هي سلسلة من الزلازل التي تحدث بعد حدوث صدمة رئيسية. تحدث الهزات الارتدادية بالقُرْب من الصدع حيث وقع الزلزال الرئيسي. هذا يعني أن هناك زلزالاً واحداً كبيراً وسلسلة من الزلازل الأصغر مما يمكن أن يحدث من قبل الهزات الأرضية السابقة Foreshocks و / أو بعد ذلك (الهزات الارتدادية). تواتر هذه الهزات الارتدادية يتناقص بمرور الوقت. تاريخيا، الزلازل العميقة (< 30 كم) أقل احتمالاً أن تتبعها توابع الزلازل من الزلازل الضحلة. الهزات الارتدادية جزء من «عملية إعادة التعديل» بعد الانزلاق الرئيسي على الصدع. تصبح الهزات الارتدادية أقل تواتراً بمرور الوقت، على الرغم من أنها يمكن أن تستمر لأيام أو أسابيع أو شهور أو حتى سنوات

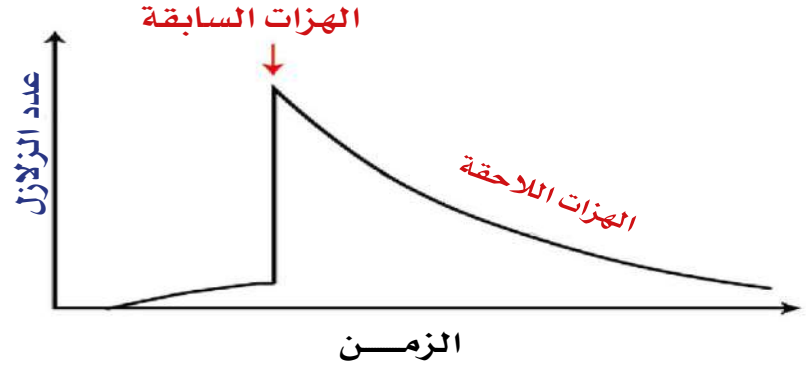
و كقاعدة عامة، تمثل الهزات الارتدادية Aftershocks تعديلات طفيفة على طول جزء الصدع الذي انزلق في وقت حدوث الصدمة الرئيسية.

- **سرب الزلازل Swarms** هو سلسلة من الزلازل الصغيرة التي لا تتبع هزة رئيسية. الصدمة الرئيسية هي أكبر زلزال في سلسلة الزلازل التي قد تكون لها هزات أرضية سابقة Foreshocks و / أو توابع Aftershocks. عادة ما يكون السرب عبارة عن سلسلة من الزلازل بحجم مماثل يمكن أن تحدث على مدى عدد من الأيام أو حتى الأشهر وغالباً ما تتكرر في نفس الموقع. ترتبط العديد من أسراب الجراد بالنشاط الحراري الأرضي ومناطق النشاطات البركانية. ليست كل الأسراب متشابهة، فبعضها تسببه حركة السوائل، والبعض الآخر ناتج عن القُوى التكتونية. تعد الهزات الارتدادية Aftershocks جزءاً من «عملية إعادة التعديل» بعد الانزلاق الرئيسي على الصدع. كما هو الحال مع الأسراب، يمكن أن تستمر الهزات الارتدادية لأيام وحتى سنوات بعد حدوث زلزال رئيسي على الرغم من انخفاض حجمها بمرور الوقت. كل من سرب الزلازل والتوابع هي سلسلة من الزلازل المتعددة التي تحدث في منطقة مركزة.

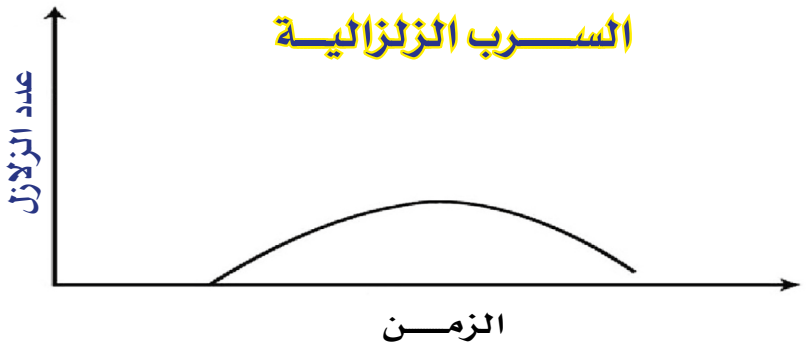
الهـــزة الرئيســـية والهـزات اللاحقـــة



الهزات السابقة والهـــزة الرئيسـية والهـزات اللاحقة



الســـــرب الزلزاليـــة



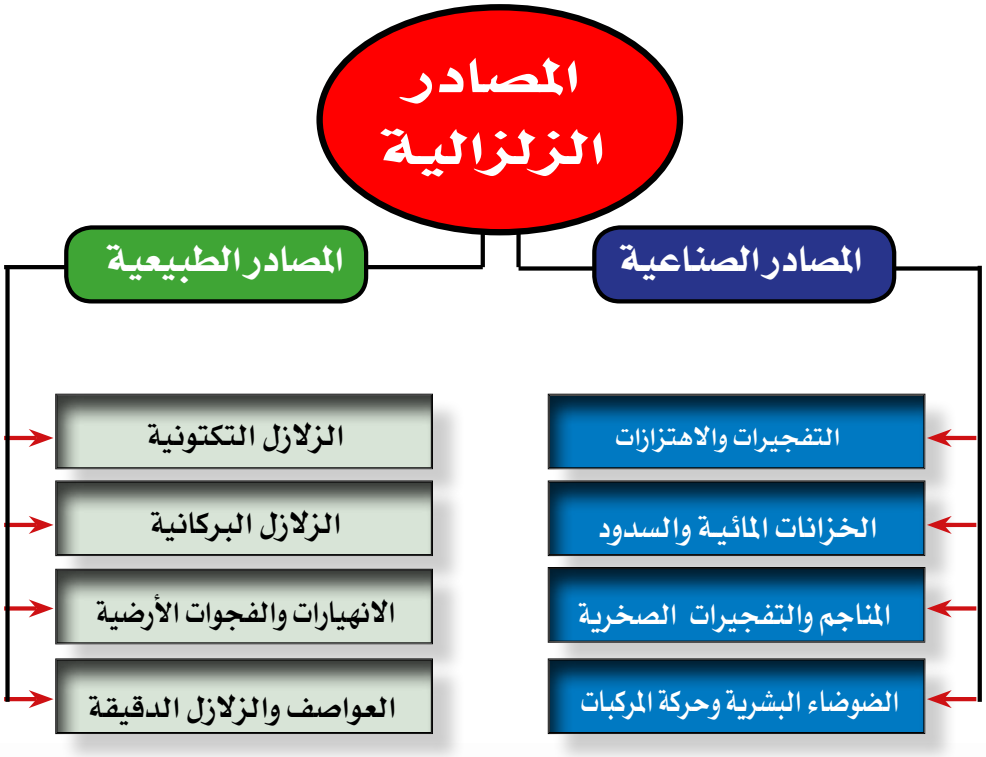
رسم تخطيطي يوضح الفرق بين الهزة الرئيسية مع الهزات اللاحقة (أعلى)، وتسلسل الهزات السابقة والهزة الرئيسية، والهزات اللاحقة (في الوسط)، والسرب الزلزالية (أسفل) ، فاريل وآخرون، 2009

أنـــــواع الـــزلازل

أولاً: تصنف الزلازل حسب مصادر الطاقة إلى:

زلازل طبيعية المصدر ومنها:

- الزلازل التكتونية.
- الزلازل البركانية.
- زلازل الانهيارات والفجوات الأرضية.
- العواصف الزلزالية.
- الزلازل الدقيقة Microseisms



المصـــــادر الزلزاليـــــة الطبيعيـــــة والصناعيـــــة

زلازل صناعية المصدر ومنها:

- التفجيرات النووية والكيميائية.
- الســـــدود والخزانات المائية وحقن السوائل.
- المناجـــــم والتفجيرات الصخرية.
- الضوضـــاء البشرية وحركة المركبات.

ثانياً: تصنف الزلازل استناداً إلى العمق البؤري إلى:

- زلازل ضحلة العمق يصل عمقها إلى 70 كم من سطح الأرض.
- زلازل متوسطة العمق يتراوح عمقها ما بين 70 و 300 كم.
- زلازل عميقة يتراوح عمقها ما بين 300 و 670 كم.

ثالثاً: تصنف الزلازل حسب بُعْدها عن مركز الزلزال السطحي (Δ) Epicenter

1. الأحداث المحلية تكون Δ أقل من 1000 كلم. تتميز هذه الأحداث بأن فترتها أقل من 5 دقائق، الإشارة السائدة هي Sg تليها موجات ذات سعة متناقصة (Coda)، قد تولد الانفجـــارات موجات Rayleigh كبيرة، ترتيب الوصول: Pg, Pb, Pn.
2. الأحداث الإقليمية تكون Δ بين 1000 كم و 3000 كم.
3. الأحداث البعيدة المدى: تكون Δ بين 3000 كم و 12000 كم قبل منطقة الظل.

رابعاً: تصنف الزلازل حسب القوة المدمرة إلى:

- زلازل ضعيفة لا تسبب دمار للمنشآت وخسائر في الأرواح وتصل شدتها إلى 5 درجات حسب مقياس ميركالي المعدل.
- زلازل قوية تسبب دمار للمنشآت وخسائر في الأرواح وتتراوح شدتها ما بين 6 و 9 درجات.
- زلازل مدمرة مسببة دمار شامل للمنشآت وخسائر عالية في الأرواح وتتراوح شدتها ما بين 9 و 12 درجة.

أســـــباب الـــــزلازل

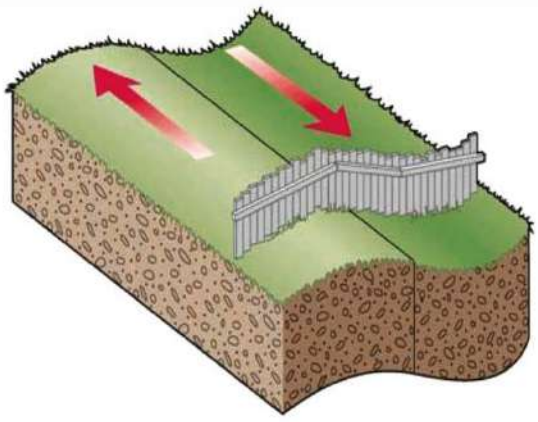
إن أول وصف علمي لأسباب حدوث الزلازل كان على يد العلماء المسلمين في القرن الرابع الهجري حيث وصف ابن سينا في كتابه عيون الحكمة الزلازل وأسباب حدوثها وأنواعها ما قوله: «حركة تعرض لجزء من أجزاء الأرض بسبب ما تحته، والجسم الذي يمكن أن يتحرك تحت الأرض إما جسم بخاري دخاني قوي الاندفاع كالريح، وإما جسم مائي سيال، وإما جسم هوائي، وإما جسم ناري، وإما جسم أرضي». لقد أورد ابن سينا تصوراً لأماكن حدوث الزلازل فذكر: «وأكثر ما تكون الزلزلة في بلاد متخلخلة غور الأرض متكاثفة وجهها، أو مغمورة الوجه بماء». وهو ما يتفق مع ما توصل إليه العلماء الآن أن مناطق حدوث الزلازل تكون في مناطق الضعف في القشرة الأرضية حيث يتم حركة الصخور على سطحها، وتسمح بخروج الغازات. ويصف ابن سينا أنواع الزلازل فيقول: «منها ما يكون على الاستقامة إلى فوق، ومنها ما يكون مع ميل إلى جهة، ولم تكن جهات الزلزلة متفقة، بل كان من الزلازل رجفية، ما يتخيل معها أن الأرض تقذف إلى فوق، ومنها ما تكون عرضية».

أما السيوطي فقد تحدث في كتابه كشف الصلصلة عن وصف الزلزلة عن شدتها من خلال وصف آثارها المدمرة، مثل: أوزان الصخور المتساقطة، ومقاييس الشقوق الناتجة عن الزلازل، وعدد المدن والقرى والمساكن المتهدمة، وعدد الصوامع والمآذن المتهدمة، وعدد القتلى. كما وصف السيوطي درجات الزلازل بتعبيرات أشبه ما تكون بالمقاييس الحديثة مثل لطيفة جدّاً، وعظيمة وهائلة.

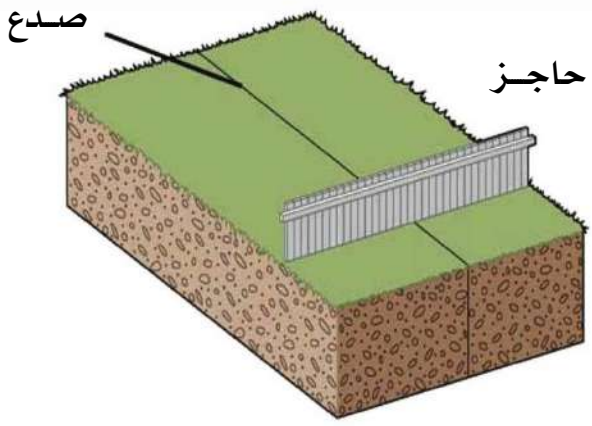
بعد زلزال سان فرانسيسكو العظيم عام 1906، فحص الجيوفيزيائي هاري فيلدنغ ريد Reid إزاحة سطح الأرض على طول صدع سان أندرياس في

الخمسين عاماً التي سبقت الزلزال. وجد أدلة على الانحناء 3.2 أمتار خلال تلك الفترة. وخلص إلى أن الزلزال يجب أن يكون نتيجة الارتداد المرن لطاقة الإجهاد المخزنة في الصخور على جانبي الصدع.

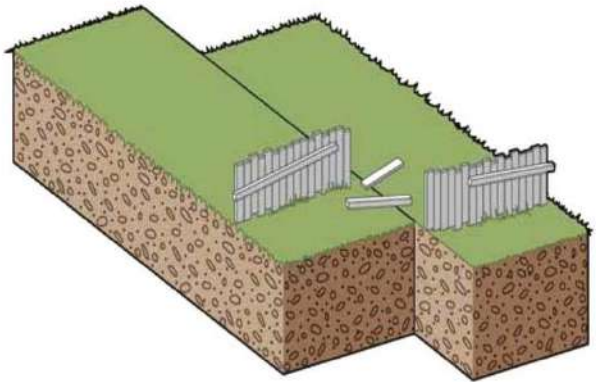
لقد أشار العالم ريد Reid عام 1906م إلى أن نظرية الارتـــداد المرن Elastic Rebound تعطي تفسيراً معقولاً لأسباب حدوث الزلازل، وتفترض هذه النظرية أن صخور القشرة الأرضية تتعرض إلى ضغوط وتشوهات على مدار السنين مما يجعل مسارها الطبيعي يتغير وينتج عن ذلك قُوى هائلة تتزايد مع الزمن، فإذا زادت هذه القُوى عن قدرة تحمل الصخور حدث بها كسر أو شرخ أو بمعنى آخر إذا زادت القُوى الناتجة عن قُوى الاحتكاك بين الصخور تحدث الإزاحة على جانبي الفالق مسببة انطلاق الطاقة المحبوسة إما على هيئة حرارة إما موجات ارتدادية، وهذه الموجات الارتدادية التي يحاول بها الصخر الرجوع إلى وضعه الطبيعي هي التي تسبب الزلازل.



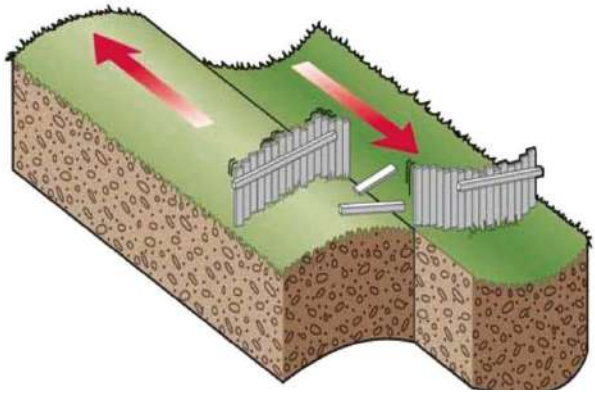
التشـــوه



الوضــع الأصـــلي



رجوع الصخر إلى الوضع الأصلي قبل التشوه



مرحلة التمزق وانطلاق الطاقة

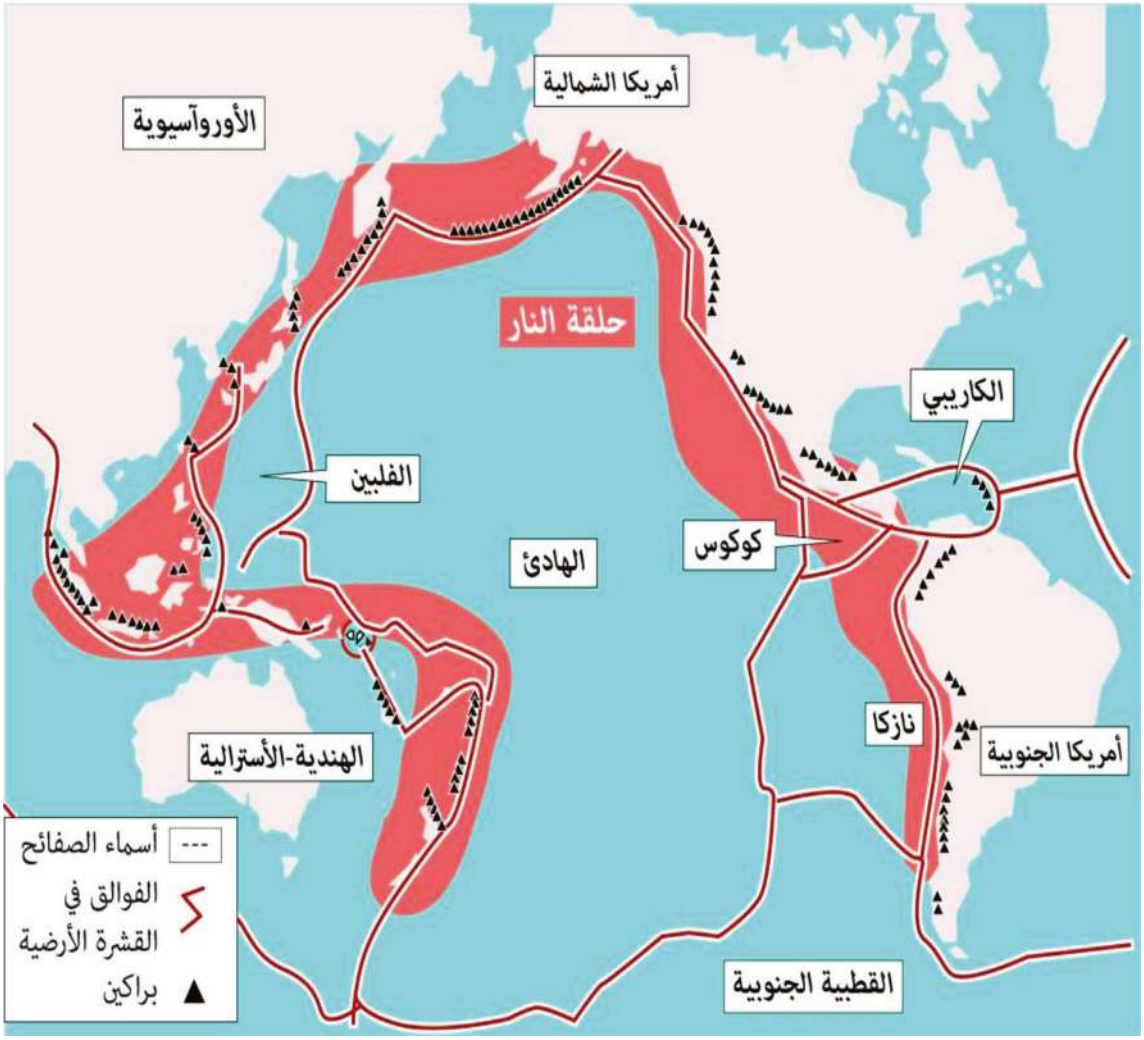
مبدأ نظرية **الارتـداد** المرن. بسبب الاحتكاك، لا تنزلق الكتل، لكنها **تتشوه**. عندما تتجاوز الضغوط داخل **الصخور** قوة الاحتكاك، يحدث **التمزق**. بعدها يتم انطلاق الطاقة المرنة **المخزنة** في النظام بعد **تمزقها** على شكل **موجات** تشع إلى الخارج من الصدع.

الأحزمـــة الزلزاليـــة

بمقارنة خرائط توزيع الزلازل وحدود الصفائح التكتونية في العالم، نجد أن هناك ارتباطاً وثيقاً بين حدود الصفائح ومناطق النشاط الزلزالي، وعلى هذا الأساس أمكن تحديد ما يسمى بالأحزمة الزلزالية وأهمها حزام حلقة النار (حول المحيط الهادي) Circum-Pacific Belt ويتشكل فيه حوالي 69 % من زلازل العالم، ويذكر أن 80 % من طاقة الزلازل تتواجد في هذا الحزام، ويشمل هذا الحزام الشواطئ الغربية من أمريكا الشمالية وأمريكا الجنوبية واليابان والفلبين حتى يصل إلى أستراليا ونيوزيلندا، وتمثل أعتى أنواع الزلازل، وعلى سبيل المثال الزلازل التي حدثت في بيرو 1970 وتشيلي 1985 واليابان 1923 وألاسكا 1964، وزلزال اليابان 1995م.

وهناك حزام آخر لا يقل أهمية ويمتد من الصين شرقاً ماراً بجبال الهيملايا، ثم ينحرف إلى الشمال الغربي ماراً بجبال زاجروس، ثم القوقاز إلى تركيا وشمال إيطاليا، ويعرف هذا الحزام بحزام جبال الألب Alpide Belt ويتشكل فيه حوالي 21 % من زلازل العالم، ويمثل هذا الحزام 10 % من الطاقة.

وبالإضافة إلى هذين الحزامين هناك أحزمة زلزالية أقل خطورة تمتد في خطوط شبه مستقيمة في وسط المحيط الأطلسي والهندي وتتجه شمالاً حتى تصل إلى خليج عدن وأواسط البحر الأحمر. وقد تتواجد الزلازل أحياناً في مناطق ليس لها علاقة بالأحزمة الزلزالية، حيث تتمركز في داخل الصفيحة، ويطلق على هذا النوع من الزلازل Intraplate Earthquakes، وهذا النوع قد يكون مدمراً بسبب عدم توقعه كما حدث في زلزال القاهرة في أكتوبر 1992م.



الأحزمة الزلزالية. يمثل حزام حلقة النار على شكل قوس بطول 40.000 كم حوالي 69 % من زلازل العالم

مســـار الأطـوار السـيزمية في باطـن الأرض

موجـــــة Lg

هـي نـوع مـن الموجـات الموجهـة في القشـرة القاريـة. هـذه هـي في الأسـاس موجـات لـوف السـطحية عاليـة التـردد على مسـافات إقليميـة مـن القشـرة القاريـة السـميكة. تسـافر Lg عبـر مسـارات قاريـة طويلـة مـع فقـد قليـل نسـبيّاً مـن الطاقـة، ولكنهـا تنقطـع فجـأة عندمـا يحتـوي المسـار علـى جـزء محيطـي صغيـر. يشـير الحـرف المنخفـض Lg إلـى طبقـة الجرانيـت. تحـدث موجـات Lg بشـكل خطيـر علـى انقطـاع Moho عـن طريـق الانعكاسـات المتعـددة داخـل القشـرة بسـرعة نموذجيـة 3.5 كـم / ثانيـة. تهيمـن هـذه الموجـات علـى مخططـات الـزلازل، وخاصـة القنـوات الأفقيـة. عـادةً مـا يتـم تسـجيل Lg علـى مسـافات مركزيـة تبلـغ حوالـي 5 درجـات وأكبـر مـن ذلـك، وتـم تعريفهـا علـى انهـا أداة لإيجـاد حـدود البنيـة القاريـة.

موجـــــة Rg

علـى مسـافات محليـة أو إقليميـة، يُعـرف النمـط الأساسـي للتـرددات العاليـة لموجـات رايلـي علـى أنـه Rg. يعـد وجـود موجـة Rg ذات الفتـرة الدوريـة القصيـرة في مخطـط الـزلازل مؤشـراً موثوقـاً بـه لحـدث ضحـل جـدّاً، مثـل: (الزلـزال، والانفجـار النـووي، وانفجـار الألغـام، ومـا إلـى ذلـك). بعبـارة أخـرى، غيـاب Rg يـدل علـى ان الحـدث الزلزالـي عميـق. تنتقـل موجـات Rg ذات الفتـرة القصيـرة كموجـات موجهـة عبـر القشـرة القاريـة بسـرعة 3 كـم / ثانيـة؛ مـدى انتشـارها يقتصـر علـى 600 كـم أو أقـل.

الموجـــة الثالثـــة Tertiary wave

المصطلح T-wave في علم الزلازل يعني حرفيّاً الموجة الثالثة أو الموجة الثلاثية. هذه موجات بطيئة، تصل لفترة طويلة بعد الموجة الأولية (P) الأسرع أو الموجة الثانوية (S). يتم رصد هذه الموجات في المحطات الزلزالية الساحلية التي تسجل زلازل تحت المحيط على مسافات إقليمية.

موجـــــة pP

هي موجة P التي بدأت صعوداً من المصدر ("P")، وانعكست عن سطح الأرض، وانتقلت إلى المحطة كموجة ("P") P.

sP

هي موجة S التي بدأت صعوداً من المصدر ("S")، وانعكست على سطح الأرض وتحولت أيضاً إلى موجة P، التي انتقلت بعد ذلك إلى المحطة على شكل موجة ("P") P.

pwP

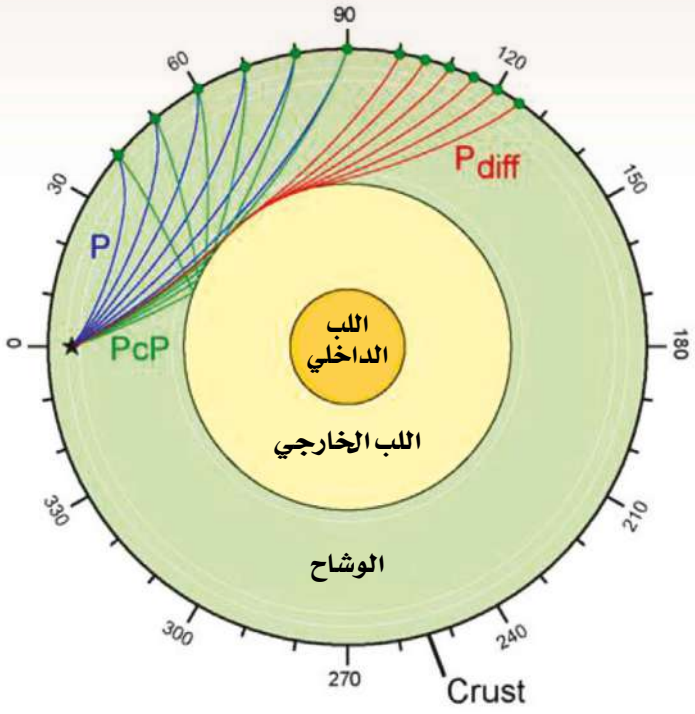
على غِرار طور الموجة pP. عبارة عن موجة م P التي بدأت صعوداً من المصدر ("P")، وانعكست عن سطح المحيط ("W" - الماء) وانتقلت إلى المحطة كموجة ("P") P.

Pg (Sg)

على مسافات قصيرة لمحطة الحدث، موجة صاعدة P (S) من مصدر في القشرة العُليا أو قاع موجة P (S) في القشرة العُليا. على مسافات أكبر، تشتمل مرحلة Pg على الوافدين الناتج عن ارتدادات متعددة للموجة P داخل القشرة بأكملها، التي تنتشر بسرعة مجموعة حوالي 5.8 كم / ثانية.

Pn (Sn)

عبارة عن موجة P (S) في قاع الوشاح العلوي أو موجة P صاعدة من مصدر في الوشاح العلوي.



P : موجة أولية (انضغاطية) تتبع مساراً بسيطاً من مصدر الحدث إلى المحطة.

PcP : موجة P تنزل الى أسفل عبر الوشاح («P» الأولى) ثم تنعكس من أعلى اللب الخارجي («c») وتتجه صعوداً عبر الوشاح إلى المحطة («P» الثانية).

موجة **Pdiff** تمثل موجة أولية P المنحنية (المنعرجة) حول حدود اللب الخارجي وتصل إلى محطة في «ظل» الشعاع للنواة الخارجية.

S : موجة ثانوية (قص) تتبع مساراً مشابهاً للموجة P (غير موضحة في الشكل).

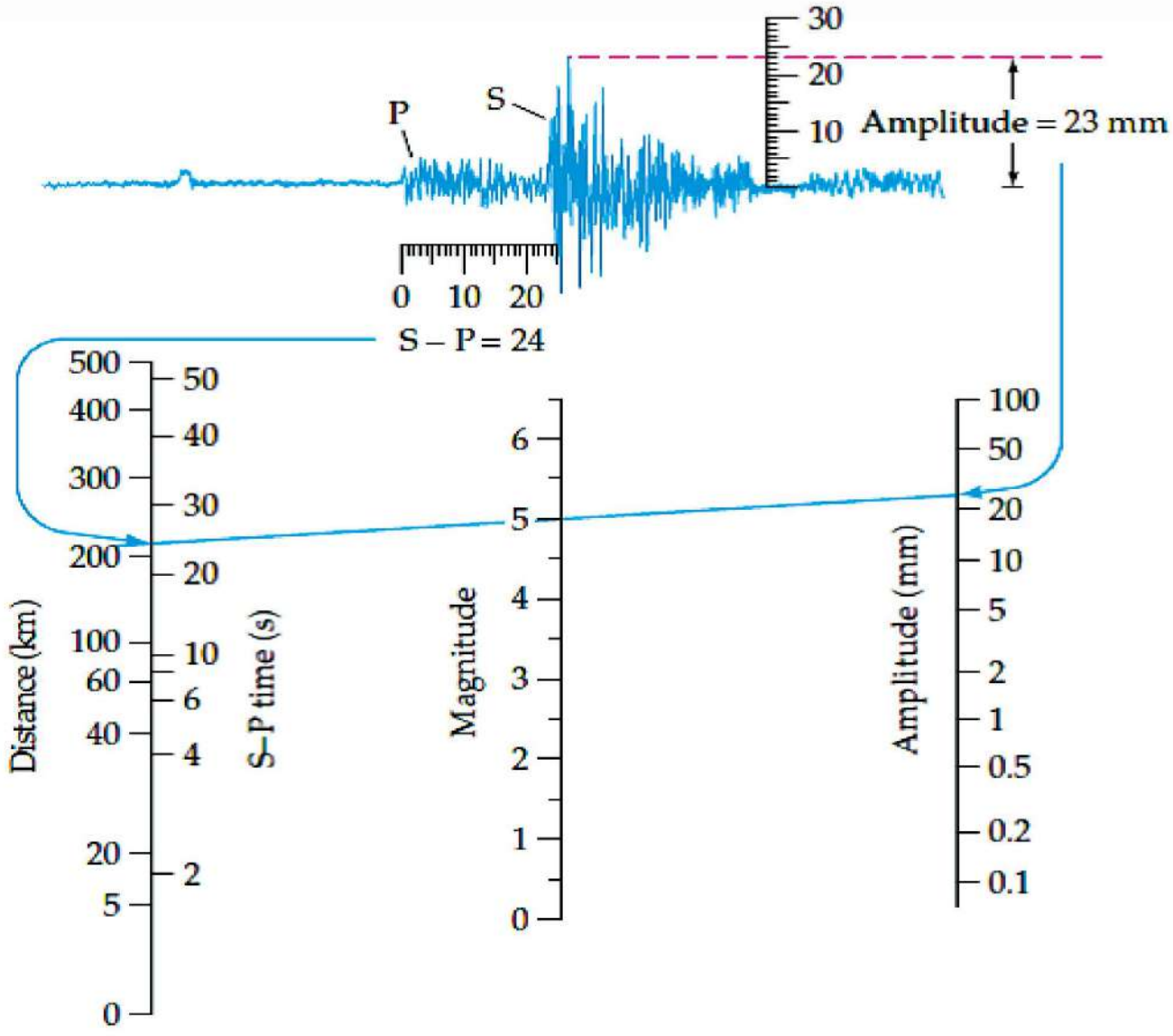
مقاييس الـــزلازل

تحدث معظم أضرار الزلزال عن طريق اهتزاز الأرض. يعد حجم أو حجم (إطلاق الطاقة) الزلزال، والمسافة إلى بؤرة الزلزال أو مصدره، والعمق البؤري، ونوع الصدع، ونوع المادة عوامل مهمة في تحديد مقدار اهتزاز الأرض الذي قد ينتج في موقع معين. عندما يكون هناك تاريخ طويل لنشاط الزلزال، يمكن تقدير هذه المعلمات في كثير من الأحيان. بشكل عام، تنتج الزلازل الكبيرة حركات أرضية ذات اتساع كبير وفترات طويلة. تنتج الزلازل الكبيرة أيضاً اهتزازاً قويّاً على مناطق أكبر بكثير من الزلازل الصغيرة. بالإضافة إلى ذلك، يتناقص اتساع حركة الأرض مع زيادة المسافة من بؤرة الزلزال. يتغير محتوى التردد للاهتزاز أيضاً مع المسافة. بالقُرب من مركز الزلزال، توجد حركات عالية (سريعة) ومنخفضة (بطيئة). بعيداً، تسود حركات التردد المنخفض، وهي نتيجة طبيعية لتوهين الموجة في الصخور. يعد تكرار حركة الأرض عاملاً مهمّاً في تحديد شدة الضرر الذي يلحق بالهياكل وأيها يتأثر.

عموماً يتمّ رصد الزلازل وتسجيلها بواسطة شبكة من محطات الرصد، وتؤدي الحركة الأرضية إلى إطلاق كميات كبيرة من الطاقة تسبب اهتزازاً في الطبقات الصخرية المجاورة لمركز حدوث الزلزال، إذ تنتقل هذه الاهتزازات على شكل موجات، وبالتالي يتمّ رصد الزلزال بواسطة هذه الموجات. يقيس القدر والشدة الزلزالية الخصائص المختلفة للزلازل. الأول يقيس الطاقة المنبعثة من مصدر الزلزال. والأخير يقيس قوة الاهتزاز الناتج عن الزلزال في مكان معين. يتم تحديد قدر (حجم) الزلزال من القياسات على أجهزة قياس الزلازل، في حين يتم تحديد شدته من التأثيرات على الأشخاص والهياكل البشرية والبيئة الطبيعية. وفيما يلي نلقي الضوء على أوجه الاختلاف والتشابه بين المقياسين.

1. القـــــدر (الحجـم) الزلزالـــي Earthquake Magnitude

لكـي نتمكـن مـن المقارنـة بـين الـزلازل في كافـة أنحـاء العالـم لا بُـدَّ مـن إيجـاد مقيـاس لا يعتمـد علـى كثافـة السـكان أو نـوع المنشـآت، ولكـن مقيـاس كمـي ينطبـق علـى الـزلازل في أي مـكان. وكان أول مقيـاس للقـدر الزلزالـي علـى المسـتوى العالمـي هـو الـذي اسـتخدمه العالـم الياباني واداتـي Wadati في عـام 1931م، ثـم قـام العالـم ريختـر Richter بتطويـره في ولايـة كاليفورنيـا عـام 1936م اعتمـاداً علـى قيـاس اتسـاع موجـة الزلـزال طبقـاً لقياسـها بآلـة التسـجيل المعروفـة بالسـيزموجراف. ونظـراً للاختـلاف الكبيـر في اتسـاع موجـة الزلـزال فقـد اسـتخدم ريختـر المقيـاس اللوغاريتمـي للموجـة، وعـرف المقـدار الزلزالـي بأنـه عبـارة عـن رقـم لوغاريتمـي عشـري اشـتق مـن معرفـة سـعة أكبـر حركـة أرضيـة أمكـن تتبعهـا بواسـطة جهـاز الرصـد علـى بُعْـد 100 كـم مـن مركـز الزلـزال، ولكـن مـن النـادر أن تكـون جميـع المحطـات موزعـة علـى بُعْـد 100 كـم مـن المركـز، فـإن السـعة يجـب أن تصحـح فيمـا لـو كان عنـد تلـك المسـافة. تسـجل الـزلازل الكبيـرة بشـكل عـادي علـى مقيـاس ريختـر ولكـن العلمـــاء حاليـاً يفضلـون وصـف الـزلازل ذات القـدر الزلزالـي أكبـر مـن 6 درجـات باسـتعمال مقيـاس العـزم الزلزالـي Moment Magnitude (Mw) لدقتـه العاليـة.



رسم بياني يربط المسافة بالسعة لاستنباط قدر (حجم) الزلزال على مقياس ريختر

ويمكن تقسيم القدر الزلزالي حسب نوعية الموجة والسعة والعمق (2) إلى:

- **المقدار الزلزالي للموجات السطحية** (M_S) Surface Waves Magnitude

$$Ms = Log\ (A/T)\ max + 1.66\ Log\ (\Delta) + 3.3$$

$(A/T)_{max}$ = النسبة بين السعة العظمى وفترة التذبذب Period إلى المركبة الأفقية لموجات رايلي (Rayleigh Wave).

T = فترة التذبذب وتنحصر بين (18-22) ثانية.

Δ = المسافة بالدرجات وتنحصر بين (20° -160°).

تستخدم هذه العلاقة للمقارنة بين الهزات ذات الترددات المنخفضة والأعماق الضحلة التي أقل من 50 كم.

- **المقدار الزلزالي للموجات الجسمية** (mb) Body Waves Magnitude

وهذا المقدار ابتكره العالم Gutenberg عام 1956م للزلازل العميقة ويعتمد على السعة الموجية للموجة الجسمية ويعبر عنه بالمعادلة التالية :

$$mb = Log(A/T)\ max + Q(\Delta, h)$$

$Q\ (\Delta\ ،\ h)$ = معامل تجريبي.

Δ = المسافة البؤرية وتنحصر بين (100° - 5°) درجة.

T = فترة التذبذب ومداها هو (0.1 - 3) ثانية.

ويمكن تطبيق هذه العلاقة للهزات ذات التردد العالي.

- **المقدار الزلزالي المحلي** Local Magnitude (ML)

استنتج من قبل ريختر لتصنيف الهزات في جنوب كاليفورنيا على أساس الحجم بطريقة تختلف عن تأثيرها على الناس والمنشآت، وعبر عن المقدار الزلزالي المحلي (ML) بالمعادلة التالية:

$$ML = Log(A) - Log(Ao)$$

A = السعة المسجلة للهزة الأرضية.

Ao = السعة لهزة معينة اختيرت كهزة قياسية، تدعى الهزة القياسية بالهزة الصفرية (Zero Shock) وذلك لأنه إذا كانت (A=Ao) فإن M=0، وهذا لا يعني عدم وجود هزات أرضية صغيرة وإنما قد تحصل على قيم سالبة لـ (A) وذلك عندما تسجل هزات أرضية صغيرة تمتلك سعات أصغر من سعة الهزة الصفرية.

- **المقدار الزلزالي المعتمد على فترة التردد** (Duration Magnitude MD)

إن المقدار الزلزالي المحلي المعين من جهاز التسجيل ذو فترة قصيرة التردد (Short Period) ومركبة عمودية يعتمد خطيّاً على اللوغاريتم الاعتيادي وفترة التردد والمسافة للمركز السطحي. لقد ابتكر العالم Lee هذا المقدار وطبقه على الزلازل الصغيرة حسب المعادلة:

$$MD = -0.87 + 2.0 \ Log \ D + 0.0035 \ \Delta$$

MD = المقدار الزلزالي المعتمد على فترة التردد.

D = فترة التردد.

Δ = بعد المركز السطحي للزلزال بالكيلومترات.

وهنـــــاك معـادلات رياضيـــــة أساسـية تربـط بـين المقاديـر الزلزاليـــــة السـطحية (Ms) والجسـمية (mb) والمحليـة (ML) و (MD):

$$mb = 0.56\ Ms + 2.9$$

$$Ms = 1.79\ mb - 5.18$$

$$mb = 1.7 + 0.8\ ML - 0.01\ ML^2$$

$$ML = 0.0357 + 0.98\ MD$$

- **مقدار العزم الزلزالي** (Mw) Moment Magnitude

وهـذا النـوع ينطبـق علـى الـزلازل القويـة التـي يبلـغ قدرهـا في الغالـب أكثـر مـن 6. وقـام Kanamori عـام 1983م بتطويـر مقـدار ينطبـق علـى الـزلازل الضحلـة والعميقـة:

$$Mw = 2/3\ Log\ Mo - 10.7$$

Mo: العـزم الـــزلزالي. فالأحـداث الزلزاليـة التـي قدرهـا أقـل مـن 8 تنطبـق الـ Ms مـع الـ Mw في حسـاب المقـدار.

العــزم الزلزلـــي Seismic Moment

يعـرف العـزم الزلزالـي بأنـه مقيـاس لحجـم الـزلازل وهـو عبـارة عـن صلابـة الصخـرة مضروبـة بمسـاحة التصـدع مضروبـة بمقـدار الانـزلاق. أو بمعنـى آخـر هـو قيـاس قـوة الـزلازل الناتجـة عـن إزاحـة الصـدع. ومـن المعـروف أن مقاييـس المقاديـر الزلزاليـة تعتمـد علـى معرفـة سـعة الموجـة السـطحية، وفتـرة التذبـذب لهـا، ولما كانـت الـزلازل ذات البـؤر العميقـة تكـون لهـا موجـات سـطحية صغيـرة فقـط أو علـى شـكل سلسـلة مـن الموجـات السـطحية غيـر المهمـة لذلـك فمـن المفضـل عنـد التعامـل مـع كل الـزلازل الأرضيـة أن نكـون قادريـن علـى حسـاب مقـدار زلزالـي منتظـم لا يعتمـد علـى وجـود أو غيـاب الموجـات السـطحية، وقـد يمكـن تجنـب هـذه المشـكلة باسـتخدام قيـاس جديـد لقـوة الـزلازل يُدعـى العـزم الزلزالـي. يمكـن تمثيـل العـزم الزلزالـي مـن خـلال نظريـة الإزاحـة Dislocation Theory كمكافـئ للمصـادر المزدوجـة ومـن ذلـك جـاء تعريـف العـزم الزلزالـي كتعبيـر عـن الإزاحـة علـى الصـدع ومنطقـة المصـدر. ويمكـن التعبيـر عـن العـزم الزلزالـي (Mo) بالمعادلـة الآتيـة:

$$Mo = U \quad D \quad S$$

U = ثابت المرونة (معامل القص).

D = معدل الإزاحة (Dislocation) على مستوى الصدع.

S = مساحة مستوى الصدع.

كما أن هناك علاقات تربط بين العزم الزلزالي والمقادير الزلزالية السطحية والمحلية

$$\text{Log } Mo = 20.15 + 1.12\ ML$$

$$\text{Log } Mo = 10.92 + 1.11\ Ms$$

الطـاقة الـزلزالية Seismic Energy

من المعروف أن الهزات الأرضية تتكون نتيجة للتحرر المفاجئ لطاقة الانفعال Strain Energy المخزونة مسبقاً في الصخور ومن قياس طاقة الموجة الزلزالية الناجمة عن الكسر المفاجئ يمكن تخمين الطاقة المتحررة من الهزات الأرضية، وهناك العديد من العلاقات التي تربط بين طاقة الموجة الزلزالية (E) والمقدار الزلزالي (M)

$$\text{Log (E)} = 11.8 + 1.5\ M$$

$$\text{Log (E)} = 12.66 + 1.4\ M$$

وقد بين بعض الباحثين صلاحية هذه المعادلة لحساب الطاقة الزلزالية للهزات الدقيقة.

وهناك علاقات تجريبية أخرى مقدمة من العالم باث (Bath) عام 1973م للربط بين الطاقة الزلزالية (E) والمقدار الزلزالي السطحي (Ms) للزلازل التي قدرها أكبر من 5 والموجات الجسمية (mb) كالآتي:

$$\text{Log (E)} = 5.24 + 1.44\ Ms$$

$$\text{Log (E)} = 4.78 + 2.57\ mb$$

وترتبط الطاقة الزلزالية (E) بالمقدار الزلزالي السطحي (Ms) والمقدار الزلزالي الجسمي (mb)، والشدة الزلزالية القصوى (Io) على النحو التالي:

Io	Mb	Ms	الطاقة E (إرج)
6 - 7	5.9	5.4	10^{20}
7 - 8	6.3	6.1	10^{21}
8 - 9	6.7	6.8	10^{22}
9 - 10	7.1	7.5	10^{23}
10 - 11	7.5	8.2	10^{24}
12	7.8	8.9	10^{25}

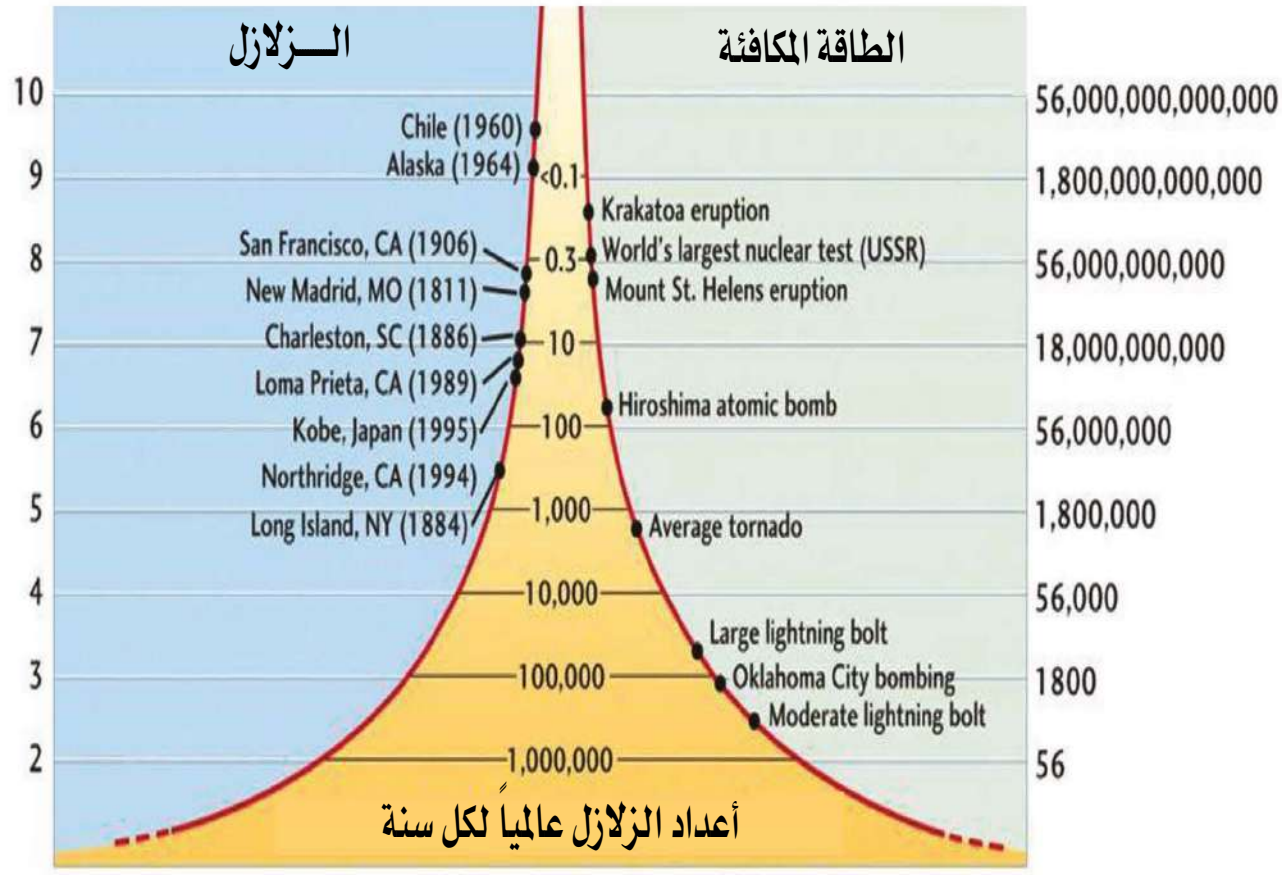
هناك علاقة تجريبية تربط بين المقدار الزلزالي (M) والإزاحات السطحية الناتجة عن الصدوع والتشوهات في القشرة الأرضية. فمثلاً هناك علاقة تربط المقدار الزلزالي وطول الصدع (L) بالكيلومترات:

$$Ms = 6.10 + 0.70 \ Log \ L$$

كما أن هناك علاقة تجريبية تربط بين إزاحة الصدع (Fault Offset) (U) والمقدار الزلزالي (M)

$$Log\ (U) = 0.55\ M - 3.71$$

$$Log\ (U) = 0.67\ M - 4.33$$



العلاقة الطردية بين القدر الزلزالـــي وكمية الطاقة الزلزالية

2. الشدة الزلزالية Earthquake Intensity

لقد قامت عدة محاولات لقياس شدة الزلازل اعتماداً على حجم التأثيرات ونوعيتها ومقدار الدمار، ومن تلك المحاولات ما قام به عالم البراكين الإيطالي ميركالي Mercalli عام 1887م من وضعه مقياساً وصفيّاً من ثماني درجات تكون الشدة مختلفة حسب القُرْب والبُعْد عن البؤرة، فالمناطق الواقعة فوق بؤرة الزلازل تكون الشدة فيها أعلى من المناطق البعيدة عن البؤرة، لقد قام ميركالي برسم خطوط كنتورية تمثل الشدة الزلزالية لكل منطقة، وتربط المناطق التي حصل لها نفس التشويه، وطور هذا المقياس إلى 12 درجة في عام 1931م، وتدل الشدة الزلزالية على التأثير المحلي أو مدى إصابة الناس بالزلازل، وكل هذه التأثيرات تختلف باختلاف المسافة.

إن للشدة الزلزالية أهمية كبيرة حيث يمكن أن تستخدم في رسم خرائط تساوي الشدة Isoseismal Maps وتزودنا مثل هذه الخرائط بمعلومات عن أقصى شدة للهزة المحتملة وعن طبيعة الاهتزازات الأرضية وتأثير الطبقات الصخرية للجيولوجية التحتية والتربة السطحية على شدة الهزة. استخدمت الشدة الزلزالية أيضاً في دراسة المخاطر الزلزالية حيث تستخدم الشدة العظمى عند المركز السطحي أو تستخدم الشدة في أية نقطة لبناء خرائط تقسيم زلزالي Seismic Zoning يمكن أن نتوقع منها أقصى شدة للهزة المحتملة الوقوع.

وهناك ارتباطاً نسبيّاً بين القدر الزلزالي (M) والشدة الزلزالية (I)، فكلما زادت الشدة في منطقة ما فإن هذا يعني أن القدر الزلزالي مرتفع. ويرتبط الحد الأعلى للشدة الزلزالية بالقدر الزلزالي على النحو المبين بالجدول التالي وحسب المعادلة التقريبية:

$$I = 8.16 + 1.45\,M - 2.46\,\mathrm{Log}_{10}\,D$$

حيث D تُمثل المسافة البؤرية

لا يوجد في مقياس ريختر حد أعلى أو حد أدنى، ولو أن أقصى درجة سجلها المقياس كانت 8.9، وأن تزايد درجة واحدة في القدر يعني تضاعف في حركة الأرض عشر مرات وانطلاق طاقة أكبر بـ 30 مرة، وهكذا فإن زلزالاً قدره 6 سيطلق طاقة أكبر بـ 30 مرة من زلزال قدره 5 وأكبر بـ 900 مرة من زلزال قدره 4.

كذلك ترتبط الشدة الزلزالية بمعامل التوهين والطاقة الزلزالي والمسافة من مصدر الزلزال من خلال العلاقات التالية:

$$I(R) = I0 + a + bR + C \log10\ R$$

R نصف فطر الدائرة من مركز الزلزال

I(R) الشدة الزلزالية من المسافة R

a،b،c ثوابت

$$I(R) = I0 + 6.453 - 0.00121\ R - 2.15 \ln (R+20)$$

$$I0 = 0.95\ Ms + 1.99$$

مع إهمال R 0.00121

$$I = 8.443 + 0.95\ Ms - 2.15\ In\ (R+20)$$

Ms القدر الزلزالي المبني على الموجات السطحية

$$Log(PGA)\ h=0.57+0.5\ mb-0.83\ log(R^2+h^2_m)^{1/2} - 0.00069R$$

ذروة التسارع الأرضي (PGA)

R: المسافة من بؤرة الزلزال

h_m : أدنى عمق بؤري

$$hm = -1.73 + 0.456\ mb \qquad mb > 4.5$$

$$Log\ (PGV)_h = -3.6+1.0\ mb - 0.83\ Log(R^2 + h^2_m)^{1/2} - 0.00033R$$

ذروة السرعة الأرضية (PGV)

العلاقة الطردية بين الحجم والشدة الزلزالية

الحد الأعلى للشدة الزلزالية Intensity	القدر الزلزالي Magnitude	التأثير
2 – 3	3	الحركة تسجل والأشياء المعلقة تهتز.
4 – 5	4	يشعر بها من في الداخل - الأضرار محلية.
6 – 7	5	يشعر بها الجميع - بعض الأضرار في المباني.
7 – 8	6	أضرار في المناطق الآهلة بالسكان والمباني العادية تتحطم.
9 – 10	7	تحطم المباني - تشققات كبيرة - إنحناء السكك الحديدية.
11 – 12	8	دمار كامل - تحطم الجسور.

أوجه الشبه والاختلاف بين حجم الزلزال وشدته

القدر (الحجم) الزلزالي Magnitude	الشدة الزلزالية Intensity
مقياس كمي للحجم الفعلي للزلزال.	مقياس نوعي للاهتزاز الفعلي في موقع ما أثناء الزلزال.
تستخدم الأرقام الطبيعية لتحديد حجم الزلزال.	يتم تعيين الشدة كأرقام رومانية كبيرة.
يستخدم مقياس ريختر (يسمى مقياس الحجم المحلي) لقياس الحجم. هناك مقاييس حجم أخرى، مثل: مقدار العزم، وحجم موجة الجسم، وحجم الموجة السطحية، وحجم طاقة الموجة. هذه المقاييس العددية الحجم ليس لها حدود عليا وسفلى؛ يمكن أن يكون حجم زلزال صغير جدّاً صفراً أو حتى سالباً.	هناك العديد من مقاييس الشدة. اثنان منها شائع الاستخدام هما مقياس كثافة Mercalli المعدل (MMI) ومقياس MSK. كلا المقياسين متشابهان تماماً ويتراوحان من الأول I (الأقل إدراكيّاً) إلى الثاني عشر XII (الأكثر حدة).
يتم الحصول على المقياس من مخططات الزلازل ويحسب اعتماد سعة شكل الموجة على المسافة المركزية.	تعتمد مقاييس الشدة على ثلاث سمات للاهتزاز – الإدراك من قبل الناس والحيوانات، وأداء المباني، والتغيرات في البيئة المحيطة الطبيعية.
عندما يحدث زلزال، يمكن إعطاء حجمه قيمة عددية واحدة على مقياس ريختر.	عند حدوث زلزال، تكون شدته متغيرة على المنطقة المتأثرة بالزلزال، مع شدة عالية بالقُرْب من مركز الزلزال وقيم أقل بعيداً. يتم تخصيص قيمة بناءً على تأثيرات الاهتزاز.
الحجم ليس هو أساس تصميم الهياكل لأن نفس الحجم سيكون له شدة مختلفة في مواقع مختلفة.	تم تصميم الهياكل لتحمل مستويات معينة من شدة الاهتزاز، وليس الحجم الكبير. ذروة تسارع الأرض (PGA) هي إحدى طرق قياس شدة اهتزاز الأرض المستخدمة في مقاومة الزلازل للهياكل.
تشير الزيادة في الحجم (M) بمقدار 1.0 إلى سعة شكل موجة أعلى بمقدار 10 مرات وإطلاق طاقة أعلى بحوالي 31 مرة.	لا يوجد علاقة عددية ولكنها طردية.
تستخدم أجهزة قياس الزلازل لتسجيل مقدار الزلازل.	يتم تحديد قيمة الشدة من التأثيرات الملحوظة للاهتزاز على الأشخاص، وعلى الهياكل التي يصنعها الإنسان ومحتوياتها، وعلى المناظر الطبيعية.

هـــل يمكـن التنبـــؤ بالـــزلازل؟

لقد عانت البشرية ولا تزال تعاني من كوارث الزلازل التي يذهب ضحيتها آلاف البشر بجانب الخسائر المادية الجسمية، ونتيجة لكون مسببات الزلازل والعمليات التي تحدث في البؤرة أثناء حدوث الزلازل ليست معروفة بشكل مطلق، لذا أصبحت عملية التنبؤ بالزلازل أمراً في غاية الصعوبة على الرغم من بعض المحاولات الناجحة في بعض الدول المتقدمة. يعتقد معظم الباحثين في مجال الزلازل أن التنبؤ بالزلازل هدف يمكن الوصول إليه، لذا بذلت كل الجهود الممكنة من أجل الوصول إلى هذا الهدف ولو أن البعض يرى أن نتائج التنبؤ ربما تكون ضارة وغير نافعة وخصوصاً عند فشل إحدى هذه التنبؤات، فإن الناس بالتأكيد ستتجاهل أي تحذيرات بُقْرب وقوع كارثة بعد ذلك.

هناك فرق كبير بين التنبّؤ وتوقّع حدوث الزلزال. فالتنبّؤ هو تحديد مكان وزمان حدوث الزلزال بدقة، ويكون في حدود عدة ساعات، وهذا غير متاح على المستوى العالمي. أما التوقع بالتخمين فهو مبني على دراسات تاريخية مستمرة للمنطقة زلزاليّاً وجيولوجيّاً.

إن البركان مهما كان أمره يمكن الفرار منه فهو ينذر الناس قبل ثورانه، أما الزلازل فإنها لا تنذر الناس قبل وقوعها ولا يمكن التنبؤ عما إذا كانت ستحدث بعد يوم أو شهر أو سنة، ولذلك فلا مفر منها، حيث إنها تضرب ضربتها فجأة وبعد دقيقتين أو ثلاث دقائق يكون كل شيء قد انتهى، لذا بلغ عدد من فقدوا حياتهم بسبب الزلازل أضعاف أولئك الذين فقدوا بسبب ثوران البراكين.

لقد نجح العلماء السوفيات في تحديد وقت زلزال نوفمبر 1978م في أدي فيرجاتا قبل حدوثه، وكذلك في فبراير 1975م تنبأ علماء الزلازل في الصين بحدوث الزلزال وأعطوا تحذيرات قبل حدوثه بحوالي 24 ساعة بناء على

مراقبة حركة الحيوانات بصورة رئيسية، ودراسة ورصد كل المتغيرات في المنطقة. ولكن في العام الذي يليه وبالتحديد في 27 يوليو 1976م وأثناء عقد مؤتمر لعلماء الزلازل في الصين لمناقشة النجاح في توقع زلزال العام الماضي حدث زلزال عظيم مفاجئ قتل حوالي 250 ألف شخص.

لم تتمخض الدراسات التي قام بها علماء الزلازل في اليابان وروسيا والصين وأمريكا عن أي قواعد ثابتة يمكن اتباعها للتنبؤ بُقْرب حدوث الزلازل، وكان أقصى ما وصلوا إليه هو معدل تكرار الزلازل في مكان معين، وأوصوا بأن تكون المباني والمنشآت الهامة بعيدة عن أماكن الخطر الزلزالي حتى يمكن الإقلال من احتمالات تعرضها للانهيار إذا حدث زلزال في مكان وجودها.

إن أهمية السجلات التاريخية يمكن أن تساعدنا في تحديد الأماكن التي يتوقع حدوث زلازل فيها، ولكن لا يمكن أن تحدد وقت وقوعها، وقد أمكن لليابان رصد عدة تغيرات جيوديسية للأرض قبل عام 1964م، فقد تغير منسوب الأرض حوالي 20 سم حدث بعدها زلزال في المنطقة في 16 يونيو 1964م.

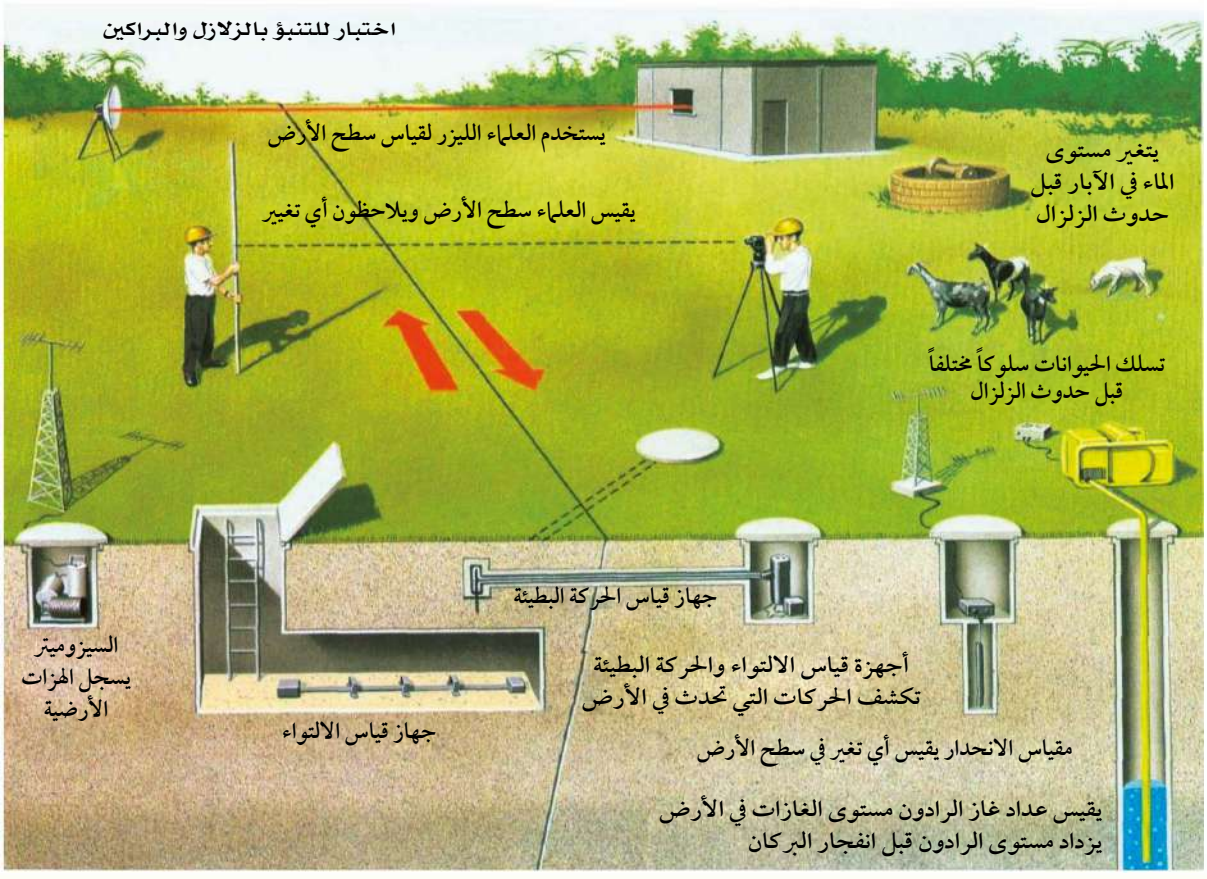
وعموماً فإن التوقع الكامل لحدوث الزلازل يتمثل في معرفة ثلاثة عناصر أساسية هي: مكان وزمان وقدر الزلزال. فبالنسبة لمكان الزلزال وقدره فقد توصل العلماء إلى تحديد أكثر الأماكن تعرضاً للزلازل على الكرة الأرضية، وقدر هذه الزلازل على وجه التقريب، حيث تتم الاستفادة من هذه المعلومات في اختيار أنسب الأماكن لإقامة المشروعات العمرانية والصناعية بعيداً عن أماكن الخطر الزلزالي.

أما بالنسبة لزمن الزلزال وهو أهم العناصر، فعلى الرغم من وجود بعض الظواهر المختلفة التي قد تدل على قُرْب وقوع الزلزال في منطقة ما، إلا أنها ليست قاعدة ثابتة يعتمد عليها في تحديد وقت حدوثه، فقد يحدث بعد يوم أو شهر أو أكثر، وقد لا يحدث مع وجود هذه الظواهر. ومن أهم الظواهر التي قد يصاحبها حدوث هزات أرضية (زلازل) ما يلي:

- **التغيرات في سرعة الموجات الزلزالية.**
- **اختلال مستوى المياه الجوفية في الآبار قبل حدوث الزلازل.**
- **تشوهات في سطح الأرض في المناطق القريبة من البؤرة وتحرك القشرة الأرضية للأعلى وتغير قيم الجاذبية.**
- **انطلاق غاز الرادون Radon من الآبار على امتداد الصدوع وتغير تركيز غاز الهليوم.**
- **تغير في درجة التوصيل الكهربائي للصخور وتغير في المجال المغناطيسي الأرضي.**
- **ازدياد نشاط الهزات الأولية قبل حدوث الزلزال.**
- **السلوك الشاذ لبعض الحيوانات.**

• مراحل توقع الزلازل البعيدة والقصيرة المدى

أن بعض الحيوانات ومن بينها سمك القرش حسَّاسة جدّاً للمجال المغناطيسي للأرض مما يجعلها تشعر بالتغيير الذي يطرأ عليه عادة قبل وقوع الزلازل وكذلك أن لبعض الكائنات الحية حاسة سمع مذهله تنفذ إلى باطن الأرض بحيث تستطيع التقاط الأصوات المنذرة بُقْرب الهزات الأرضية وتمييزها قبل وقوع الهزات وبعض الحيوانات تتميز بوجود حاسة فوق العادة تعتمد عليها في معرفة أي تغير في خصائص الصخور قبل حدوث الزلازل.

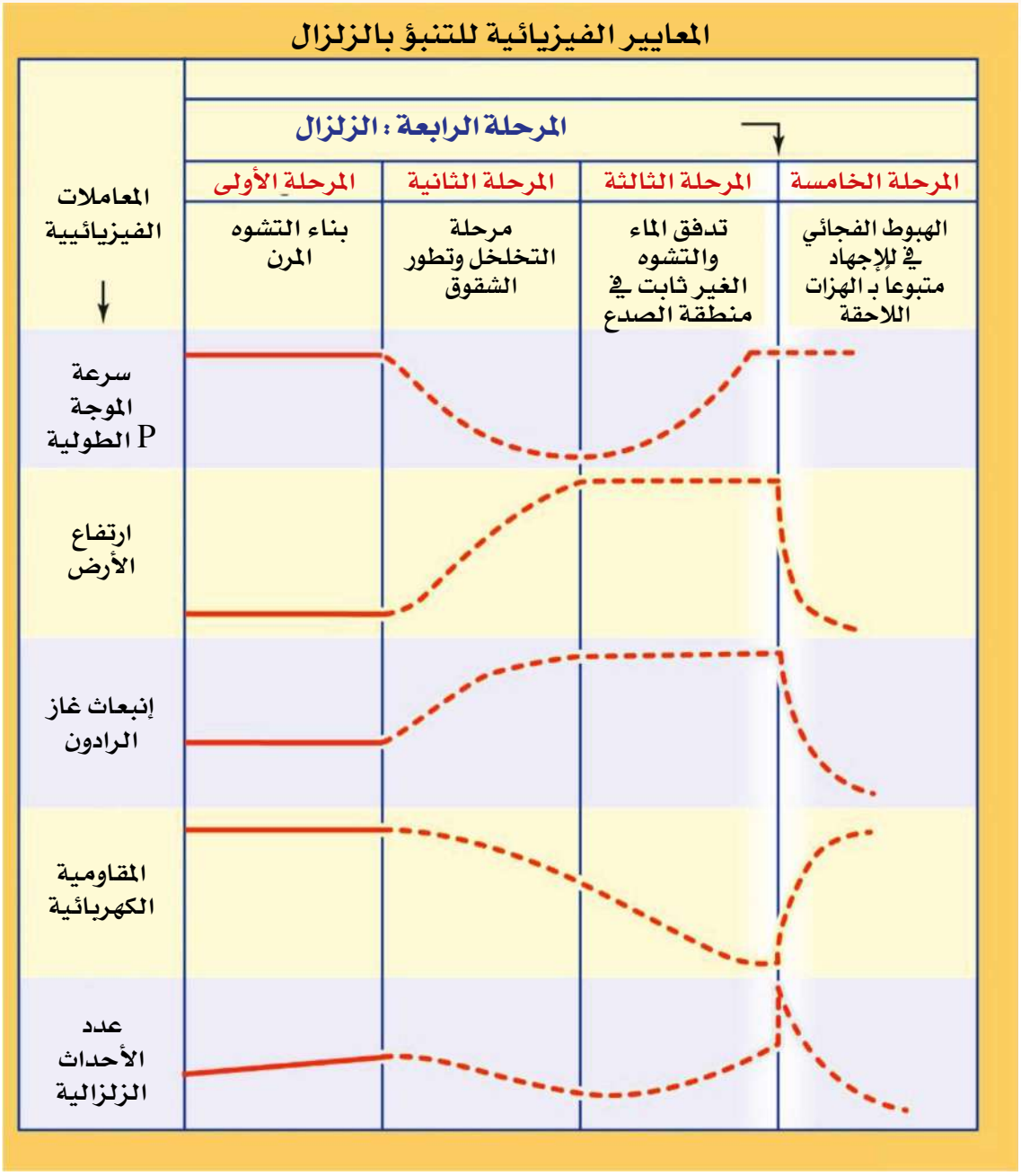


اختبار المؤشرات القصيرة والبعيدة لمحاولة التنبؤ بالزلزال أو البركان قبل حدوثه

جميع الظواهر الوارد ذكرها تعتبر مؤشرات تنبؤ متوسط أو قصير الأمد، أما مؤشرات التنبؤ طويلة الأمد فهي تحدث في الغالب في المناطق التي تعرضت لهزات مدمرة في السابق، ويمكن التنبؤ بها عن طريق مراجعة السجلات الزلزالية التاريخية، لحساب زمن تكرار هذه الزلازل في المنطقة. إن دراسة الخرائط الزلزالية لمنطقة ما تعرضت لهزات عنيفة في الماضي، ربما يبين استمرار النشاط أو هدوء تام يتبعه انتقال في النشاط إلى مناطق مجاورة للبؤرة السابقة. وتوضع هذه الظاهرة على الخرائط الزلزالية على شكل حلقة تتكون من بؤر الزلازل للمنطقة المحيطة ببؤرة الزلزال السابق، وتعرف بالفجوة الزلزالية Seismic gap.

ومع هذا ما زال توقع الزلازل عملية في مهدها ولم يستطع علماء الزلازل حتى الآن التنبؤ بدقة عن مواعيدها، وهذا قد يكون **رحمة من الله بعباده، ولله حكمة في ذلك**. والسؤال الذي يفرض نفسه: ماذا سوف يحدث لو أنذر الناس قبل حدوث الزلزال بساعة؟ وكيف سيتصرف الناس؟ وماذا سيحدث لحركة المرور؟ وأين سيذهب الناس...؟!

عموماً اهتمت معظم الأبحاث الحالية في الدول المتقدمة وكرست جهودها على تقليل المخاطر المرتبطة بالزلازل، من خلال تقييم مزيج الخطر الزلزالي ومدى ضعف منطقة معينة. بشكل عام، تم اعتبار جميع محاولات التنبؤ بالزلازل بشكل عام بمثابة إخفاقات، ومن غير المرجح أن يحدث تنبؤ دقيق في المستقبل القريب. وبدلاً من ذلك، تم توجيه الجهود نحو التخفيف من حدة المخاطر نظراً لأنه يصعب أو يستحيل التنبؤ بالزلازل بسبب عنصرها العشوائي المتأصل وسلوكها شبه الفوضوي.



الأدلة والمعاملات الفيزيائية للتنبؤ بالزلزال

نظام الإنذار المبكر بالـزلازل

في العقود القليلة الماضية، زادت الخسائر الاقتصادية الناجمة عن الكوارث الطبيعية بشكل كبير في جميع أنحاء العالم ولم يُحرز تقدم يذكر في خفض معدل الوفيات. وينطبق هذا أيضًا على كوارث الزلازل ويرجع ذلك أساسًا إلى زيادة الكثافة السكانية والصناعية في المناطق شديدة الخطورة والضعف. مع أن التنبؤ بالزلازل ليس ممكنًا بعد، إلا أن التكنولوجيا الحالية تسمح بالتعرف السريع على بداية أي حدث زلزالي خطير. ومن ثم، أصبحت نظم الإنذار المبكر والمعلومات السريعة عن الكوارث وسيلة مهمة لتعزيز الوقاية والقدرة الاجتماعية على مواجهة الآثار الضارة الناجمة عن الأحداث الطبيعية الكبرى، ومن ثم ينبغي أن تصبح حجر الزاوية في التخفيف من آثار الكوارث.

يُستخدم حاليًا مصطلح الإنذار المبكر على نطاق واسع بمعانٍ مختلفة في المجتمعات العلمية والاقتصادية والاجتماعية. وحتى في المجتمع العلمي، يُستخدم هذا المصطلح بطرائق مختلفة قليلًا مع وجود إجماع متزايد على تعريف الإنذار المبكر باعتباره كل الإجراءات التي يمكن اتخاذها خلال الفترة الزمنية اللازمة لوقوع حدث كارثي.

تعرّف المهلة الزمنية على أنها الوقت المنقضي بين اللحظة التي يكون فيها وقوع حدث كارثي في مكان معين مؤكدًا بشكل معقول ولحظة حدوثه بالفعل. تتراوح المهل الزمنية النموذجية بين ثوانٍ وعشرات الثواني في حالة الزلازل، ومن دقائق إلى ساعات في حالة التسونامي، ومن ساعات إلى أيام في حالة الانهيارات الأرضية والفيضانات والانفجارات البركانية.

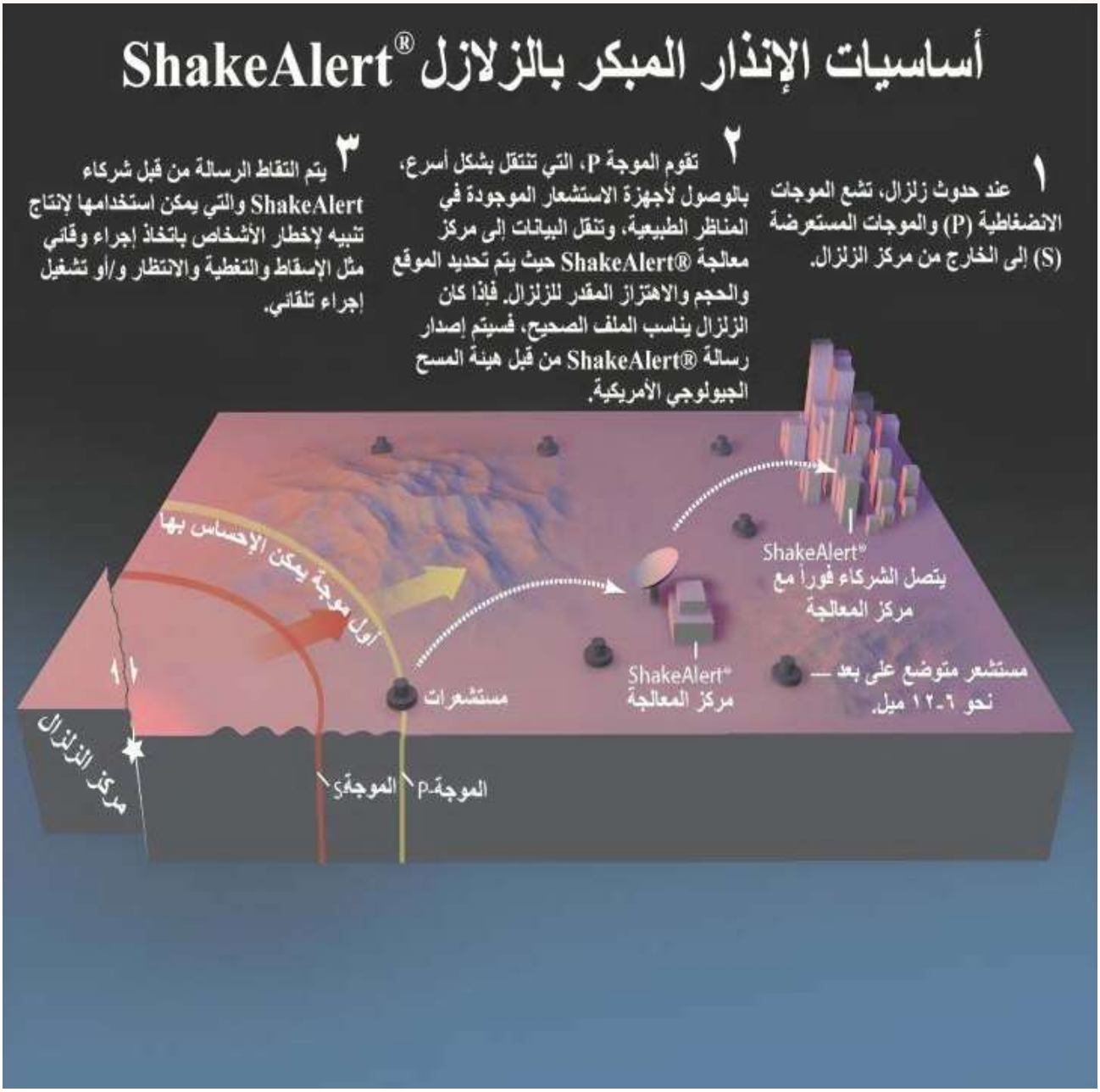
عموما، الإنذار المبكر هو توفير معلومات فعالة في الوقت المناسب، من خلال مؤسسات محددة، مما يسمح للأفراد المعرضين لخطر ما باتخاذ الإجراءات اللازمة لتجنب مخاطرها أو تقليلها والاستعداد للاستجابة الفعالة.

مع أن تعريف المهلة الزمنية للمخاطر غير الزلزالية قد يكون غامضًا (قد يحتاج مصطلح «مؤكد إلى حد معقول» إلى تعريف احتمالي أكثر دقة)، فإن التعريف بالنسبة للزلازل لا لبس فيه لأن المهلة ستبدأ عندما يتم إطلاق الموجات الأولى من مصدر الزلزال.

في الواقع، فإنّ الأساس المادي للإنذار المبكر بالزلزال بسيط: اهتزاز الأرض القوي يحدث بسبب موجات القص والموجات السطحية اللاحقة التي تنتقل أبطأ بكثير (نحو نصف سرعة الموجات الأولية) من الإشارات الكهرومغناطيسية المنقولة لاسلكيًا و/أو عن طريق كابل. ومن ثم، اعتمادًا على مسافة الزلزال القوي من المنطقة الحضرية المهددة بالدمار، فإن نقل المعلومات والتحليل في الوقت الفعلي للموجة الأولية السريعة قد يوفر تحذيرات من بضع ثوانٍ إلى بضع عشرات من الثواني قبل وصول الهزة الأرضية القوية.

ويمكن استخدام هذا لتقليل الأضرار التي لحقت بالممتلكات والخسائر في الأرواح في المناطق الحضرية وللمساعدة في الاستجابة لحالات الطوارئ. عند توفر شبكة زلزالية مناسبة، يمكن تطبيق طرائق المعالجة السريعة لتحديد موقع الزلزال وتحديد قوته وتقدير توزيع الحركة الأرضية (النهج الإقليمي).

في موقع مجهز بأجهزة استشعار زلزالية، من الممكن إصدار تحذير خاص بالموقع باستخدام أول وصول منخفض السعة (موجات P) لاستنتاج الحركة بسبب القص عالي السعة والموجات السطحية التالية.



تعمل أنظمة الإنذار المبكر بالزلازل مثل ShakeAlert ® لأنه يمكن إرسال التنبيه بشكل فوري تقريبًا، بينما تنتقل الموجات المهتزة الناتجة عن الزلزال عبر الطبقات الضحلة من الأرض بسرعة تتراوح من كيلومتر واحد إلى بضع كيلومترات في الثانية. يوضح هذا الرسم البياني كيفية عمل مثل هذا النظام.

يمكـن أن يكـون تطبيـق أنظمـة الإنـذار المبكـر بالزلـزال (EEWS) فعـالاً جـدًا في التخفيـف مـن المخاطـر في الوقـت الفعلـي، ممـا يعـزز هامـش الأمـان لأنظمـة هندسـية مهمـة محـددة مثـل محطـات الطاقـة النوويـة أو البنـى التحتيـة للنقـل عـن طريـق تقليـل تعـرض المنشـأة لإجـراءات السـلامة الآليـة.

يمكـن اسـتخدام نظـام الإنـذار المبكـر لتحفيـز الإغـلاق المنظـم لخطـوط الأنابيـب وخطـوط الغـاز لتجنـب الحرائـق، أو إيقـاف عمليـات التصنيـع لتقليـل الأضـرار المحتملـة للمعـدات والحـوادث الصناعيـة.

كمـا يمكـن تعزيـز السـلامة الشـخصية إذا أمكـن تنبيـه الأشـخاص. بالإضافـة إلـى ذلـك، فـإن وظائـف المجتمـع الحديـث سـتكون أقـل عرضـة للتحـول إلـى الفوضـى إذا توفـر إنـذار مبكـر للـزلازل وإذا جـرى تنفيـذ التدريـب علـى الإجـراءات المناسـبة. وقـد ترسـل فـرق الاسـتجابة للطـوارئ إلـى حيـث تشـتد الحاجـة إليهـا إذا أمكـن توفيـر خرائـط الهـزات الأرضيـة القويـة بواسـطة نظـام الإنـذار المبكـر في غضـون دقائـق قليلـة.

بالإضافـة إلـى ذلـك، يمكـن أن تكـون أنظمـة الإنـذار المبكـر بالـزلازل ذات قيمـة كبيـرة في تقليـل الأضـرار والخسـائر الناجمـة عـن الأحـداث الثانويـة الناجمـة عـن الـزلازل. وقـد تشـمل هـذه الانهيـارات الأرضيـة وأمـواج التسـونامي والحرائـق والحـوادث الصناعيـة.

إن الحرائـق التـي دمـرت سـان فرانسيسـكو بعـد زلـزال عـام 1906 والتسـونامي الـذي ضـرب إندونيسـيا في ديسـمبر 2004 همـا حالتـان كلاسـيكيتان، ولكـن في معظـم الـزلازل الكبـرى، تفاقمـت الخسـائر الاقتصاديـة والخسـائر البشـرية بسـبب ظواهـر ثانويـة.

مع الاعتبـارات المذكـورة أعـلاه، في الوقـت الحاضـر لا تسـتخدم إمكانـات أسـاليب الإنـذار المبكـر الزلزاليـة بشـكل كامـل. ولا ينطبـق هـذا علـى البلـدان النامية فحسـب، بـل ينطبـق أيضًـا علـى البلـدان الصناعيـة العاليـة بمـا في ذلـك البلـدان الأوروبيـة.

لم يجر تطوير أو تحسين معظم طرائق المعالجة الزلزالية الحالية لتطبيقات الوقت الفعلي أو تطبيقات الوقت الفعلي تقريبًا كما هو مطلوب للإنذار المبكر.

ولذلك فإن تطوير أساليب التحليل والنمذجة والمحاكاة في الوقت الحقيقي، وتكاملها مع المرافق المناسبة لمعالجة البيانات والتصور ونظم المعلومات السريعة وتطبيقها على الإنذار المبكر بالزلزال بالتزامن مع إدارة الكوارث، يعد أحد التحديات الرئيسية التي تواجه علم الزلازل اليوم.

إحدى المشكلات الأساسية في الإنذار المبكر بالزلزال هي تطوير خوارزميات في الوقت الفعلي لتحديد سريع لمعالم مصدر الزلازل وتقدير موثوقيتها. يتضمن ذلك مشكلات اكتشاف الأحداث وتحديد موقعها في الوقت الفعلي، ورسم خرائط الصدوع في الوقت الفعلي، فضلًا عن الأساليب الجديدة لتحديد القدْر/ اللحظة بسرعة استنادًا إلى بيانات الحركة القوية، وتكنولوجيا المصفوفة الزلزالية الحديثة ومفهوم مقدار الطاقة. يعد المفهوم الأخير مفيدًا جدًا لتقدير قدْر الأحداث الكبرى. ويتمثل التحدي العلمي والتكنولوجي في الحصول على هذا النوع من المعلومات بعد ثوانٍ قليلة من وصول الموجة P الأولى.

إلى جانب تطوير الخوارزميات المناسبة في الوقت الفعلي، من الضروري وضع استراتيجية لتوصيل المعلومات الزلزالية التي جرى الحصول عليها بسرعة ليس فقط بالنسبة إلى مديري الكوارث، ولكن أيضًا إلى الأطراف المعنية الأخرى من الحماية المدنية والسياسة والإعلام والعلماء والجمهور. ومع ذلك، قد يلزم تمديد وقت التحذير المتضمن في هذه المهمة إلى دقائق أو عشرات الدقائق أو أكثر. ستكون هناك أهمية خاصة لمخططي الطوارئ لمفهوم عالم الزلازل الافتراضي، الذي يأخذ في الاعتبار المعلومات الموجودة مسبقًا لتقدير وربما تقليل حالات عدم اليقين في تحديدات معالم المصدر، والتي على وجه الخصوص يمكن أن تستنتج من معلومات معالم المصدر قرارًا محددًا دعم إدارة الكوارث.

تكتشف أنظمة الإنذار المسبق للزلازل الموجات الأولية غير المدمرة (موجات P) التي تنتقل بسرعة عبر القشرة الأرضية، قبل الموجات الثانوية المدمرة (موجات S).

يتحكم التأخير بين وصول الموجات P وموجات S في مقدار التحذير المسبق الذي يمكن تقديمه. ويزداد الفاصل الزمني كلما كان الموقع أبعد عن مركز الزلزال. تتراوح هذه الفترة بشكل عام بين 60 و90 ثانية بالنسبة للزلازل العميقة والبعيدة والكبيرة. القاعدة العامة هي أن الفاصل الزمني ثانية واحدة لكل كيلومترين (كم) من مصدر الزلزال، وتعتمد فعالية الإنذار المسبق على الكشف الدقيق عن موجات P ورفض الاهتزازات الأرضية الإيجابية الكاذبة الناتجة عن النشاط المحلي.

دور الموجات الزلزالية في أنظمة الإنذار المبكر

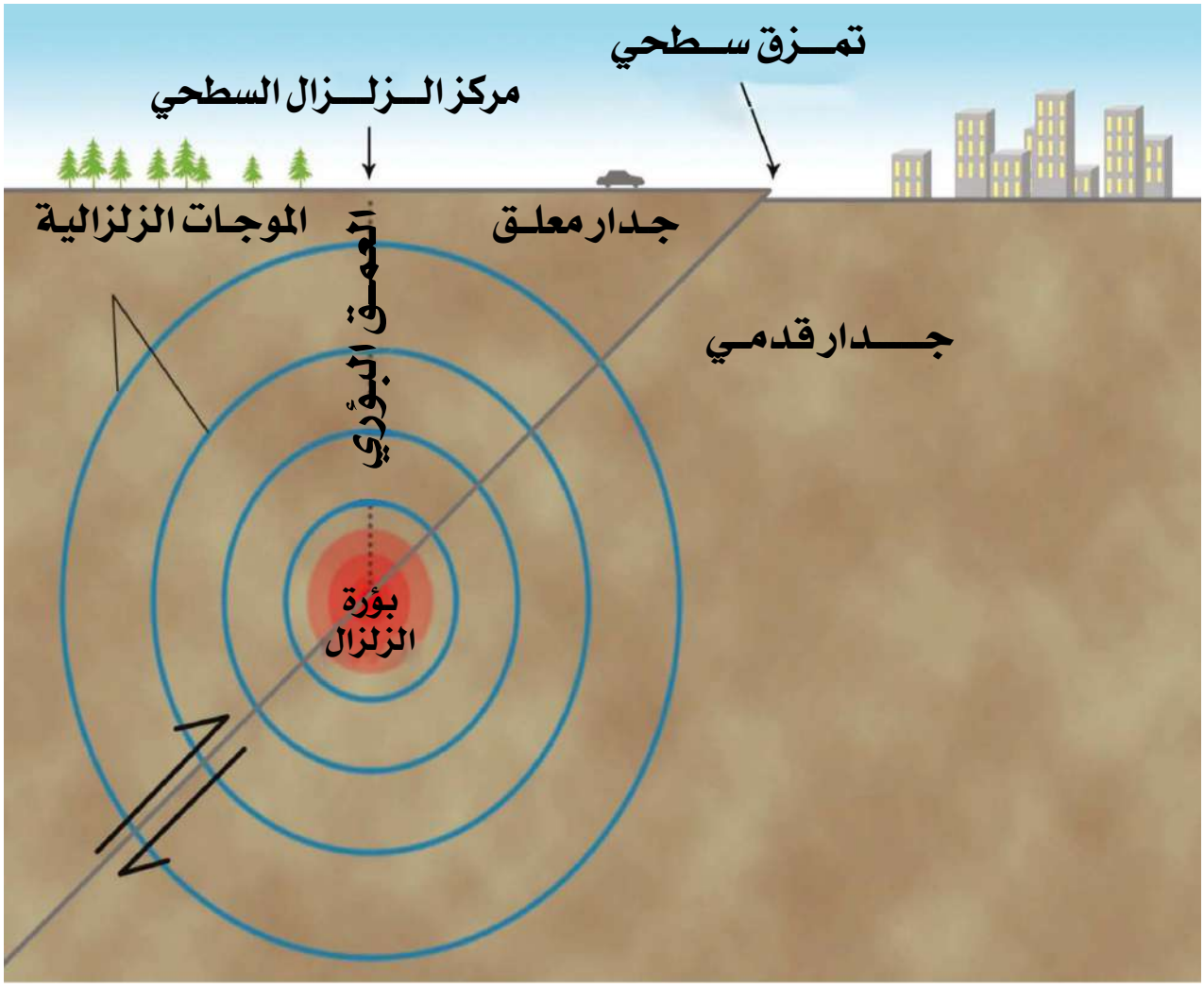
يتولد عن حدوث الزلازل في نقطة ما في الأرض نوعان من الموجات الزلزالية المرنة، تنتشر في جميع الاتجاهات مبتعدة عن موقعه، وتسمى النقطة التي تنطلق منها الحركة داخل الأرض بؤرة الزلزال Hypocenter بينما تسمى النقطة على سطح الأرض الواقعة مباشرة فوق بؤرة الزلزال مركز الزلزال السطحي Epicenter وتعرف المسافة العمودية بين مركز الزلزال وبؤرته بعمق الهزة Focal Depth، ويمكن تقسيم الموجات الزلزالية إلى:

1 . الموجـــات الداخليـــــة Body Waves

تُعرف الموجات الزلزالية الداخلية أو الجسمية بأنها الموجات التي تنفذ من خلال جسم الأرض لتظهر في مناطق أخرى على سطحها، وتنقسم الموجات الداخلية إلى **نوعين هما**:

- **الموجـــــات الأوليـــــة P - Primary Waves**

وتسمى أيضاً بالموجات الطولية أو الموجات التضاغطية Compressional Waves تنتشر هذه الموجات خلال الأجسام الصلبة والسائلة والغازية في صورة تضاغطات وتخلخلات متوالية، وتتميز بأنها ذات ذبذبات قصيرة، وتسير بسرعة عالية، ولذا فإنها تصل إلى أجهزة رصد الزلازل قبل غيرها من الموجات الأخرى، كما أنها عند وصولها إلى سطح الأرض - قادمة من العمق - يتحول جزء منها إلى موجات صوتية في الهواء يمكن للإنسان سماعها عند ذبذبات معينة (تزيد على 15 ذبذبة في الثانية).



شكل يوضح بؤرة الزلزال ومركزه السطحي ومستوى الصدع

• الموجـات الثانــويـة S- Secondary Waves

وتسمى أيضاً بموجات القص أو القصيرة أو الإزاحة Shear Waves، وتنتقل في الأجسام الصلبة فقط عن طريق الاهتزاز من جانب إلى آخر كأنها تقوم بقص الصخر أو إزاحته في اتجاه عمودي على اتجاه حركتها وهي ذات سرعات منخفضة، وتصل إلى أجهزة الرصد بعد الموجات الأولية ولذا تسمى بالموجات الثانوية. وتستخدم الموجات الداخلية (الأولية والثانوية) في إعطاء صورة واضحة عن التركيب الداخلي للأرض، وتحديد مركز الزلزال وبؤرته. وتتوقف سرعة الموجات الأولية والثانوية على كثافة وخواص الصخور، وعند حدوث الزلزال يلاحظ في البداية تأثير الموجة الأولية وينتج عنها اهتزاز الأشياء غير الثابتة، مثل: الأثاث والأبواب والنوافذ، يلي ذلك الموجة الثانوية التي تهز الأرض في الاتجاهين الأفقي والرأسي، ينتج عنها أضرار في المباني والمنشآت.

$$V_P / V_S = (2 (1- \alpha) / 1 - 2 \alpha))^{0.5}$$

وبالتـــالـــــي

$$\alpha = V_P^2 - 2V_S^2 / 2 (V_P^2 - V_S^2)$$

$\alpha = 0$ معامل بواسون في السوائل، لذلك لا يمكن لموجات S أن تنتشر عبر السوائل. يتم تحديد نسبة Poisson نظريّاً بين 0 و 0.5 وبالنسبة لمعظم الصخور تقريباً 0.25، لذلك عادةً ما يكون VP / VS حوالي 1.7

• الموجـــات الســـطحية Surface Waves

تُعد الموجات السطحية Surface Waves - L الأكثر تدميراً، وهي تنتقل بالقُرب من سطح الأرض دون أن تمر إلى جوفها، وهي أبطأ أنواع الموجات الزلزالية وآخر ما يتم التقاطه على أجهزة الرصد. وتُقسم الموجات السطحية إلى نوعين هما:

• موجـــة لوف

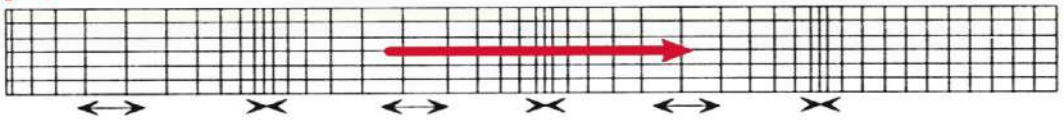
وتم تسميتها نسبة إلى العالم البريطاني أوغسطس لوف Love الذي اكتشفها عام 1885 م، وينتج عنها ذبذبات تشبه ذبذبات الموجة الثانوية ولكن في الاتجاه الأفقي فقط، وهي تؤثر بصفة خاصة على أساسات المنشآت.

• موجـــة رالي

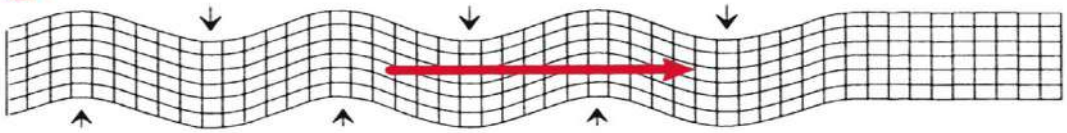
وتمت تسميتها نسبة إلى العالم البريطاني رالي Rayleigh الذي اكتشفها عام 1911م، وهي تشبه أمواج البحر الدائرية، وفي تحريكها للماء، وتعمل هذه الموجة على تحريك الأشياء في المستويين الأفقي والرأسي في اتجاه عمودي على اتجاه الموجة.

وتتجلى أهمية الموجات السطحية في قدرتها المدمرة، بينما تكمن أهمية الأمواج الطولية والقصيرة في قدرتها على إجلاء الصورة الواضحة عن داخلية الأرض، وكذلك في تحديد بؤرة الزلازل حيث يتباين زمن وصول الموجتين، فالفرق بينهما يجعل من السهل تحديد الفرق الزمني بين الموجتين القادمتين من مصدر وآخر للدلالة على بُعْد الزلازل. وهذا هو بعينه ما يحدث في حالة البرق والرعد، فنحن نبصر البرق أولاً ثم نسمع الرعد بعد ذلك، وهذا يرجع إلى أن الضوء ينتقل بسرعة أكبر من سرعة الصوت، ونستطيع أن نحدد بُعد العاصفة بمعرفة الفرق بين زمن وصول كل من البرق والرعد إلينا، فإذا كانت تفصلهما فترة زمنية وجيزة كانت العاصفة قريبة، أما إذا استغرق وصول الرعد فترة طويلة فإن العاصفة تكون بعيدة.

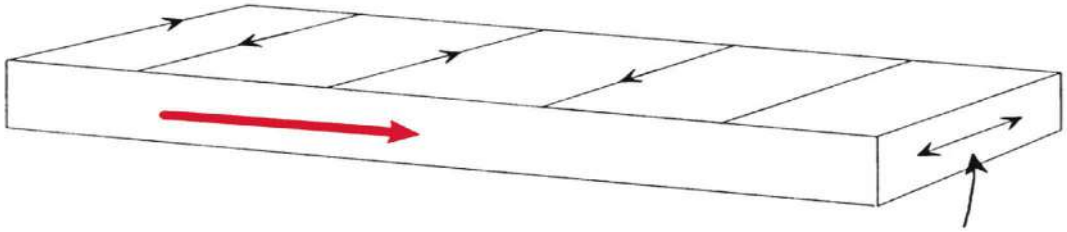
P- (موجة أولية (طولية



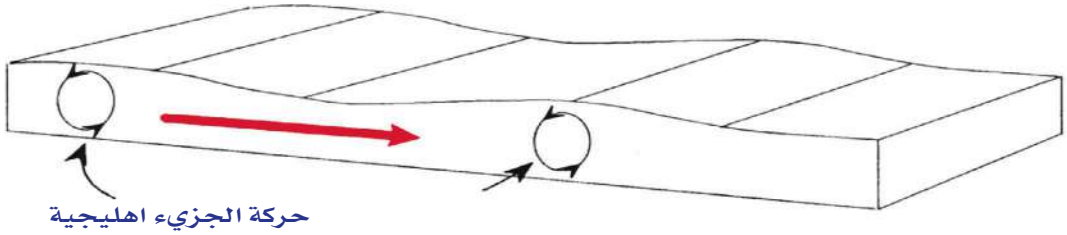
S- (موجة ثانوية (قصيرة



(موجة سطحية (لوف



(موجة سطحية (موجة رايلي



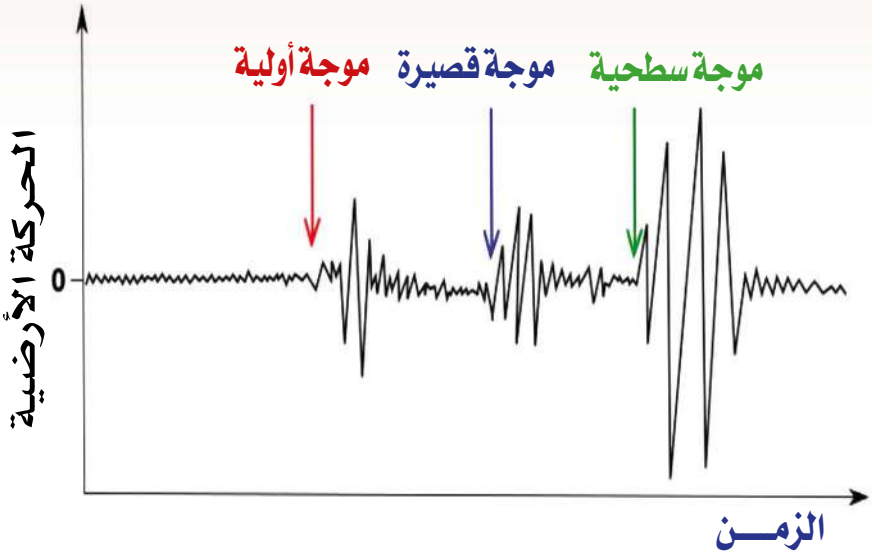
حركة الجزيء
اهليجية تقدمية

انتشار الموجة

اتجاهات حركة الجزيء

أنـــواع الموجـــات الزلزاليـــة واتجـــاه حركتـــها

جهاز راصد الزلازل



زمن وصـــول الموجـــات الزلزاليـــة وسعتها

عندما تنظر إلى مخطط الزلازل، سيكون هناك خطوط متعرجة في جميع أنحاءه. هذه هي كل الموجات الزلزالية التي سجلها جهاز قياس الزلازل. كانت معظم هذه الموجات صغيرة جدّاً لدرجة أن لا أحد يشعر بها. يمكن أن تحدث هذه الزلازل الصغيرة بسبب حركة المرور الكثيفة بالقُرْب من جهاز قياس الزلازل، والأمواج التي تضرب الشاطئ، والرياح، وأي عدد من الأشياء العادية الأخرى التي تسبب بعض اهتزاز جهاز قياس الزلازل. ستكون الموجة P هي أول اهتزاز أكبر من بقية الزلازل الصغيرة. لأن الموجات P هي أسرع الموجات الزلزالية، فعادة ما تكون الموجات الأولى التي يسجلها جهاز قياس الزلازل. ستكون المجموعة التالية من الموجات الزلزالية على مخطط الزلازل هي الموجات S. وعادة ما تكون هذه أكبر من موجات P. الموجات السطحية (موجات

لوف ورايلي) هي الموجات الأخرى، غالباً ما تكون أكبر، موضحة على مخطط الزلازل. لديهم تردد أقل، مما يعني أن الموجات (الخطوط؛ الصعود والهبوط) أكثر انتشاراً. تنتقل الموجات السطحية أبطأ قليلاً من الموجات S (التي بدورها تكون أبطأ من الموجات P) لذلك تميل إلى الوصول إلى جهاز قياس الزلازل بعد موجات S. بالنسبة للزلازل الضحلة (الزلازل مع التركيز بالقُرْب من سطح الأرض)، قد تكون الموجات السطحية أكبر الموجات التي سجلها جهاز قياس الزلازل. غالباً ما تكون الأمواج الوحيدة التي تم تسجيلها على مسافة طويلة من الزلازل متوسطة الحجم.

الـــزلازل المســتحثة والتفجـــيرات

تشـير الـزلازل المسـتحثة Induced Seismicity إلـى الـزلازل الصغيـرة والهـزات الأرضيـة التـي يسـببها النشـاط البشـري الـذي يغيـر الضغـوط والإجهـاد علـى قشـرة الأرض. هنـاك العديـد مـن الطـرق المختلفـة التـي يمكـن أن يتسـبب بهـا النشـاط البشـري في حـدوث زلازل مسـتحثة بمـا في ذلـك العمليـات الحراريـة الأرضيـة، واحتجـاز الخزانـات (الميـاه خلـف السـدود)، وحقـن ميـاه الصـرف، وعمليـات النفـط والغـاز مثـل التكسـير الهيدروليكـي. معظـم الـزلازل المسـتحثة ذات حجـم منخفـض، ويمكـن أن تشـكل خطـراً كبيـراً. قـد تحـدث الـزلازل أيضـاً عـن طريـق حقـن أو سـحب السـوائل مـن الخزانـات الجوفيـة.

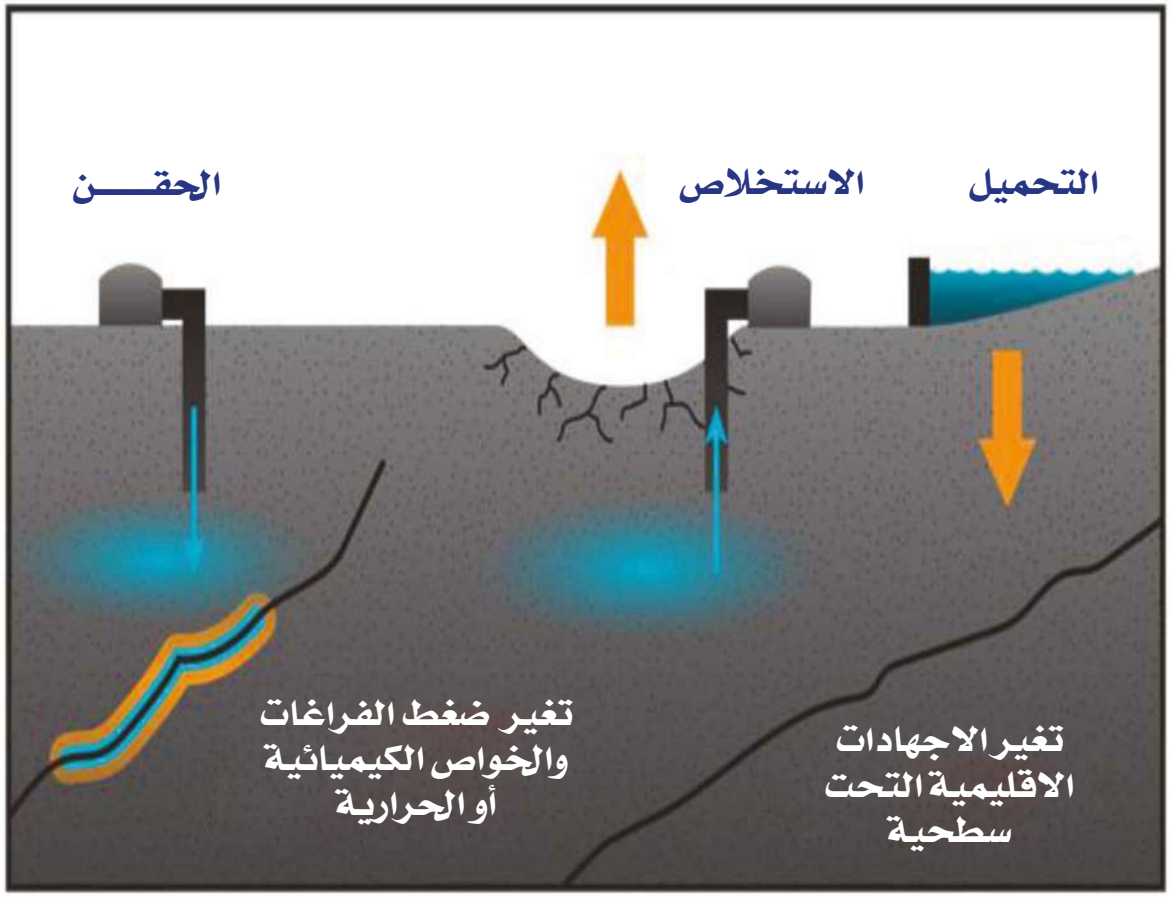
عندمـا يتـم حقـن كميـات كبيـرة مـن السـوائل في التكوينـات الجوفيـة للتخزيـن أو التخلـص منهـا، فقـد ينتقـل بعـض السـوائل إلـى الصـدوع. يمكـن أن تؤثـر هـذه السـوائل علـى الضغـوط التـي تعمـل علـى العيـوب. يسـمى ضغـط السـوائل في الكسـور ومسـام الصخـور «ضغـط المسـام». إذا كانـت ضغـوط المسـام منخفضـة مقارنـة بالقُـوى الطبيعيـة التـي تربـط الصخـور ببعضهـا البعـض، فـإن القُـوى التكتونيـة الطبيعيـة فقـط هـي التـي يمكـن أن تسـبب الزلـزال. ومـع ذلـك، إذا زادت ضغـوط المسـام، فسيسـتغرق حـدوث زلـزال أقـل مـن عـدم تـوازن الضغـوط. هنـاك احتمـال أنـه عنـد حقـن السـوائل في الصخـر، قـد يؤدي السـائل إلـى زيـادة ضغـط المسـام علـى خطـأ محتمـل نَشِـط. قـد يتسـبب هـذا في حـدوث انـزلاق مفاجـئ يؤدي إلـى إطـلاق طاقـة مخزنـة، ممـا يـؤدي إلـى توليـد الـزلازل وربمـا حـدوث زلـزال.

تقـوم شـركات التعديـن بعمليـات الحفـر في داخـل القشـرة الأرضيـة بشـكل أعمـق مـن أي وقـت مضـى، كمـا يتـم إزالـة الكثيـر مـن الصخـور والمـواد الأخـرى مـن الأرض، بحيـث يحـدث عـدم الاسـتقرار في الأرض، ممـا يـؤدي إلـى حـدوث الـزلازل. إن بنـاء السـدود هـو نشـاط بشـري آخـر يمكـن أن يتسـبب في حـدوث زلـزال، حيـث تسـبب

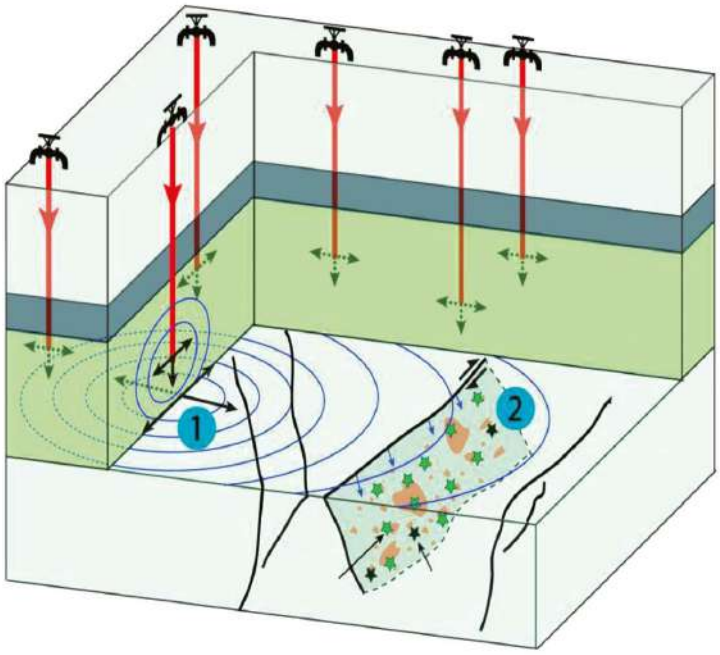
بناء السدود في حدوث بعض أكبر وأخطر الزلازل التي تسبب فيها الإنسان في التاريخ، على سبيل المثال كان زلزال الصين عام 2008م في مقاطعة سيتشوان والذي بلغت قوته 7.9 درجة على مقياس ريختر حدثاً مدمراً، حيث يعتقد العلماء أنه نجم عن إنشاء سد نتج عنه جمع 320 مليون طن من المياه فوق خط صدع معروف.
تم بناء العديد من سدود العالم في مناطق معرضة للزلازل؛ وذلك نظرا لأن السدود غالباً ما تُبنى في الوديان، وتوجد نتيجة التعرية، حيث يمكن لخزانات المياه الكبيرة أن تسبب الزلازل، حيث يتراكم الإجهاد في الأرض بسبب وزن الماء فوقها، كما يمكن أن تتسبب الخزانات أيضاً في حدوث زلازل؛ لأن زيادة ضغط مسام المياه الجوفية تجعل الصخور الموجودة تحت الخزان أضعف إلى جانب ذلك فقد تحدث الزلازل أحياناً أيضاً بسبب الانفجارات النووية.

إن اختبار القنبلة النووية لكوريا الشمالية لعام 2017 للميلاد كان قد تسبب في هزات ارتدادية استمرت لنحو ثمانية أشهر بعد الانفجار. كما تم تفجير القنبلة بالقُرْب من خط صدع لم يتم تعيينه من قبل، حيث أدى الزلزال الأول إلى زلزال بقوة 6.3 درجة، تلاه بعد ذلك زلزال بقوة 4 درجات بعد دقائق فقط.

أن ممارسة الأنشطة كعمليات سحب النفط وحقن السوائل المستخدمة في عمليات إنتاج النفط، والتفجيرات النووية وسحب المياه الجوفية، وإعمال المحاجر، وبناء الجسور الضخمة، بالإضافة إلى ردم مسطحات مائية أو إنشائها من دون التقيد بالأسس العلمية هو السبب الرئيس للزلازل المستحثة، التي تسجل باستمرار من خلال المراصد المحلية من دون أن يشعر بها الأفراد لكنها تؤدي الى مشكلات بيئية.



تشـمل الـزلازل المسـتحثة ضغـوط المسـام المرتفعـة و / أو التغيـرات الحراريـة والكيميائيـة بسـبب حقـن السـوائل والهجـرة اللاحقـة؛ زيـادة التحميـل أثنـاء حجـز الخـزان؛ وتغييـر الضغـوط تحـت السـطحية أثنـاء اسـتخراج السـوائل، مثـل الميـاه الجوفيـة أو الهيدروكربونـات بمعـدل يسـبب هبوطـاً و / أو انزلاقـاً.



حقن مياة الصرف الصحي

1 انتشار السائل

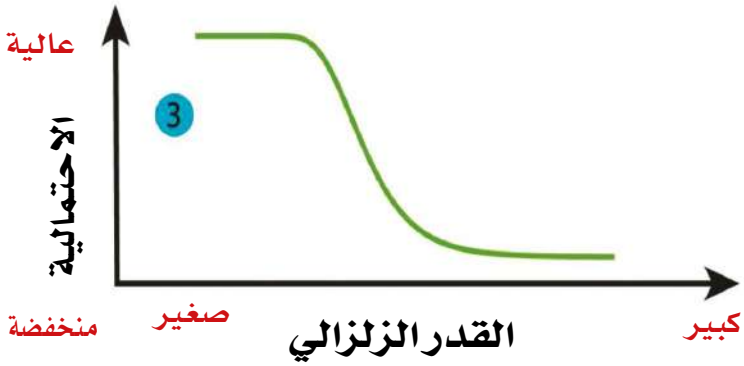
اضطراب الاجهاد

2 فيزيائية الزلزال

معدل الزلزالية

3 التحليل الإحصائي

الاحتمالية الزلزالية



إطار للتنبؤ بالزلازل الناجم عن الحقن مع الأخذ في الاعتبار فيزياء انتشار السوائل وتنوي الزلازل

التفجـــــيرات

يحدث الانفجار النووي نتيجة الإطلاق السريع للطاقة من تفاعل نووي عالي السرعة متعمداً. قد يكون رد الفعل الدافع هو الانشطار النووي أو الاندماج النووي أو مزيج من الاثنين. تنتج جميع التفجيرات النووية إشعاعاً نوويّاً وحطاماً مشعاً يمكن أن ينتج عنه آثار مدمرة وطويلة العمر في البيئة المحلية. التأثيرات السائدة للانفجار النووي (الانفجار، والإشعاع الحراري) هي نفس الآليات الفيزيائية التي تنتجها المتفجرات التقليدية؛ ومع ذلك، فإن الطاقة الناتجة عن انفجار نووي تزيد بملايين المرات ودرجات الحرارة التي يتم الوصول إليها في حدود عشرات الملايين من درجات مئوية.

حتى عام 1957، أجريت جميع التفجيرات النووية بالقُرْب من سطح الأرض أو فوقه. لكن في ذلك العام، في 19 سبتمبر في نيفادا، حدث أول انفجار نووي تحت الأرض. كانت الانفجارات تحت الأرض هي النوع الأكثر شيوعاً من التجارب النووية، حيث تمثل حوالي ثلاثة أرباع تلك التي تم إجراؤها خلال الحرب الباردة. بشكل عام، فهي ليست مذهلة مثل الانفجارات الجوية أو فوق الأرض أو تحت الماء ولا تطلق الكثير من التساقط الإشعاعي، لكن لديها علاماتها الخاصة. على وجه الخصوص، ينتج عن انفجار تحت الأرض درجات حرارة وضغوط عالية بما يكفي لتبخير الصخور وإنشاء تجويف تحت الأرض يصل عرضه إلى عدة عشرات أو مئات الأمتار. حول هذا التجويف، يتم سحق الصخور، وتشققها، وتشوهها بشكل غير مرن، ثم تشوهها بشكل مرن في طبقات متتالية. تتشكل الموجات الزلزالية في هذه الطبقة الخارجية الأبعد - حيث تسترخي الصخور الموجودة بداخلها وتعود إلى حالتها السابقة وتطلق الضغط الذي تراكم مؤقتاً.

تختلف الأسلحة النووية تماماً عن الأسلحة العادية بسبب الكمية الهائلة من

الطاقة المتفجرة والحرارية التي يمكن أن تنتجها. كما أن التأثير المدمر للانفجار لا يتوقف بعد الانفجار الأول، كما هو الحال مع المتفجرات العادية. تنتقل سحابة من الإشعاع النووي من مركز الانفجار، مسببة تأثيرات واسعة النطاق على كل من النباتات والحيوانات حتى بعد مرور الضغط وموجات الحرارة. يمكن أن يتسبب الإشعاع في حدوث طفرة جينية وتسمم إشعاعي وموت.

تاريخيّاً، تم تصنيف اختبارات الانفجار النووي إلى فئات تعكس وسيط أو موقع الاختبار: الغلاف الجوي وتحت الماء وتحت الأرض.

تحدث انفجارات اختبار الغلاف الجوي في الغلاف الجوي أو فوقه. بشكل عام، حدث ذلك على شكل عبوات انفجرت على أبراج أو بالونات أو صنادل أو جزر أو سقطت من الطائرات. كما تم إجراء عدد محدود من التفجيرات النووية على ارتفاعات عالية، التي أطلقت بشكل عام من الصواريخ. يمكن للانفجارات النووية القريبة بدرجة كافية من الأرض لجذب الأوساخ والحطام إلى سحابة الفطر أن تولد كميات كبيرة من التداعيات النووية بسبب تشعيع الحطام. يمكن أن تولد التفجيرات النووية عالية الارتفاع نبضاً كهرومغناطيسيّاً (EMP)، ويمكن للجسيمات المشحونة الناتجة عن الانفجار أن تعبر نصفي الكرة الأرضية لإنشاء عرض شفقي.

عادةً ما يتم إجراء تفجيرات الاختبار تحت الماء لتقييم آثار الأسلحة النووية على السفن البحرية (كما هو الحال في عملية مفترق الطرق، بالقُرب من جزيرة بيكيني أتول في جنوب المحيط الهادئ)، أو لتقييم الأسلحة النووية البحرية المحتملة مثل (الطوربيدات النووية أو العمق- شحنة). يمكن أن تؤدي الاختبارات تحت الماء القريبة من السطح إلى تشتيت كميات كبيرة من الماء المشع والبخار، مما يؤدي إلى تلويث السفن أو الهياكل المجاورة.

تفجيرات الاختبار تحت الأرض هي تجارب نووية تجرى على أعماق متفاوتة تحت سطح الأرض. شكلت التجارب النووية تحت الأرض غالبية التجارب النووية التي أجرتها الولايات المتحدة والاتحاد السوفيتي خلال الحرب الباردة. عندما يتم احتواء الانفجار بالكامل، فإن التجارب النووية تحت الأرض تنبعث منها كمية ضئيلة من الغبار الإشعاعي. ومع ذلك، يمكن للتجارب النووية تحت الأرض «التنفيس» إلى السطح، مما ينتج عنه كميات كبيرة من الحطام المشع نتيجة لذلك.

تكون الانفجارات في الغالب من صنع الإنسان، ويتم التحكم فيها، ومعرفة موقعها ووقت المصدر. ومع ذلك، قد تحدث أيضاً انفجارات طبيعية قوية بالاقتران مع الانفجارات البركانية أو تأثيرات النيزك. الانفجارات المستخدمة في علم الزلازل الاستكشافية لفحص القشرة لها عائد، Y، من بضعة كيلوغرامات إلى أطنان من مادة TNT (Trinitrotoluol). وهذا يكفي لإنتاج موجات زلزالية يمكن تسجيلها من عدة كيلومترات إلى مئات الكيلو مترات. يمكن تسجيل الانفجارات النووية تحت الأرض التي تصل إلى مليون طن من مادة تي إن تي المكافئة بالزلازل حتى في جميع أنحاء العالم (1 كيلو طن من مادة تي إن تي 4.2×10^{12} = جول). ومع ذلك، حتى أقوى التجارب النووية تحت الأرض ذات العائد المكافئ لحوالي 5 مليون طن من مادة تي إن تي أنتجت موجات جسمية بحجم 7 درجات. هذا يتوافق مع ما يقرب من 0.1 % من الطاقة الزلزالية التي أطلقها زلزال تشيلي عام 1960.

معامـــــلات الخطـــر الزلـــزالي

تهدف دراسة المخاطر الزلزالية إلى تقليل الخسائر البشرية والاقتصادية للمنشآت الحيوية والإستراتيجية الناجمة عن حدوث الهزات الأرضية وتسهيل عملية تصميم الأبنية المقاومة للزلازل، وهذا يتطلب القابلية على معرفة أقصى درجات الاهتزاز الذي يعانيه المنشأ الهندسي عند حصول الزلزال. ولتخفيف ذلك لا بُدَّ من تحديد مدى احتمال وقوع الزلازل ومقارنة هذه المخاطر الطبيعية مع التوزيع السكاني ومواقع المرافق العامة والمُهمَّة ومدى تعرضها للمخاطر وتأثرها بها وصولاً إلى تحديد الخطر. وأخيراً وضع تصاميم ومعايير للبناء وإنشاء وفرض تطبيقها بقدر الإمكان.

إن الكثير من المباني المعرضة للخطر لا يرجع بالضرورة إلى ارتفاع مستوى الخطر بقدر ما يرجع إلى أن هذه المباني قابلة للتأثر حتى بالاهتزازات الزلزالية ذات الشدة المنخفضة. والسبب الرئيسي أن هذه المباني قد أقيمت باستخدام مواد وتقنيات إنشاء لا تكفل لها سوى قدر قليل من المقاومة للزلازل. ومن أشد هذه المباني قابلية للتأثر : المباني المقامة من اللبن أو الطوب غير المقوى أو الحجر ومباني الخرسانة المسلحة الخالية من جدران القص.

وتجدر الإشارة إلى أنه يجب التمييز بين الخطورة الزلزالية والخطر الزلزالي حيث تعبر الخطورة الزلزالية Seismic Hazard عن توقع حدوث زلزال ذي مقدار معين (الزلزال الحرج) خلال فترة التصميم المتوقعة للمنشأ الهندسي. أما الخطر الزلزالي Seismic Risk فإنه يدرس احتمالية كون النتائج الاقتصادية أو الاجتماعية المترتبة نتيجة حدوث زلزال معين سوف تساوي أو تتجاوز قيم محددة في مكان أو في منطقة معينة خلال فترة تعرض محددة.

الخطـــر Risk والخطـــورة الزلزاليـــة Hazard

يعتبـر التعامـل مـع عـدم اليقـين Uncertainty أمـراً مفروغـاً منـه في الحيـاة، ودائمـاً مـا يتـم اتخـاذ أي قـــرار في ظـل درجـة معينـة مـن عـدم اليقـين. تعتبـر الخطـر Risk مـن أهـم المفاهيـم للتعامـل مـع عـدم اليقـين في صنـع القـرار. الخطـورة Hazard ظاهـرة طبيعيـة أو مـن صنـع الإنسـان يمكـن أن تسـبب ضـرراً (أي عواقـب اجتماعيـة أو اقتصاديـة). الأعاصيـر والـزلازل والفيضانـات، علـى سـبيل المثـال، هـي مخاطـر طبيعيـة، في حـين أن حـوادث السـيارات والانسـكابات الكيميائيـة وانحـراف القطـارات عـن القضبـان والهجمـات الإرهابيـة هـي مخاطـر مـن صنـع الإنسـان.

مـن ناحيـة أخـرى، فـإن الخطـر هـو احتمـال الضـــرر إذا تعـرض شـخص مـا أو شـيء مـا . وبالمثـل، فـإن الخطـورة الـــزلزالية وخطـر الـزلازل تختلـف اختلافـاً جوهريّـاً. الخطـورة الزلزاليـة هـو ظاهـرة طبيعيـة مثـل اهتـزاز الأرض، أو تمـزق الصـدع، أو تسـييل التربـة النـاتج عـن الزلـزال، في حـين أن الخطـر الزلزالـي هـي احتمـال أن يتكبـد البشـر خسـارة أو ضـرر لبيئتهـم المبنيـة إذا تعرضـوا لخطـورة زلزاليـة. وبعبـارة أخـرى، فـإن الخطـر الزلزالـي هـي تفاعـل بـين الخطـورة الزلزاليـة والضعـف Vulnerability (البشـر أو بيئتهـم المبنيـة). بشـكل عـام، يمكـن التعبيـر عـن الخطـر الزلزالـي بالعلاقـة التاليـة :

الخطر الزلزالي Risk = الخطورة الزلزالية Hazard × الضعف Vulnerability

كما هو موضح في المعادلة، لا تعنـي الخطـورة الزلزاليـة العاليـة بالضـرورة وجـود خطـر زلزالـي عالـي والعكـس صحيـح. لا يوجـد خطـر Risk إذا لـم يكـن هنـاك ضعـف، علـى الرغـم مـن وجـود خطـورة زلزاليـة عاليـة. توضـح المعادلـة أيضـاً أن التصميـم الهندسـي أو سياسـة التخفيـف مـن الخطـورة الزلزاليـة قـد تختلـف عـن قـرارات التصميـم والسياسـة المتعلقـة بالحـد مـن الخطـر الزلزالـي. قـد يكـون أو لا

يكون من الممكن التخفيف من الخطورة الزلزالية، لكن من الممكن دائماً تقليل الخطر الزلزالي، إما عن طريق التخفيف من الخطورة الزلزالية، أو تقليل الضعف، أو كليهما.

كظاهرة طبيعية، يتم قياس الخطورة الزلزالية من خلال ثلاثة معايير: مستوى الشدة (القياس الفيزيائي)، والقياس المكاني، والقياس الزمني. على سبيل المثال، زلزال قدره 7.5 مع فاصل تكرار متوسط 500 عام في منطقة رصد الزلازل بمدريد الجديدة في وسط الولايات المتحدة، ومتوسط تسارع الأرض الذروة (0.3 PGA) جرام بمتوسط فترة عودة 100 عام في سان فرانسيسكو، هي خطورة زلزالية. يتم تقييم الخطورة الزلزالية من الملاحظات الآلية والتاريخية والجيولوجية. بمعنى آخر، يتم تقييم الخطورة الزلزالية من علوم الأرض. لذلك، يلعب علماء الأرض، وعلماء الزلازل على وجه الخصوص، دوراً رئيسيّاً في تقييم الخطورة الزلزالية.

يعتبر تقدير كمية الخطر الزلزالي معقداً للغاية وذاتيّاً إلى حد ما لأنه لا يعتمد فقط على القياس المادي المطلوب (أي الحجم أو الحركة الأرضية أو الوفيات أو الخسارة الاقتصادية)، لكن أيضاً على كيفية تفاعل الخطورة والضعف في الزمان والمكان. يمكن أن تتفاعل الخطورة والضعف في موقع معين (خطر خاصٌّ بالموقع) أو فوق منطقة (خطر إجمالي). لتقدير الخطر الزلزالي، يجب افتراض أو تقديم نموذج لوصف كيفية تفاعل الخطورة والضعف في الوقت المناسب. تم افتراض النماذج بما في ذلك Poisson، التجريبي، وقت المرور البراوني، والتنبؤ بالوقت لوقوع الزلازل في الوقت المناسب واستخدامها لتقدير المخاطر الزلزالية. نماذج مختلفة تؤدي إلى تقديرات مختلفة للمخاطر الزلزالية. النموذج الأكثر استخداماً لتقدير الخطر الزلزالي هو نموذج بواسون. في ظل افتراض Poisson، يمكن تقدير الخطر الزلزالي، معبراً عنها من حيث

احتمـال p لزلـــــزال يتجـاوز حجمـاً محـدداً (M) خـلال فتـرة التعـرض t لثغـرة معينة من خـــلال $p = 1 - e^{-\frac{1}{\tau}}$

حيث τ هـو متوسـط فتـرة التكـرار أو 1/τ هـو متوسـط تـردد زلـزال بقـوة M أو أكبـر. تصـف المعادلـة اعـلاه العلاقـة الكميـة بـين الخطـورة الزلزالـي (أي زلـزال قوتـه M أو أكبـر بمتوسـط فتـرة تكـرار أو تـردد) وخطـر الـزلازل (أي احتمـال p أن زلـزالاً بقـوة M أو أكبـر يمكـن أن يحـدث أثنـاء فتـرة التعـرض ر لثغـرة معينـة). تم اسـتخدام المعادلـة أعـلاه أيضـاً لتقديـر مخاطـر الفيضانـات والريـاح وغيرهـا مـن المخاطـر. على سـبيل المثـال، يتـم أخـذ 1 في المائـة مـن احتمـال التجـاوز في سـنة واحـدة و 2 في المائـة مـن احتمـال التجـاوز في سـنة واحـدة في الاعتبـار لتصميـم المبانـي للفيضانـات والريـاح، على التوالـي. تم حسـاب هـذا الخطـر مـن المعادلـة اعـلاه لفيضانـات 100 عـام و خطـورة الريـاح لمـدة 50 عامـاً، ووقـت التعـرض لمـدة عـام واحـد، على التوالـي. وبالمثـل، تم النظـر في احتماليـة تجـاوز 2 و 5 و 10 في المائـة في 50 عامـاً لتصميـم المبانـي لمقاومـة الـزلازل وتم حسـابها مـن المعادلـة الخطـورة الحركـة الأرضيـة بفتـرات عـودة تبلـغ 500 و 1000 و 2500 سـنة، على التوالـي.

المعادلـة مشـتقة مـن التفاعـلات بـين الخطـورة وقابليـة التأثـر في الزمـان والمكـان دون النظـر في التفاعـل الفيزيائـي بـين الخطـورة والضعـف. التفاعـل الفيزيائـي معقـد للغايـة. على سـبيل المثـال، بالنسـبة لبعـض المبانـي، هنـاك علاقـة بـين حركـة الأرض ومسـتويات الضـرر (أي منحنـى الهشاشـة). ويمكـن أن يرتبـط مسـتوى الضـرر أيضـاً بمسـتوى الخسـارة الاقتصاديـة. مـن خـلال منحنـى الهشاشـة (أي علاقـة التفاعـل المـادي بـين الخطـورة الزلزاليـة والضعـف)، يمكـن أيضـاً التعبيـر عـن الخطـر الزلزالـي على أنهـا احتمـال أن يتضـرر المبنـى بشـكل طفيـف. وبالتالـي، يتـم تحديـد الخطـر الزلزالـي مـن خـلال أربعـة معاييـر: الاحتمـال، ومسـتوى الخطـورة (أي القيـاس المـادي أو النقـدي)، والقيـاس المكانـي، والقيـاس الزمنـي.

على الرغم من استخدام المصطلحين (الخطورة الزلزالية) و (الخطر الزلزالي) في كثير من الأحيان بالتبادل، فإنهما مفهومان مختلفان اختلافاً جوهريّاً. كما ذكرنا، تصف الخطورة الزلزالية ظاهرة طبيعية ناتجة عن زلزال، بينما يصف الخطر الزلزالي احتمال تعرض البشر لخسارة أو ضرر لبيئتهم المبنية إذا تعرضوا لخطورة زلزالية. من الأهمية بمكان لعلماء الأرض، وعلماء الزلازل على وجه الخصوص، تحديد الخطورة الزلزالية وتحديدها كميتها وإبلاغها بوضوح؛ لأنها الأساس لتقييم المخاطر والتطبيقات الأخرى. يعتبر تقييم الخطر الزلزالي أكثر تعقيداً ويتطلب جهوداً تعاونية بين علماء الأرض والمهندسين وغيرهم.

ضعـــف الحصانـــة الـزلـزالية Vulnerability

إن الكثير من المباني معرضة للخطر حيث لا يرجع بالضرورة إلى ارتفاع مستوى الخطر بقدر ما يرجع أى أن هذه المباني قابلة للتأثر حتى بالاهتزازات الزلزالية ذات الشدة المنخفضة. والسبب الرئيس أن هذه المباني قد أقيمت باستخدام مواد وتقنيات إنشاء لا تكفل لها سوى قدر قليل من المقاومة للزلازل. ومن أشد هذه المباني قابلية للتأثر : المباني المقامة من اللبن أو الطوب غير المقوى أو الحجر ومباني الخرسانة المسلحة الخالية من جدران القص.

الضعف Vulnerability هو درجة الضرر الذي تسببه مستويات التحميل المختلفة. يمكن حساب الثغرة الأمنية بطريقة احتمالية أو حتمية لبنية واحدة أو مجموعات من الهياكل. الضعف – الخسارة المحتملة في قيمة كل عنصر معرض للخطر من حدوث وعواقب المخاطر الطبيعية والتكنولوجية. تشمل العوامل التي تؤثر على قابلية التأثر ما يلي: التركيبة السكانية، وعمر ومرونة البيئة المبنية، والتكنولوجيا، والتمايز الاجتماعي والتنوع، والاقتصادات الإقليمية والعالمية، والترتيبات السياسية. الضعف ناتج عن عيوب في التخطيط والتصميم والبناء.

الحـــد من ضعف الحصانـــة

تشمل العوامل التي تؤثر على قابلية التأثر تكامل ثلاث بيئات وهي:

البيئـــة الخطـــرة	البيئـــة السياسيـــة	البيئـــة المبنيـــة
تأثيرات فيزيائية مثل: هزة أرضيـــة – تسييل – انهيارات أرضيـــة – تمزق سطح الصدع – تشـــوه تكتوني – الحرائق وموجات الفيضانات الناتجة عن الـــــزلازل وتسونامي وانكسار السدود الناتجة عن **الزلـــــزال** وتسلسل **الهزات الارتدادية**؛ يحتمل أن **يؤثـر** كل منها على **البيئة المبنية**.	**القُـــوى** الاجتمـــــاعيـــة والتقنيـة الإداريـة والسياسـية والقانونيـة والاقتصاديـة التي تشكـل **سياسات** وممارسـات المجتمـــــع **مـن أجـل**: إدارة **مخاطر الزلازل** (أي الوقاية والتخفيـف والتأهـب والتنبـؤ والإنـذار والتدخل والطوارئ) **والوعـــي العـــام والتدريب والتعليم، والتأمين**.	قيمـة الموقـــع، والتعـرض، وهشاشـة المبانـي وشـريان الحيـاة المعرضـة لخطـر الآثـــــار الماديـة للـزلازل (المخاطـر) التـي يمكـن أن تســـبب الضـرر، والفشـل، وفقـدان الوظيفـة، وإطـلاق المـواد الخطـرة، والإصابات، والوفيات.

مـن الاحتياجـات الأساسـية عنـد تحديـد الخطـر الزلزالـي Risk هـي معرفـة المكان الـذي تحـدث فيـه الـزلازل والزمـان الـذي يحتمـل حدوثهـا ولغـرض التوصـل إلى تصميم دقيق وقوى يجب حساب تأثيرات جميع القُوى الحركية والسكونية.

يشـــتمل الخطـــر الزلـــزالي على أربعـــة عناصـــر رئيسية:

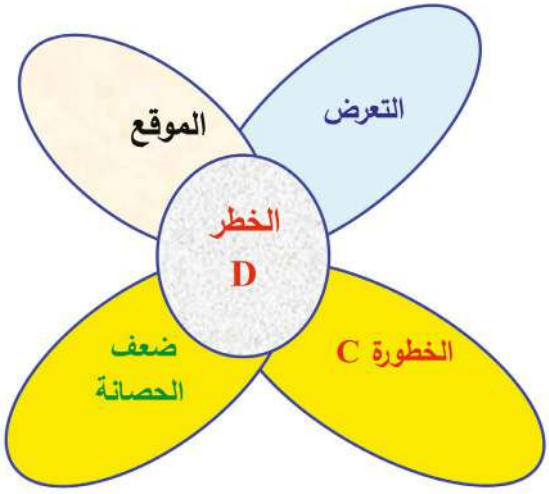
A : **القيمة الاقتصادية** Value وتشمل **الخسائر** البشرية والمادية .

B : **درجة التخريب الناتج عن الزلازل** Vulnerability .

C : **الخطورة** Hazard وهـي احتماليـة وقـوع زلـزال معـين في **موقـع معـين ضمـن فترة زمنية معينة**.

D : **الخطر الزلزالي** Risk وهـي الدرجـة **المتوقعة** للخسـائر البشـرية والماديـة في **موقع معين** ضمن منطقة **معينة وفي زمن معين**.

$$D = A \times B \times C$$



التـــوهـــــين Attenuation

يعرف التوهين بأنه تضاؤل الشدة **الزلزالية** مع المسافة عن البؤرة **الزلزالية** السطحية

$$I(R) = I_0 + a + bR + C \log_{10} R$$

R نصف قطر الدائرة التي تكون البؤرة مركزها

I (R) الشدة عند المسافة R من البؤرة السطحية للزلازل

a,b,c ثوابت تعتمد على المنطقة.

$$I(R) = I_0 + 6.453 - 0.00121\ R - 2.15 \ln (R+20)$$

$$I_0 = 0.95\ Ms + 1.99$$

Ignore 0.00121 R

$$I = 8.443 + 0.95\ Ms - 2.15\ In\ (R+20)$$

الاستجابة الأرضيـــة للـــزلازل EQ. Ground Response

العامل الرئيسي في تحديد تسارع الأرض الأقصى (PGA) وسرعة الأرض القصوى (PGV) هو حركة الأرض الأفقية الناتجة عن الزلزال. يمكن تصوير كل من ذروة تسارع الأرض وسرعة الأرض القصوى على ShakeMap. يعتمد كل من تسارع ذروة الأرض وسرعة الأرض القصوى على عدة عوامل: طول واتجاه الصدع، والحجم، والمسافة بين محطة القياس ومركز الزلزال، وجيولوجيا التربة التحتية.

ذروة التسارع الأرضي PGA : هو أكبر زيادة في السرعة تم تسجيلها بواسطة محطة معينة أثناء الزلزال، عادة ما يتم التعبير عن PGA بـ g (التسارع الناتج عن الجاذبية) أو m / s^2. التسارع الأرضي هو مقياس تسارع الزلزال. على عكس مقياس ريختر، فهو ليس مقياساً للحجم الإجمالي للزلزال، لكنه بالأحرى مدى شدة اهتزاز الأرض في منطقة جغرافية معينة.

ترتبط أضرار المباني والبنية التحتية الناجمة عن الزلازل ارتباطاً وثيقاً بالحركة الأرضية، وهي PGA و PGV. تم استخدام PGA بشكل أكثر شيوعاً في هندسة الزلازل وخرائط المخاطر الزلزالية المستخدمة في أكواد البناء. PGA هو مؤشر جيد في تحديد مخاطر الزلازل للمباني الأقصر (7 طوابق أو أقل).

ذروة سرعة الأرض PGV: هي أكبر سرعة للاهتزاز يتم تسجيلها عند نقطة معينة أثناء الزلزال.PGV هو المؤشر الأفضل في تحديد مخاطر الزلازل للمباني الشاهقة. يمكن أن يساعد في تقدير شدة الزلازل الكبيرة وغالباً ما يتم تطبيقها في تحديد إمكانات الإسالة وفي التصميم الزلزالي وتقييم خطوط الأنابيب المدفونة.

تتلخص الاستجابة الأرضية للزلازل في خمس معاملات:

أ. التســـارع الأرضي الأقصى (Peak ground Acceleration (PGA

وعلى الرغم من وجود مركبة أفقية وأخرى عمودية فإن معظم الاستخدامات هي المركبة الأفقية للتعجيل الأقصى.

$$Log(PGA)_h=0.57+0.5\ mb-0.83\ log(R^2+h^2_m)^{1/2} - 0.00069R$$

R: البُعْد البؤري h_m : العمق البؤري الأدنى اعتماداً على المقدار الزلزالي

$$h_m = -1.73 + 0.456\ mb \quad mb > 4.5$$

ب. الســـرعة الأرضية القصوى (Peak Ground Velocity (PGV

$$Log\ (PGV)_h = -3.6+1.0\ mb - 0.83\ Log(R^2 + h^2_m)^{1/2} - 0.00033R$$

جـ. الإزاحـــة الأرضية القصوى Peak ground Displacement

د. الخـــواص الطيفية Spectral Characteristics

هـ. فتـرة التـــردد الـــزلـــزالي Duration

أضـــــرار الـــــزلازل

تحدث معظم الأضرار التي تحدث أثناء الزلزال بسبب حركة الأرض. حركة الأرض التي يتم قياسها بشكل شائع هي ذروة تسارع الأرض (PGA)، التي يتم التعبير عنها كنسبة مئوية من تسارع الجاذبية (g). كلما زادت قوة الزلزال، زادت قوة حركة الأرض التي يولدها. يعتمد مستوى حركة الأرض في الموقع على بُعْده عن مركز الزلزال - فكلما اقترب الموقع من مركز الزلزال، زادت قوة حركة الأرض، والعكس صحيح. يمكن أن تؤدي الحركة الأرضية القوية أيضاً إلى مخاطر ثانوية مثل تضخيم حركة الأرض، والتميع، والانهيار الأرضي في ظل ظروف معينة في الموقع.

المخاطـر الجيولوجيـة الكبرى التي تسـببها الـــزلازل:

1. اهتزاز الأرض.
2. التصدع السطحي.
3. التسونامي.
4. الانهيارات الأرضية وتميع التربة وتشمل:

- الصخـــور الانهيارات الثلجية.
- التدفقات السريعة للتربة.
- تساقـــط الصخور.
- تدفقـــات الطين.
- فشـــــل التدفق.
- فقـــــدان قوة التحمل.
- الانتشارات الجانبية.

تحدث معظم أضرار الزلزال عن طريق اهتزاز الأرض. يعد حجم أو حجم الزلزال، والمسافة إلى مركز الزلزال أو مصدره، ونوع الصدع، والعمق، ونوع المادة عوامل مُهمَّة في تحديد مقدار اهتزاز الأرض الذي قد ينتج في موقع معين.

عندما يكون هناك تاريخ طويل لنشاط الزلزال، يمكن تقدير هذه المعاملات في كثير من الأحيان. يؤثر حجم الزلزال، على سبيل المثال، على اهتزاز الأرض بعدة طرق. عادة ما تنتج الزلازل الكبيرة حركات أرضية ذات اتساع كبير وفترات طويلة. تنتج الزلازل الكبيرة أيضاً اهتزازاً قويّاً على مناطق أكبر بكثير من الزلازل الصغيرة.

بالإضافة إلى ذلك، يتناقص اتساع حركة الأرض مع زيادة المسافة من بؤرة الزلزال. يتغير محتوى التردد للاهتزاز أيضاً مع المسافة. بالقُرْب من مركز الزلزال، توجد حركات عالية (سريعة) ومنخفضة (بطيئة). بعيداً، تسود حركات التردد المنخفض، وهي نتيجة طبيعية لتوهين الموجة في الصخور. يعد تكرار حركة الأرض عاملاً مُهمّاً في تحديد شدة الضرر الذي يلحق بالهياكل وأيها يتأثر.

الأضـــــرار المباشـــرة للـــــزلازل

يعتمد حجم الأضرار الناتجة عن الزلازل على قوة وشدة الزلزال وطبيعة المنطقة المتضررة وبعدها عن مركز الزلزال ونوعية المنشآت والمباني القائمة والكثافة السكانية وطبيعة النشاط الإنساني .

- تسبب الزلازل وبشكل خطير تساقط الصخور من الجبال العالية وقد يؤدي هذا إلى إحداث أضراراً بالغة سواء أثناء مرور السيارات على الطرق المجاورة للجبال أو بسبب السقوط المباشر للصخور على المباني.
- الانزلاقات والتشققات الأرضية تعتبر أحد الأسباب الرئيسية المباشرة لدمار المباني والمنشآت والطرق والسكك الحديدية وخلافها .
- تميع التربة وهي ظاهرة تؤدي بسبب الهزة الأرضية إلى فقدان نوع من التربة مقاومتها وتصبح مادة سائلة ونظرا لأهمية هذه الظاهرة سوف نعطيها تفصيلا أكثر.

التميـــــع Liquefaction

الإسالة أو التميع هي ظاهرة يتم فيها تقليل قوة وصلابة التربة عن طريق اهتزاز الزلزال أو أي تحميل سريع آخر. التسييل والظواهر ذات الصلة كانت مسؤولة عن كميات هائلة من الأضرار في الزلازل التاريخية حول العالم. يحدث التسييل في التربة المشبعة، أي التربة التي تمتلئ فيها المساحة بين الجزيئات الفردية بالكامل بالماء. يمارس هذا الماء ضغطاً على جزيئات التربة مما يؤثر على مدى إحكام ضغط الجزيئات معاً. قبل وقوع الزلزال، كان ضغط الماء منخفضاً نسبياً. ومع ذلك، يمكن أن يتسبب اهتزاز الزلزال في زيادة ضغط الماء إلى النقطة التي يمكن أن تتحرك فيها جزيئات التربة بسهولة فيما يتعلق

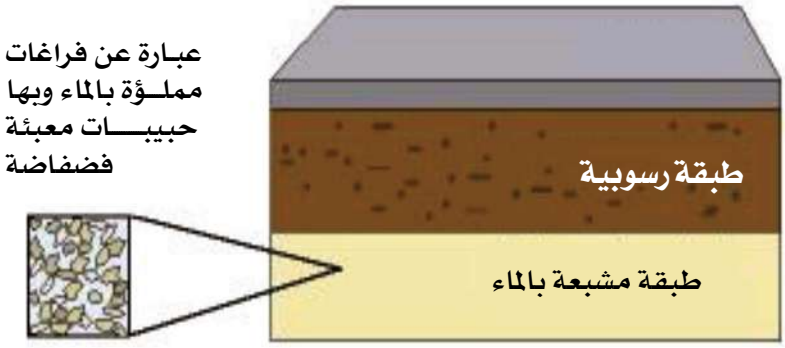
ببعضها البعض. نظراً لأن التميع يحدث فقط في التربة المشبعة، فإن آثاره أكثر شيوعاً في المناطق المنخفضة بالقُرْب من المسطحات المائية، مثل: الأنهار والبحيرات والخلجان والمحيطات.

يتسبب التسييل أيضاً في كثير من الأحيان في إتلاف الجسور التي تعبر الأنهار وغيرها من المسطحات المائية. يمكن أن يكون لمثل هذا الضرر عواقب وخيمة، مما يعيق الاستجابة للطوارئ وعمليات الإنقاذ على المدى القصير ويسبب خسارة اقتصادية كبيرة من تعطل الأعمال على المدى الطويل.

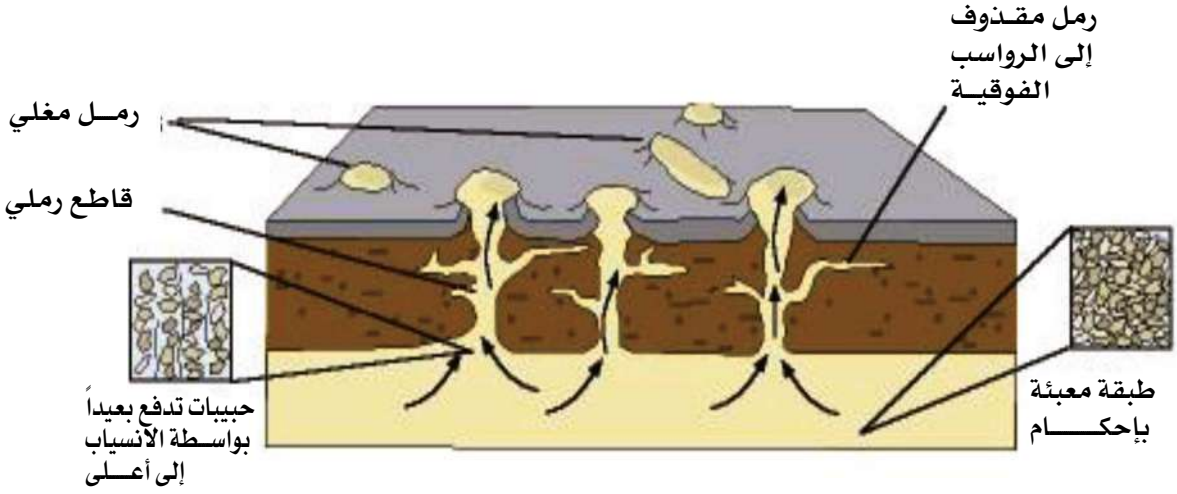
تسييل التربة هو ظاهرة فيزيائية تتعلق بالفقد الكامل لمقاومة القص. المواد الحبيبية السائبة مثل الرمل تخضع لضغط سريع عند رجها. إذا كانت هذه المادة مشبعة، يؤدي الضغط في الضغط إلى زيادة سريعة في ضغط المسام. نتيجة لذلك، يحاول الماء التدفق من التربة نحو سطح الأرض. ينتقل التشوه المرتبط بالتميع من كونه محدوداً جدّاً إلى عمليات نزوح جانبية ضخمة واضطرابات عمودية.

يؤثر التسييل بشكل أساسي على التكوينات الجيولوجية الشابة، والرواسب غير المتماسكة مثل التكوينات الغرينية والساحلية، وكذلك مدافن النفايات التي من صنع الإنسان. يمكن إعادة إنتاج تأثير التميع، على سبيل المثال، عن طريق ركل الرمال مرتين بالقُرْب من الخط الساحلي مما يجعل هذه المنطقة المجهدة ميكانيكيّاً مترهلة. يسمي الخبراء هذا التميع بالتسييل

قبـــل الزلـــــزال



أثنـــاء الزلـــــزال



التميع الناجم عن الزلازل

- عموماً التسييل ليس نوعاً من الفشل الأرضي؛ إنها عملية فيزيائية تحدث أثناء بعض الزلازل التي قد تؤدي إلى فشل الأرض. كنتيجة للتميع، فإن رواسب التربة الخالية من الطين، وخاصة الرمال والغرين، تفقد قوتها مؤقتاً وتتصرف كموائع لزجة وليس كمواد صلبة. يقتصر التسييل على بيئات جيولوجية وهيدرولوجية معينة، وخاصة المناطق التي ترسبت فيها الرمال والطمي في آخر 10000 عام وحيث تكون المياه الجوفية على بُعْد 30 قدماً من السطح. بشكل عام، كلما كانت الرواسب أصغر سنّاً وأكثر مرونة وكلما ارتفع منسوب المياه، كانت التربة أكثر عرضة للإسالة.

يتسبب التسييل في ثلاثة أنواع من الفشل الأرضي: الانتشارات الجانبية Lateral Spreads، وفشل التدفق Flow Failures، وفقدان قوة التحمل Loss of Bearing Strength . بالإضافة إلى ذلك، فإن التميع يعزز استقرار الأرض ويولد أحياناً غليان رمل (ينابيع المياه والرواسب المنبثقة من المنطقة المسيلة المضغوطة). يمكن أن تتسبب الدمامل الرملية في حدوث فيضانات محلية وترسب أو تراكم الطمي.

الانتشارات الجانبية Lateral Spreads تتضمن الحركة الجانبية لكتل كبيرة من التربة نتيجة التميع في طبقة تحت السطحية. تحدث الحركة استجابةً لاهتزاز الأرض الناتج عن الزلزال. تتطور الفروق الجانبية بشكل عام على منحدرات لطيفة، وغالباً ما تكون بين 0.3 و 3 درجات. عادة ما تكون الحركات الأفقية على الحيزات الجانبية من 10 إلى 15 قدماً، لكن عندما تكون المنحدرات مواتية بشكل خاصٍّ ومدة اهتزاز الأرض طويلة، قد تصل الحركة الجانبية إلى 100 إلى 150 قدماً. عادةً ما تتفكك الفروق الجانبية داخليّاً، وتشكل العديد من الشقوق والندوب. نادراً ما يكون الضرر الناجم عن الانتشار الجانبي كارثيّاً، لكنه عادة ما يكون مدمراً. الفروق الجانبية مدمرة بشكل خاصٍّ لخطوط الأنابيب.

فشـــل التدفـــق

إن حالات فشل التدفق، التي تتكون من تربة مسيلة أو كتل من مادة سليمة ممتطعة على طبقة من التربة السائلة، هي أكثر أنواع الفشل الأرضي التي يسببها التميع كارثية. عادة ما تتحرك هذه الإخفاقات عدة عشرات من الأقدام، وإذا سمحت الظروف الهندسية، فإنها تتحرك عدة عشرات من الأميال. تنتقل التدفقات بسرعات تصل إلى عشرات الأميال في الساعة. عادة ما تتشكل حالات فشـــل التـــدفق في رمال أو طمي سائبة مشبعة على منحدرات تزيد على 3 درجات. يمكن أن تنشأ حالات فشل التدفق إما تحت الماء أو على الأرض. حدثت العديد من أكبر حالات فشل التدفق وأكثرها ضرراً تحت الماء في المناطق الساحلية.

فقـــدان قـــوة التحمـــل

عندما تسيل التربة التي تدعم مبنى أو بعض الهياكل الأخرى وتفقد قوتها، يمكن أن تحدث تشوهات كبيرة داخل التربة، مما يسمح للهيكل بالاستقرار والانقلاب.

الأضـــرار غير المباشـــرة للـــزلازل

أما النوع الآخر للأضرار التي تسببها الزلازل فهو غير المباشرة، وهذا النوع ينتج عنه ضرر الإنسان بسبب الانهيارات التي تحدث في المباني التي يعيش فيها أثناء حياته اليومية فأساسات المنشآت تتعرض إلى نوعين من الحركة ينتقلان من الأرض إلى المنشأة، فهناك حركة أفقية وهي معروفة أكثر وهناك حركة عمودية وهي أقل حدوثاً وإن كان بعض المختصين يؤكد أن الحركتين متلازمتان الحدوث لكن كل بمقدار معين ومختلف عن الآخر.

على كل حال حدث أن سجلت حركات شـــديدة عموديـــة وأفقية في الهزة الواحدة لكن في حدود النســـب المتوقعـــة لكل منها وعادة ما يكون الاثنان شديدي القـــوة كما أن المشكلات الناتجة عن الحركات العمودية تعتمد أكثر على قُواها الذاتيـــة (Absolute Value) وقابلية تضخيـــم المنشأة والتربة لها (Structural Amplification) أكثر من علاقتها بالحركات الأفقية ومقدار تسارعها.

التسارع العمودي وهو مستقل عن الحركات الأفقية - يتكاتف في بعض الأحيان مع التحميل العمودي فينتج عنه أضرار بليغة أو حتى الانهيار الكامل كما حدث في انقلاب مبنى أثناء زلزال المكسيك 1985م وذلك لضعف ترابط الأساسات وضعف التربة.

ونظراً لعدم توفر معلومات كافية عن هذين النوعين من الحركات الأرضية ومقدار تسارعهما في كل مناطق النشاط الزلزالي؛ لذا فإننا نجد أن كثير من المختصين في هندسة الزلازل يميلون إلى قياس ما يسمى بانتفاض الأرض أو ما يسمى أحياناً بـ (Ground Shaking) أو (Ground Movements) وقياس هذا النوع من الحركة الأرضيـــة يتطلب اســـتعمال أجهـــزة قيـــاس تسارع العجلة

الأرضيـة Accelerographs وتعطـي معلومـات جيـدة وواسـعة للمناطـق المعرضـة للهـزات الأرضيـة. وعلـى الرغـم مـن أن المشـاهدات تتراوح ما بين الأضرار البسـيطة للمبانـي إلـى الدمـار الشـامل فإنـه وجـد أن بعـض المبانـي استطاعت مقاومـة هـزات أرضيـة عنيفـة نظـراً لتمتعهـا بقواعـد مربوطـة جميعـاً بشـكل جيـد، وقـد أظهـرت المشـاهدات أن مثـل هـذه المبانـي عايشـت هـزات عنيفـة مثيـرة تسـببت في تميـع التربة.

• الاهـــتزاز الأرضـــي Ground Shaking

تحـدث معظـم أضـرار الزلـزال عـن طريـق اهتـزاز الأرض. يعـد حجـم الزلـزال والمسـافة إلـى مركـز الزلـزال ونـوع الصـدع والعمـق ونـوع المـادة عوامـل مُهمَّـة في تحديـد مقـدار اهتـزاز الأرض الـذي قـد ينتـج في موقـع معـين. اهتـزاز الأرض هـو مصطلـح يسـتخدم لوصـف اهتـزاز الأرض أثنـاء الزلـزال. يحـدث اهتـزاز الأرض بسـبب موجـات الجسـم وموجـات السـطح. كتعميـم، تـزداد شـدة اهتـزاز الأرض مـع زيـادة الحجـم وانخفاضـه مـع زيـادة المسـافة مـن الخطـأ المسـبب. يمكـن تفسـير اهتـزاز الأرض مـن معرفـة الموجـات الجسـمية، أو الانضغاطيـة P، والقصيـة S، والموجات السطحية (موجات لوف، وموجات رايلي).

عندمـا ينفجـر الصـدع، تنتشـر الموجـات الزلزاليـة في جميـع الاتجاهـات، ممـا يتسـبب في اهتـزاز الأرض بتـرددات تتـراوح مـن حوالـي 0.1 إلـى 30 هرتـز. تهتـز المبانـي نتيجـة اهتـزاز الأرض؛ يحـدث الضـرر إذا لـم يتمكـن المبنـى مـن تحمـل هـذه الاهتـزازات. تتسـبب موجـات الانضغـاط وموجـات القـص بشـكل أساسـي في اهتـزازات عاليـة التـردد (أكبـر مـن 1 هرتـز) والتـي تكـون أكثـر كفـاءة مـن الموجـات منخفضـة التـــردد في التســـبب في اهـــتزاز المبـــاني المنخفضـة. تتسـبب

موجـات لـوف، وموجـات رايلـي، بشـكل أساسـي في اهتـزازات منخفضـة التـردد تكون أكثر كفاءة من الموجات عالية التردد في التسبب في اهتزاز المباني الشاهقة. نظراً لأن سعات الاهتزازات منخفضة التردد تتحلل بسرعة أقل من الاهتزازات عالية التردد مع زيادة المسافة من الصدع، فإن المباني الشاهقة الواقعة على مسافات كبيرة نسبيّاً (60 ميلاً) من الصدع تتضرر أحياناً.

أربع خصائص رئيسية تؤثر على الضرر الذي يمكن أن يسببه الزلزال اهتزاز الأرض، والتوهين، والمدة، واستجابة الموقع. ترتبط هذه العوامل أيضاً ببُعْد الموقع عن مركز الزلزال.

1. شدة الزلزال أو حجمه: يمكن قياس شدة الزلزال بطريقتين: شدته وقوته. الشدة هي التأثير الواضح للزلزال في مكان معين. الحجم مرتبط بكمية الطاقة المنبعثة. يتم قياس الشدة على مستويات مختلفة. الأكثر استخداماً في نصف الكرة الغربي هو مؤشر Mercalli المعدل المكون من اثني عشر مستوى (MMI)، الذي يتم تقييم الشدة بشكل شخصي من خلال وصف مدى الضرر. هناك ارتباط ما بين الحجم والشدة الزلزالية وغيرها من المعاملات الزلزالية مع كمية الطاقة المكافئة من مادة تي إن تي.

مقياس ريختر، الذي يقيس الحجم، هو المقياس الأكثر استخداماً من قِبل وسائل الإعلام لإبلاغ الجمهور بحجم الزلزال. تحديد الحجم أسهل من تحديد الشدة؛ لأنه مسجل على أدوات قياس الزلازل، لكنه يمثل بعض الصعوبات. في حين أن الزلزال يمكن أن يكون له قوة واحدة فقط، إلا أنه يمكن أن يكون له العديد من الشدة التي تؤثر على المجتمعات المختلفة بطرق مختلفة، وبالتالي فإن زلزالين بقوة ريختر متطابقة قد يكون لهما شدة قصوى مختلفة على نطاق واسع في مواقع مختلفة.

2. التوهين: التوهين هو انخفاض قوة الموجة الزلزالية أثناء انتقالها بعيداً عن مصدرها. يتأثر بنوع المواد والهياكل التي تمر بها الموجة (وسيط الإرسال) وحجم الزلزال.

3. الفطـــرة: تشير إلى طول الفترة الزمنية التي تظهر فيها حركة الأرض في موقع ما خصائص معينة مثل الاهتزاز العنيف، أو التي تتجاوز فيها مستوى معيناً من التسارع يقاس بنسبة الجاذبية (g). الزلازل الأكبر حجماً تكون أطول من الزلازل الأصغر. هذه الخاصية، بالإضافة إلى الاهتزاز الأقوى، مسؤولة عن الضرر الأكبر الذي تسببه الزلازل الكبيرة.

4. استجابة الموقع: استجابة الموقع هي رد فعل نقطة معينة على الأرض إلى اهتزاز الأرض. يتضمن هذا أيضاً احتمال حدوث انهيار أرضي، الذي يتأثر بالخصائص الفيزيائية للتربة والصخور التي تقع أسفل الهيكل وبالهيكل نفسه. إن عمق طبقة التربة ومحتواها الرطوبي وطبيعة التكوين الجيولوجي الأساسي – المواد غير المجمعة أو الصخور الصلبة – كلها عوامل ذات صلة. علاوة على ذلك، إذا كانت فترة الموجة الزلزالية الواردة تتناسب مع الفترة الطبيعية للهياكل و / أو التربة التحتية التي تستقر عليها، يمكن تضخيم تأثير حركة الأرض.

الفشـــــل الأرضـــــي Ground Failure

فشل الأرض مصطلح يشير إلى التشوه الدائم غير المرن للتربة و / أو الصخور الناجم عن اهتزاز الأرض. في حين أن الزلازل قد تنتج اهتزازاً أرضيّاً، وصدوعاً في السطح، وحركات رأسية تسبب أضراراً مباشرة للمباني والأرض، إلا أن الأضرار والإصابات الشخصية قد تنجم أيضاً عن عدة عوامل إضافية. قد تؤدي الزلازل إلى فشل الأرض مثل الانهيارات الأرضية والضغط التفاضلي للتربة وإسالة الرواسب المشبعة بالمياه مثل مدافن النفايات والتربة الرملية ورواسب الأنهار. مثل هذه الإخفاقات الأرضية قد تسبب أضراراً للهياكل أكثر من الاهتزاز نفسه. قد تتسبب الزلازل أيضاً في حدوث موجات مائية مدمرة مثل موجات المد والجزر والتسونامي. يمكن أن تتسبب مكونات المبنى غير الهيكلية مثل ألواح السقف والنوافذ والأثاث في إصابة خطيرة إذا تسبب الاهتزاز في تحولها أو كسرها. يمكن أن تؤدي خطوط الحياة المكسورة أو المعطلة (خطوط الغاز أو المياه أو الكهرباء وشبكات النقل والاتصالات) إلى مواقف خطرة ومحنة للمجتمع.

يمكن تقسيم حالات فشل الأرض المجمعة كتميع إلى عدة أنواع. أهم نوعين هما التدفقات الأرضية السريعة والانتشار الجانبي للأرض.

أ. التدفقات الأرضية السريعة: التدفقات الأرضية السريعة هي أكثر أنواع التميع كارثية. يمكن أن تتحرك كتل التربة الكبيرة من عشرات الأمتار إلى عدة كيلومترات. تحدث هذه التدفقات عادة في رمال أو طمي سائبة مشبعة على منحدرات قليلة فقط؛ ومع ذلك يمكنهم حمل صخور تزن مئات الأطنان.

ب. الانتشارات الجانبية للأرض: عادة ما تحدث حركة الكتل السطحية بسبب تميع الطبقات تحت السطحية على منحدرات لطيفة (حتى 3 درجات). عادة ما تكون الحركة على بُعْد أمتار قليلة لكن يمكن أن تصل أيضاً إلى عشرات الأمتار. تؤدي هذه الإخفاقات الأرضية إلى تعطيل الأساسات وكسر خطوط الأنابيب وضغط الهياكل المصممة هندسيّاً أو إبزيمها. يمكن أن يكون الضرر خطيراً عند حدوث عمليات نزوح في حدود متر أو مترين.

الفشـــل الإنشـــائي للمبـــاني

قد يتضرر هيكل المبنى إذا تجاوزت استجابته الاهتزازية لحركة الأرض حدود التصميم. تعتمد الاستجابة على التفاعل بين العناصر الهيكلية للمبنى واتجاه وتكرار ومدة حركة الأرض. يجب مراعاة هذه العوامل لإنتاج تصميم للمبنى يمنع حدوث عطل إنشائي أثناء الزلازل. في حالة عدم وجود تصميم مناسب، يتعرض المبنى لخطر أكبر لحدوث أضرار زلزالية، خاصة إذا كان المبنى قد تعرض لزلازل قوية سابقة.

أهميـــــة نـــوع البنـــاء

عادة، يمكن للمباني أن تتحمل بشكل أفضل المكون الرأسي للحركة الأرضية التي يسببها الزلزال لأنها مصممة لمقاومة الأحمال الرأسية الكبيرة الناتجة عن وزنها. ومع ذلك، فإن العديد منها عرضة للحركات الأفقية الكبيرة. عادة ما يتم تحقيق مقاومة الحركة الأفقية باستخدام دعامة جانبية ووصلات قوية

لتثبيت العناصر الهيكلية معاً. يمكن بعد ذلك للعناصر الأفقية مثل الأرضيات توزيع وزن المبنى على العناصر الرأسية القوية للمبنى. البناء الذي يوفر مساراً مستمراً لنقل الحمل الجانبي من السقف إلى الأساس يكون أكثر مقاومة لاهتزاز الأرض من البناء الذي يمكن من خلاله كسر هذا المسار بسهولة. على سبيل المثال، يقاوم المنزل ذو الإطار الخشبي جيداً اهتزاز الأرض بشكل أفضل من منزل من الطوب غير المقوى لأنه بمجرد تشققات الطوب، يتم كسر المسار الذي يتم نقل الحمولة الجانبية على طوله. تعتبر الروابط الصحيحة بين الأساس والهيكل وبين العناصر المختلفة للهيكل ضرورية لمقاومة الزلازل بشكل جيد. قد تنحرف المباني أو الهياكل الأخرى التي لا ترتبط بشكل جيد أو غير المتصلة بأساساتها عن الأساس أثناء وقوع الزلزال.

أهمية تـــردد اهـــتزاز الأرض في أضـــرار المبـــاني

يعتمد الضرر الذي يلحق بالمباني عادة على تواتر حركة الأرض. يمكن أن يكون الضرر شديداً بشكل خاصٍّ إذا كان تردد حركة الأرض يطابق ترددات الاهتزاز الطبيعي للهيكل. في هذه الحالة، يتم تعزيز استجابة اهتزاز الهيكل، وتسمى هذه الظاهرة بالرنين. تستجيب المباني الشاهقة والجسور وغيرها من الهياكل الكبيرة إلى اهتزاز الأرض منخفض التردد، وتستجيب الهياكل الصغيرة بشكل أكبر للاهتزاز عالي التردد. غالباً ما تعاني المباني الشاهقة في الأحواض الرسوبية من أضرار غير متناسبة؛ لأن صدى الموجات في الحوض يضخم الاهتزازات الأرضية منخفضة التردد.

أهميـــة شـــكل المبنـى للضـــرر

يمكن أن يؤثر شكل المبنى على شدة الضرر أثناء الزلازل. المباني التي على شكل حرف L أو U . قد تتعرض لضرر أكثر من مبنى متماثل. يحدث هذا الضرر بسبب حدوث ضغوط كبيرة عند التقاطع بين أجزاء المبنى، والتي تستجيب بشكل مختلف للاهتزازات الأرضية ذات الترددات المختلفة واتجاهات الحركة المختلفة. قد يتسبب المبنى الذي يحتوي على أقسام مختلفة في الارتفاع أو العرض في حدوث ضغوط كبيرة عند نقاط معينة لأن كل قسم سيهتز بتردده الطبيعي استجابةً لاهتزاز الأرض. يمكن للمباني المنفصلة التي تهتز بترددات مختلفة أن تلحق الضرر ببعضها البعض إذا تم بناؤها بالقُرْب من بعضها البعض.

أهميـة الـزلازل الماضيـة في أضـرار المبانـي

يعد تاريخ المبنى وتعرضه للزلازل السابقة مهمين أيضاً في تقدير مقدار الضرر الذي قد يتعرض له في الزلازل المستقبلية. غالباً ما يفترض الناس أن المبنى الذي نجا من زلزال بدون أضرار مرئية لن يتضرر على الأرجح في الزلازل اللاحقة. ومع ذلك، يمكن أن يؤدي اهتزاز الأرض إلى إضعاف المبنى عن طريق إتلاف الجدران داخليّاً. يمكن أن يؤدي الفشل في اكتشاف الضرر المخفي وتقويته إلى تدمير كامل في زلزال لاحق.

مخاطـــر مكونات البنـــاء غير الإنشـائية

تشمل العناصر غير الهيكلية للمبنى الحواجز والزخارف المعمارية والمداخن والجدران الفاصلة وألواح السقف والنوافذ وتركيبات الإضاءة ومحتويات المبنى. قد يكون إزاحة هذه العناصر أو تشويهها أثناء اهتزاز الأرض خطراً كبيراً على شاغلي المبنى ويؤدي إلى أضرار جسيمة بالمبنى. يمكن أن يشمل الضرر الذي يلحق بالعناصر غير الهيكلية للمبنى تدمير المعدات الباهظة الثمن، مثل أنظمة الكمبيوتر، وفقدان سجلات الشركة المُهمَّة أو عدم تنظيمها على نطاق واسع.

كذلك تشكل خطوط الغاز والكهرباء والماء المكسورة تهديدات خطيرة للسلامة، ويرجع ذلك إلى حد كبير إلى خطر نشوب حريق. تعمل أنابيب المياه المتشققة على تقليل كمية المياه المتاحة لإخماد الحرائق. عدم التواصل يعزل الناس عن المساعدة والمعلومات المطلوبة. تتعارض طرق النقل المحظورة أو التالفة مع قدرة موظفي الطوارئ على الاستجابة السريعة لطلبات المساعدة.

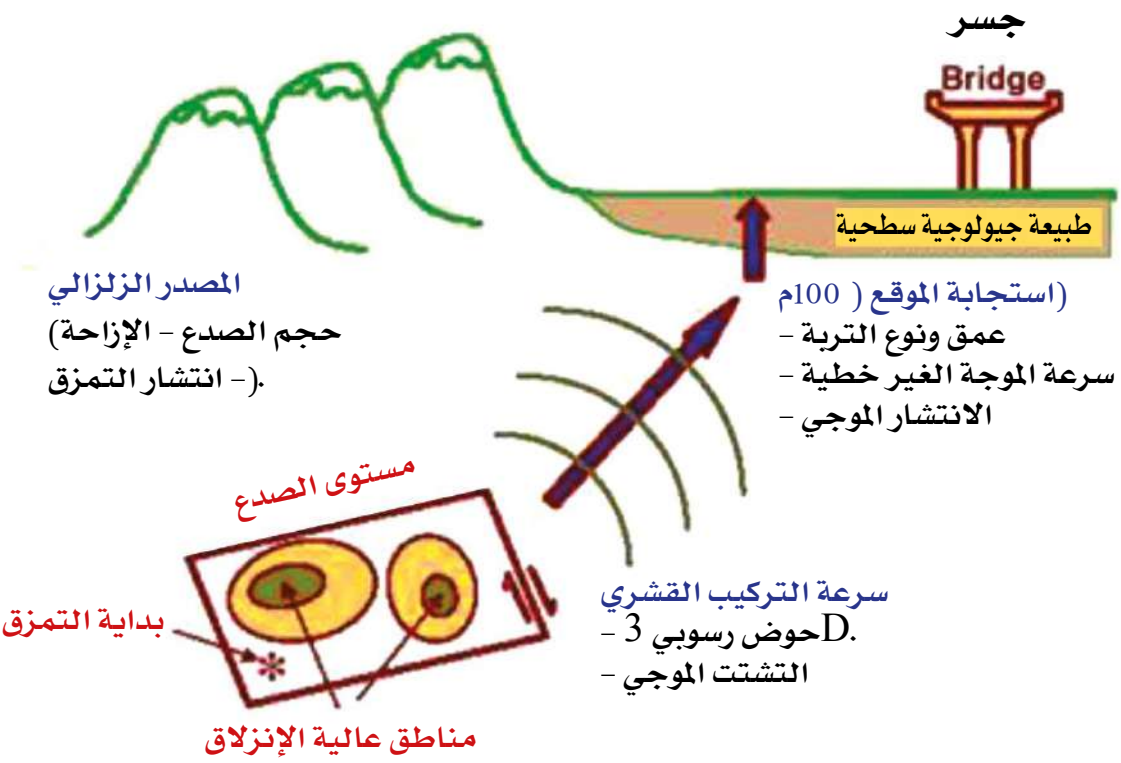
الحركـــة الأرضيـــة Ground Motion

إن الـزلازل ومـا ينجـم عنهـا مـن إزهـاق لـلأرواح وهـدم لمقومـات الحيـاة بصـورة آنيـة – قـد لا تتجـاوز ثوانـي معـدودة – لا سـيَّما في المجتمعـات المعاصـرة التـي تداخلت فيها مقومات الحياة بصورة معقدة، أدى إلى تطوير العديد من الحلول الهندسية لتقليل الآثار التي قد تسببها هذه الهزات الأرضية. ومع أن أي حل هندسي للتقليل من آثار الزلازل يعتمد على:

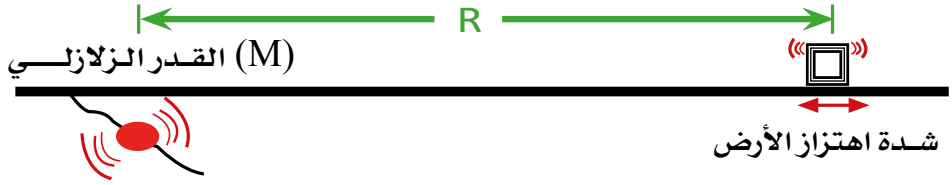
1. إمكانية تحديد وقت وقوع الزلزال.
2. تصميم المنشآت وتنفيذها بدون إغفال القُوى الناجمة عن الهزات الأرضية، فإن خيار التصميم الهندسي المناسب لمقاومة الزلازل يبقى هو الحل الوحيد، ويتمثل في اعتماد مواصفات البناء الهندسي الذي يحقق شرطين أساسيين هما:

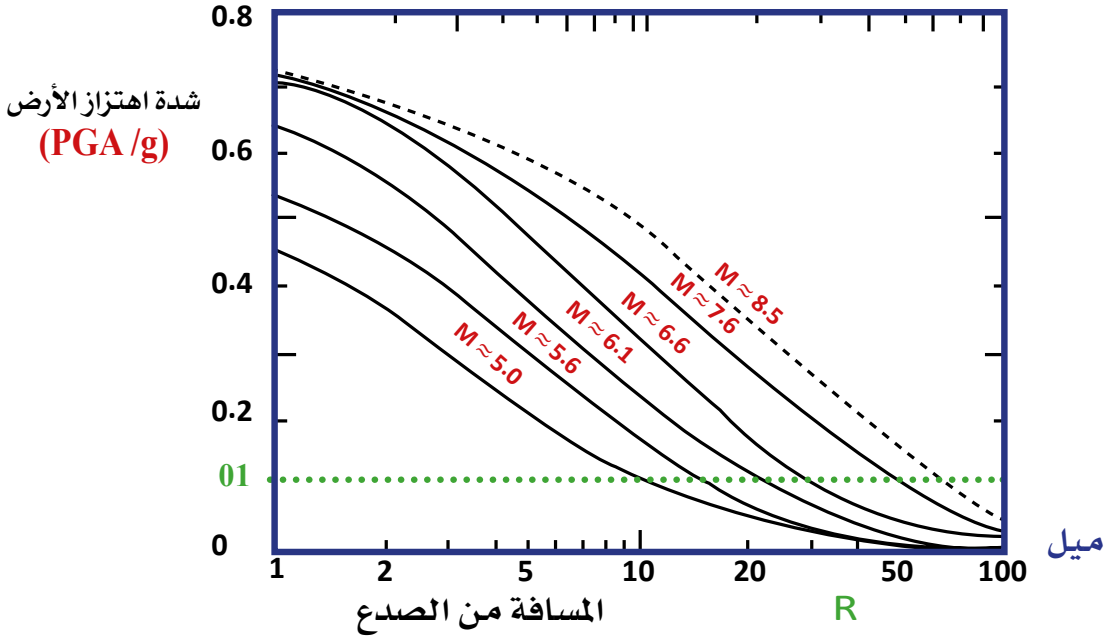
1. تفادي انهيار المباني حتى عند وقوع زلزال شديد، وبالتالي تفادي وقوع نسبة عالية من الوفيات.
2. القبول بمبدأ السماح بالأضرار الإنشائية التي يمكن إصلاحها بتكلفة تقل بكثير عن التكلفة اللازمة للبناء الإنشائي الذي لا يسمح بأي ضرر عند وقوع زلزال شديد.

من المتعارف عليه أن معظم الأضرار الأولية خلال حدوث الزلزال بسبب الحركة الأرضية ويعبر عن هذه الحركة بالتسارع الأرضي الأقصى PGA. يعتمد مستوى الحركة الأرضية لموقع ما على بُعْدها من مركز الزلزال السطحي. حيث تزداد الشدة كلما اقتربنا من المركز وتقل كلما ابتعدنا. الحركات الأرضية القوية يمكن أن ينجم عنها أيضاً مخاطر ثانوية مثل تضخيم الحركة الأرضية وتميع التربة أو انزلاق أرضي.

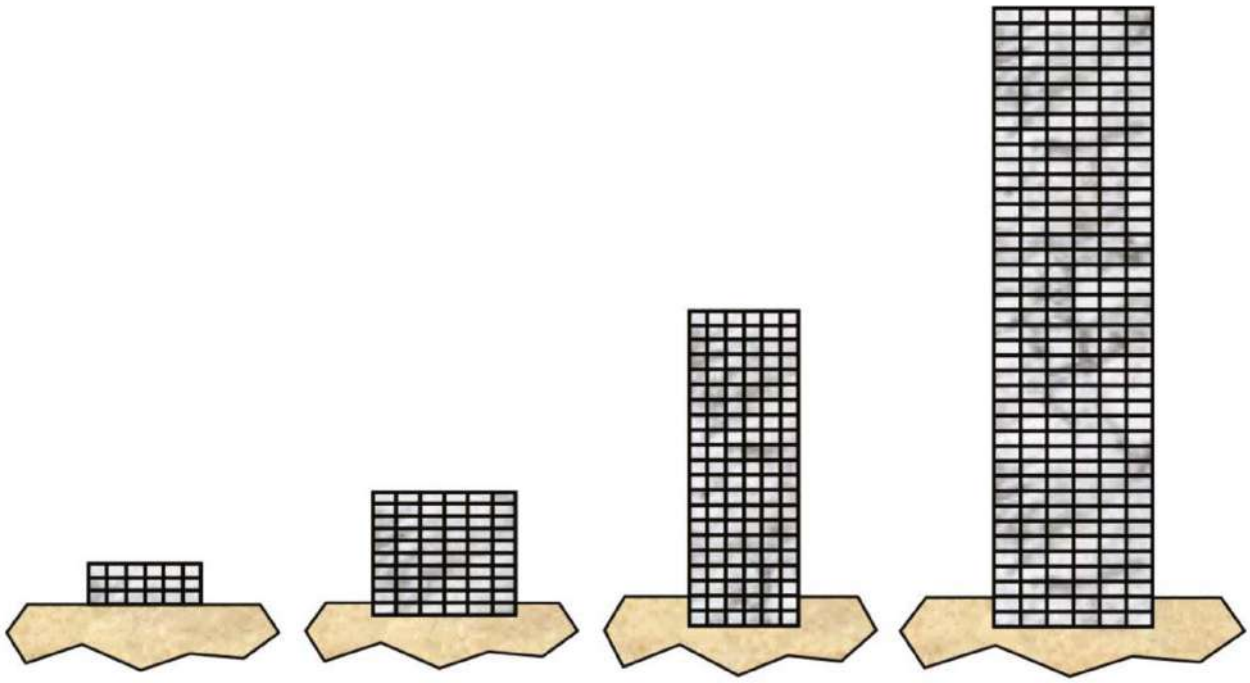


معظم الضرر عند حدوث الزلزال بسبب الحركة الأرضية

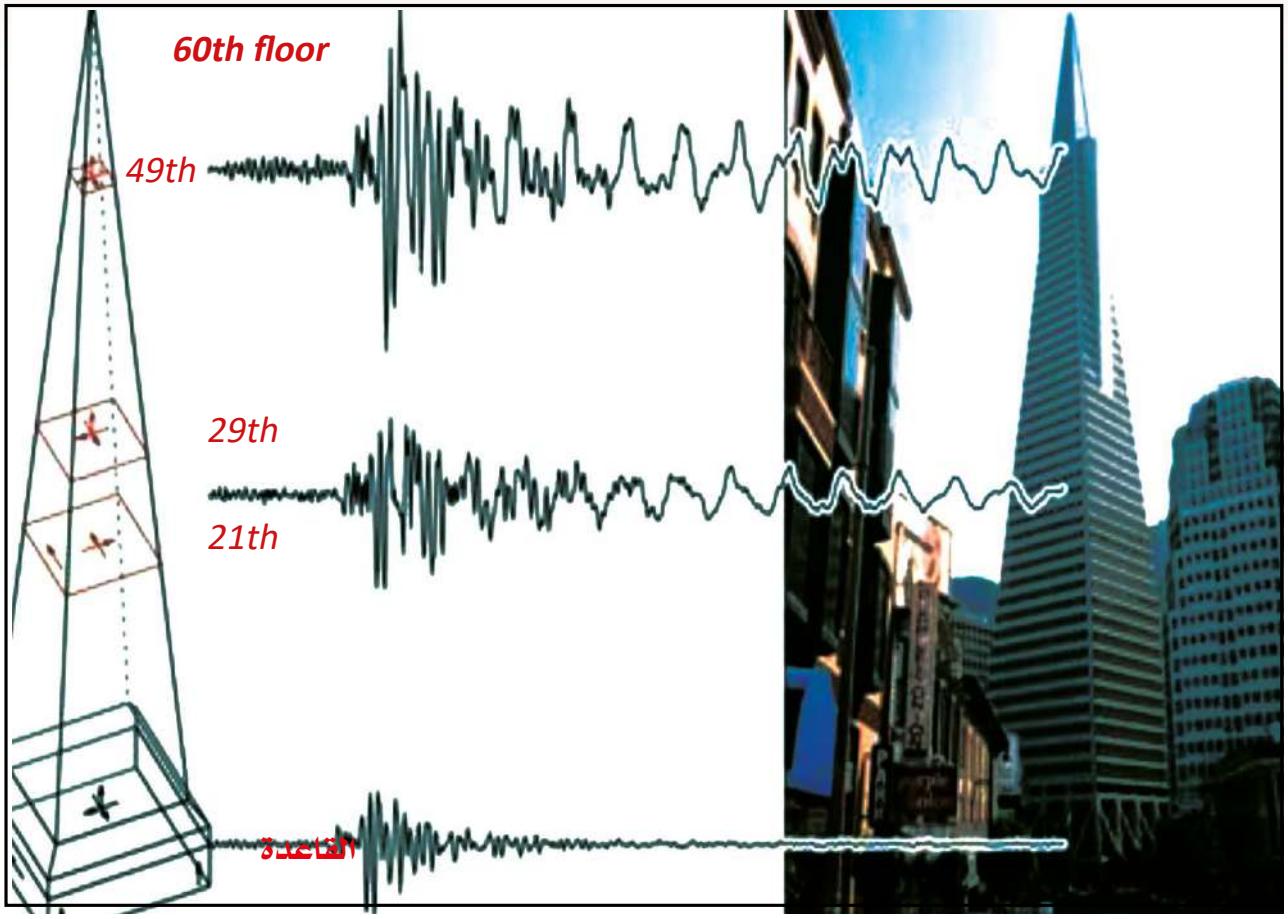




العلاقة العكسية بين المسافة من الصدع وشدة الاهتزاز الأرضي



تزداد الفترة الطبيعية (Resonant) للمبنى مع ارتفاع المبنى



تضخيم الموجة في الطوابق العُليا حيث يزداد التأثر بها

حيث نجد أن الفترة الطبيعية (بالثواني) للمباني الشاهقة تزداد مع الارتفاع على النحو التالي: الفترة الطبيعية (بالثواني) = عدد الطوابق / 10 . فنجد أن المباني المكونة من 50 طابقاً تبلغ فترتها الطبيعية 5 ثوانٍ، بينما تصل إلى 10 ثوانٍ في 100 طابق.

يتأثر السجل الزلزالي للحركة الأرضية بثلاثة عوامل :

صفات المصـــدر Source **(الإجهاد والتشوهات).**

المسار الموجـــي Travel path **(تشتت الطور الموجي) .**

ظروف الموقـــع Local condition **وتشمل الطبوغرافية والتربة.**

تشتمل نماذج تحليل المخاطر الزلزالية ورسم خرائط التمنطق الزلزالي لموقع معين على تكامل الدراسات الجيولوجية والجيوتقنية والزلزالية التي من خلالها يمكن تقويم مستوى الخطر وتحديد معامل الآمان الزلزالي بدقة.

الدراسات الجيولوجية	الدراسات الجيوتقنية	الدراسات الزلزالية
• التكتونية الإقليمية ونمط التشويه. • خرائط الصدوع ضمن 100كم^2. • تحديد أنواع الصدوع واتجاهاتها. • الإزاحات الحديثة على طول الصدوع. • الانزلاق والانهيار الأرضي	• أنواع ترب الأساس • معالجة عدم استقرار الميل. • تطوير معاملات الحركة العنيفة.	• رسم خرائط البؤر السطحية للزلازل. • تحديد شدة ومقدار الزلزال والتكرارية. • دراسة مستوى الشدة الزلزالية التاريخية والحديثة قُرْب الموقع. • علاقة مواقع الزلازل مع الصدوع. • تخمين الشدات الزلزالية المستقبلية (التعجيل – السرعة – الفترة). • تحليل سجلات الحركة العنيفة من الزلازل التاريخية.

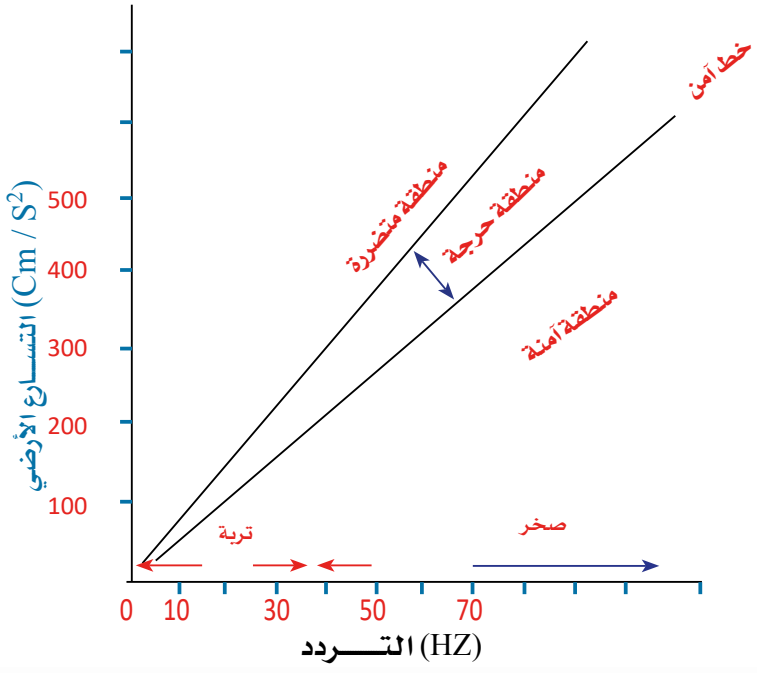
هناك ثلاثـــة شروط يجب توافرها لتحديد إمكانية حدوث الكارثة الزلزالية:

الشـرط الأول: هو كمية القدر الزلزالي حيث إن الأحـداث الزلزاليـــة الصغيرة لا ينتج عنها هزات أرضية عنيفة بصورة كاملة وحادَّة لكي تتسبب في الدمار الشامل.

الشـــرط الثاني: هو قُرْب المصدر الزلزالي.

الشـرط الثالث: هـو أن الحدث الزلزالي يعتمد على درجة الاستعداد للكارثة. لا تعتمد خطورة الزلزال على مدى زلزالية المنطقة أو الإقليم فحسب لكن أيضاً على الكثافة السكانية والنمو الاقتصادي.

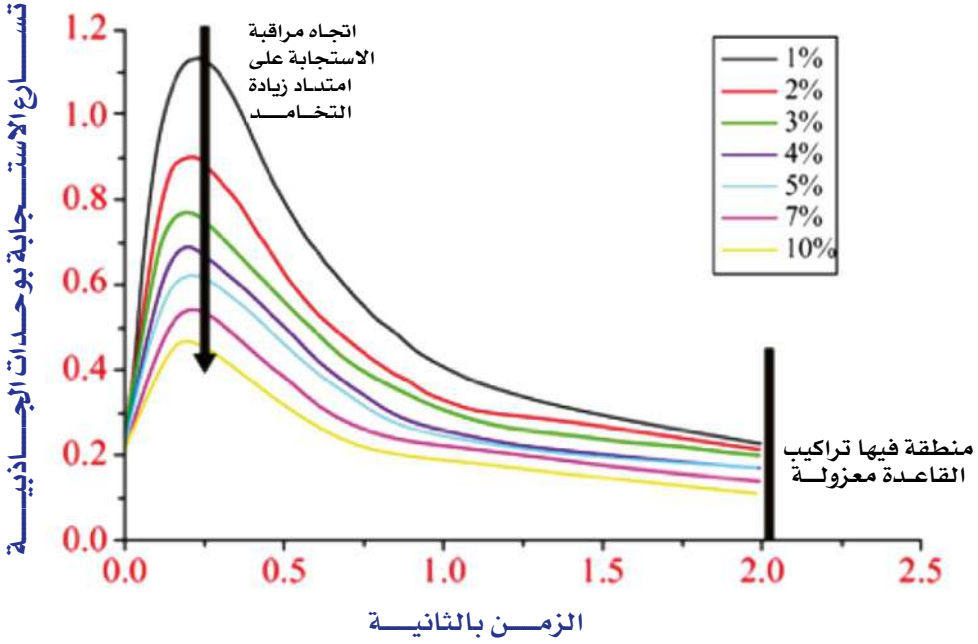
على الرغم من أن الزلزالية تظل ثابتة، فإن الكثافة السكانية والنمو الاقتصادي يزداد بشكل سريع. ومن أهم العناصر الضرورية للتهيؤ للكوارث هو قابلية التأثير Vulnerability أي تخفيف عواقب الزلازل المدمرة.



تغير قيمة التسارع الأرضي مع التردد

طيف الاستجابة Response Spectrum

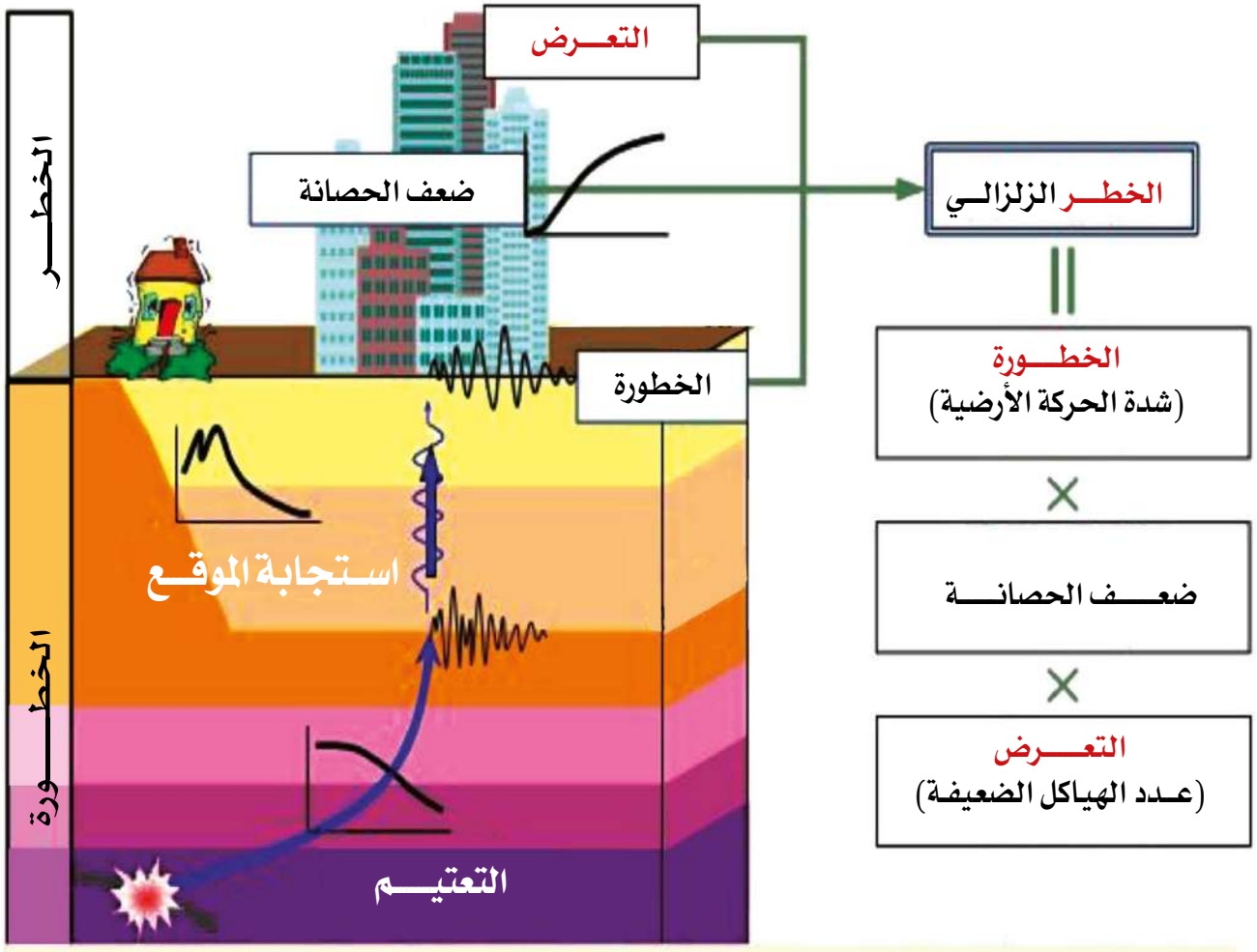
طيف الاستجابة هـو دالـة للتـردد أو الـدورة، تُظهـر اسـتجابة الـذروة لمذبـذب توافقـي بسـيط يخضـع لحـدث عابـر. طيـف الاسـتجابة هـو دالـة للتـردد الطبيعـي للمذبـذب والتخميـد الخـاصِّ بـه، وبالتالـي فهـو ليـس تمثيـلاً مباشـراً لمحتـوى تـردد الإثـارة (كمـا هـو الحـال في تحويـل فوريـه)، بـل هـو بالأحـرى تأثيـر الإشـارة علـى نظـام مفتـرض بدرجـة واحـدة مـن الحريـة (SDOF). يُسـتخدم مخطـط التسـارع لإثـارة اهتزازهـا في نطـاق الفتـرة 0، 5، 10 ثـوانٍ، وهـو نطـاق اهتمـام المهندسـين. يسـتخدم مفهـوم طيـف الاسـتجابة في قوانـين البنـاء وتصميـم الهيـاكل الأساسـية والحرجـة. جميـع كميـات الاسـتجابة موجبـة، وبالتالـي فـإن RSA غيـر مناسـب لعـدم انتظـام الالتـواء. هـذه الطريقـة تقريبيـة فقـط، لكنهـا غالبـاً طريقـة مفيـدة وغيـر مكلفة لدراسات التصميم الأولية.



تقييم المخاطر الزلزالية Seismic Risk Assessment

يُعرّف تقييم مخاطر الزلازل بأنه تقييم الخسائر الاقتصادية المحتملة، وفقدان الوظيفة، وفقدان الثقة، والوفيات، والإصابات من مخاطر الزلازل. بالنظر إلى الحالة الحالية للمعرفة بالظواهر الزلزالية، لا يمكن فعل الكثير لتعديل الخطر من خلال التحكم في العمليات التكتونية، لكن هناك مجموعة متنوعة من الطرق للتحكم في المخاطر أو التعرض للمخاطر الزلزالية. هناك أربع خطوات متضمنة في إجراء تقييم مخاطر الزلازل:

1. **تقييم مخاطر الزلازل** وإعداد خرائط مناطق الخطر .
2. **جرد للعناصر المعرضة للخطر**، مثل الهياكل والسكان.
3. **تقييم الضعف**.
4. **تحديد مستويات** المخاطر المقبولة.



الخطـر الكلي يتم تحديـده بواسطة شـدة الحركـة الأرضيـة وضعـف الحصـانة وعـدد التراكـيب المباني المتضررة

• إعـــداد خرائـــط مناطـــق الخـــطر

في منطقة معرضة للزلازل، ستكون المعلومات موجودة بلا شك حول الزلازل السابقة والمخاطر الزلزالية المرتبطة بها. يمكن استكمال ذلك بالمعلومات الجيولوجية والجيوفيزيائية الموجودة والمراقبة الميدانية، إذا لزم الأمر. اعتماداً على الظروف الجيولوجية، مزيج من اهتزاز الأرض، وتصدع السطح، والانهيارات الأرضية، والإسالة، والفيضانات التي قد تكون أخطر المخاطر المحتملة المرتبطة بالزلازل في المنطقة. يجب إعداد خرائط توضح مناطق هذه المخاطر وفقاً لشدتها النسبية. توفر هذه الخرائط للمخطط بيانات حول اعتبارات مثل التطبيق المكاني لقوانين البناء والحاجة إلى الحماية المحلية من الانهيارات الأرضية والفيضانات.

تقييم إمكانات اهتزاز الأرض على الرغم من أن اهتزاز الأرض قد يتسبب في حدوث أضرار مرتبطة بالزلزال الأكثر انتشاراً وتدميراً، فإنه يعد من أصعب المخاطر الزلزالية للتنبؤ بها وتحديدها. ويرجع ذلك إلى تضخيم تأثيرات الاهتزاز من خلال المواد غير المجمعة التي تعلو حجر الأساس في الموقع والمقاومة التفاضلية للهياكل، وبالتالي فإن الطريقة المثلى للتعبير عن اهتزاز الأرض هي من حيث الاستجابة المحتملة لأنواع معينة من المباني. يتم تصنيفها وفقاً لما إذا كانت عبارة عن إطار خشبي، أو مبنى من طابق واحد، أو منخفض الارتفاع (من 3 إلى 5 طوابق)، أو متوسط الارتفاع (من 6 إلى 15 طابقاً)، أو مرتفع (أكثر من 15 طابقاً). يمكن ترجمة كل من هذه، بدورها، إلى عوامل إشغال وتعميمها في أنواع استخدام الأراضي.

تقييـم إمكانيـة حـدوث خطـأ في السـطح مـن السـهل نسـبيّاً القيـام بذلـك، نظـراً لأن الصـدع السـطحي يرتبـط بمناطـق الصـدع. هنـاك ثلاثـة عوامـل مُهمَّـة في تحديـد تدابيـر التخفيـف المناسـبة: احتماليـة ومـدى الحركـة خـلال فتـرة زمنيـة معينـة، ونـوع الحركـة (عاديـة، أو عكسـية، أو خطـأ الانـزلاق)، والمسـافة مـن تتبـع الخطأ التي من المحتمل أن يحدث فيها الضرر.

في مناطـق التصـدع النشـط، يجـب إعـداد خرائـط الأعطـال بمقاييـس مناسـبة لغـرض التخطيـط (حوالـي 1: 50000 في المناطـق الناميـة و 1: 10000 في المناطـق الحضريـة) وتحديثهـا مـع توفـر معلومـات جيولوجيـة وزلزاليـة جديـدة. يجـب تحديـد مـدى المناطـق المعرضـة للخطـر علـى طـول الصـدوع، ويجـب إعـداد خرائـط توضـح درجـة الخطـر في كل منهـا. يجـب تحديـد تدابيـر، مثـل: تقسـيم اسـتخدام الأراضـي، وقيـود البنـاء للمناطـق المعرضـة للخطـر.

تقييـم احتمـال فشـل الأرض هـذه الطريقـة قابلـة للتطبيـق علـى الانهيـارات الأرضيـة التـي يسـببها الزلـزال. يتـم تحديـد إمكانـات الإسـالة في أربـع خطـوات:

1. يتـم إعـداد خريطـة للرواسـب الحديثـة، وتمييـز المناطـق التـي مـن المحتمـل أن تخضـع للتميـع عـن تلـك غيـر المحتملـة.
2. تم إعداد خريطة توضح عمق المياه الجوفية.
3. تم دمج هاتين الخريطتين لإنتاج خريطة «قابلية التميع».
4. يتم إعداد «فرصة التميع» من خلال الجمع بين خريطة القابلية للتأثر بالبيانات الزلزالية لإظهار توزيع احتمالية حدوث التميع في فترة زمنية معينة.

• جـــــرد العناصـــــر المعرضـــــة للخطـــــر

جرد العناصر المعرضة للخطر هو تحديد التوزيع المكاني للهياكل والسكان المعرضين لمخاطر الزلازل. يشمل البيئة المبنية، مثل: المباني وخطوط نقل المرافق والهياكل الهيدروليكية والطرق والجسور والسدود؛ الظواهر الطبيعية ذات القيمة، مثل: طبقات المياه الجوفية والسدود الطبيعية؛ وتوزيع السكان وكثافتهم. يتم ملاحظة خطوط الحياة، ومرافق الاستجابة للطوارئ، وغيرها من المرافق الحيوية بشكل مناسب.

تقييم الضعف

بمجرد توفر قائمة الجرد، يمكن إجراء تقييم الضعف. سيقيس هذا مدى قابلية هيكل أو فئة من الهياكل للتلف. من الصعب، إن لم يكن من المستحيل، التنبؤ بالضرر الفعلي الذي سيحدث، لأن هذا سيعتمد على مركز الزلزال وحجمه ومدته وما إلى ذلك. يمكن إجراء أفضل تحديد من خلال تقييم الضرر الناجم عن زلزال سابق بقوة معروفة في مجال الاهتمام وربط النتائج بالهياكل القائمة.

تقييم المخاطر ومقبوليتها

من الممكن نظريّاً الجمع بين تقييم المخاطر وتحديد قابلية تعرض العناصر المعرضة للخطر للوصول إلى تقييم لمخاطر محددة، وهو مقياس لاستعداد الجمهور لتحمل التكاليف لتقليل المخاطر. هذه عملية صعبة ومكلفة، ومع ذلك،

تنطبق على المراحل المتقدمة من عملية التخطيط للتنمية. بالنسبة لأي موقف معين، قد يتمكن المخططون وخبراء المخاطر الذين يعملون معاً من ابتكار إجراءات بديلة مناسبة تحدد المخاطر التقريبية وتوفر التوجيه الفني للقرارات السياسية فيما يتعلق بالمستويات المقبولة وما هي التكاليف المقبولة لتقليل المخاطر، وبالتالي يمكن التوصية بإجراءات التخفيف المناسبة كجزء من دراسة التنمية.

كيف نستطيع تخفيف الخطر؟

الخطر = الخطورة x التعرض x ضعف الحصانة

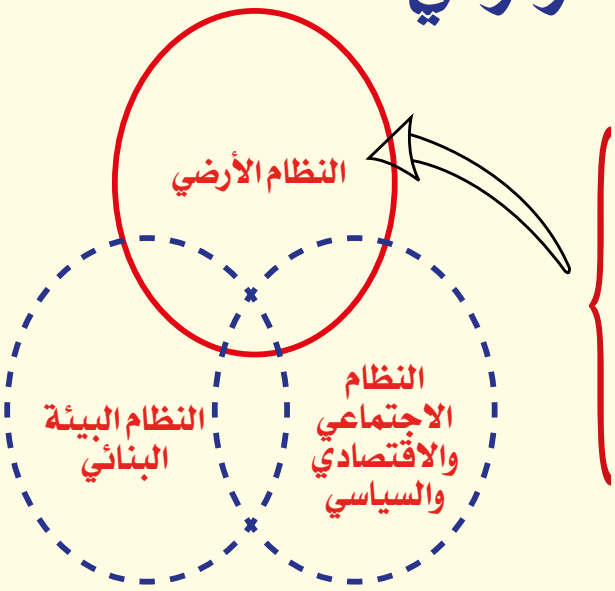
- ضعف الحصانة: الاستفادة العظمى يمكن الحصول عليها عن طريق تقليل ضعف حصانة المخاطر الطبيعية الطبيعية
- التعرض: زيادة الوعي بمواجهة المخاطر عن طريق المجتمعات
- الخطورة: نستطيع تحسين قدراتنا على مراقبة وتوقع المخاطر

التمنطـــق الزلزالـــــي Seismic Zonation

يهدف التمنطق الزلزالي إلى تقسيم المنطقة الجغرافية إلى مناطق صغيرة يتوقع تعرضها إلى نفس نسبة المخاطر الزلزالية (الاهتزاز والانهيار الأرضي والتصدع السطحي والتسونامي) وتستخدم خرائط التمنطق الزلزالي كدليل لأقصى قيمة للشدة الزلزالية أو التسارع الأرضي للدلالة على المناطق الخطرة زلزاليّاً. وللاستفادة القصوى لصانعي القرارات فإن هذا يتطلب أن تمثل خرائط التمنطق الزلزالي منظومة متكاملة من أنظمة الأرض والبيئة مع الأنظمة الاجتماعية والاقتصادية والسياسية.

- النظام الأرضي يحدد الخواص الفيزيائية للمصدر والمسار والموقع الذي يتحكم في المخاطر الزلزالية، ويشمل معرفة مواقع الزلازل التاريخية والحديثة ومقاديرها ومستوى الاهتزاز الأرضي وأقصى زلزال متوقع مستقبلاً.
- نظام البيئة البنائي يحدد التوزيع الفضائي والمكاني لأنظمة المباني المعرضة للمخاطر الزلزالية، ويشمل نوعية المباني والأساسات وعدد الأدوار وكيف تم تشييدها في الماضي ومدى تأثرها.
- النظام السياسي - الاقتصادي - الاجتماعي يعرف المجتمع بسياسات إدارة تحليل المخاطر الزلزالية. وهذا يشمل خطط تخفيف المخاطر والاستعداد والطوارئ وإعادة الأوضاع وأنظمة استغلال الأراضي والمباني في الماضي.

التمنطق الزلزالي



- العلاقات التكرارية
- المصدر - المسار - تأثير الموقع المحلي.
- خطورة الاهتزاز الأرضي.
- خطورة الفشل الأرضي.
- خطورة التصدع السطحي.
- خطورة الموجات التسونامية.

تتطلب خرائط التمنطق الزلزالي تكامل منظومة لتخفيف تأثير أنظمة الأرض والبيئة مع الأنظمة الاجتماعية والاقتصادية والسياسية.

التمنطق الزلزالي الدقيق Seismic Microzonation

يعمل التقسيم الزلزالي الدقيق على تقسيم المنطقة إلى مناطق أصغر ذات إمكانات مختلفة لتأثيرات الزلازل الخطرة 1. تعتمد تأثيرات الزلزال على الخصائص الجيومورفولوجية الأرضية التي تتكون من المعلومات الجيولوجية والجيومورفولوجية والجيوتقنية. تعتبر معاملات الجيولوجيا والجيومورفولوجيا، تغطية / سمك التربة، نتوء / عمق الصخور بعضاً من السمات الجيومورفولوجية المُهمَّة. السمات الأخرى هي معاملات الزلزال، التي يتم تقديرها من خلال تحليل المخاطر وتأثيرات التربة المحلية على الخطر (استجابة الموقع المحلي لزلزال). تسارع ذروة الأرض (PGA) [من النهج الحتمي أو الاحتمالي]، والتضخيم / استجابة الموقع، والتردد السائد، والتميع والانهيار الأرضي بسبب الزلازل هي بعض السمات المُهمَّة لعلم الزلازل. يعتمد وزن الخصائص على المنطقة وصانع القرار، على سبيل المثال، للأرض المستوية وزن بقيمة «0» للانهيار الأرضي وللتضاريس العميقة أعلى وزن لاستجابة الموقع أو التميع.

التمنطق الزلزالي الدقيق هو الخطوة الأولى في دراسة التخفيف من مخاطر الزلازل ويتطلب نهجاً متعدد التخصصات مع مساهمات كبيرة من مجالات الجيولوجيا وعلم الزلازل والجيوفيزياء والجيوتقنية والهندسة الإنشائية. هذا مُهمٌّ للغاية لتحديد التكوينات التكتونية والجيولوجية في منطقة الدراسة وهو أمر ضروري لتحديد المصادر الزلزالية وأيضاً لإنشاء نماذج مخاطر زلزالية واقعية للتحقيق. يتضمن التقسيم الزلزالي الدقيق تحقيقاً ميدانيّاً تفصيليّاً للغاية لتقييم الخطر. إنه فعَّال للغاية في تحديد الاختلافات المكانية في الخطر الزلزالي. كما أنها مفيدة لتقييم سيناريوهات المخاطر في منطقة الدراسة. تعد

خرائـط تحديـد المناطـق الدقيقـة الزلزاليـة مفيـدة جـدّاً في التخطيـط الحضـري لأنها تسـاعد في التنبؤ بتأثير الزلازل المستقبلية، ويمكن استخدامها أيضاً لتحديد مواقـع المرافـق الرئيسـية، مثـل: المستشـفيات ومحطـات الإطفـاء ومراكـز عمليـات الطوارئ ومـا إلـى ذلـك. تعـد دراسـات تحديـد المناطـق الصغيـرة مفيـدة جـدّاً أيضـاً لحفظ التراث و هياكل مُهمَّة من الزلازل الكبرى في المستقبل.

يوفـر التقسـيم الزلزالـي الدقيـق معلومـات مفصلـة عـن مخاطـر الـزلازل علـى نطـاق أوسـع بكثيـر. إنـه يعتـرف بحقيقـة أن قيـم التسـارع الطيفـي للمواقـع داخـل منطقـة زلزاليـة تختلـف في تناغـم مـع الظـروف الجيولوجيـة الخاصـة بالموقـع. لذلـك فهي تتكون من رسم خرائط تفصيلية لجميع الزلازل والزلازل المحتملة.

درء مخاطـــــر الـــــزلازل

لكـي نقـوم بتقليـل المخاطـر الزلزاليـة في المملكـة بطريقـة منطقيـة فإنـه مـن الضـروري الفهـم الواضـح والإدراك الكامـل والتـام بالظاهـرة الطبيعيـة المرتبطـة بحـدوث الزلـزال وآثارهـا الضـارة والمدمـرة، فالعنصـر الأساسـي لـدرء مخاطـر الـزلازل هـو القـدرة على تقييم وتقدير المخاطر الزلزالية باستخدام حلول منطقية ولكي يتم التعامل مع المخاطر الزلزالية فإنه من الضرورة معرفة ما يلي:

- **مصادر الزلازل المدمرة.**
- **مواقع الأحداث الزلزالية.**
- **تردد الأحداث الزلزالية المختلفة في الحجم.**
- **طبيعة الحركة الأرضية بالقُرْب من مصدر الزلزال أو التوهين مع المسافة.**
- **تأثير جيولوجية الموقع على شدة الهزة الأرضية.**
- **أنواع المخاطر الزلزالية.**
- **الخصائص الرئيسية التي من الممكن أن تعرف مقدار التدمير الناتج عن الهزة الأرضية.**

لنمذجـة خـواص المصـادر الزلزاليـة تم اسـتخدام طريقتـين همـا الطريقـة الزلزاليـة وطريقـة الكسـور. بالنسـبة للطريقـة الزلزاليـة تم اسـتخدام مجموعـة مـن البيانـات الزلزاليـة في كل نطـاق وذلـك لتحديـد وتعيـين علاقـة القـدر الزلزالـي – التـردد وكذلـك لتقديـر الإزاحـة الخطيـة السـيزمية ومقاديـر العـزم الزلزالـي. تم تحديـد المعامـلات الزلزاليـة لإيجـاد العلاقـة بـين التراكيـب والمصـدر الميكانيكـي

للزلـزال. أمـا بالنسـبة للطريقـة الثانيـة فقـد تم فحـص واختيـار التراكيـب التـي يشـملها كل نطـاق علـى أسـاس الخرائـط الجيولوجيـة التكتونيـة المتوفـرة، وذلـك لمعرفـة العلاقـة بـين أنـواع المصـدر الميكانيكـي للزلـزال وزلزاليـة مصـدر المسـاحة Area source.

دلـت النتائـج علـى أن هنـاك نوعـين مـن المصـادر بالنسـبة للنمـوذج التكتونـي، وهـذان النوعـان هـما المصـدر الخطـي Line source ومصـدر المسـاحة Area source. بالنسـبة للمصـدر الخطـي يشـمل الصـدع العرضـي Transcurrent والصـدوع العاديـة. أمـا بالنسـبة لمصـدر المسـاحة Area source فهـي تشـمل الأحـداث الزلزاليـة التـي لهـا علاقـة بالفوالـق والكسـور الصخريـة والتـي حـدث لهـا إزاحـة ممـا أدى إلـى تغيـر موقعهـا داخـل النطاقـات السيزميـة.

غالبـاً مـا يكـون مصـدر الخطـر الزلزالـي نـاتج عـن الحركـة الارتداديـة المتكـررة التـي يسـببها الزلـزال للمبنـى في الاتجاهـين الأفقـي والرأسـي بقُـوى عـزم، التـي بدورهـا تسـبب دورانـاً أو انقلابـاً للمبنـى، وبسـبب هـذه القُـوى الاهتزازيـة المتكـررة فإن عناصـر المبنـى تبدأ في فقـد قوتهـا وتماسـكها ومـن ثم انهيارهـا.

الـذي يجـب عملـه مـن الناحيـة الجيولوجيـة هـو دراسـة الانهيـارات والانـزلاق الصخـري والتـي تنتـج عـن شـدة التضاريـس والميـول الحـادَّة وهـذه تصاحـب فتـرة هطـول الأمطـار. ومـن الملاحـظ أن الـزلازل يصاحبهـا انهيـارات وهـذه خطيـرة بالنسـبة للمبانـي الواقعـة علـى رؤوس الجبـال وكذلـك قـد يصاحـب الهـزات الأرضيـة تميـع للتربـة أي أن التربـة تفقـد قدرتهـا علـى التماسـك ومقاومـة الأحمـال. وقـد يسـبب انهيـاراً للأساسـات حتـى المبانـي المقاومـة للـزلازل. أي أنـه لا بُـدَّ مـن إعطـاء مشـاريع دراسـة خـواص التربـة أهميـة خاصـة وكذلـك اختـلاف سـماكة المتكونـات الرسـوبية والملحيـة، وعمومـاً يعتمـد مقـدار الخطـر الزلزالـي الـذي يتمثـل بصفـة أساسـية في الدمـار والهـلاك المصاحبين للهزة الأرضية علـى عاملين هما:

• الشـــدة الزلزاليـــة Seismic Intensity

تستخدم نظرية الإحصاء والاحتمالات لتحديد مستوى الشدة الزلزالية في منطقة ما خلال فترات زمنية مستقبلية مع توقع زيادة في هذا المستوى باحتمال قدره 10 % وبعد رسم الخريطة الكنتورية للقيمة القصوى لعجلة (تسارع) الحركة الأرضية المتوقع حدوثها أفضل أسلوب لتوضيح قيم الشدة الزلزالية بهذه المناطق. تمثل قيمة هذه العجلة كنسبة عشرية أو مئوية من قيمة عجلة الجاذبية الأرضية (g). تصنف المناطق من حيث خطورتها الزلزالية طبقاً لقيمة **عجلة الحركة** الأرضية إلى **أربع مناطق هي**:

- **خاليـــة من الخطر (أقل من 0.05 g إلى 0.1 g).**
- **منخفضة الخطر (تتراوح من 0.05 g إلى 0.1 g).**
- **متوسطة الخطر (تتراوح من 0.1 g إلى 0.2 g).**
- **عاليـــة الخطر (أكبر من 0.2 g).**

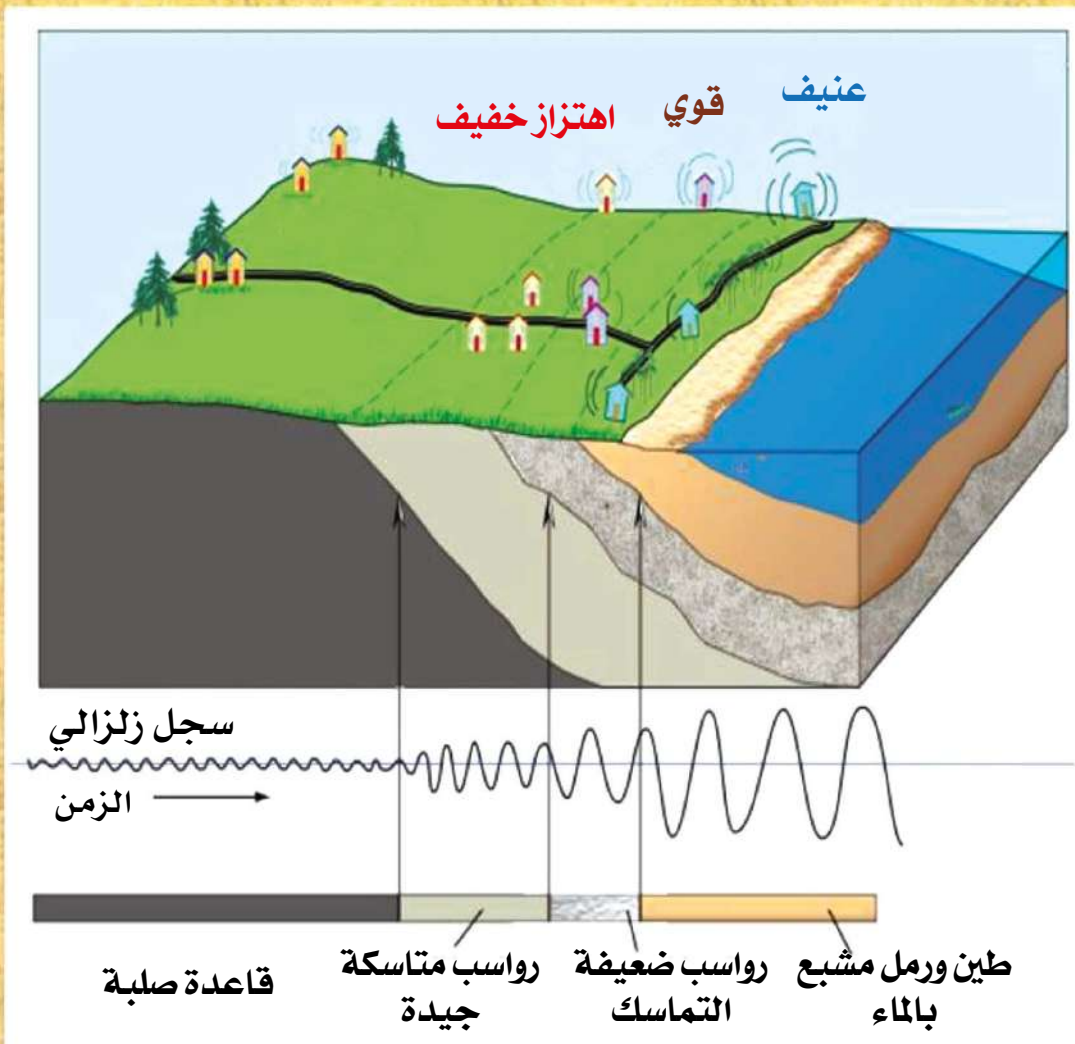
تتأثر الشدة الزلزالية بنوع الصخور. يوضح الشكل كيف تتذبذب الموجة الزلزالية عند دخولها مواد مختلفة. يحدث أقل ضرر عندما يتم تشييد المباني على أساس صخر. لاحظ أن إشارة مخطط الزلازل من خلال «حجر الأساس الصلب» عالية التردد وذات سعة منخفضة. بحلول الوقت الذي تصل فيه الموجة الزلزالية إلى «الرواسب المتماسكة جيداً» تبدأ في الاهتزاز بسعة أكبر لكن بشكل أقل تكراراً. بل إن الرواسب «الضعيفة التماسك» أسوأ. عندما تدخل الموجة إلى «الرمل والطين المشبع بالماء»، تسجل الموجة إشارة ذات تردد منخفض وعالي السعة. إنه يتدحرج حقاً ويمكن أن يسبب تسييلاً (أثناء اهتزاز الأرض، يمكن لبعض التربة الرملية المشبعة بالمياه أن تتصرف مثل السوائل بدلاً من المواد الصلبة).

• كفـــــاءة المبـــــاني

تستخدم خريطة العجلة الأرضية في تقويم كفاءة المباني المقاومة ومعرفة مدى مقاومتها لمستوى الشدة الزلزالية المتوقعة. كما تستخدم في أغراض التصميم الزلزالي للمباني إما مباشرة أو من خلال تحديد المعامل الزلزالي للمنطقة.

وطبقاً لنتائج الشدة الزلزالية فإنه على ضوئها يمكن تقدير مدى التلف المتوقع مستقبلاً للمنشآت. حيث تصل نسبة التلف في المباني الخرسانية المسلحة، التي لم يراعي في تصميمها مقاومة الزلازل (حوالي 33 %) عند زلزال شدته VIII على مقياس ميركالي المعدل، بينما تبلغ نسبة التلف في المباني الخرسانية المسلحة التي تم تصميمها بطريقة مقاومة للزلازل (13 %) تقريباً عند نفس الشدة الزلزالية.

تتأثر الشدة الزلزالية بنوع الصخر



تقدم خرائط الاهتزاز ShakeMaps الوقت الفعلي تقريباً لحركة الأرض وشدة الاهتزاز بعد الزلازل الكبيرة. يتم استخدام هذه الخرائط من قِبل المنظمات الفيدرالية والمحلية، العامة والخاصة، للاستجابة والتعافي بعد الزلزال، والمعلومات العامة والعلميـــة، فضلاً عن تمـــــارين التأهـــب والتخطيط للكوارث. توفر ShakeMaps معلومات أكثر بكثير من خرائط الزلازل القياسية، التي عادةً ما تُظهر فقط مركز الزلزال وقوته. تعتبـــــر التفاصيل الإضافيـــــة لخرائط ShakeMaps مفيدة للمتضررين من اهتزاز الأرض وكذلك لعمال الإنقاذ، الذين يمكنهـــم اســتخدامها كأساس لمزيد من الإجـــراءات. بالإضافـــة إلى خرائط ShakeMaps التي تصور شدة الزلزال، هناك أيضاً بعض الخرائط التي تُظهـــر ذروة تســـارع الأرض (PGA) وذروة ســـرعة الأرض (PGV).

تحليـــل مصـــــدر الخطـــــر الـــزلـزالـــــي

يتـم تحليل مصدر الخطـر الزلزالي بطريقتين الاحتمالية PSHA أو الحتمية DSHA.

طريقـة الاحتماليـة عبارة عن منهجية تقـدر احتماليـة تجـاوز المستويات المختلفـة مـن الحـركات الأرضيـة الناجمـة عـن الـزلازل في موقـع معـين في فتـرة زمنيـة معينـة في المسـتقبل. يتـم التعبيـر عـن نتائـج مثـل هـذا التحليـل علـى أنهـا احتمـالات مقـدرة سـنويّاً أو تـرددات سـنوية تقديريـة. سـمح اسـتعمال مفاهيـم الإحصـاء في السـنوات 20 إلـى 30 الماضيـة باعتبـار الشـكوك بشـكل واضـح في الحجـم والموقـع ومعـدل الظهـور للـزلازل وفي الاختـلاف في خصائـص الحركـة الأرضيـة مـع حجـم الزلـزال وموقعـه في تقييـم مصـادر الخطـر الزلزاليـة. ويعطـي تحليل مصـدر الخطـر الزلزالـي الاحتمالـي خطـة عمـل يمكـن فيهـا تمييـز الشـكوك وقياسـها وجمعهـا بطريقـة منطقيـة لإعطـاء صـورة أكثـر اكتمـالاً للخطـر الزلزالـي. ويتطلـب فهـم الأفـكار والميكانيكيـة لتحليـل مصـدر الخطـر الزلزالـي الاحتمالـي الإلمام ببعض المصطلحات والمفاهيم الأساسية لنظرية الاحتمالية.

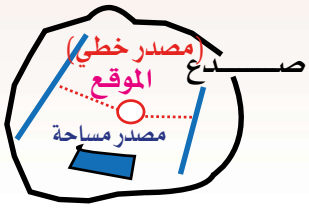
كما يمكن وصف تحليل مصدر الخطـر الزلزالـي الاحتمالـي PROBABILISTIC كطريقـة مـن أربـع خطـوات (Reiter, 1990) تحمـل كل منهـا بعـض الدرجـة مـن التشـابه لخطـوات تحليـل مصـدر الخطـر الزلزالـي التحديـدي Determin istic كما هو موضح في الشكل التالي.

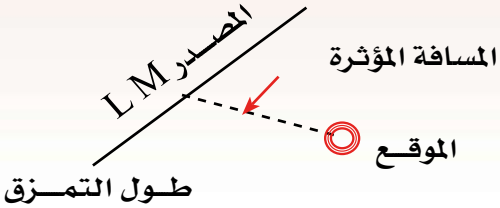
أما طريقة تحليل المخاطر الزلزالية الحتمية (DSHA) هو نهج لتقييم المخاطر الزلزالية الخاصة بالموقع، التي تتأثر بالحد الأقصى من المخاطر من مصادر التحكم التي تؤثر على موقع الدراسة المحدد. لا تعتبر DSHA مصادر أخرى غير أكبر مصدر «متحكم» ولا تأخذ في الاعتبار عوامل الوقت بسبب عدم اليقين من حدوث الزلازل في الوقت المناسب. في ظل ظروف معينة، يمكن أن يؤدي تجاهل هذه العوامل إلى تقليل التحفظ في تقدير المخاطر، خاصة عندما تولد المصادر الأخرى غير المتحكم بها مخاطر مكافئة تقريباً لتلك الخاصة بالمصدر المتحكم أو عندما يكون عمر تصميم الهيكل أطول من فترة عودة زلزال المصدر المتحكم.

تحليل المخاطر الزلزالية الحتمية Deterministic

في السنوات الأولى من هندسة الزلازل الجيوتقنية، كان استخدام تحليل المخاطر الزلزالية الحتمية (DSHA) سائداً. يتضمن DSHA تطوير سيناريو زلزالي معين يعتمد عليه تقييم مخاطر الحركة الأرضية (Reiter, 1990). يتكون السيناريو من الحدوث المفترض لزلزال بحجم محدد يحدث في موقع محدد. يمكن وصف DSHA النموذجي بأنه عملية من أربع خطوات تتكون من:

1. تحديد وتوصيف جميع مصادر الزلازل القادرة على إحداث حركة أرضية كبيرة في الموقع. يشمل توصيف المصدر تعريف هندسة كل مصدر (منطقة المصدر) وإمكانات الزلزال.
2. اختيار معلمة المسافة من المصدر إلى الموقع لكل منطقة مصدر. في معظم DSHAs، يتم تحديـــد أقصر مسافة بين منطقة المصدر والموقع محل الاهتمام. يمكن التعبير عن المسافة على أنها مسافة Epicentral أو مسافة Hypocentrat، اعتماداً على قياس المسافة للعلاقة (العلاقات) التنبؤية المستخدمة في الخطوة التالية.
3. اختيار الزلزال المسيطر (أي الزلزال الذي من المتوقع أن ينتج أقوى مستوى من الاهتزاز)، معبراً عنه عموماً من حيث بعض معاملات حركة الأرض، في الموقع. يتم الاختيار من خلال مقارنة مستويات الاهتزاز الناتجة عن الزلازل (المحددة في الخطوة 1) المفترض حدوثها على المسافات المحددة في الخطوة. 2. يتم وصف الزلزال المتحكم من حيث حجمه (يتم التعبير عنه عادةً بالحجم) والمسافة من موقع.
4. يتم تحديد الخطر في الموقع رسمياً، عادةً من حيث الحركات الأرضية التي يتم إنتاجها في الموقع بواسطة الزلزال المتحكم فيه. يشيع استخدام تسارع الذروة وسرعة الذروة وإحداثيات طيف الاستجابة لتوصيف الخطر الزلزالي.





تحديد ونمذجة المصادر الزلزالية

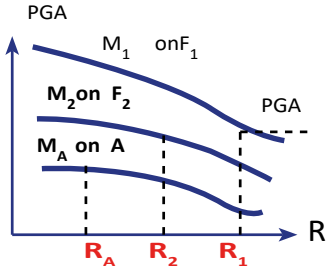
اختيار مستويات القدر الزلزالي

اختيار أفضل مسافة متحفظة من المصدر إلى الموقع

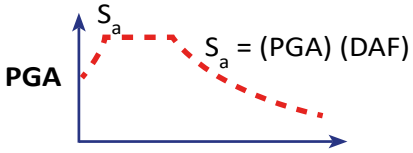
تعتيم أحد معاملات المواقع المتضررة من المصدر إلى الموقع

تطوير الشكل الطيفي للموقع

معايير ادخال التصميم الزلزالي الثابت للموقع



التعتيـــم



رسم توصيحي تسلسلي لتحليل المخاطر الزلزالية الحتمية (DSHA)

تحليل المخاطر الزلزالية الاحتمالية PROBABILISTIC

في العشرين إلى الثلاثين عاماً الماضية، سمح استخدام المفاهيم الاحتمالية بأوجه عدم اليقين في حجم وموقع ومعدل تكرار الزلازل وفي تباين خصائص حركة الأرض مع حجم وموقع الزلازل التي يجب أخذها في الاعتبار بشكل صريح في تقييم المخاطر الزلزالية. يوفر تحليل المخاطر الزلزالية الاحتمالية (PSHA) إطاراً يمكن من خلاله تحديد أوجه عدم اليقين هذه وقياسها كميّاً ودمجها بطريقة عقلانية لتوفير صورة أكثر اكتمالاً عن الخطر الزلزالي.

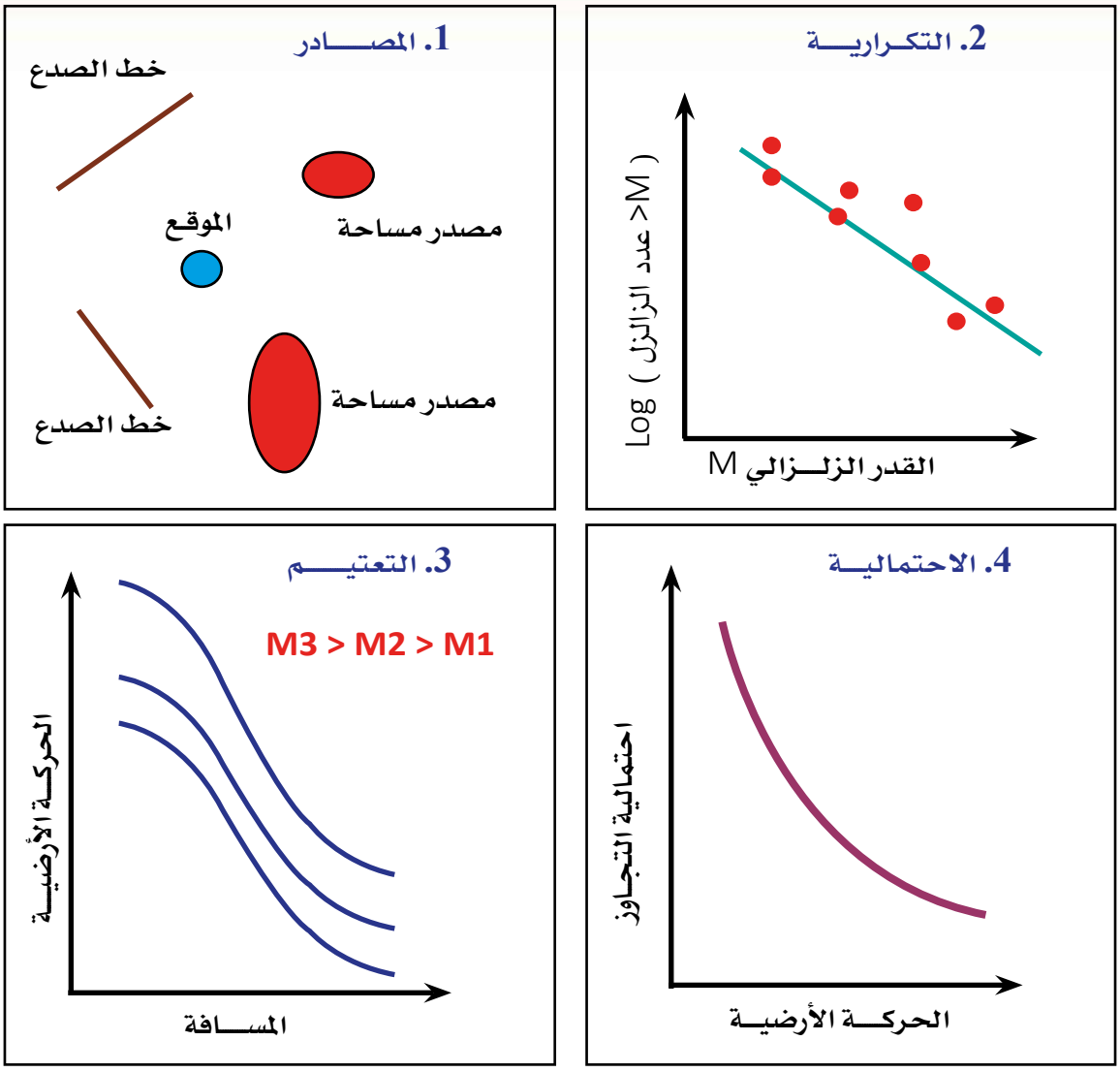
يمكن أيضاً وصف PSHA كإجراء من أربع خطوات لكل منها درجة من التشابه مع خطوات إجراء DSHA (Reiter, 1990):

1. الخطوة الأولى، تحديد مصادر الزلازل وتوصيفها، مطابقة للخطوة الأولى من DSHA، باستثناء أنه يجب أيضاً تحديد توزيع الاحتمالية لمواقع التمزق المحتملة داخل المصدر. في معظم الحالات، يتم تعيين توزيعات احتمالية موحدة لكل منطقة مصدر، مما يعني أن احتمال حدوث الزلازل متساوٍ في أي نقطة داخل منطقة المصدر، ثم يتم دمج هذه التوزيعات مع هندسة المصدر للحصول على التوزيع الاحتمالي المقابل للمسافة من المصدر إلى الموقع.

2. بعد ذلك، يجب تحديد التوزيع الزلزالي أو الزمني لتكرار الزلزال. تُستخدم علاقة التكرار، التي تحدد متوسط المعدل الذي سيتم به تجاوز زلزال بحجم ما، لتوصيف النشاط الزلزالي لكل منطقة مصدر. قد تستوعب علاقة التكرار الحد الأقصى لحجم الزلزال، لكنها لا تقصر النظر في هذا الزلزال، كما تفعل DSHAs في كثير من الأحيان.

3. يجب تحديد حركة الأرض الناتجة في الموقع عن طريق الزلازل بأي حجم ممكن، التي تحدث في أي نقطة ممكنة في كل منطقة مصدر باستخدام العلاقات التنبؤية. يتم أيضاً اعتبار عدم اليقين المتأصل في العلاقة التنبؤية في PSHA.

4. أخيراً، يتم دمج حالات عدم اليقين في موقع الزلزال وحجم الزلزال وتنبؤ معامل حركة الأرض للحصول على احتمال تجاوز معامل حركة الأرض خلال فترة زمنية معينة. ويتطلب الأداء الملائم لتحليل مصدر الخطر الزلزالي الاحتمالي لفت انتباه حذر إلى مسائل وصف المصدر والتنبؤ بمعامل الحركة الأرضية وإلى الآلية حسابات الاحتمالية.



مراحل تحليل الخطر الزلزالي الاحتمالي لموقع ما:

1. تحديد مصادر الزلزال 2. خواص التكرارية الزلزالية لكل موقع. 3. تعتيم الحركات الارضية مع القدر الزلي والمسافة 4. الحركات الأرضية لاحتمالية محددة بمستويات تجاوز (تحسب بواسطة جمع احتماليات جميع المصادر والقدر الزلزالي والمسافات.).

الخطوات الأربع لتحليل مصدر الخطر الزلزال الاحتمالي

توصـيف مصـــدر الزلـزال

يتطلب توصيف مصدر الزلازل النظر في الخصائص المكانية للمصدر وتوزيع الزلازل داخل هذا المصدر، وتوزيع حجم الزلزال لكل مصدر، وتوزيع الزلازل مع مرور الوقت. كل من هذه الخصائص تنطوي على درجة معينة من عدم اليقين.

عـــــدم اليقـــين المكانـي

تعتمد هندسة مصادر الزلازل على العمليات التكتونية المتضمنة في صياغتها. الزلزال المرتبط بالنشاط البركاني، على سبيل المثال، ينشأ عموماً في مناطق بالقُرْب من البراكين صغيرة بما يكفي للسماح بتوصيفها كمصادر نقطية. يمكن اعتبار طائرات الصدع المحددة جيداً، التي يمكن أن تحدث فيها الزلازل في العديد من المواقع المختلفة، كمصادر مساحية ثنائية الأبعاد. يمكن التعامل مع المناطق التي يتم فيها تعريف آليات الزلازل بشكل سيئ، أو حيث يكون التصدع واسع النطاق بحيث يمنع التمييز بين العيوب الفردية، كمصادر حجمية ثلاثية الأبعاد.

عادة ما يُفترض أن الزلازل موزعة بشكل موحد داخل منطقة مصدر معينة (على سبيل المثال، تعتبر الزلازل متساوية في احتمال حدوثها في أي مكان). يمكن وصف عدم اليقين في المسافة من المصدر إلى الموقع من خلال دالة كثافة الاحتمال.

عـــــدم اليقـــين في الحجـــم

بمجرد تحديد مصدر الزلازل وتمييز منطقة المصدر المقابلة له، يتحول انتباه محلل المخاطر الزلزالية نحو تقييم أحجام الزلازل، التي يتوقع أن تنتجها منطقة المصدر. جميع مناطق المصدر لها حد أقصى للزلازل لا يمكن تجاوزه؛ يمكن أن

تكون كبيرة بالنسبة للبعض وصغيرة بالنسبة للآخرين. بشكل عام، ستنتج منطقة المصدر زلازل بأحجام مختلفة تصل إلى الحد الأقصى للزلازل، مع حدوث زلازل أصغر بشكل متكرر أكثر من الزلازل الكبيرة.

جمع جوتنبرج وريختر (1944) بيانات من زلازل جنوب كاليفورنيا على مدى سنوات عديدة ونظموا البيانات وفقاً لعدد الزلازل التي تجاوزت درجات مختلفة خلال تلك الفترة الزمنية. قاموا بتقسيم عدد التجاوزات لكل حجم على طول الفترة الزمنية لتحديد متوسط المعدل السنوي للتجاوز، N (m) لزلزال بحجم m. كما هو متوقع، فإن متوسط المعدل السنوي لتجاوز الزلازل الصغيرة أكبر من الزلازل الكبيرة. يُعرف التعبير الناتج الآن باسم قانون جوتنبرج – ريختر لتكرار الزلزال وله الشكل

$$L_n\, N(m) = a - b\, m$$

حيث N (m) هو **متوسط المعدل** السنوي **لتجاوز** الحجم، m, α هو **متوسط** العدد السنوي **للزلازل** ذات **الحجم** الأكبر من أو يساوي الصفر، و يصف الاحتمال النسبي للزلازل الكبيرة والصغيرة. مع زيادة قيمة β، يتناقص عدد الزلازل ذات الحجم الأكبر مقارنةً بالزلازل ذات الأقدار الأصغر. يتم الحصول على المعاملات وعموماً عن طريق الانحدار في قاعدة بيانات الزلازل من منطقة المصدر ذات الأهمية.

عـــدم اليقـــين الزمـني Temporal

لحساب احتمالات حدوث مخاطر مختلفة في فترة زمنية معينة، يجب مراعاة توزيع حدوث الزلزال فيما يتعلق بالوقت. منذ فترة طويلة يفترض أن الزلازل تحدث بشكل عشوائي مع مرور الوقت، وفي الواقع، كشف فحص سجلات الزلازل المتاحة عن أدلة قليلة (عند إزالة توابع الزلزال) على الأنماط الزمنية في تكرار الزلازل.

يتم وصف الحدوث الزمني للزلازل بشكل شائع بواسطة نموذج بواسون. يوفر نموذج بواسون إطاراً بسيطاً لتقييم احتمالات الأحداث التي تتبع عملية بواسون، والتي تنتج قيماً لمتغير عشوائي يصف عدد مرات حدوث حدث معين خلال فترة زمنية معينة أو في منطقة مكانية محددة. تمتلك عمليات بواسون الخصائص التالية:

- عدد التكرارات في فاصل زمني واحد مستقل عن الرقم الذي يحدث في أي فترة زمنية أخرى.
- يتناسب احتمال الحدوث خلال فترة زمنية قصيرة للغاية مع طول الفاصل الزمني.
- احتمال حدوث أكثر من مرة واحدة خلال فترة زمنية قصيرة للغاية لا يكاد يذكر. تشير الخصائص إلى أن أحداث عملية بواسون تحدث بشكل عشوائي، مع عدم وجود «ذاكرة» للوقت أو الحجم أو الموقع لأي حدث سابق.

طـــرق الشـــجرة المنطقيـــة Logic Tree Methods

أصبحت الأشجار المنطقية سمة قياسية لتحليلات المخاطر الزلزالية الاحتمالية (PSHA) لتحديد الحركات الأرضية للتصميم. الغرض من الشجرة المنطقية هو التقاط وقياس عدم اليقين المعرفي المرتبط بمدخلات PSHA وبالتالي تمكين تقدير عدم اليقين الناتج في الخطر. يتم وصف الشجرة المنطقية في PSHA على أنها جميع الخطوات التي يوجد فيها شكوك لحساب تحليل المخاطر الزلزالية هي فروع منفصلة، ويتم إضافة كل فرع لكل خيار من الخيارات التي يعتبرها المحلل مجدياً، ويتم تعيين وزن معياري لعكس ثقة المحلل في اختيار النموذج الأكثر صحة أو أفضل تقدير. يتم بعد ذلك حساب الخطر باتباع جميع الفروع الممكنة. تُستخدم شجرة المنطق في PSHA لتقدير عدم اليقين المعرفي. مزيج بسيط من النماذج (التوزيعات الاحتمالية). عوامل الترجيح على أساس آراء الخبراء أو النهج الخاصة.

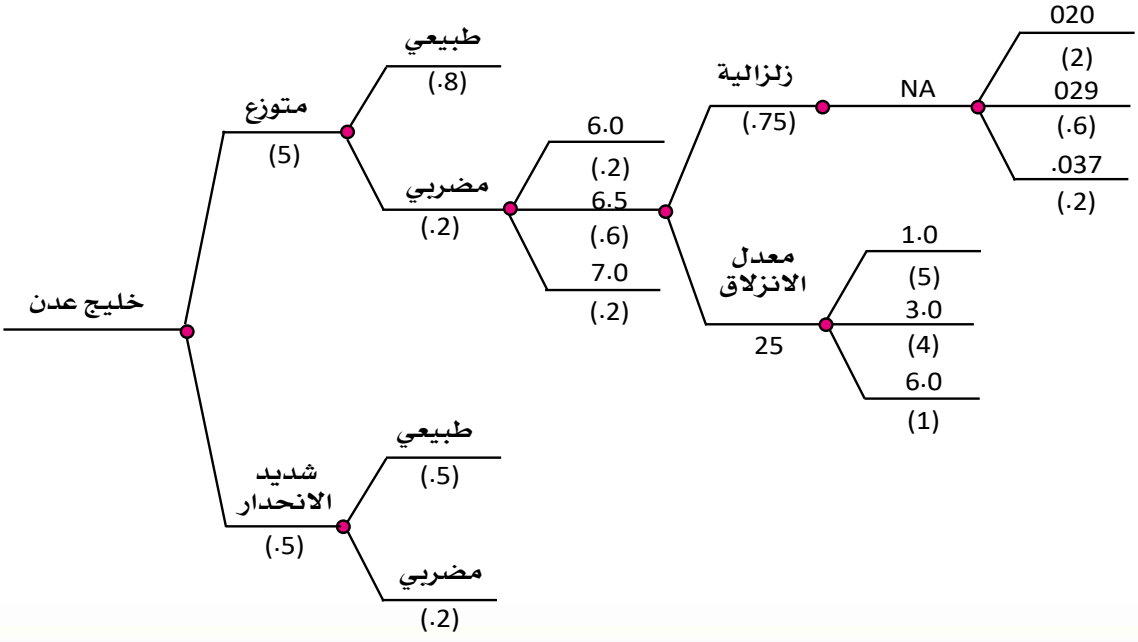
يتم اتباع حسابات المخاطر جميع الفروع الممكنة من خلال شجرة المنطق، كل تحليل ينتج منحنى خطر واحد يوضح حركة الأرض مقابل التردد السنوي للتجاوز. يتم تحديد ترجيح كل منحنى خطر بضرب الأوزان على طول جميع الفروع المكونة.

هناك نوعان من أوجه عدم اليقين المرتبطة بتحليل المخاطر. يرجع أحدهما إلى عشوائية طبيعة الزلازل والتنبؤ بالحركة الأرضية المسمى بعدم اليقين المتماثل، بينما يرجع الآخر إلى عدم المعرفة الكاملة بعملية الزلزال المسماة عدم اليقين المعرفي. يمكن تقليل السابق بسهولة من خلال دمج توزيع حركة الأرض حول الوسيط، ويمكن تقييم الأخير باستخدام نهج الشجرة المنطقية.

تـــم وضـــع إطـــار الشـــجرة المنطقيـــة لتقليـــل عـــدم اليقـــين المعرفـــي Epistemic Uncertainty في حساب قيمة الخطر النهائي. يرجع عدم

اليقين المعرفي إلى المعرفة غير الصحيحة حول العملية التي تنطوي على أحداث الزلازل والخوارزميات المستخدمة لنمذجتها. بشكل عام، تكون نماذج التنبؤ بالحركة الأرضية أكثر تمثيلاً عندما لا تتوفر النماذج المناسبة الخاصة بالمنطقة لانتشار الموجات. يمكن فحص ذلك من خلال دمج شجرة المنطق في دراسة تحليل المخاطر مثل الشجرة المنطقية العقد المختلفة التي تحدد خيارات الإدخال البديلة، ويتم تعيين وزن لكل فرع يشير إلى درجة المعقولية الكمية أو النوعية المعينة. لتحديد مقدار عدم اليقين المعرفي، يجب مراعاة الفروع المختلفة لشجرة المنطق التي تستند إلى نماذج المصدر، وإضفاء الطابع الإقليمي على b- value، وتحديد حجم الاكتمال والحجم الأقصى وعدم اليقين المعرفي في GMPE باستخدام النهج المناسب التمثيلي.

منطقة المصدر	النموذج التكتوني	نوع الصدع	أكبر قدر زلزالي	النموذج التكراري	معدلات الانزلاق (ملم / سنة)	قيمة α	قيمة β

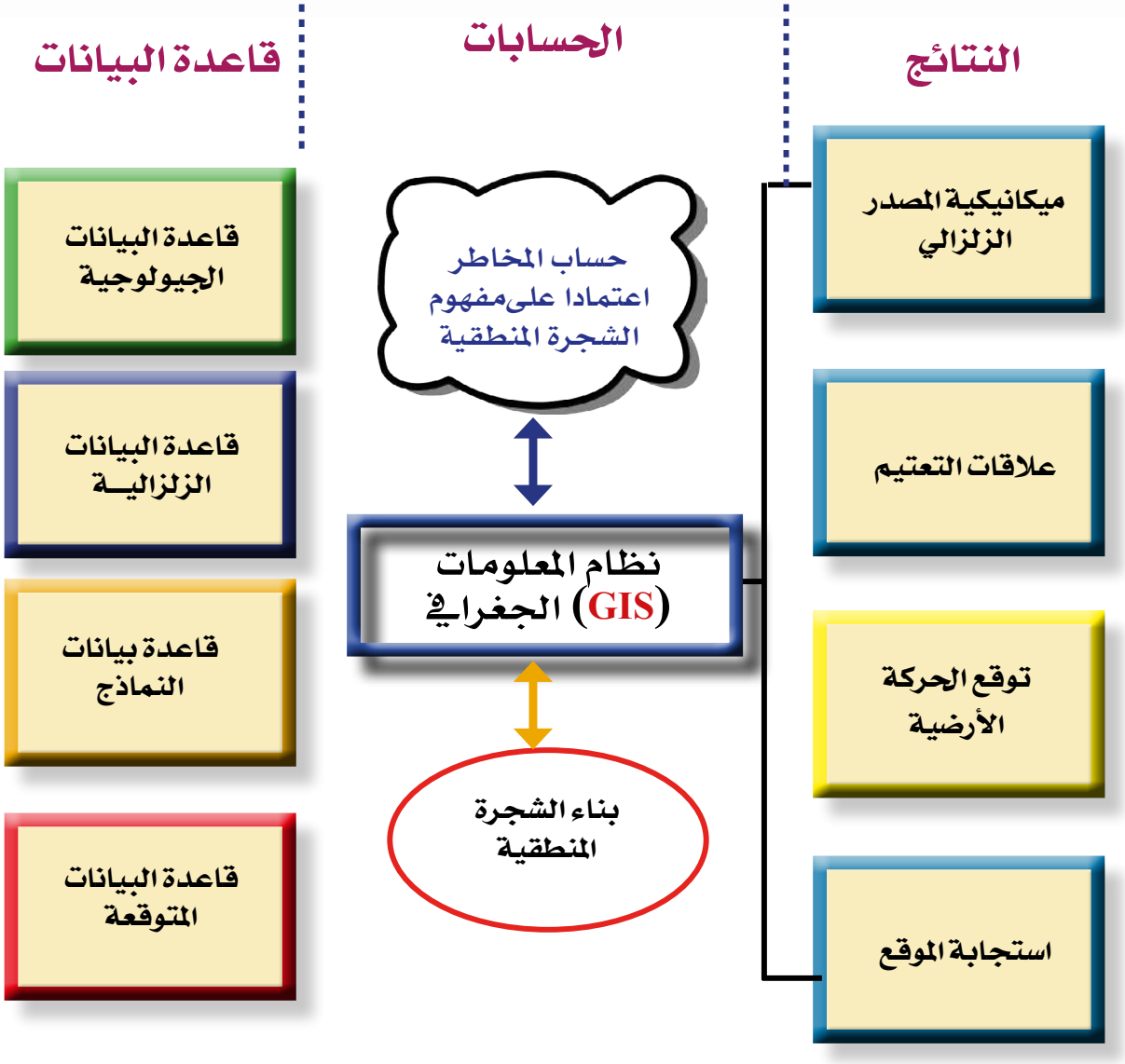


تحليل المصدر الزلزالي باستخدام الشجرة المنطقية لخليج عدن

تم تقديم الأشجار المنطقية لأول مرة لتحليل المخاطر الزلزالية لأكثر من 20 عاماً (1984) وأصبحت أداة شائعة بشكل متزايد في تحليل المخاطر الزلزالية. غالباً ما يُنظر إليها على أنها أحدث أداة لقياس عدم اليقين المعرفي وإدراجه، وهو عدم اليقين المرتبط بنقص المعرفة (على سبيل المثال Reiter 1990, McGuire 2004). أصبح استخدام إطار الشجرة المنطقية تقريباً ممارسة قياسية في تحليل المخاطر الزلزالية الاحتمالية (PSHA) إلى الحد الذي يجعل من النادر جدّاً رؤية دراسة مخاطر منشورة أو PSHA خاص بالموقع لا يتضمن شجرة منطقية.

يتضمن إنشاء شجرة منطقية لـ PSHA اختيار نماذج بديلة أو نماذج Pa-Rameters لمدخلات مختلفة ثم تعيين أوزان للفروع المختلفة في كل عقدة لتعكس الثقة النسبية للمحلل في الخيارات. على الرغم من أنه يبدو صريحاً إلى الأمام، فإن هناك مشكلات مفاهيمية وعملية مرتبطة بهذه الخطوات. ضمن إطار عمل PSHA، يتم التعامل مع معامل الحركة الأرضية ذات الأهمية كمتغير عشوائي حيث يتم محاولة تحديد توزيع الاحتمالات، معبراً عنه عادةً على أنه تردد تجاوز (على سبيل المثال، منحنى الخطر). من الناحية المفاهيمية، كما ذكرنا سابقاً، يحتوي هذا النموذج على مكونين: التوزيع المشترك بين الحجم والمسافة والاستخدام وإساءة استخدام الأشجار المنطقية كأداة لالتقاط وتحديد أوجه عدم اليقين المتعلقة بـ PSHAb. التحليل عبارة عن فروع منفصلة، تتم إضافة كل فرع لكل خيار من الخيارات التي يعتبرها المحلل ممكناً، ويتم تعيين وزن معياري ليعكس اختيار المحلل للثقة للنموذج الصحيح أو أفضل تقدير. ثم يتم إجراء حساب الخطر باتباع جميع الفروع الممكنة.

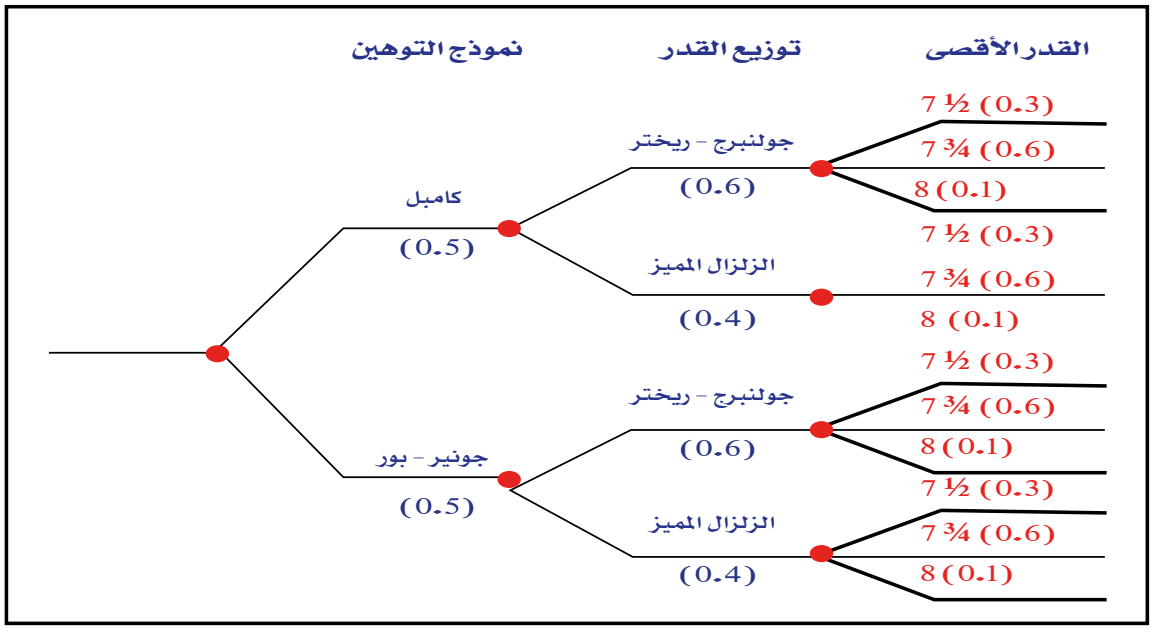
هيكل الشجرة المنطقية



تسمح حسابات الاحتمالات الموصوفة سابقاً باعتبار تنظيمي للشك في القيم للمعاملات لنموذج خطر زلزالي محدد. وفي بعض الحالات، على الرغم من ذلك، فإن أفضل الاختيارات للعناصر لنموذج الخطر الزلزالي نفسه ربما لا

تكون واضحة. واستعمال الشجرات المنطقية (Logic Trees) تعطي هيكلاً ملائماً لمعالجة واضحة لنموذج الشك.

وتسمح طريقة الشجرة المنطقية باستعمال النماذج **البديلة**، كل منها حدّد كمعامل وزن يفسر كالاحتمال النسبي لذلك النموذج كي يكون صحيّاً. ويتكون من سلسلة من نقاط الالتقاء (Nodes) تمثل النقاط التي تعين عندها النماذج والفروع التي تمثل النماذج المختلفة المعينة عند نقطة التقاء حيث يجب أن يكون المجموع لكل الاحتمالات لكل الفروع الموصلة لنقطة الالتقـــاء المعطاة يساوي 1. وتسمح الشجرة المنطقية البسيطة الموضحة في الشكل التالي باعتبار الشك في اختيار نماذج وهن، وتوزيع القدر، والقدر الأقصى.



وفي هـــذه الشـــجرة المنطقيـــة يعتـــبر الوهـــن طبقـــاً لنمـــاذج (CampBell and Bozrgnia, 1994) (Boore at al, 1993) **متساوية الاحتمالية** لتكون

صحيحة ولهذا السبب أعطي كل منها احتمالاً نسبيّاً يساوي 0.5 بالتقدم إلى المستوى التالي من نقاط الالتقاء، ويعتبر توزيع القدر لـ جوتنبرج – ريختر أكثر احتمالية بـ 50 % ليكون أصح من توزيع الزلزال المميز وعند المستوى النهائي من نقاط الالتقاء تعين الاحتمالات النسبية المختلفة للقدر الأقصى وتتوقف هذه الشجرة المنطقية بمجموع يساوي 12=3×2×2 فرعاً (عدد نماذج الوهن × عدد توزيعات القدر × عدد الأقدار القصوى) ويعطي الاحتمال النسبي للنماذج المجتمعة و / أو المعاملات المتضمنة بواسطة كل فرع طرفي بواسطة حاصل الضرب للاحتمال النسبي للفرع الطرفي وكل الفروع السابقة التي تؤدي إليه. وإذاً يكون الاحتمال النسبي لمجموع نموذج كامبل للوهن، وتوزيع القدر لـ جوتنبرج – ريختر والقدر الأقصى لـ 7.5 هو 0.5 × 0.6 × 0.3 = 0.09 ومجموع الاحتمالات النسبية للأفرع الطرفية أو لتلك عند أي مستوى سابق تساوي 1.

التصميـــــم المقـــــاوم للـــــزلازل

دلت الدراسات والأبحاث أن المباني المصممة على أُسس علمية باتباع متطلبات كود بناء جيد، والتي نفذت تحت إشراف هندسي، كان أداؤها جيداً في مقاومة الزلازل التي تعرضت لها إذا لم تتجاوز الشدة المحددة في التصميم، وأوضحت الدروس المستفادة في هذا المجال أن مستوى الدمار الذي حدث لمثل هذه المباني كان أقل كثير لما حدث لمباني مشابهة لم يؤخذ في عين الاعتبار الأمان الزلزالي عند تصميمها.

وتجدر الإشارة إلى النقاط المُهمَّة التالية :

1. **أن التصميم المقاوم للزلازل** لا يعني بالضرورة إعطاء المبنى الحماية الكاملة من الدمار في حالة وقوع الزلازل الشديدة، فقد يظهر لا حقاً أن هناك نقاط ضعف يجب تعديلها؛ لذا نجد أنه عادة ما يتم تعديل الكود بناءً على دروس استفيدت من زلازل سابقة.

2. **يشكل الإشراف الهندسي** الجيد ومراقبة الجودة عاملاً مُهمّاً لإنشاء المباني المعرضة للزلازل، وذلك لضمان تنفيذ متطلبات الكود وخاصة فيما يتعلق بجودة المواد وتفصيلات تسليح العناصر الإنشائية، وقد أثبتت الدروس المستفادة في هذا المجال أن أداء المباني أثناء الزلازل مرتبط بجودة التنفيذ ومراقبة الجودة، كما أشارت التقارير الاستكشافية عن كثير من الزلازل السابقة مثل: زلزال وسط اليونان (1981م) وزلزال القاهرة (1992م) وزلزال خليج العقبة (1995م) بأن الدمار تركز في المباني التي لم يراعى عند تنفيذها مراقبة الجودة والإشراف الهندسي. وهناك العديد من أمثلة المباني العالية في اليابان وكاليفورنيا التي أثبتت كفاءتها الزلزالية على الرغم من أنها لم تصمم على كود محدد للزلازل لكن نفذت تحت مراقبة جودة عالية لحديد التسليح والخرسانة، وتفصيل (Detailing) وتشبيك جيد لحديد التسليح.

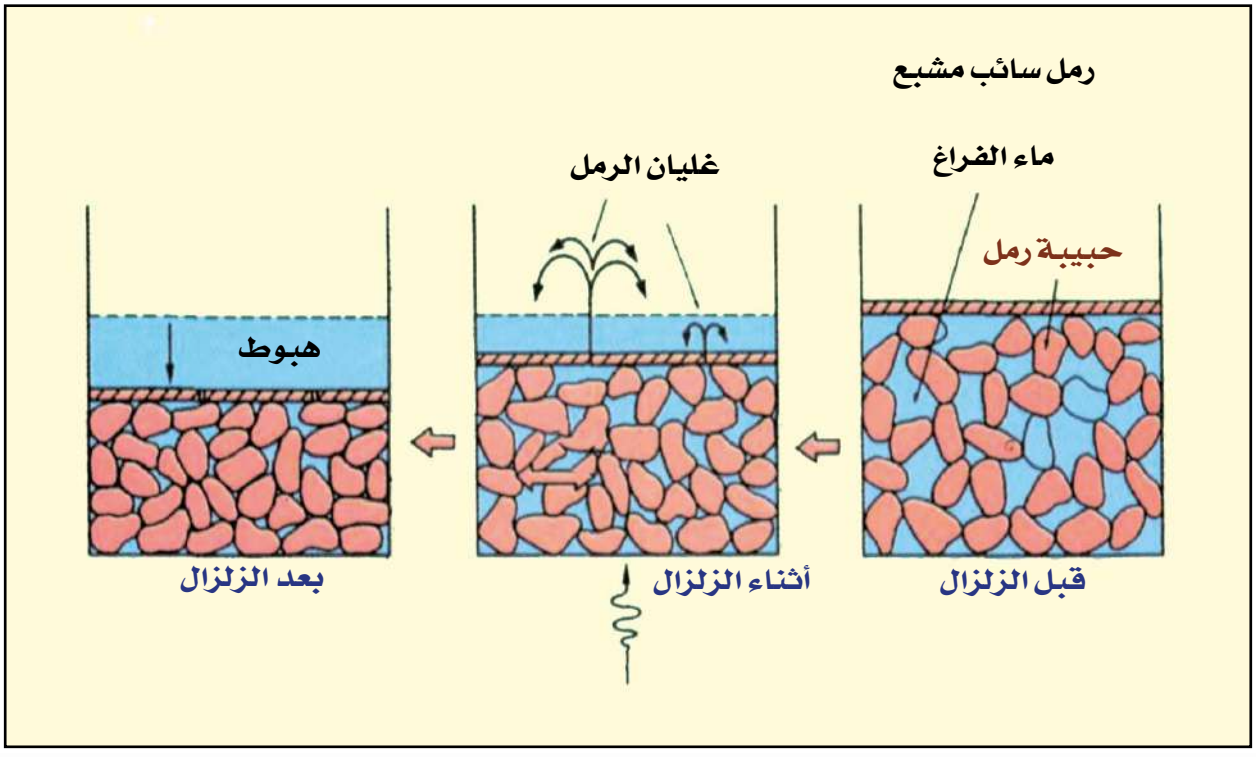
3. **ولقد استنتج من الدروس** في هذا المجال أن المباني تكون ذات كفاءة مقبولة لمقاومة الزلازل، وخاصة المنخفضة إلى المتوسطة الارتفاع (دورين إلى أربعة أدوار) حتى ولو لم تصمم باتباع كود تصميم مقاوم للزلازل، إذا نفذت هذه المباني تحت مراقبة وإشراف هندسي جيد وأخذ في الاعتبار المعايير الهندسية التصميمية للخرسانة المسلحة بحيث تكون عناصر المنشأة ذات جودة مقبولة للخرسانة وتشبيك وترابط حديد التسليح وخاصة عند الوصلات (Joints)، أي أن هناك ترابط جيد مثلاً (Standard Hooks) لحديد الكمرات عند تقابلها للأعمدة أو الكمرات الخارجية.

يعتمد نجاح التصميم الهندسي المقاوم للزلازل على دقة تنفيذ تفاصيل التصميم والتأكد من تحقيق الحد الأدنى من المواصفات الموصى بها اعتماداً على نوع العنصر البنائي ونوع المادة الإنشائية المستخدمة. ينجم عن الاهتزازات الزلزالية قُوى أفقية، وأخرى رأسية لكن في أغلب الأحيان لا تؤخذ هذه القُوى الرأسية في الحسبان أثناء التصميم الإنشائي وذلك لأن متانة المباني Structural Stiffness في الاتجاه الرأسي تكون دائماً أضعاف المتانة في الاتجاه الأفقي، لهذا تعتبر القُوى الناجمة عن الحركة الأفقية هي القُوى الأكبر ضرراً على المبنى وينتج عنها تغيرات غير مرنة Inelastic Deformations في الشكل الهندسي لمكونات الهيكل البنائي، ويمكن الاستفادة من خاصية التغيرات غير المرنة هذه في امتصاص الطاقة الناجمة عن الهزة الزلزالية. لذلك فإن كافة قوانين تصميم البناء المقاوم للزلازل تتطلب أن يصمم المبنى بمواصفات معينة بحيث يمتلك قدراً كافياً من خاصية امتصاص الطاقة. تدعى هذه الخاصية بالمرونة Ductility ويمكن تعريفها بأنها قدرة الهيكل البنائي على امتصاص الطاقة الزلزالية من خلال التغيرات غير المرنة في العناصر الإنشائية دون أن تفقد هذه العناصر قدرتها على تحمل القُوى التي تصل إليها لاحقاً.

يعـرف التصميـم المقـاوم للـزلازل بأنـه التصميـم الـذي يكفـل الحمايـة الكافيـة مـن الإصابـات والخسـائر في الأرواح وأقـل ضـرر بالممتلـكات واسـتمرار خدمـات المرافق الحيوية مع تحقيق ذلك بتكلفة اقتصادية مقبولة.

تصمم المنشآت المقاومة للزلازل بناء على توفير المعطيات التالية:

- معرفـة الطبيعـة الجيولوجيـة والزلزاليـة للموقـع وتحديـد مواقـع الصـدوع النشـطة وقيـم الشـدة الزلزاليـة. وهـذا يتطلـب توفيـر خرائـط توزيـع الشـدة الزلزالية.
- طبيعـة التربـة وخواصهـا الديناميكيـة. حيـث تتسـبب الموجـات الزلزاليـة بتمييـع التربة Liquefaction وحصول الانهيارات الأرضية.



ميكانيكيـــة تميـــع التربـــة

- دراسة ونمذجة الخواص الديناميكية والاهتزازية للمنشأ. حيث يحسب زمن وطور الترددات الزلزالية المتوقعة وطبيعة التوهين الموجي Attenuation.
- طبيعة المنشأ المطلوب إقامته والعمر الاقتصادي له.

يعتمد معامل التصميم الزلزالي للمباني المقاومة للزلازل على عدة عوامل:

- المعامل الزلزالي للمنطقة Z ويدل على مستوى الشدة الزلزالية المتوقعة في المنطقة، ويتم تحديده من خلال دراسة مستوى الخطر الزلزالي.
- معامل قابلية التربة لتضخيم الأحمال الزلزالية S.
- معامل الكفاءة الزلزالية R للمبنى، ويعتمد على نوعية المبنى ومدى مطابقته لمواصفات التصميم المُقاوم للزلازل.
- فترة الذبذبة الطبيعية T وتعتمد على الصلابة الأفقية للمبنى. وتُعد المباني الخرسانية المسلحة أكثر صلابة من المباني الحديدية. وتقل قيمة فترة الذبذبة في المباني المنخفضة عنها في المباني الشاهقة ولذلك نجد أن تردد المباني المنخفضة أكبر بكثير من تردد المباني الشاهقة.
- معامل الأهمية للمبنى I.
- الشكل الهندسي للمبنى.

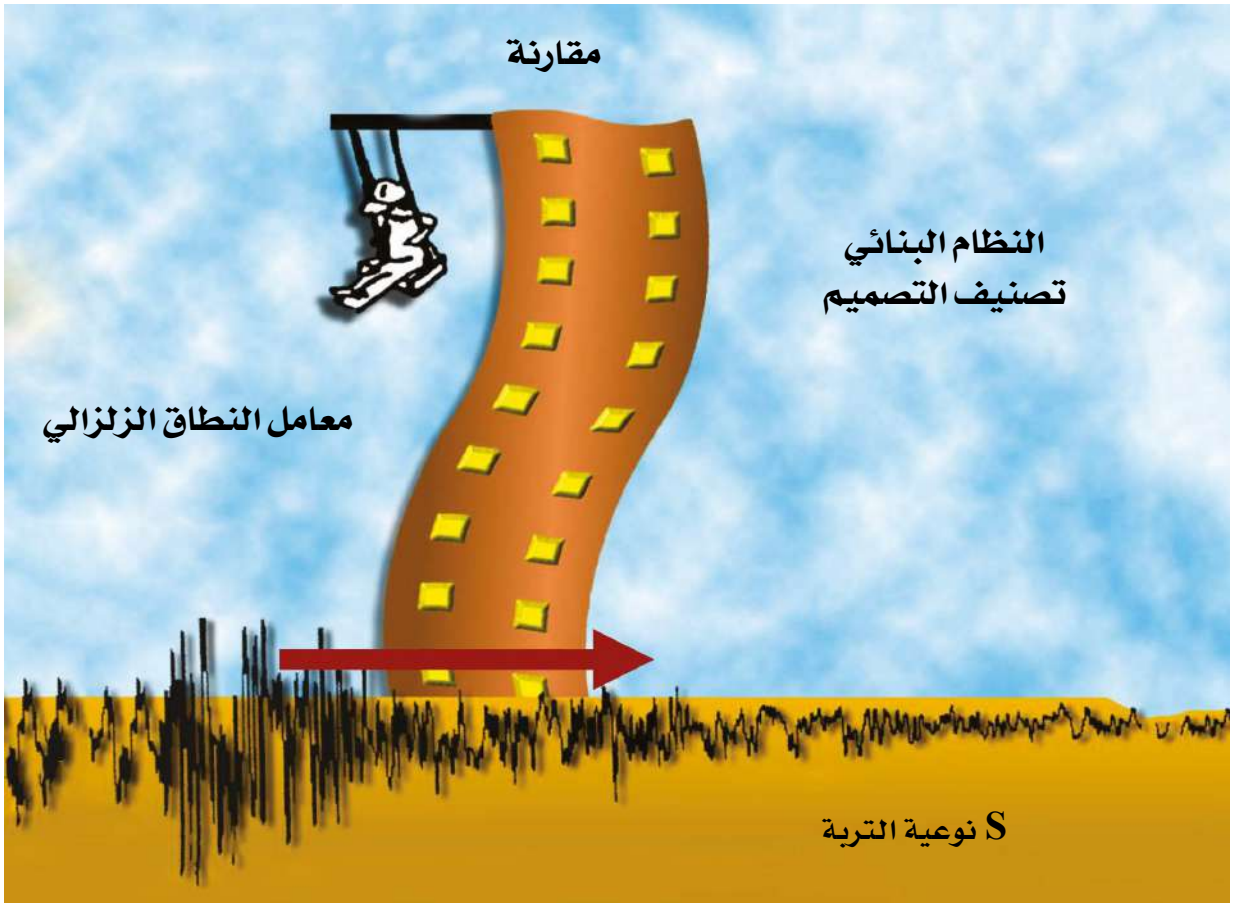
$$C_s = \frac{1.25Z \cdot SI}{RT^{\frac{2}{3}}}$$

C_S معامل التصميم الزلزالي.

إن معايير التصميم المقاومة للزلازل ينبغي أن تتوفر فيها الشروط التالية:

- أن تقاوم الزلازل الطفيفة دون أضرار.

- أن تقـاوم الـزلازل المتوسـطة دون أضـرار إنشـائية لكـن مـع احتمـال تعرضهـا لبعض الأضرار غير الإنشائية.
- أن تقـاوم الـزلازل الكبيـرة التـي تعـادل في شـدتها أقـوى مـا تعرضـت لـه المنطقـة مـن هـزات أرضيـة دون انهيـار مـع حـدوث أضـرار إنشـائية محـددة قابلـة للإصلاح.



العلاقة بين معاملات التصميم الزلزالي للمباني المقاومة للزلازل

وهناك مبادئ عديدة لتصميم الأبنية منها:

- أن يكون مخطط المنشأ بسيطاً لأن التصميم المعقد قد يسبب اجهادات وتشوهات غير منتظمة. تعتبر بساطة المنشأ، وتماثل مساقطه الأفقية والرأسية (الجانبية) عوامل إيجابية في مقاومته للهزات الأرضية، وخصوصاً إذا رافق ذلك ما يلي:

- **عـــدم وجـــود نحافة في أبعاد المبنى.**
- **تناسق مقاطـع عناصره الإنشائية وانتظامها.**
- **وجـــود تماثـــل في المقاومة، ونوعية المواد المستخدمة.**
- **وجـــود مقاومة وصلابة عالية وكافية لمقاومة عزوم الالتواء المحتملة.**
- **استمرار وتواصل عناصر المبنى الإنشائية في الاتجاهات الثلاثة، بدلاً من**
- **تقســـيمها إلى قطع منفصلة.**
- **يجب أن ترتب الأجهـــزة الإنشائية المقاومة للزلازل بحيث يكون الالتـــواء Torsion أقل ما يمكن مع تجنب الأشكال المعقـــدة والتوزيع غير المنتظم للأثقـــال.**
- **اختيـــار نظـــام إنشائي بسيط يمكن تحليله بسهولة.**
- **إعـــطـــــــاء متانة ومطيلية Ductility كافية للمنشأ.**
- **معرفة الخواص الزلزالية للموقع بحيث تكون بعيدة عن الفوالق ومناطق تميع التربة.**

متطلبات تصميم عناصر المبنى المقاوم للزلازل

الأســـاسات

تعتبر الأساسات هي العنصر الأهم في أية منشأة، وهذا يتطلب إعطاءها أهمية خاصة وتصميمها لمقاومة الزلازل. إن العديد من الانهيارات ناتجة عن مشكلات في الأساسات، فقلة عمق التأسيس تزيد من احتمال انقلاب المنشأة أو انزلاقها، كما أن قلة الروابط بين القواعد تزيد من خطر الهبوط الناتج عن هبوط التربة أو تميعها. وعلى ضوء ذلك لا بُدَّ من التقيد بما يلي:

- **يجب أن تعمل القواعد كوحدة واحدة وذلك بتزويدها بميدات رابطة.**
- **توضع الميدات في منسوب القواعد المسلحة ويمتد حديد تسليحها إلى نهاية الأعمدة.**
- **في حالة وجود تميع التربة Liquefaction فإنه يوصي بدمك التربة مع خفض منسوب المياه الجوفية وزيادة عمق التأسيس أو استخدام أساسات خازوقية.**

هناك عدد من الطرق المختلفة التي يمكن من خلالها تأمين أُسس مبنى مقاوم للزلازل بالأرض. تستخدم الأكوام بشكل شائع للحفر لأسفل في الأساس الصخري، مما يؤدي إلى تأمين المبنى خارج التربة السطحية اللينة. ما وراء الأكوام، تتضمن تقنيات الأساسات الأخرى المستخدمة لتثبيت المبنى أثناء الزلزال أو الإعصار التخميد والدعامات.

يأتي **التخميد** في مجموعة من الأشكال لكنه يصف بشكل أساسي عملية إزالة أكبر قدر ممكن من الطاقة. بمعنى آخر، يتم استخدام التخميد في

الأساسات بحيث عندما يضرب الزلزال، بدلاً من الاهتزازات التي تضرب المبنى وجهاً لوجه، تعمل المخمدات Dampers على تقليل الاهتزازات قدر الإمكان. تُستخدم الدعامات Trusses أيضاً في أُسس المباني المقاومة للزلازل بفضل قدرتها على توزيع وزن المبنى بالتساوي عبر الأساس وتقليل قوة اهتزازات الزلزال. تحظى الجمالونات أيضاً بشعبية كبيرة في المباني المقاومة للأعاصير لأن تصميمها الشبكي يضمن تماسك المبنى معاً حتى في ظل الطقس القاسي.

العنـــاصـــر الإنشـــائيـــة

- **يجب أن يكون** المسقط الأفقي **للمبنى** متماثلاً **قدر** الإمكان.
- **يجب أن يكون** المبنى مزوداً بعناصر إنشائية مقاومة للقوى العرضية مثل الإطارات Frames أو حوائط القص أو القلوب الخرسانية المستمرة من الأساسات وذلك في اتجاهين متعامدين.
- **عزل الأساسات** باستخدام مادة كالمخدات المطاطية لها القدرة على امتصاص الطاقة الناتجة عن الحركة الأفقية أو استخدام نوع من الأجهزة الميكانيكية لها خاصية تخميد الهزات Dampers.

وتشير الدروس المستفادة في هذا المجال إلى أن أسباب انهيار العناصر الإنشائية أثناء الزلازل هي:

- **قُوى القص** في بعض المناطق الحرجة من المبنى.
- **وذلك لكون الزلازل** تؤثر على المباني بقُوى أفقية وتشكل الانهيارات بسبب قُوى القص أكثر نسبة في معظم الزلازل، ويتركز هذا النوع من الانهيارات

في العناصر التي لا تحتوي على تسليح كافٍ لقُوى القص (الكانات) وخاصة في الكمرات عند تقاطعها مع الأعمدة وفي الأعمدة القصيرة مثل رقاب الأعمدة ويوضح الشكلين التاليين بعض حالات الانهيارات التي كان سببها الرئيس قُوى القص.

- **عدم الترابط الجيد** بين العناصر الإنشائية للمبنى.
- **وعادة ما يكون ذلك سبباً رئيساً** في انهيار المبنى أثناء تعرضه للزلازل حيث إن متطلبات المقاومة الزلزالية للمبنى مبنية على أساس انتقال القُوى بين العناصر المختلفة للمبنى.

العناصـــر غير الإنشـــائية Nonstructural Elements

من متطلبات كود التصميم المقاوم للزلازل للمباني تحقيق الترابط الجيد للعناصر غير الإنشائية مع بعضها البعض ومع العناصر الإنشائية وعادة ما يسبب انهيار العناصر غير الإنشائية خطورة على سكان المبنى أو على المارة. ومن العناصر التي تتطلب ربطاً جيداً لحائط سترة السطح (Parapet). تشمل العناصر غير الإنشائية حوائط الطوب غير الحاملة والقواطع الداخلية ويجب أن تكون مربوطة بالأسقف والأرضيات، وأن تكون عناصر الحوائط المقاومة للزلزال مسلحة. وتشمل كذلك حوائط البلك في المباني الخرسانية والكسوات الخارجية للمباني والأسقف المستعارة وخزائن الكتب والأواني في المنازل والمكتبات.

تستخدم الأقواس المتقاطعة Cross braces في جميع أنحاء المباني المقاومة للزلازل في جميع أنحاء العالم بفضل تصميمها المبسط وسهولة التركيب. تشبه

الأقـواس المتقاطعـة الجمالونـات باسـتثناء أنهـا مدمجـة في الجـدران والأرضيـات لتوفيـر الصلابـة اللازمـة. توفـر الدعامـات المتقاطعـة التوزيـع الضـروري للقـوة لتمكين المبنـى مـن التحـرك بأمـان مـع الاهتـزازات. ترسـل الأقـواس المتقاطعـة أيضـاً الاهتـزازات إلـى أسـفل المبنـى، ممـا يـؤدي في كثيـر مـن الأحيـان إلـى تخفيـف قـوة الحركـة. بـدون الأقـواس المتقاطعـة، يكـون للمبانـي فرصـة كبيـرة للانهيـار علـى نفسها أو التعرض لأضرار هيكلية خطيرة.

صلابـــة (Stiffness) المبـنى

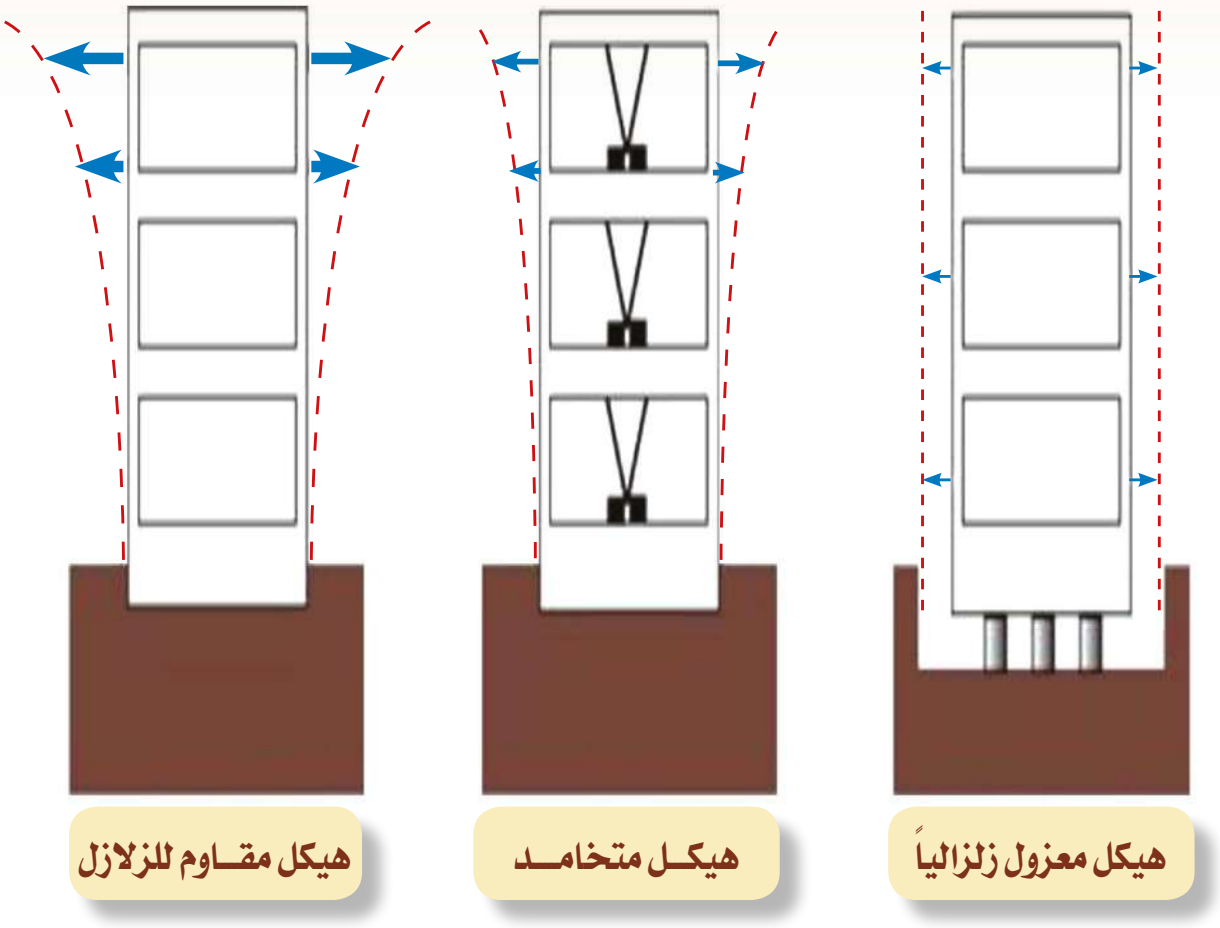
الصلابة عكس المرونة (Flexibility) وهنـاك اختـلاف كبيـر في الأداء الزلزالـي للمبنـى المـرن (Flexible) عـن المبنـى غيـر المـرن الصلـب (Stiff) فالنـوع الأول المـرن يتعـرض إلـى قـوى أقـل مـن النـوع الثانـي أثنـاء الزلـزال لكـن يتعـرض إلـى قـوى أقـل مـن المبنـى غيـر المـرن ولكلتـا الحالتـين عيوبهـا ومحاسـنها، فعندمـا تقـل القُـوى الزلزاليـة المؤثـرة علـى المبنـى فـإن هـذا يحـد مـن ضـرر العناصـر الإنشـائية لكـن

زيادة الحركة الأفقية تؤثر بشكل كبير على العناصر غير الإنشائية وتودي إلى إزعاج وإرباك لساكني المبنى وعادة ما تكون المباني المعدنية أكثر مرونة من المباني الخرسانية المسلحة، والأخيرة أكثر مرونة من مباني البلك أو مباني الحوائط الخرسانية الحاملة.

وعلى الرغم من أنه يصعب إعطاء إجابة حاسمة حول أي النوعين من المباني المرنة أو غير المرنة أكثر كفاءة في التفاعل الزلزالي فإن هناك إشارة من الدروس المستفادة في هذا المجال بأن المباني غير المرنة (Stiff) كان أداؤها أفضل نسبيّاً، لكن تجدر الإشارة إلى نقطة مُهمَّة جدّاً وهي التأثير السلبي للعناصر الصلبة على العناصر الإنشائية في المبنى، وكذلك عدم انتظام صلابة (Stiffness) المبنى.

السمة الرئيسية للمباني المقاومة للزلازل هي انتظامها. يرتبط هذا ارتباطاً مباشراً بالصلابة الجانبية للمبنى. إذا كان للمبنى صلابة جانبية متساوية عبر مخطط الأرضية عندما يتأرجح من جانب إلى آخر في زلزال، فإن الطاقة ستكون قادرة على التبديد دون ممارسة ضغط كبير على منطقة واحدة. هذه هي الخطوة الأولى في بناء مبنى مقاوم للزلازل وبغض النظر عن الميزات الأخرى التي تضعها لن يكون المبنى آمناً بدون ذلك.

ومن أمثلة عدم انتظام صلابة المبنى كون الدور الأرضي بدون حوائط على خلاف بقية الأدوار، ففي هذه الحالة يصنف الدور الأرضي بأنه طابق رقيق (Soft Story)، وأحياناً يسبب ذلك زيادة ارتفاع الأعمدة في أحد الأدوار عن أعمدة الأدوار الأخرى، وتنتشر هذه الظاهرة بشكل كبير في المملكة في المباني التي تسمى تجارية، حيث تكون أعمدة الدور الأرضي أكثر ارتفاعاً من أعمدة الأدوار الأخرى، وقد أدى عدم انتظام صلابة المبنى وخاصة ما يصنف بـ (Soft Story) إلى أضرار بالغة في المباني التي تعرضت لزلازل سابقة.



عـــــدم انتظـــام المبنى Geometric Irregularities

عدم انتظام المبنى هندسيّاً أو عدم انتظام توزيع الكتلة أو المقاومة الإنشائية للمبنى سواء أفقيّاً أو رأسيّاً له تأثير سلبي كبير على الكفاءة الزلزالية للمبنى، وتركز مبادئ التصميم الزلزالي على المهندس تطبيق معايير هندسية أكثر شدة للأخذ في الاعتبار التأثير السلبي لعدم انتظام المبنى كان عاملاً أساسيّاً لكثير من الانهيارات التي حدثت للمباني بسبب زلازل سابقة.

ضعـف مقاومة المبنى للقُوى الجانبية Lateral Punding

ويكون ذلك بسبب تعرض المبنى لزلازل سابقة حيث تبع الزلزال عادة ما يسمى بالزلازل اللاحقة (الروادف أو التوابع) وهذه قد تؤدي إلى انهيار كامل لبعض المباني التي لم تنهار أثناء الزلزال الرئيس لكنها عرضت لأضرار إنشائية بالغة أدت إلى ضعف مقاومتها الزلزالية.

قصـر المسافة الفاصلة بين المباني Building Too Close

مما يؤدي إلى تصادم المباني أثناء حركتها خلال الزلازل، وبالتالي يؤثر على الآخر بقُوى تصادم عنيفة تؤدي إلى حدوث أضرار فيه حتى ولو كان له القدرة على مقاومة الزلازل.

العناصـر والوصـلات Elements and Connections

يعتمد المبدأ الأساسي للتصميم المقاوم للزلازل على الترابط الجيد بين عناصر المبنى وقدرة هذه العناصر على الحركة والمقاومة، فالتصميم الجيد يعطي المبنى حرية مدروسة أثناء الزلازل من خلال الوصلات المناسبة وعناصر تستطيع الاحتفاظ بمعظم قُواها، حتى وأن دفعت القُوى الخارجية هذه العناصر إلى مرحلة تحميل ما بعد المرونة (Inelastic Loading) وتبرز هنا خاصية مُهمَّة للعناصر الإنشائية لمقاومتها للزلازل وهي ما يسمى بالمطولية (Ductility) وهي القدرة على مقاومة أو امتصاص القُوى.

المـــــواد Materials

تؤكد **الدروس** المستفادة من الزلازل السابقة على أن هناك فروقات واضحة سواء في نوع الدمار أو مدى الدمار الذي حدث للمواد الإنشائية المختلفة بسبب الزلازل . ويمكن التعميم على أن العناصر الإنشائية المصنوعة من مواد ذات ممطولية (Ductility) عالية مثل الحديد أو الخشب أو العناصر الخرسانية المسلحة بطريقة جيدة أثبتت كفاءتها لمقاومة الزلازل بشرط أن تكون هذه العناصر مترابطة مع بعضها البعض ترابطاً جيداً وذلك على عكس المواد سريعة الكسر (Brittle) مثل مباني اللبن أو الطوب أو البلك غير المسلح التي ثبت سوء أدائها الزلزالي وضعف مقاومتها للقُوى الجاذبية. عموماً أن أكثر دمار حدث في أي زلزال سابق كان في المباني المصنوعة من الطوب أو اللبن أو البلك غير المسلح. يعتبر الطوب -على وجه الخصوص- شديد التأثر بذبذبات الزلزال. المواد المستخدمة غالباً في المباني المقاومة للزلازل هي:

الحديد الصلب – خشب الخيزران - **خرسانة مسلحة**. تم استخدام الفولاذ الإنشائي لسنوات في المباني المقاومة للزلازل. هذا لأنه قادر على تحمل كميات هائلة من الإجهاد والحركة، وهو أمر ضروري لمبنى لتحمل الزلزال أو الإعصار. يُعرف الفولاذ الإنشائي بمرونته وقدرته على الخضوع لتشوه كبير قبل التمزق، وبالتالي فهو شائع للغاية في ناطحات السحاب والمباني المقاومة للزلازل، مما يسمح لها بالتحرك مع الاهتزازات. كما أن الخشب والخيزران مطيعان للغاية ويستخدمان بشكل شائع في الهياكل الأصغر والمنخفضة مثل المنازل والسقائف والمباني المدنية الصغيرة.

الخرسانة المسلحة هـي **الخرسانة** مـع قضبـان **حديد التسليح**. هـذا يحـول مـادة منخفضـة الدكتايـل، الخرسـانة، إلـى مـادة مطيلـة أعلـى. في حـين أنـه مـن الشـائع الآن أن تتضمـن كل صـب الخرسـانة تقريبـاً اسـتخدام حديـد التسـليح، إلا أنـه لـم يكـن دائمـاً هـو الطريـق. يتـم اسـتخدام الخرسـانة المسـلحة جنبـاً إلـى جنـب مـع الفـولاذ الهيكلـي لإنشـاء مبـانٍ مقاومـة للـزلازل والأعاصيـر. بـدون حديـد التسـليح تكـون الخرسـانة عرضـة للتشـقق والفشـل الهيكلـي في المبانـي التـي تتعـرض للضغط من الرياح العاتية أو الاهتزازات الأرضية.

مشـــكلات التـــربة Geotechnical Problems

أن الـزلازل حـين حدوثهـا تسـبب قُـوى تعـادل مئـات أو آلاف الأطنـان تنطلـق بصـورة فجائيـة مـن قشـرة الأرض نتيجـة لتراكـم الضغـوط عليهـا في بقعـة مـا وينقسـم تأثـر الإنسـان بهـذه الطاقـة المنطلقـة إلـى نوعـين مباشـرة وغيـر مباشـرة، فالشـكل المباشـر يعنـي ببسـاطة انهيـار التربـة عليـه وطمـره بهـا إذا كان قُـرْب مرتفـع ترابـي رخـو وشـديد الانحـدار أو غوصـه داخـل الأرض في حالـة تميـع التربـة تحـت قدميـه أو انهيـار الصخـور أو انفجـار السـدود الترابيـة وخلافـه. ويعتبـر انهيـار الصخـور أو انفجـار السـدود الترابيـة خسـائر فادحـة أثنـاء الهـزات الأرضيـة الكبيـرة، فانهيـار حـواف الأوديـة التـي تنحـدر بشـكل سـريع محدثـة مـا يسـمى بالجـرف قـد يؤدي إلى انجراف وطمر المساكن التي بنيت فوقها أو تلك التي أسفل منها.

التأثيـــر المباشـــر للـــزلازل

1. تسبب الزلازل وبشكل خطير تساقط الصخور من الجبال العالية وقد يؤدي هذا إلى إحداث أضراراً بالغة سواء أثناء مرور السيارات على الطرق المجاورة للجبال أو بسبب السقوط المباشر للصخور على المباني.

2. الانزلاقات والتشققات الأرضية تعتبر أحد الأسباب الرئيسية المباشرة لدمار المباني والمنشآت والطرق والسكك الحديدية وخلافها.

3. تميع التربة وهي ظاهرة تؤدي بسبب الهزة الأرضية إلى فقدان نوع من التربة مقاومتها وتصبح مادة سائلة، ومن أنواع التربة التي تحدث لها مثل هذه الظاهرة الرمل الناعم غير المتماسك والرمل المخلوط بالطمي، وتحدث ظاهرة التميع عندما تكون التربة القابلة للتميع مشبعة بالماء.

التأثيـــر غير المباشـــر للـــزلازل

وهذا النوع ينتج عنه ضرر الإنسان بسبب الانهيارات التي تحدث في المباني التي يعيش فيها أثناء حياته اليومية فأساسات المنشآت تتعرض إلى نوعين من الحركة ينتقلان من الأرض إلى المنشأة، فهناك حركة أفقية وهي معروفة أكثر، وهناك حركة عمودية وهي أقل حدوثاً وإن كان بعض المختصين يؤكد أن الحركتين متلازمتان الحدوث لكن كل بمقدار معين ومختلف عن الآخر على كل حال حدث أن سجلت حركات شديدة عمودية وأفقية في الهزة الواحدة لكن في حدود النسب المتوقعة لكل منها وعادة ما يكون الاثنان شديدي القوة كما أن المشكلات الناتجة عن الحركات العمودية تعتمد أكثر على قُواها الذاتية (Absolute Value) وقابلية تضخيم المنشأة والتربة لها

(Structural Amplification) أكثر من علاقتها بالحركات الأفقية ومقدار تسارعها والتسارع العمودي وهو مستقل عن الحركات الأفقية – يتكاتف في بعض الأحيان مع التحميل العمودي فينتج عنه أضرار بليغة أو حتى الانهيار الكامل.

ونظراً لعدم توفر معلومات كافية عن هذين النوعين من الحركات الأرضية ومقدار تسارعهما في كل مناطق النشاط الزلزالي لذا فإننا نجد أن كثيراً من المختصين في هندسة الزلازل يميلون إلى قياس ما يسمى بانتفاض الأرض أو ما يسمى أحياناً بـ (Ground Shaking) أو (Ground Movements) وقياس هذا النوع من الحركة الأرضية يتطلب استعمال أجهزة قياس العجلة الأرضية وتعطي معلومات جيدة وواسعة للمناطق المعرضة للهزات الأرضية.

وعموماً يمكن تلخيص الدروس المستفادة في هذا المجال بالنقاط التالية:

- الكفاءة الزلزالية لمباني الطوب والبلك تعد سيئة جدّاً.
- الكفاءة الزلزالية لمباني البلك المسلح تعد جيدة إذا أخذ في الاعتبار تصميمها لمقاومة الزلازل.
- الكفاءة الزلزالية للمباني الخرسانية المسلحة تعتمد اعتماداً رئيساً على النظام الإنشائي المستخدم وعلى التشابك الجيد بين العناصر الإنشائية وجودة الخرسانة المسلحة المستخدمة لمباني الخرسانة سابقة الصب.
- الكفاءة الزلزالية تعتمد اعتماداً رئيساً على كفاءة الترابط بين عناصر المبنى.
- الكفاءة الزلزالية للمباني الحديدية تعد في الغالب جيدة.

العـوامل التي تـحدد الأضـرار الهيكليـة للـزلازل

قـــــوة الاهـــــتزاز

- يحدد حجم الزلزال مستوى الأضرار التي لحقت بالمباني في مناطق الزلزال. إذا كان تكرار الاهتزاز قريباً من التردد الطبيعي المحسوب للمبنى، فقد يحدث صدى مما يؤدي إلى أضرار هيكلية خطيرة.

قُـــرْب المبنى من مصـــدر الـــــزلـــزال

- كما ذكرنا سابقاً، يعتمد مستوى أضرار الزلزال على المبنى على قُرْبه من مصدر الزلزال. على سبيل المثال، ينتج عن زلزال بقوة 7 درجات اهتزازاً شديداً، ويكون هذا الاهتزاز شديداً بالنسبة للمباني الأقرب إلى مصدر الزلزال لكنه يصبح نصف قوته على مسافة 8 أميال.

نـــــوع المبنى في منطقـــــة الـــــزلـــزال

مبانٍ قديمة منخفضة قد تحتوي على طوابق ناعمة ومبنى شاهق حديث. أيهما أكثر أماناً؟ يعتبر المبنى الشاهق في المثال أكثر أماناً ليس بسبب التكنولوجيا المتقدمة لكن بسبب التصميم الهندسي المتضمن في بناء كلا الهيكلين.

المباني غير المنتظمة ذات الطوابق الناعمة لديها فرصة كبيرة للانهيار في حالة حدوث زلزال. على سبيل المثال، المبنى الذي يحتوي على أعمدة قصيرة للغاية سيكون له المزيد من الأحمال عليه وسيكون توزيع الأحمال معقداً للغاية، مما يؤدي إلى فشل المبنى.

إن بقاء المبنى أثناء الزلزال يعتمد على قوة الاهتزاز الناتج عن الزلزال. تتأثر المباني منخفضة الارتفاع بشكل أكبر بالموجات القصيرة والمتكررة (عالية التردد)

الناتجة عن حركة الزلازل من جانب إلى جانب. إن المبنى منخفض الارتفاع لديه فرصة كبيرة للانهيار في حالة حدوث زلزال عالي التردد. في حين أن المباني الشاهقة ستعاني من أضرار هيكلية، فإن الاهتزاز الناتج عن الزلزال هو فترة طويلة من الاهتزاز البطيء. إعادة رسم المحيط المستخدم سابقاً للمباني منخفضة الارتفاع، لكن هذه المرة، مع بطانة المحيط. قد لا تتأثر بطانة المحيط بشكل كبير بالموجات القصيرة. ومع ذلك، فإن الانتفاخ الكبير سيؤثر بشكل كبير على السفينة وقد يتسبب في انقلابها. الأمر نفسه ينطبق على المباني الشاهقة، حيث سيؤدي الاهتزاز البطيء المستمر إلى إحداث أضرار جسيمة لمبنى شاهق.

إن تصميم أي مبنى مرتفع أو منخفض الارتفاع، سيحدد إلى حد كبير بقائه أثناء الزلزال. تم تصميم الأبراج الشاهقة الحديثة، في المناطق منخفضة الزلازل، لتحمل الأحمال الجانبية، وخاصة قُوى الرياح التي قد تكون أعلى بكثير من تلك الناتجة عن الزلازل. في مناطق الزلازل، تم تصميم المباني الشاهقة للحركة الزلزالية في المنطقة. وبالمثل، فإن المباني منخفضة الارتفاع في المناطق الزلزالية مصممة أيضاً لمقاومة أحمال الزلازل. لكن بسبب ارتفاعها، وقُرْب مركز جاذبيتها من الاهتزازات، فإن المباني منخفضة الارتفاع في مناطق الزلازل قد لا تنجو.

تأثيـرات الـــزلازل على المبـاني

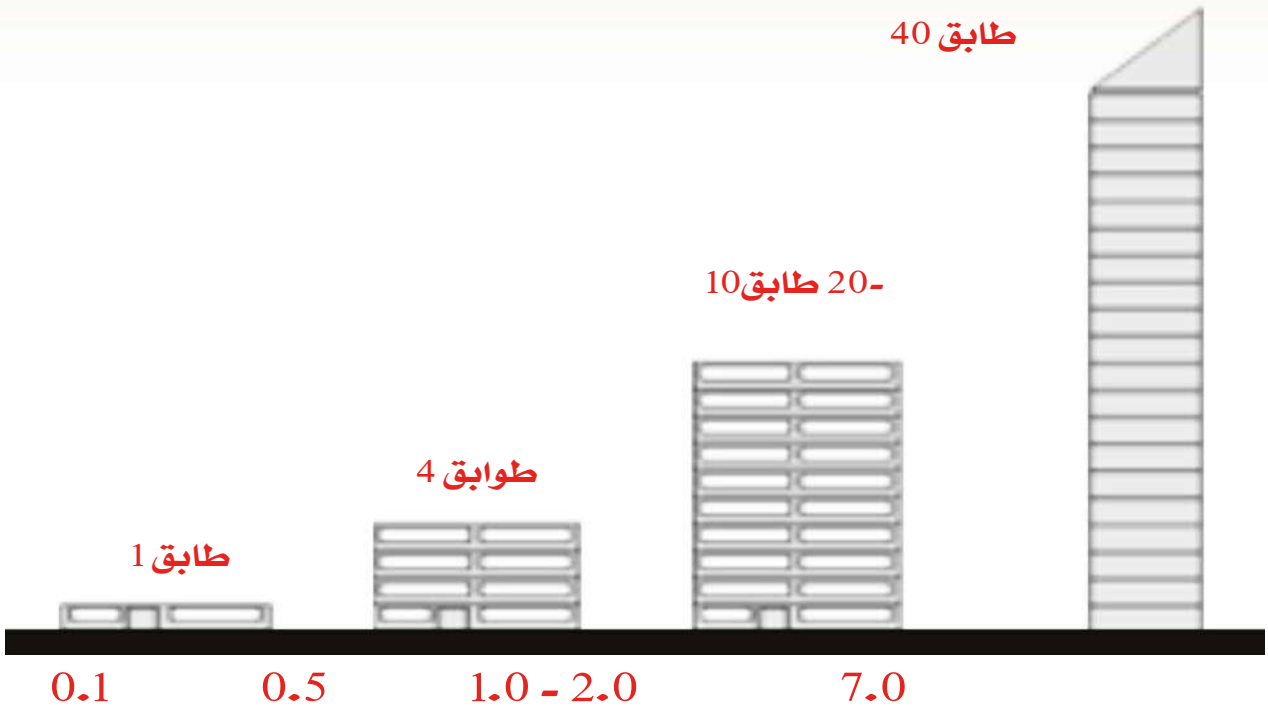
تستخدم القياسات الزلزالية لحساب القُوى التي تفرضها الزلازل على المباني. اهتزاز الأرض (الدفع للخلف وللأمام، بشكل جانبي، لأعلى ولأسفل) يولد قُوى داخلية داخل المباني تسمى القوة بالقصور الذاتي ($F_{Inertial}$)، التي بدورها تسبب معظم الأضرار الزلزالية.

قـــوة القصـــور الذاتي = التســـارع × الكتلـــة

كلما زادت الكتلة (وزن المبنى)، زادت قُوى القصور الذاتي الداخلية المتولدة. عادةً ما يكون البناء خفيف الوزن مع كتلة أقل ميزة في التصميم الزلزالي. تولد الكتلة الأكبر قُوى جانبية أكبر، وبالتالي تزيد من إمكانية إزاحة الأعمدة، خارج السدادة، و / أو الالتواء تحت الحمل الرأسي (P delta Effect).

تولد الزلازل موجات قد تكون بطيئة وطويلة أو قصيرة ومفاجئة. طول الدورة الكاملة بالثواني هو فترة الموجة وهو معكوس التردد. جميع الأشياء، بما في ذلك المباني، لها فترة طبيعية أو أساسية تهتز فيها إذا تعرضت لصدمة.

الفترة الطبيعية هي الاعتبار الأساسي للتصميم الزلزالي، على الرغم من أن الجوانب الأخرى لتصميم المبنى قد تسهم أيضاً بدرجة أقل في تدابير التخفيف. إذا تزامنت فترة موجة الصدمة والفترة الطبيعية للمبنى، فإن المبنى سوف «يتردد صدى» وسيزداد اهتزازه أو «يتضخم» عدة مرات.



الارتفاع هو المحدد الرئيسي للفترة الأساسية - لكل كائن فترة أساسية خاصة به يهتز فيها. الفترة تتناسب مع ارتفاع المبنى

التربـــــة أيضاً لها فترة تتراوح بين 0.4 و 1.5 ثانية، التربة الرخـــــــوة جدّاً تبلغ 2.0 ثانية. تميـــل التربة الرخوة عموماً إلى زيادة الاهتزاز بمقدار 2 إلى 6 مرات مقارنة بالصخور. أيضاً، يمكن أن تؤدي فترة التربة التي تتزامن مع الفترة الطبيعية للمبنى إلى تضخيم تسارع المبنى بشكل كبير، وبالتالي فهي أحد اعتبارات التصميم.

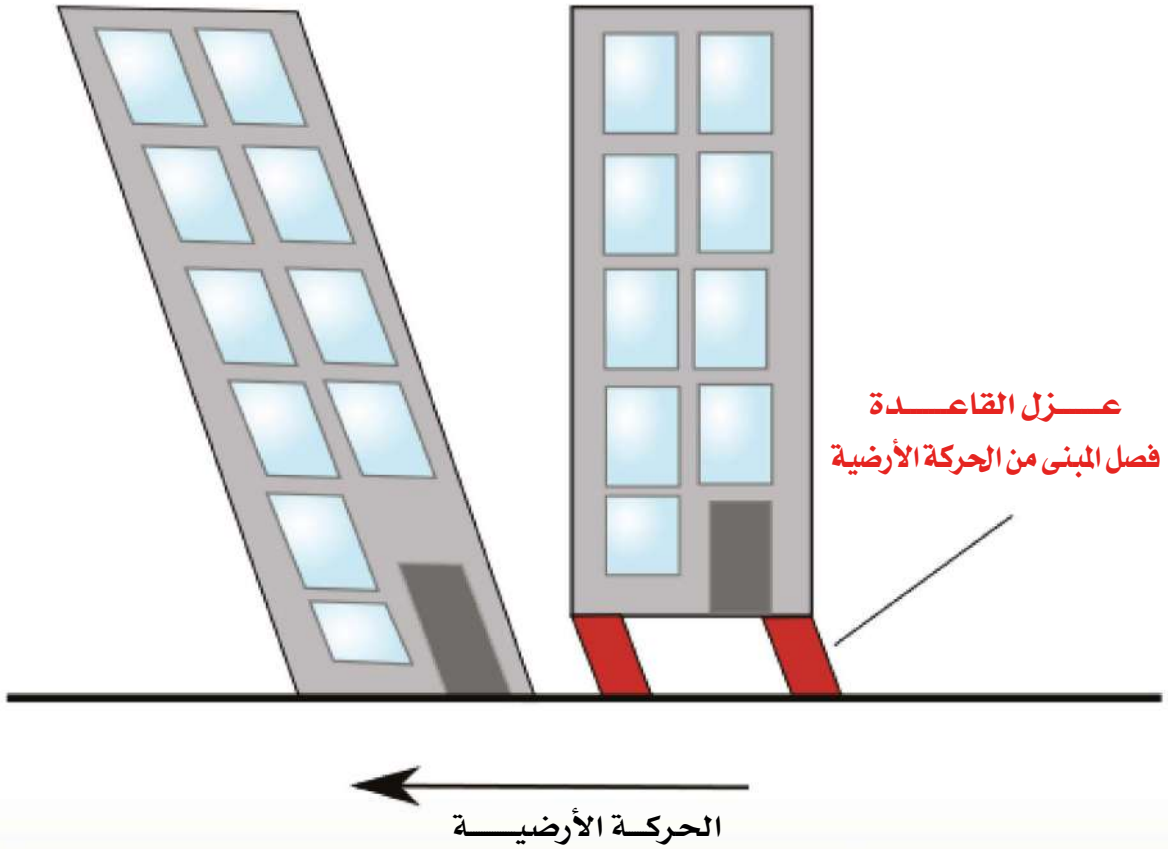
النمط الثالث　　النمط الثاني　　النمط الاول

ستخضع المباني الشاهقة لعدة أنماط من **الاهتزاز**، لكن للأغراض الزلزالية (**باستثناء المباني الشاهقة جداً**)، تكون الفترة الأساسية، أو الوضع الأول عادةً هي الأكثر أهمية.

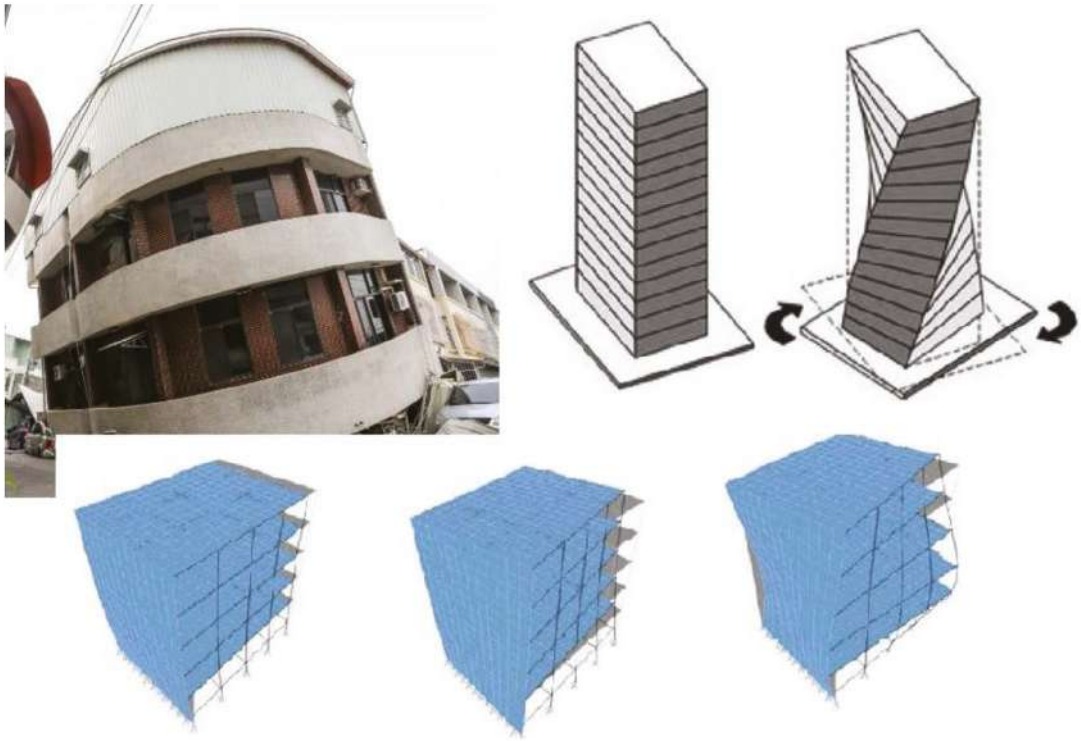
التعديل التحديثي الـزلزالي Seismic Retrofitting

يعد التعديل التحديثي الزلزالي للبنى المعرضة للخطر أمراً بالغ الأهمية لتقليل المخاطر. بشكل عام، يمكن للمجتمعات ذات الهياكل الأكثر تحديثاً التعافي من الزلازل بسرعة أكبر. إذا كنت تعيش أو تعمل في مبانٍ مُعدلة تحديثاً، فمن غير المرجح أن تُصاب أثناء الزلزال. الشركات التي تستخدم المباني المعدلة من المرجح أن تنجو من الزلازل المدمرة، وأن تحافظ على انقطاعات الأعمال الأقصر وخسائر أقل في المخزون. يجب أن يتضمن التعديل التحديثي الزلزالي للمبنى أيضاً خطوات لحماية المكونات غير الهيكلية بشكل أفضل (الأسقف المعلقة والجدران غير الحاملة وأنظمة المرافق) ومحتويات المبنى **(الأثاث والإمدادات والمخزون والمعدات)**.

تشعر المباني الشاهقة بآثار الزلازل أكثر بكثير من المباني القصيرة حيث تتضخم الاهتزازات فوق ارتفاعها. لذلك توصل المهندسون إلى العديد من الحيل الذكية لمحاولة حماية ناطحات السحاب من الزلازل. يمكن استخدام عزل القاعدة، بحيث لا تجلس المباني مباشرة على الأرض، وبالتالي يتم فصلها عن حركة الأرض. وبدلاً من ذلك، توجد المباني فوق أنظمة المحامل الكروية أو النوابض التي تعمل كممتص للصدمات. تحاول الأنظمة الأخرى موازنة التأرجح في قاعدة المباني الشاهقة عن طريق وضع كتلة تتأرجح بحرية في الأعلى، مثل بندول عملاق.



التواء المباني من العوامل المسببة لأضرار جسيمة أثناء الزلازل. يحدث هذا بشكل شائع في المباني بسبب عدم انتظام الصلابة في التخطيط وارتفاع المباني، وعدم انتظام الكتلة في مخطط وارتفاعات المباني. لذلك، عند حدوث زلزال، ستسبب القُوى الزلزالية حركة أكبر في جانب المبنى حيث تكون كتلة الأرضية أكبر أو لا يتم توزيع الأعضاء الرأسية بنفس التركيز مقارنة بالجانب الآخر. يحدث عدم انتظام في الصلابة في المخطط بسبب استخدام أعمدة ذات أحجام مختلفة، أو وجود جدار إنشائي على جانب واحد من المباني، أو وجود درج أو لب مصعد في أحد أركان المباني.



نماذج لبعض المباني الملتوية

كيفيـة تقليـل آثار الــزلازل على المبـاني

يتم استخدام تقنيتين أساسيتين لحماية المباني من آثار الزلزال المدمرة تقنية عزل القاعدة Base Isolation وتقنية المخمدات الزلزالية Seismic Dampers.

عــزل القاعــدة

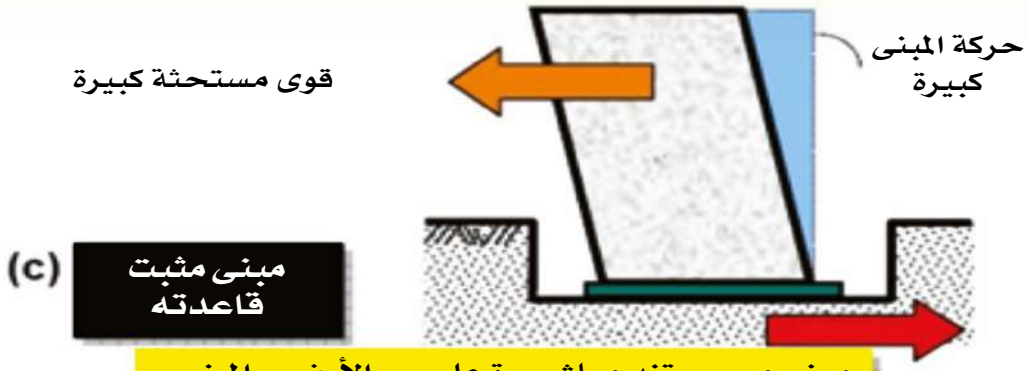
عبارة عن فصل (عزل) المبنى عن الأرض بطريقة لا تنتقل فيها حركات الزلازل عبر المبنى، أو على الأقل تقلص بشكل كبير. أما المخمدات الزلزالية عبارة عن أجهزة خاصة يتم إدخالها في المبنى لامتصاص الطاقة التي توفرها حركة الأرض للمبنى.

عزل القاعدة يتم شرح مفهوم عزل القاعدة من خلال مثال بناء يرتكز على بكرات غير احتكاكية (الشكل A 1). عندما تهتز الأرض، تتدحرج البكرات بحرية، لكن المبنى أعلاه لا يتحرك. وبالتالي، لا يتم نقل أي قوة إلى المبنى بسبب اهتزاز الأرض؛ ببساطة، المبنى لا يتعرض للزلزال الآن، إذا تم وضع نفس المبنى على منصات مرنة توفر مقاومة ضد الحركات الجانبية (الشكل B 1)، فسيتم نقل بعض تأثير اهتزاز الأرض إلى المبنى أعلاه.

إذا تم اختيار الوسادات المرنة بشكل صحيح، يمكن أن تكون القُوى الناتجة عن اهتزاز الأرض أصغر بضع مرات من تلك التي يعاني منها المبنى المبني مباشرة على الأرض، أي مبنى قاعدة ثابتة (الشكل C 1).

عزل القاعدة غير مناسب لجميع المباني. أكثر المباني ملاءمة للعزل الأساسي هي المباني المنخفضة إلى المتوسطة الارتفاع المرتكزة على تربة صلبة تحتها؛ المباني الشاهقة أو المباني المرتكزة على تربة ناعمة ليست مناسبة لعزل القاعدة.

كيف نقلل تأثير الزلازل على المباني



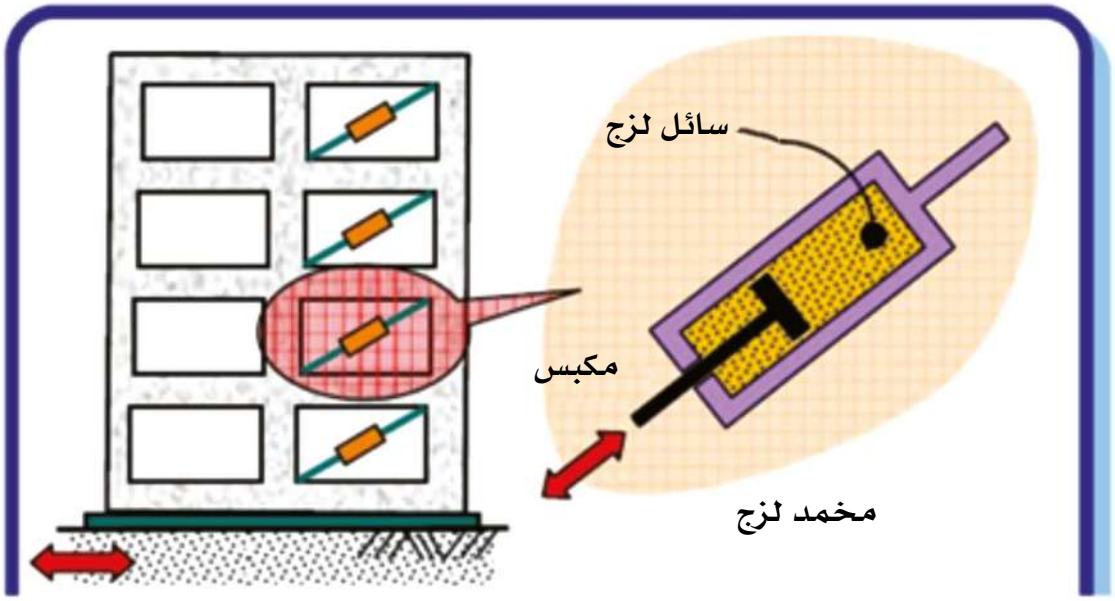
مبنى على دوائر ثابتة تهتز أقل - هذه التقنية يطلق عليها عزل القاعدة

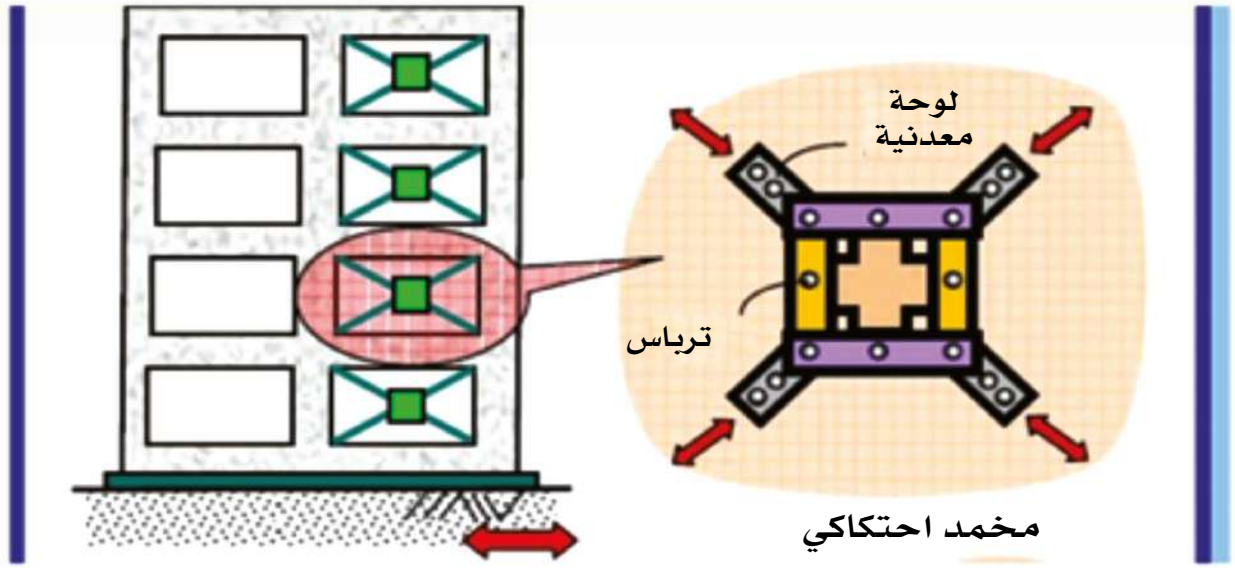
أعمدة القاعدة تدعم عزل القواعد

• المخمـــدات الزلزاليـــة

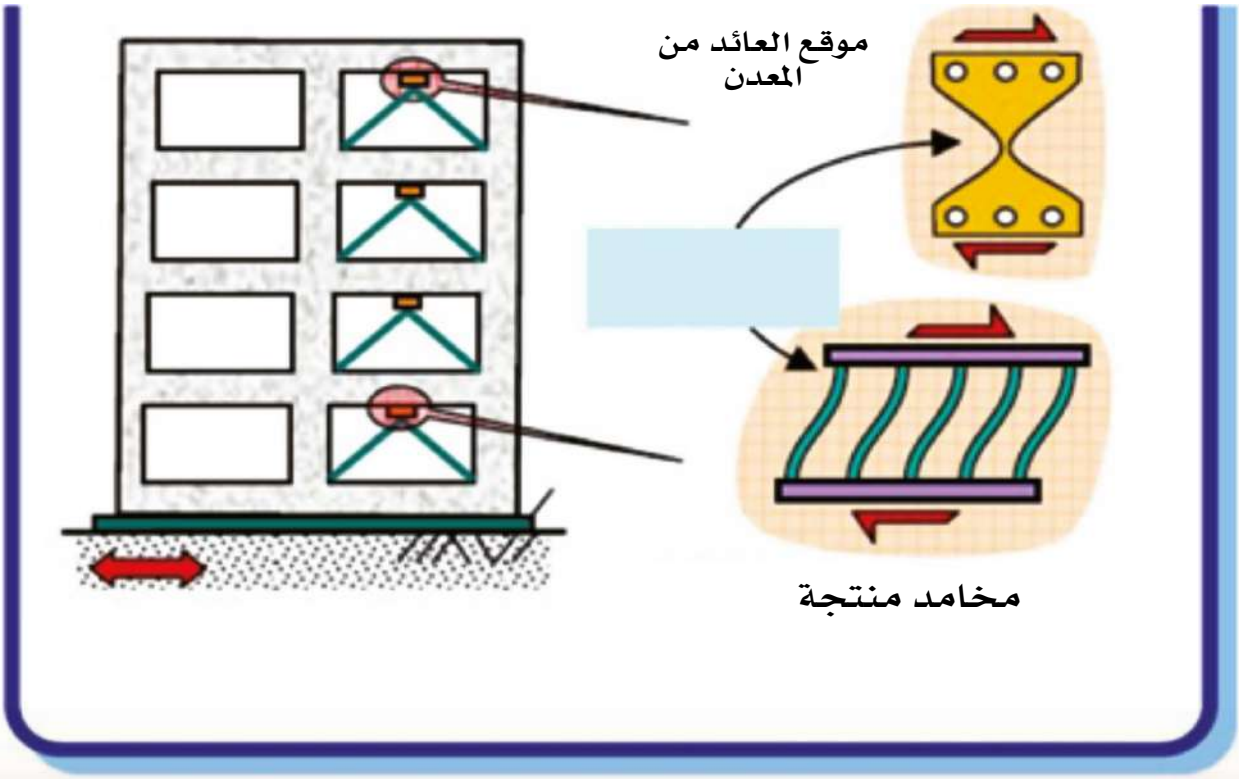
هناك طريقة أخرى للتحكم في الأضرار الزلزالية في المباني وتحسين أدائها الزلزالي وهي تركيب مخمدات زلزالية بدلاً من العناصر الهيكلية، مثل الأقواس المائلة. عندما تنتقل الطاقة الزلزالية من خلالها، تمتص المخمدات جزءاً منها، وبالتالي تضعف حركة المبنى. لم يتم استخدامها إلا منذ التسعينيات لحماية المباني من آثار الزلزال. تشتمل أنواع المخمدات الزلزالية الشائعة الاستخدام على المخمدات اللزجة (يتم امتصاص الطاقة عن طريق مائع أساسه السيليكون يمر بين ترتيب أسطوانة المكبس)، ومخمدات الاحتكاك (يتم امتصاص الطاقة عن طريق الأسطح مع احتكاكها ببعضها البعض)، وتنتج مخمدات (الطاقة هي تمتصه المكونات المعدنية التي تنتج) (الشكل 3).

كيف تقلل تأثر الزلازل على المباني





مخمد احتكاكي



مخامد منتجة

خطـوات أساسـية لحمايـــة منزلك من الـزلـزال

إجـــراء فحص للمنـزل تتمثل المسؤولية الأساسية لكل صاحب منـزل في تعيين مهنـدس محتـرف لفحـص المبنـى وتحديـد العيـوب / نقـاط الضعـف في الهيـكل والحلول المطلوبة لتصحيحها .

قم بتعديـل منزلك Retrofit وفقاً لمتطلبات كـــود البنـــاء

إذا تم بناء منزلك قبل عام 2000، فقد تحتاج إلى تعديل هيكل المبنى لزيادة مقاومته للزلازل إلى أقصى حد . قبل تطبيق كود الزلازل المتطورة اليوم، تم بناء المنـازل بشـكل أساسـي لمقاومـة الأحمـال الرأسـية، أي وزن المنـزل والمحتويـات الداخلية. في حالة حدوث زلزال، تتحرك الأرض في اتجاه خطي، وتضع أحمالاً جانبيـة على المنـزل. المنـازل القديمـة غيـر المقـواة للتعامـل مـع الأحمـال الجانبيـة تتفكك تحت الوزن المتغير، وتنزلق من الأساس وعوارض الدعم.

هناك ثلاث طرق أساسية لتعزيز المنزل القديم:

تثبيت الطين على الأساس وذلك لمنع المنزل من الانزلاق.

دعائـم الجـــــــدران المقعـرة في التعديـل التحديثـي، يتـم عـزل الجـدران المعطلة وتدعيمها بألواح قص هيكلية عمودية من الخشب الرقائقي تدعم المنزل في الاتجاه من الجانب إلى الجانب.

قـم بتثبيـت روابـط نقـل القـص أو مقاطـع الإطـارات لمزيـد مـن السـلامة الهيكلية، يتم تثبيت روابط نقل القص أو مقاطع تأطير بين الجدران المعطلة والطابق الأول لتعزيز الاتصال.

استعد للجدران الضعيفة بالخشب الرقائقي

الجدران المقعرة عبارة عن جدران خشبية مثبتة على الأساس الخارجي. تحمل هذه الجدران وزن المنزل فوقها، وتخلق مساحة للزحف. تعمل كممتص للصدمات وتقلل من خطر الانهيار أثناء الزلزال. يوفر دعم الجدران المقعرة بالخشب الرقائقي مقاومة أكبر للزلازل ويمنع التأرجح والانهيار من جانب إلى آخر أثناء الزلزال.

تجنب جـــــدران البنـــــاء غير المسلحـــة

البناء غير المدعم هو نوع من المباني حيث تصنع الجدران الحاملة والجدران غير الحاملة من كتل طينية أو طوب أو بلاط طيني مجوف أو مواد بناء أخرى. هذه المباني معرضة للخطر أثناء وقوع الزلزال، ويمكن أن تنهار بسهولة. إذا كانت خطط البناء الخاصة بك تتضمن جدران حشو حجرية، فإن أفضل حل هو إضافة إطارات فولاذية لتصحيح المشكلات الهيكلية. قد يكون الحل الآخر هو ترك مساحة بين الجدران وإطار المبنى، مما يسمح ببعض الانجراف أثناء تحرك المبنى أثناء الزلزال.

اســـتخدم تقنيـــات التعزيـــز الأبســـط

لجعل المبنى مقاوماً للزلازل، من المُهمِّ وضع جدران القص ونواة القص والدعامة المتقاطعة لأنها توفر قوة إضافية. يتم تثبيت المبنى على الأساس، مما يوفر جدراناً داعمة تسمى جدران القص، التي تساعد في تعزيز المبنى الذي يقاوم بدوره حركات الاهتزاز. تشكل جدران القص في وسط المبنى، حول عمود المصعد أو الدرج، قلب القص. في تقنية التقوية المتقاطعة، يتم تقوية الجدران بعوارض فولاذية مائلة.

اســـــتخدم نوعـــاً مرنـــاً مـــن المرافـــــق

تركيب تجهيزات أنابيب مرنة بحيث لا تنكسر أثناء الزلزال؛ هذا من شأنه أن يساعد في تجنب تسرب الغاز أو الماء. قم بتأمين الجزء العلوي والسفلي من سخان المياه بإحكام باستخدام الأشرطة المعدنية. لا تحتفظ بالسوائل القابلة للاشتعال في الكراج.

عـــــزز نقـــــاط الضعـــف الهيكليـــــة في منـزلك

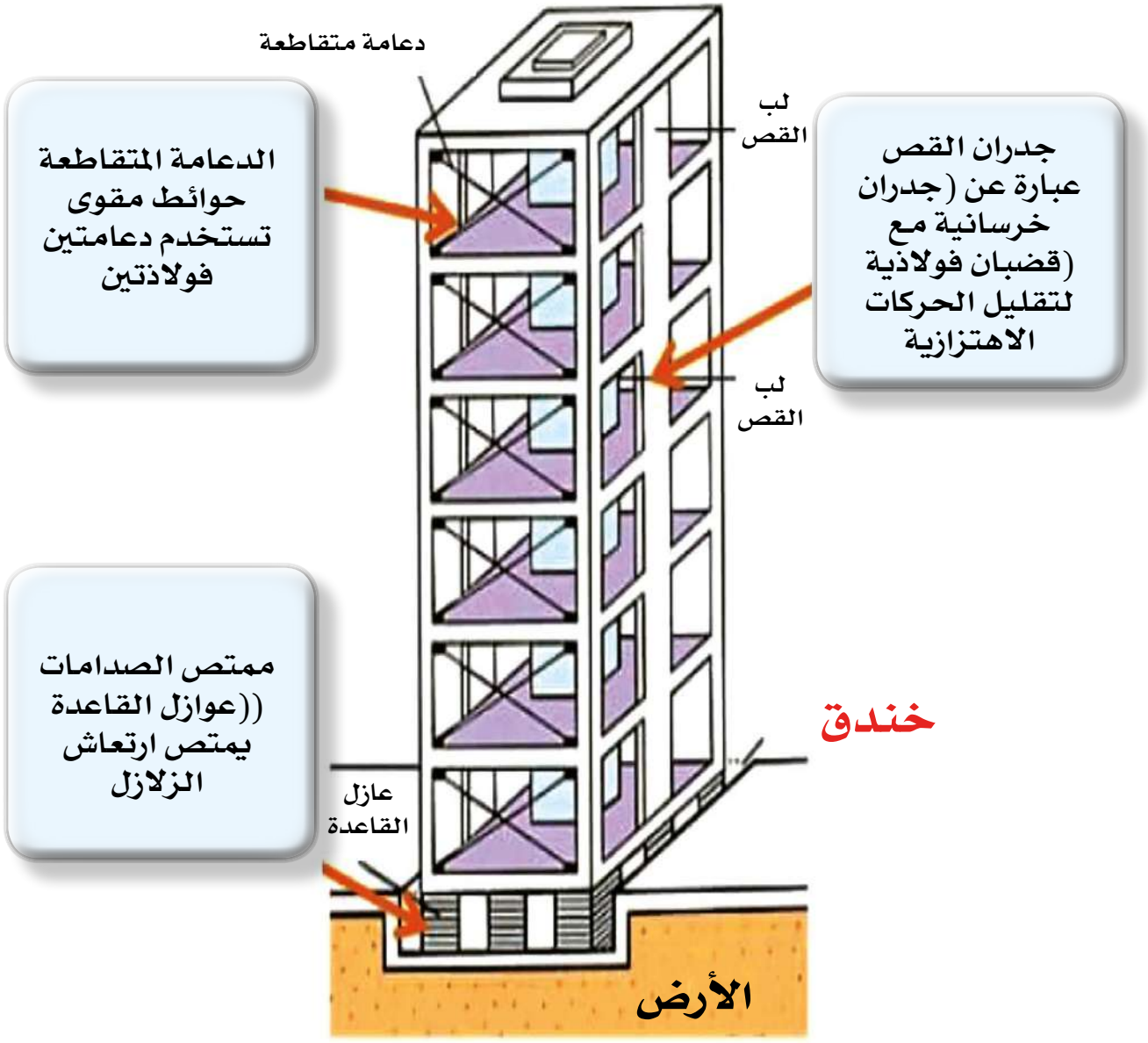
الكـــــراج تشـير الدراســـــات إلـى أن الطابـــــق الواقـع فـــــوق الكـراج «طابق ناعم soft story» نظراً لأنه تتمتع بمقاومة ناعمة للزلازل نظراً لأن الجدار مع باب الكراج ليس داعماً مثل الآخرين. لحماية الكراج الخاصّ بك من الزلازل، عزز جدار باب الكراج بالفولاذ أو الخشب الرقائقي على كلا الجانبين.

أيضاً استخدم مادة خفيفة صديقة للزلازل للسطح مثل الألمنيوم أو الخشب أو الأسفلت، على عكس الطوب الثقيل أو الطين. كلما كان السقف أخف، قلّت القوة التي يمارسها على نظام دعم منزلك، مما يقلل من احتمالية الانهيار.

وضـــع الأثـــــاث والتركيبـــات والديكـــــورات

قد يكون من المغري تعليق إطارات الصور على الحائط أو السماح لخزائن الكتب بالانحناء على الحائط. لا ينصح بمثل هذه الإجراءات من منظور السلامة. تأكد أيضاً من أن تركيبات الإضاءة والمراوح مثبتة بشكل صحيح على السقف. ضع أجهزة الكمبيوتر وأجهزة التلفزيون والأجهزة الكهربائية الأخرى على طاولة صلبة وثقيلة، أو يمكنك تثبيتها بأشرطة الأمان.

مبنى مثالي مقاوم للزلازل



لجعل المبنى مقاوماً للزلازل، من المُهمِّ وضع جدران القص، ولب القص، والدعامة المتقاطعة

كــود البنـــاء المقـاوم للــزلازل

هو مجموعة الاشتراطات والمتطلبات وما يتبعها من أنظمة ولوائح تنفيذية وملاحق تضمن الحد الأدنى من السلامة والصحة العامة، وذلك من خلال متانة واستقرار وثبات المباني والمنشآت وسُبل الوصول إليها وتوفير البيئة الصحية والإنارة والتهوية الكافية وترشيد المياه والطاقة وحماية الأرواح والممتلكات من أخطار الحريق وغيره من المخاطر المرتبطة بالمباني.

بدلاً من إنشاء كود خاصة بها والحفاظ عليها، تتبنى معظم الجهات المحلية قوانين البناء النموذجية التي يحتفظ بها مجلس الكود الدولي (ICC). تشمل عائلة الرموز الدولية للمحكمة الجنائية الدولية ما يلي:

كود البناء الدولي (IBC) **ينطبق** على جميع أنواع المباني الجديدة تقريباً.

قانون السكن الدولي (IRC) **ينطبق** على المساكن **الجديدة** المكونة من أسرة واحدة أو اثنتين والتي لا يزيد ارتفاعها على ثلاثة طوابق.

كـود البنـاء الدولـي الحالـي (IEBC) **ينطبق** على **التعديل** أو الإصلاح أو الإضافة أو التغيير في **إشغال** الهياكل القائمة.

كود البناء الدولي (IBC) **هو أساس العائلة** الكاملة للرموز الدولية ®. إنها أداة أساسية للحفاظ على الصحة العامة والسلامة التي توفر الحماية من المخاطر المرتبطة بالبيئة المبنية. يتناول تصميم وتركيب المواد المبتكرة التي تلبي أو تتجاوز أهداف الصحة والسلامة العامة.

الكـــود الـزلـــــزالـــي

تهدف بعض الأحكام داخل IBC و IRC و IEBC إلى **ضمان** قدرة الهياكل على مقاومة القُوى الزلزالية بشكل مناسب أثناء الزلازل. تمثل أحكام الزلازل هذه أفضل إرشادات متاحة حول كيفية تصميم الهياكل وإنشائها للحد من مخاطر الزلازل.

التغييرات أو الإضافات على أحكام الزلازل تأتي من العديد من المصادر المختلفة، بما في ذلك نتائج البحث الجديدة وتوثيق الأداء في الزلازل الماضية. المصدر الأساسي هو NEHRP Provisions Edition 2020، المجلد الأول والمجلد الثاني. توفر الوثيقة المصاحبة لـ FEMA «مفاهيم تصميم مقاومة الزلازل» (FEMA P-749) شرحاً غير تقني للخلفية.

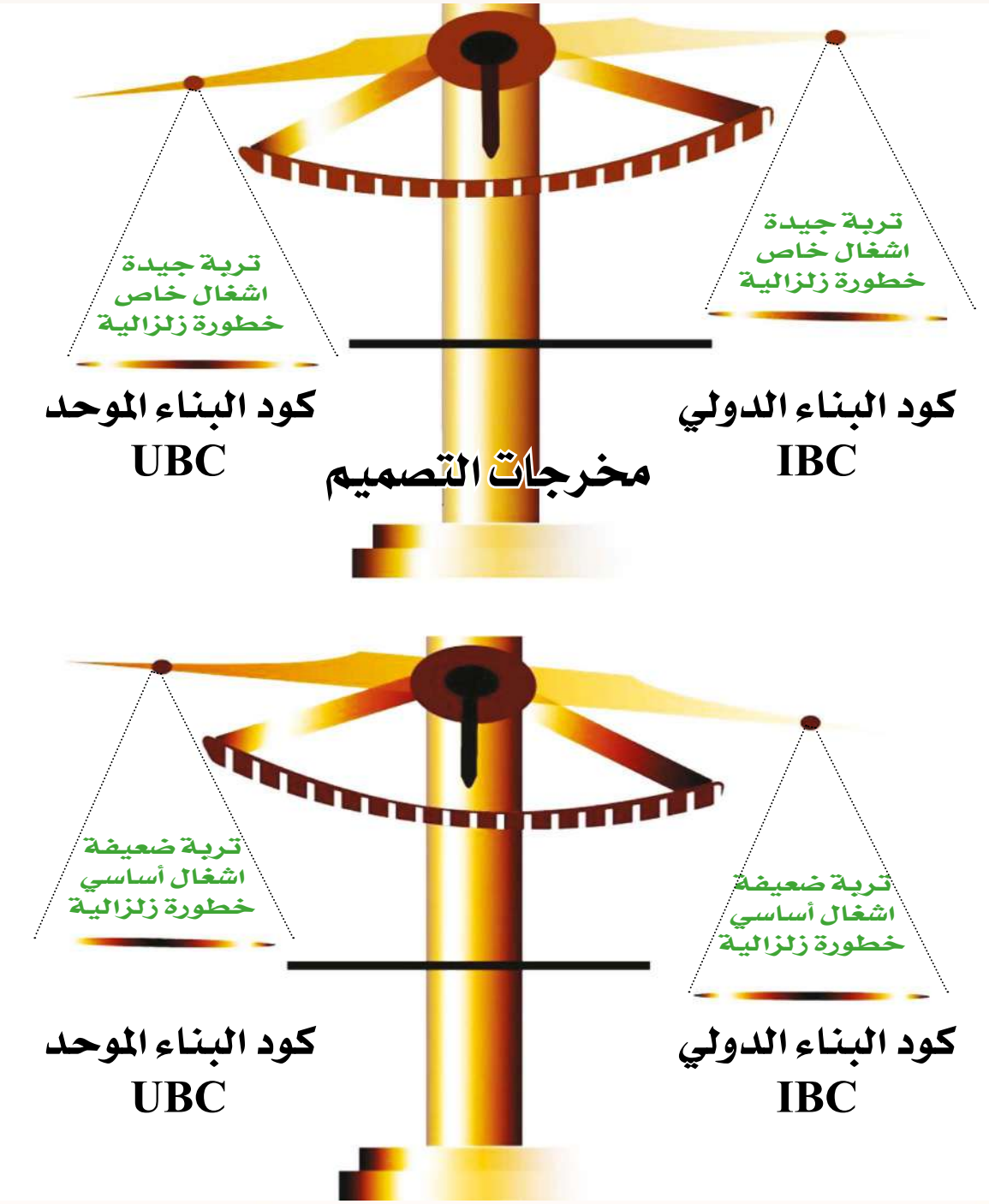
اعتماد كود النموذج غير متساوٍ عبر الدول وداخلها، حتى في المناطق ذات المستويات العالية من المخاطر الزلزالية. تبنت بعض الجهات والسلطات القضائية المحلية المدونات لكنها أدخلت تعديلات أو استثناءات فيما يتعلق بالأحكام الزلزالية.

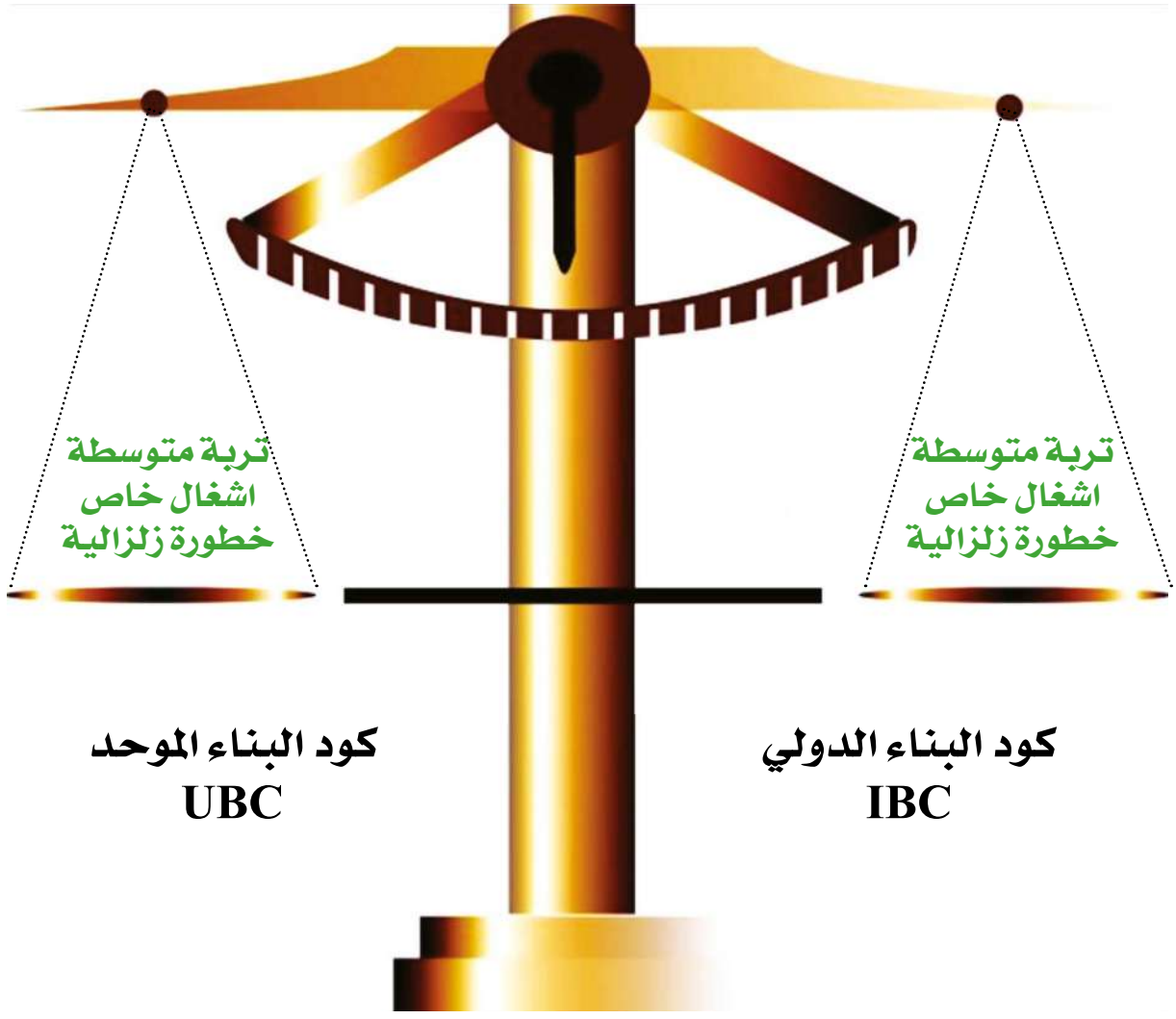
إن اعتماد أحدث قوانين البناء ليس سوى جزء من الحل. يجب أيضاً إنفاذ القوانين بشكل فعَّال لضمان استفادة المباني وشاغليها من التقدم في الأحكام المتعلقة بالزلازل في أكواد النموذج. بالنسبة للجزء الأكبر، تقع مسؤولية تنفيذ القانون على عاتق مسؤولي المباني في الحكومة المحلية الذين يراجعون خطط التصميم ويفحصون أعمال البناء ويصدرون تصاريح البناء والإشغال.

اعتمدت قوانين البناء و SEI / ASCE 7 مفهوم فئة الموقع كوسيلة لتصنيف ميل الموقع لتضخيم أو تخفيف الحركة في نطاقات زمنية مختلفة، بطريقة

بسيطة نسبيّاً. نظراً لأن خصائص التربة ضمن 100 متر العلوي بالنسبة لسطح الأرض لها التأثير الأكثر أهمية على الاهتزاز الذي يعتبر مُهمّاً للمباني والهياكل الشبيهة بالبناء، يتم تحديد فئة الموقع بناءً على متوسط خصائص التربة داخل هذه المنطقة. تم تعيين ست فئات مواقع مختلفة في الكود وتم تصنيفها على أنها A و B و C و D و E و F.

فئة الموقع A تتوافق مع الصخور الصلبة والمختصة بما في ذلك الجرانيت والكوارتز والأحجار المماثلة. تتوافق فئة الموقع B مع الصخور الرسوبية الناعمة بما في ذلك الحجر الرملي والحجر الطيني والحجر الطيني والمواد المماثلة. تتوافق فئة الموقع C مع ظروف الموقع الثابتة المتمثلة في الرمال الكثيفة والحصى والطين شديد الصلابة. تتوافق فئة الموقع D مع ظروف الموقع المتوسطة التي تحتوي على تربة حبيبية متوسطة الكثافة وطين صلب. تتوافق فئة الموقع E مع التربة ذات اللدونة العالية وقابلية الانضغاط، ولا سيَّما بما في ذلك الطين الضعيف والطمي السائب المشبع والمواد المماثلة. تتوافق فئة الموقع F مع أنواع التربة غير المستقرة التي يمكن أن تتعرض لتأثيرات مثل التميع.


تربة جيدة
اشغال خاص
خطورة زلزالية
تربة جيدة
اشغال خاص
خطورة زلزالية
كود البناء الدولي
IBC
كود البناء الموحد
UBC
مخرجات التصميم
تربة ضعيفة
اشغال أساسي
خطورة زلزالية
تربة ضعيفة
اشغال أساسي
خطورة زلزالية
كود البناء الدولي
IBC
كود البناء الموحد
UBC


تربة متوسطة
اشغال خاص
خطورة زلزالية
تربة متوسطة
اشغال خاص
خطورة زلزالية
كود البناء الموحد
UBC
كود البناء الدولي
IBC

الاحتياطات الوقائية

أولا : قبل حدوث الزلازل

■ الاستعداد النفسي

تؤكد التقارير أن الرعب وعدم التصرف السليم من قبل الناس عند حدوث هزات أرضية يؤديان إلى زيادة عدد المتضررين وحدوث أزمات نفسية حادة حتى في الحالات التي تكون فيها الهزات الأرضية خفيفة. وعادة ما يحدث ذلك للناس الذين لا يعرفون شيئا عن طبيعة الزلازل ونوعية مخاطرها، وفي الغالب يكون الأطفال أكثر عرضة للأزمات النفسية أثناء وبعد حدوث الزلازل. لذلك يعد الاستعداد النفسي لاحتمال وقوع الزلازل أحد العوامل الأساسية التي تساعد على التصرف السليم لمواجهة مخاطر الزلازل، ويمكن تحقيق ذلك من خلال عدة عوامل منها:

- التعرف على ماهية الزلازل مع الأخذ في الحسبان احتمالية حدوثها في أي وقت وفي أي زمان وتدريب الأطفال على ذلك.
- تعريف أفراد العائلة على كيفية التصرف أثناء حدوث الزلازل. . القناعة الشخصية بأن هناك وسائل وقائية يمكن الأخذ والاهتمام بها للمساعدة في تخفيف مخاطر الزلازل.

الاهتمام بالدور الفعال للمدرسة في توعية الأطفال وتهيئتهم نفسيا لمواجهة مخاطر الزلازل، وذلك من خلال النشاطات المدرسية العامة، مع إعداد منشورات خاصة بذلك.

- **التعرف سابقا على مصدر الخطر الزلزالي ومعالجته.**

- من أهم الوسائل الفعّالة لتخفيف مخاطر الزلازل تثبيت الأجسام التي تكون عرضة للسقوط أثناء الزلازل، ويُنصح هنا بمشاركة أفراد العائلة لتحديد مثل هذه الأجسام كأحد أساليب التهيئة النفسية لأفراد العائلة. ومن أمثلة هذه الأجسام:

- الأثاث المرتفع والثقيل الذي قد ينقلب ويسقط مثل خزانة الكتب ودواليب الأدوات المنزلية، وكذلك رفوف المواد الغذائية والأثاث المكتبي، ومثل هذه الأجسام يمكن تثبيتها بسهولة في الحوائط أو أرضية المنزل بواسطة زوايا حديدية صغيرة.

- سخانات المياه أو ما شابهها من أنابيب الإطفاء والأكسجين تكون في الغالب مصدر خطورة شديدة عند سقوطها وانفجارها بسبب الزلازل، لذلك يجب تثبيتها جيدا بواسطة أحزمة حديدية.

- سقوط حائط السطح أثناء الزلازل يشكل في الغالب مصدر خطورة كبيرة سواء للمارة أو لسكان المنزل أثناء هروبهم، لذلك من الضروري استشارة المهندس المختص عن الأسلوب الأمثل لإنشاء وتثبيت حائط السطح ليكون مقاوما للحركة الأفقية.

- الأسقف المستعارة يجب تثبيتها جيدا في الأسقف الأساسية بواسطة أسلاك حديدية.

- النوافذ والأبواب الزجاجية الكبيرة تشكل مصدر خطر زلزالي كبير، لذلك يجب استبدالها بزجاج مقوى بأسلاك حديدية.

- السـوائل الخطـرة القابلـة للاشـتعال أو الحارقـة يجـب أن تحفـظ في أوعيـة محكمـة وتثبـت جيـداً في رفـوف خاصـة تمنـع سـقوطها، وذلـك بربـط أوعيـة السـوائل الخطـرة بواسـطة أحزمـة مطاطيـة أو وضـع سـاتر على الأرفف يمنـع سـقوطها وخاصـة في المعامـل والمختبـرات.

- التثبيـت الجيـد لخزانـات الميـاه فـوق أسـطح المنـازل وكذلـك أوعيـة النباتـات المنزليـة وإطـارات الصـور والمرايـا والأجسـام الثقيلـة الموضوعـة فـوق الرفـوف.

- **تجنب البناء في الأماكن المعرضة للانزلاقات الأرضية أو لتساقط الصخور من قمم الجبال**

- **تصميم المنزل ليكون مقاوماً للزلازل. إذا كنت تخطط للبناء فتأكد من أن المكتب الهندسي الذي أعد تصاميم منزلك قد أخذ في الاعتبار معايير التصميم المقاوم للزلازل** وخاصـة أن هـذا لا يزيـد في تكلفـة تنفيـذ المنـزل إلا زيـادة بسـيطة لا تزيـد عـن 1 % مـن التكلفـة الإجماليـة.

- **تحسين الكفاءة الزلزالية للمباني**

تسـاعد المبانـي المقامـة عـن طريـق استشـارة مكتـب هندسـي مختـص واتخـاذ بعـض التعليمـات الفنيـة البسـيطة في تحسـين الكفـاءة الزلزاليـة لمنزلـك وبتكلفـة بسـيطة.

إرشادات قبل حدوث الزلزال

ثانياً : أثناء وبعد حدوث الزلازل

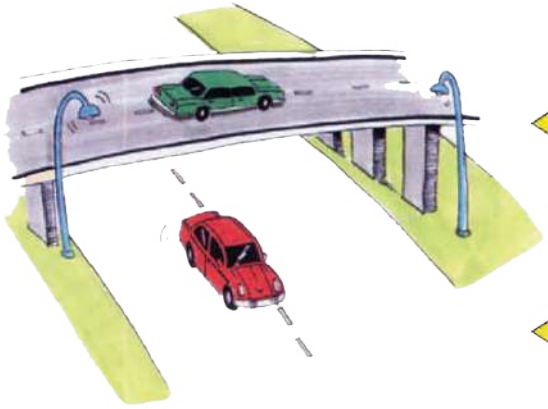
تتمثل أهم الاحتياطات الوقائية أثناء وبعد حدوث الزلازل في عدة توصيات أهمها:

- إذا كنت في داخل المنزل فلا تحاول الهروب منه ولكن اختبئ بأسرع وقت ممكن بالجلوس تحت الطاولات أو إطارات الأبواب، وحاول تجنب سقوط الأثاث أو شظايا الزجاج عليك، وحاول إطفاء مصادر النار مثل المواقد وخلافها إذا كنت قريبا منها حتى لا تكون سببا في الحرائق المصاحبة للزلازل، وتجنب إشعال أي نوع من النار فقد يكون هناك تسرب غاز مما يسبب حرائق.
- احرص دائماً على الاهتمام بالأطفال أولاً وطمأنتهم ومصاحبتهم دائماً أثناء الزلازل سواء في المنزل أو أماكن الإخلاء حتى لا يتولد عندهم خوف من الكارثة.
- إذا لاحظت أن منزلك في حالة إنشائية سيئة وقد ينهار، حاول الهروب منه بحذر شديد وتجنب سقوط حائط السطح عليك أثناء هروبك وحاول الاحتماء بين الأعمدة والزوايا الخرسانية
- إذا كنت خارج المنزل حاول الابتعاد عن المباني واذهب في اتجاه الأماكن الخالية مثل الحدائق والساحات، وتجنب التجمهر حول الأماكن التي حصل بها إصابات مثل المنازل المنهارة حتى لا تكون سببا في إعاقة رجال الإنقاذ.
- تجنب استخدام المصاعد لأنها قد تكون عرضة للعطل أثناء الزلازل. في المباني المرتفعة استند إلى أحد أعمدة المبنى أو تحت الكمرات.
- ابتعد عن الجسور المعلقة والمباني الزجاجية وخطوط الضغط العالي.

- إذا كنت تقود سيارة فحاول الوقوف بأسرع وقت ممكن مع تجنب المرور من خلال الأنفاق أو تحت الجسور أو فوقها.
- كُن مستعداً نفسيا للهزات اللاحقة ولا تستغرب حدوثها، فمن الطبيعي حدوث هزات لاحقة للهزة الرئيسية، وقد تستمر لعدة أشهر. . تذكر أن الهزات اللاحقة قد تسبب سقوط أجزاء من المباني المتأثرة بالهزة الرئيسية، لذلك احرص على إزالة الأنقاض والأجزاء الآيلة للسقوط بسبب الهزات اللاحقة وتجنب المرور أمام مثل هذه الأنقاض.
- تأكد من صلاحية الوصلات الكهربائية وتوصيلات الغاز قبل أن تقوم باستعمال أي نوع من النار في المنزل.

إرشادات أثناء وبعد حدوث الزلزال

ابتعد عن البالكونات واتجه
الى الساحات المفتوحة



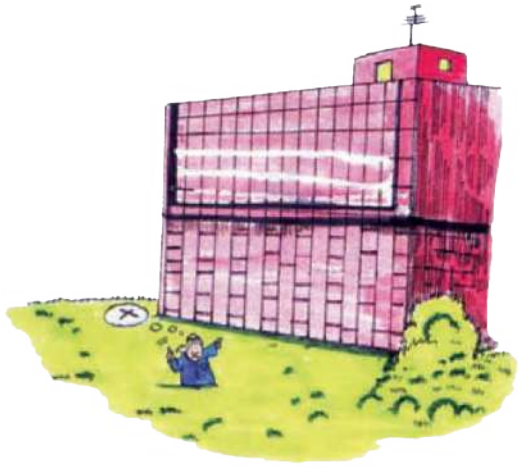
حاول الابتعاد عن الجسور ثم

اوقف السيارة حتى انتهاء الهزة

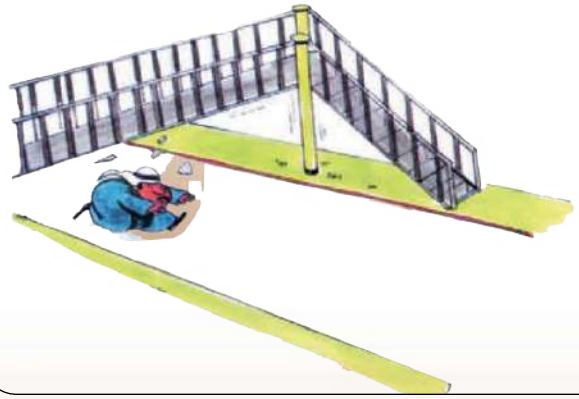
تجنب الوقوف تحت
خطوط الضغط العالي

إرشادات أثناء وبعد حدوث الزلزال

لا تستعمل المصعد



تجنب المرور بجانب المباني الزجاجية



أبتعد عن جسر المشاه

دروس مستفادة من حالات تاريخية

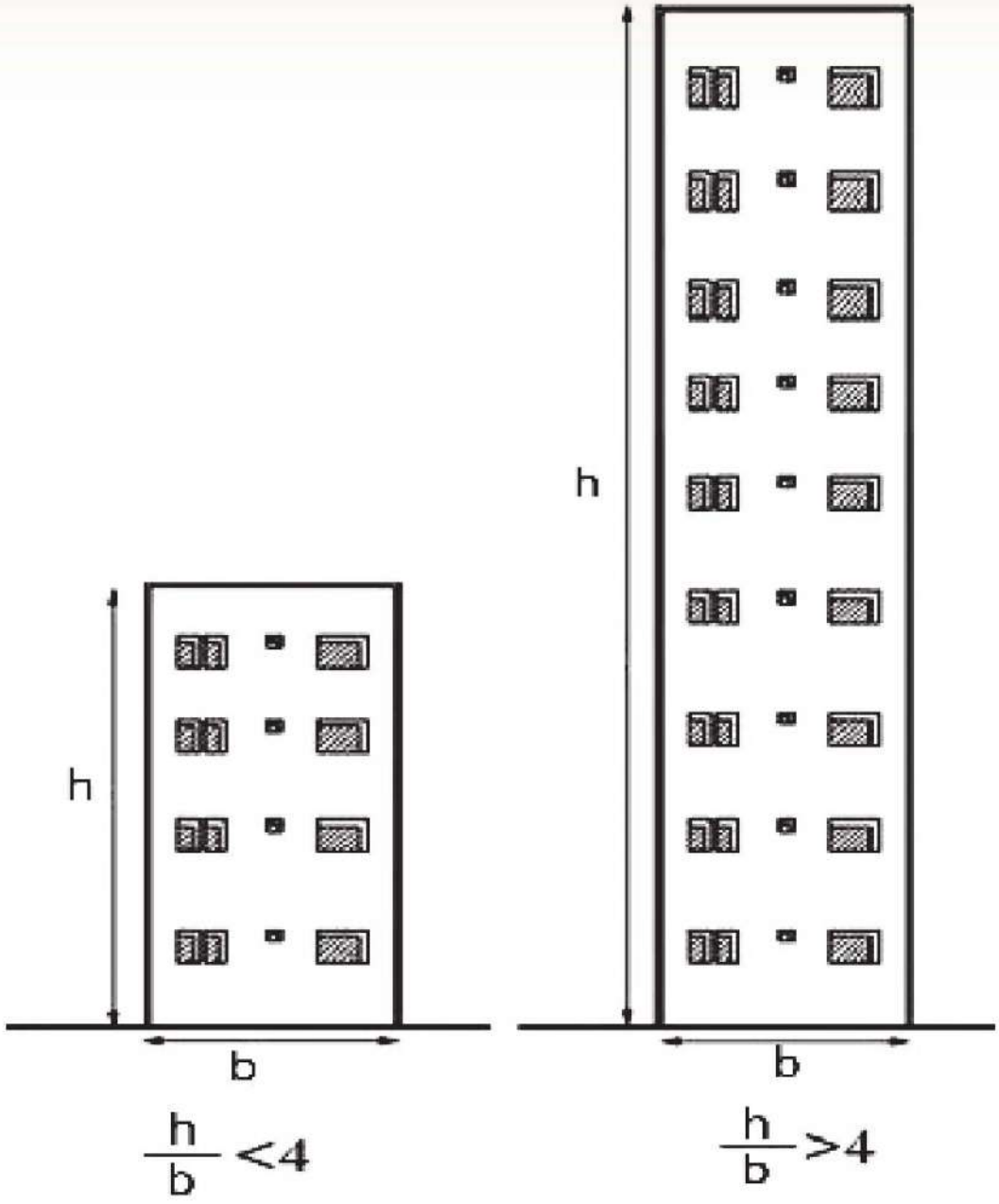
الهياكل المقاومة للزلازل هي هياكل مصممة لحماية المباني من الزلازل. في حين أنه لا يمكن لأي هيكل أن يكون محصنًا تمامًا من التلف الناتج عن الزلازل، فإن الهدف من البناء المقاوم للزلازل هو تشييد الهياكل التي يكون أداءها أفضل أثناء النشاط الزلزالي من نظيراتها التقليدية. وفقًا لقواعد البناء، تهدف الهياكل المقاومة للزلازل إلى تحمل أكبر زلزال باحتمالية معينة من المحتمل أن تحدث في موقعها. حاليًا، هناك العديد من فلسفات التصميم في هندسة الزلازل، مع الاستفادة من النتائج التجريبية والمحاكاة الحاسوبية والملاحظات من الزلازل السابقة لتقديم الأداء المطلوب للتهديد الزلزالي في موقع الاهتمام.

المبادئ الأساسية لتصميم وتفاصيل الهياكل المقاومة للزلازل هي تحقيق القوة وسلوك الدكتايل والحفاظ على السلامة الهيكلية. الشرط الأساسي هو «منع الانهيار الكارثي للمباني أو مكوناتها». كما تهدف مدونات قواعد الممارسة إلى تحقيق ذلك بطريقة بسيطة نسبيًا وفعالة من حيث التكلفة.

يعتمد مستوى المقاومة المستهدف في التصميم المقاوم للزلازل على مفهوم «المخاطر المقبولة»، مع الأهداف التالية:

لمقاومة الزلازل الطفيفة دون أضرار لمقاومة الزلازل المعتدلة دون أضرار هيكلية كبيرة، ولكن مع بعض الأضرار غير الهيكلية لمقاومة الزلازل الكبيرة (أو الشديدة) دون إخفاق كبير في الهيكل الهيكلي للمبنى أو مكوناته، لمنع الخسائر في الأرواح والسماح بممر هروب آمن لنزلاء المبنى

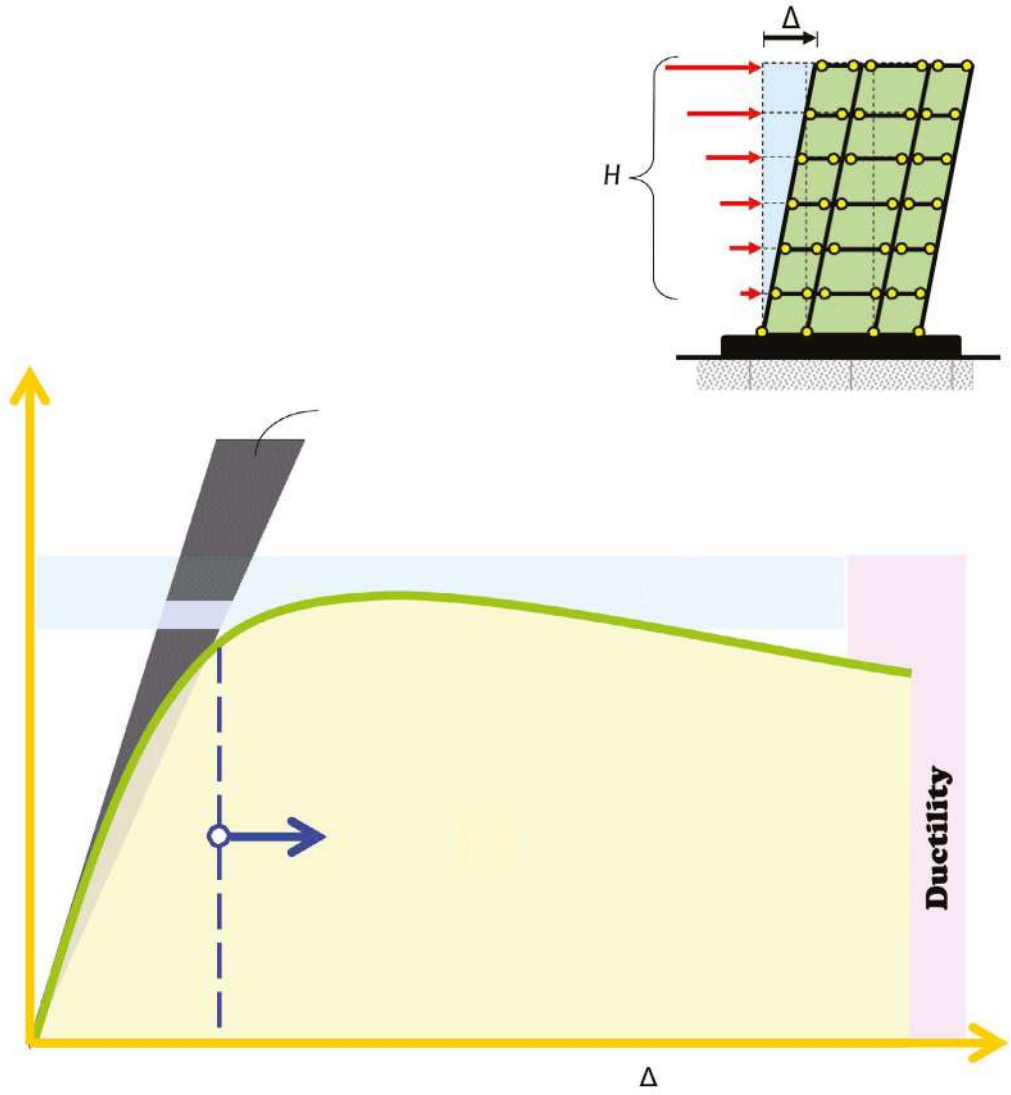
تسبب تمزق السطح في حدوث تشققات كبيرة وانهيار طريق ممهد. قد يؤدي ذلك إلى وقوع إصابات أو خسائر في الأرواح أو إعاقة وصول الناس إلى منازلهم.



انقلاب مبنى نحيف، زلزال كوبي، اليابان 1995 نظرا لان عرض المبني بالنسبة لارتفاعه أكبر من 4 أضعاف.

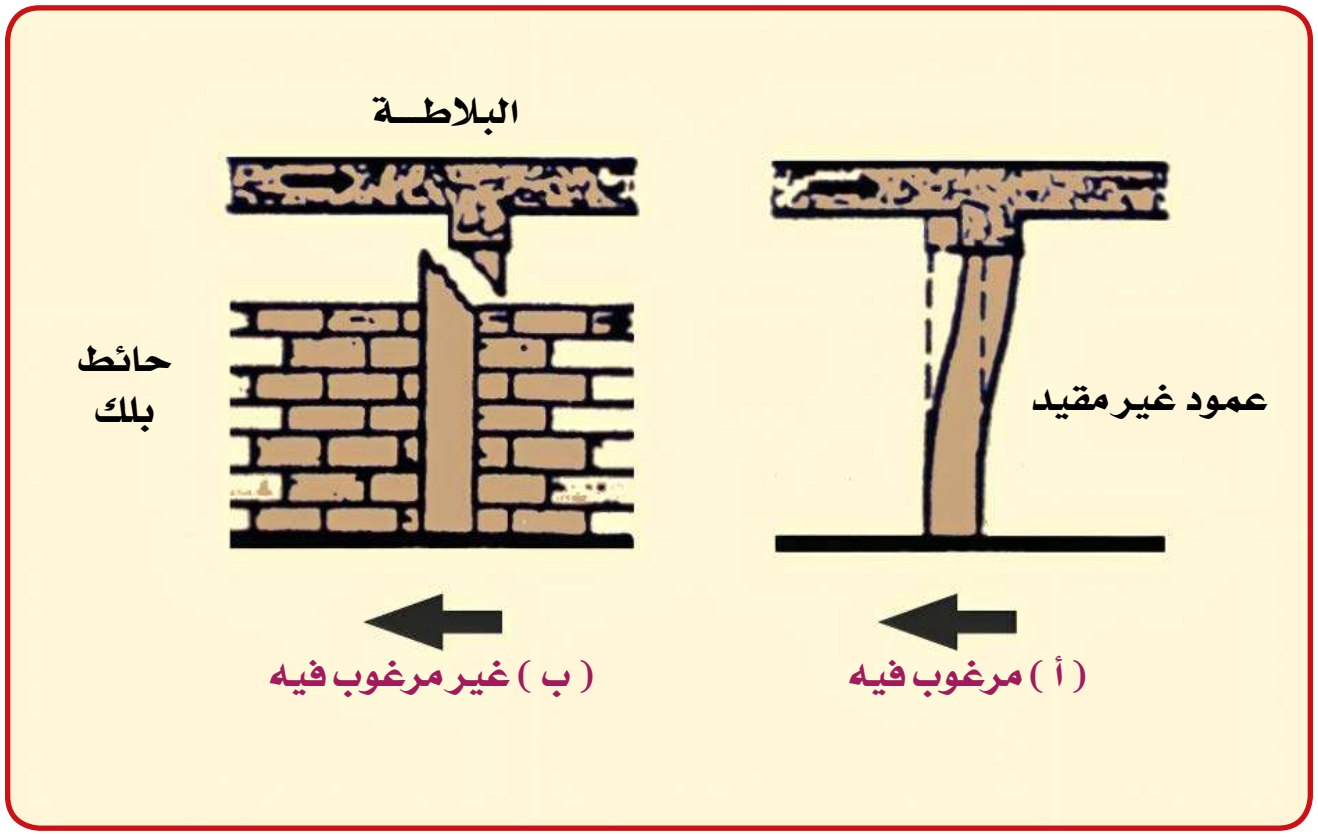
انهيارات في المباني بسبب ظاهرت تشكيل الطابق الرخو في الطابق الأرضي

انهار المستوى العلوي للهيكل ذي المستويين إلى المستوى السفلي نتيجة لفشل أعمدة الدعم. فشلت الأعمدة جزئيًا ردًا على اهتزاز الأرض من زلزال لوما بريبتا في 17 أكتوبر 1989 والذي تضخمت بفعل الرواسب الرخوة بالقرب من واجهة أوكلاند البحرية



يحكم في المبنى المقاوم للزلازل أربع مزايا: تؤثر الصلابة والقوة والليونة (الممطونية) بشكل مباشر على سلوك تشوه الحمل للمباني ، بينما يؤثر التكوين الإنشائي الزلزالي على هذه العوامل الثلاث بشكل غير مباشر. تُعد سعة تبديد الطاقة نتيجة عامة لجميع العوامل الأربع للمباني

أثبت البناء بالحجر الجاف أنه أكثر مقاومة للزلازل من استخدام الملاط. يمكن أن تتحرك أحجار الجدران الحجرية الجافة قليلاً وتعيد الاستقرار دون انهيار الجدران ، وهي تقنية تحكم هيكلية سلبية تستخدم مبدأ تبديد الطاقة ومبدأ قمع التضخمات الرنانة .



تحرك المبنى بشكل آمن كما في (أ)، وانهيار لنفس العمود عند عند تقييد حركته كما في (ب)

أضرار بالغة لكمرة خرسانية بسبب تقييد حركتها بسلم حديد مثبت عليها

أضرار بسبب تصادم مبنيين مجاورين لقصر المسافة بينهما

إنهيار رقبة عمود بسبب قوى القص

إنهيار كامل للدور الأرضي لضعف مقاومته للقوى الجانبية

الضرر الناجم عن التسييل لوحظ في (أ) نيغاتا ، اليابان 1964 (ب) ألاسكا ، الولايات المتحدة الأمريكية 1964 (c) مولي ، تشيلي 2010 و (د) كرايستشيرش ، نيوزيلندا 2010

انشطار مبنى مدرسي بسبب انزلاق ارضي أحدثه زلزال الاسكا عام 4691 م

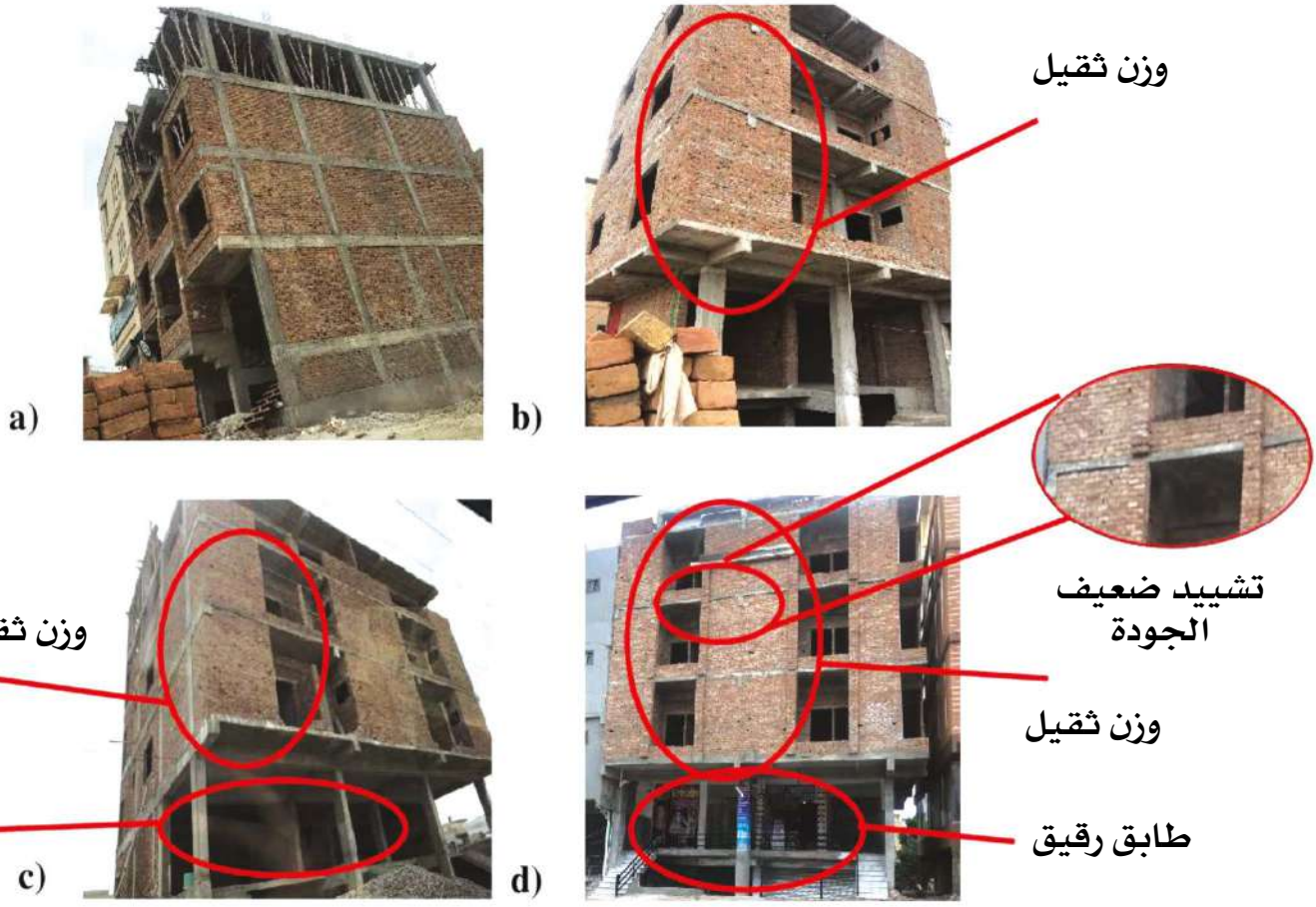
الاهتزاز الأرضي العنيف + المباني الحجرية الغير مسلحة = كارثة كبيرة

فشل القص الهش للأعمدة الداعمة

فشل هش في العمود

تفاصيل التعزيز غير المطيل في العمود

انهيار ناتج عن اختلاف مناسيب التأسيس


a)
b)
وزن ثقيل
تشييد ضعيف الجودة
وزن ثقيل
طابق رقيق
وزن ثقيل
طابق رقيق
c)
d)

ويمكن تلخيص الدروس المستفادة في هذا المجال بالنقاط التالية :

- الكفاءة الزلزالية لمباني الطوب والبلك تعد سيئة جداً.
- الكفاءة الزلزالية لمباني البلك المسلح تعد جيدة إذا أخذ في الاعتبار تصميمها المقاومة الزلازل.
- الكفاءة الزلزالية للمباني الخرسانية المسلحة تعتمد اعتماداً رئيساً على النظام الإنشائي المستخدم وعلى التشابك الجيد بين العناصر الإنشائية وجودة الخرسانة المسلحة المستخدمة لمباني الخرسانة سابقة الصب.
- الكفاءة الزلزالية تعتمد اعتماداً رئيساً على كفاءة الترابط بين عناصر المبنى.
- الكفاءة الزلزالية للمباني الحديدية تعد في الغالب جيدة.

البراكـــين

مُقَدِّمَة

تتعرض الكرة الأرضية لكثيرٍ من العمليات الجيولوجية التي تؤثر في تضاريسها وفي التركيب الداخلي، فهناك عوامل أُطلق عليها عوامل هدم وهي التي تحدث على سطح الأرض وتسوي المرتفعات والصخور من خلال عملياتً الحتّ والتعرية، مثل الرياح والأمطار؛ وهناك عوامل تحدث في باطن الأرض وتظهر نتائجها على سطح الأرض، ويُطلق عليها عوامل بناء لكونها تُخرج مواد مصهورة من باطن الأرض، وترمي بها على سطح الأرض مكونةً جبالاً ومرتفعاتٍ، وهي البراكين والزلازل.

تعتبر الزلازل والبراكين من أخطر الكوارث الطبيعية على االأرض، وتخلف وراءها دماراً شاملاً، يلحق الضرر بكل من الطبيعة والإنسان والبنيان العمراني، وتحصد بعض الزلازل المفاجئة والبراكين الثائرة أرواح مئات الآلاف من البشر، كما تؤدي إلى إتلاف مساحات شاسعة من الأراضي الخضراء، وهدم عدد كبير من البيوت المأهولة والمصانع والشركات التي يعيش الكثيرون من ورائها. وهناك علاقة وطيدة بين البراكين والزلازل، فأحدهما قد يسبب الآخر، حيث يمكن أن يكون سبب الزلزال تحرك الكتل والحمم الملتهبة في باطن الأرض وضغطها على الأجزاء الضعيفة في القشرة الأرضية، كما قد يكون الزلزال سبباً للبركان في حالة الاهتزاز الشديد الذي قد يسبب تهيج الحمم البركانية والحمم في باطن الأرض.

يمكن أن يؤدي كلا من الزلازل والبراكين إلى مجموعة من الفوائد أيضاً لسطح الأرض بغض النظر عن الأضرار حيث يساعدان بدور كبير في التخلّص

من نسبة كبيرة من الاحتباس الحراري الذي نعاني منه في الفترة الأخيرة، حيث إن الصناعات المتقدّمة تسببت في زيادة نسبة غاز ثاني أكسيد الكربون وهذا بالطبع هو أكثر الأسباب المؤدية إلى احتباس الحرارة غير أنّ هناك غاز آخر يتّم انطلاقه فور حدوث البركان، وهذا الغاز يسمى (غاز ثاني أكسيد الكبريت)، وهو مسئول عن الاحتباس البرودي وهذا بالطبع يقلل من أثر الاحتباس الحراري نادراً ما يفكر معظم الناس في البراكين Volcanos أو الدور الذي قامت بها في تاريخ البشرية، وذلك لأنّ معظمنا لا يعيش حيث تنفجر البراكين، فهي ليست جزءاً من حياتنا اليومية. تعدّ البراكين بلا شك واحدةٌ من أكثر السمات الطبيعية روعةً وإثارةً للإعجاب والرهبة، وقد ساهمت في إمداد الإنسان ببعض الفوائد والمتعة وبأكثر محنه تدميراً. إذْ توفر الأقماع البركانية - الجبال الأكثر ارتفاعاً على وجه الأرض- مناظر خلابة يتمتع بها الملايين كما أنها تمنح التربة خصوبة فائقةً، لكن ومن ناحية أخرى، فقد تسببت الانفجارات البركانية الكبيرة عبر العصور التاريخية في الموت والدمار في العديد من المناطق. في العصور القديمة، كانت البراكين محاطة بالغموض والخرافات، وحتى اليوم، مع التقدم الهائل في جميع العلوم، لا يزال الناس يطرحون العديد من الأسئلة حول البراكين، التي لم نحصل على الإجابة عنها. لكن من المحتمل جدّاً أنه عندما يتعلم الإنسان المزيد عنها قد تُسخّر قوتها الهائلة لصالح البشرية (Bullard, 1962).

تُشكل بعض العمليات البركانية خطراً طبيعيّاً كبيراً، في حين أن البعض الآخر مفيد جدّاً للمجتمع. وبالتالي، فإن دراسة البراكين لها أهمية بعيدة المدى للمجتمع. يرتبط علم البراكين ارتباطاً وثيقاً بالجيولوجيا ويُعتبر مرحلة من مراحل تطور الجيولوجيا، كما أنه يرتبط أيضاً ارتباطاً وثيقاً بعلم الزلازل والجيوكيمياء والجيوفيزياء؛ وهو مثل معظم العلوم الأخرى، يصعب تحديد حدوده، لأن جميع العلوم مترابطة (Sigurdsson, 2000).

ما هــو البــركـــان؟

تلعب البراكين دورا مُهمّاً في العمليات الجيولوجية التي تؤثر على تطور القشرة الأرضية وتشكلها وأصبحت دراسة البراكين علماً قائماً بذاته يعرف باسم (علم البراكين) Volcanology. ويصاحب البراكين غالباً تكون معادن وخامات ذات جدوى اقتصادية. علم البراكين حالياً يدرس اندلاع الصهارة (المواد المنصهرة بالإضافة إلى محتواها الغازي) على سطح الأرض أو ارتفاعها إلى مستويات بالقُرب من السطح، حيث يتعامل علم البراكين مع التطور الفيزيائي والكيميائي للصهارة، ونقلها وثورانها، وتشكيل الرواسب البركانية على سطح الكوكب.

البركان عبارة عن هي مجموعة من الشقوق التي تحدث في قشرة الأرض، وتسهم هذه التشققات في انبعاث وخروج الحمم البركانية، أو ما يعرف بـ (الرماد البركاني) وانبعاثه من أماكن الانصهار، ويحدث ذلك بواسطة فوهات وشقوق، وتتجمع هذه المواد وتنساب حسب أنواعها لتتشكل على هيئات عديدة، منها: التلال المخروطية، والجبال البركانية العالية.، و تحدث إما بسبب الضغط أو الطاقة الحرارية الأرضية أو الاحتكاك أو الإشعاع الذري (العمري، 2013م). هذه الانفجارات تؤدي الى تدمير البنية التحتية في المناطق القريبة من البراكين كما أنها تطلق الغاز السام الذي قد يؤدي إلى الوفيات. والرماد البركاني الحار يصل إلى مسافات طويلة، وقد يؤدي إلى احتراق أو طمر التجمعات السكنية، أو يتساقط ملوثا المناطق الأخرى الأكثر بُعْداً. والحمم السائلة (اللافا) تندفع إلى الخارج من فوهة البركان وتسير مسافات طويلة قبل تجمدها.

مـع ملاحظـة إلـى أنـه لا يحـدث (احتـراق) داخـل البـركان بمعنـى الاحتـراق، كمـا هـو حـال احتـراق الخشـب؛ عـلاوة على ذلـك، فـإن البراكـين ليسـت بالضـرورة جبـال؛ وقـد لا يكـون النشـاط دائمـاً في القمـة وإنمـا بشـكل أكثـر شـيوعاً علـى الجانبـين أو الأطـراف؛ كذلـك فـإنّ (الدخـان) المتصاعـد منـه ليـس دخانـاً بـل هـو بخـار مكثّـف، وهـو مختلـطٌ بشـكلٍ متكـررٍ بجزيئـات الغبـار فيصيـر لونـه داكنـاً، أمـا عـن (النـار) التـي تُشـاهد فهـي انعـكاس للمـادة السـاخنة الحمـراء علـى سـحب البخـار فـوق البـركان؛ لذلـك فـإنّ المظهـر (النـاري) و (الدخانـي)، إضافـةً إلـى التوهـج الأحمـر المنعكـس مـن الحمـم البركانيـة في الفوهـة الواقعـة أسـفلها، هـي المسـؤولة عـن الفكـرة الشـائعة القائلـة بـأنّ البراكـين هـي (جبـال مشـتعلة) (Bullard, 1962).

مكونـــات البركـــان

يتكـــون البركان من الأجـــزاء التاليـــة:

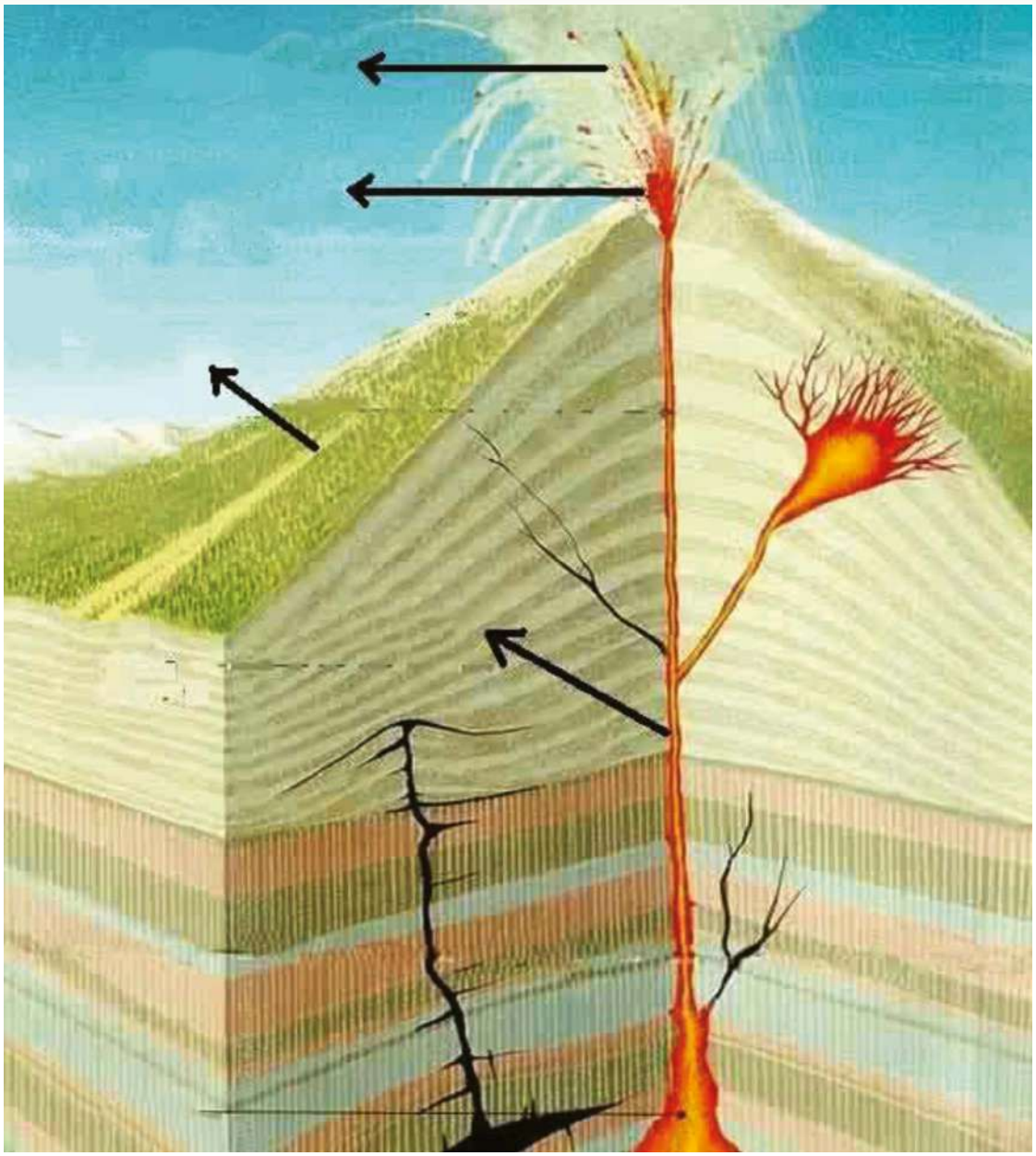
- **المخـروط البركانـي:** هـو الشـكل الـذي يتكـون منـه جسـم البـركان، ويتركـب مـن جزيئـات ونقـط مـن الحمـم البركانيـة التـي أُخرِجَـت مـن فتحـة واحـدة عبـارة عـن حطـام صخـري أو لافـا متصلبـة يقذفهـا البـركان مـن فوهتـه وكانـت كلهـا أو بعضهـا في حالـة منصهـرة.، نظـراً لأن الحمـم المشـحونة بالغـاز تفجـر بعنـف في الهـواء، فتتكسـر لأجـزاء صغيـرة تتصلـب وتهبـط في شـكل فتحـات حـول الفتحـة لتشـكيل مخـروط دائـري أو بيضـوي، وتتفـاوت المخروطـات البركانيـة في حجمهـا، حسـب كميـة المـواد المنصهـرة.

- **الفوهـــــــة:** عبـارة عـن تجويـف مسـتدير الشـكل تقريبـاً في قمـة المخـروط، ويتفـاوت اتسـاعها مـن عـدة أمتـار إلـى عـدة مئـات مـن الأمتـار. وتنبثـق مـن الفوهـة غـازات وكتـل صخريـة وقذائـف وحمـم ومـواد منصهـرة (لافـا) وقـد يكـون للبـركان أكثـر مـن فوهـة ثانويـة إلـى جانـب الفوهـة الرئيسـية تتكـون بعـد هـدوء الثـوران.

- **المدخنـة أو القصبـة:** وهـي قنـاة تمتـد مـن قـاع الفوهـة إلـى أسـفل حيـث تتصـل بفـرن الصهيـر في جـوف الأرض. وتندفـع خلالهـا المـواد البركانيـة إلـى الفوهـة. وتعـرف أحيانـاً بعنـق البـركان بجانـب المدخنـة الرئيسـية، قـد يكـون للبـركان عـدة مداخـن تتصـل بالفوهـات الثانويـة.

- **اللافـظ الغـــــازي:** هـي السـحابة التـي تحمـل الغـازات، والأبخـرة والرمـاد الـذي يخـرج مـن البـركان.

- **غـرفة الصهيـر:** هـي الحـوض الدّاخلي للبركان حيث تتجمّع الحمم والغازات.



أجـــزاء البركـــان

مقذوفـــات البركـــان

تعرف المقذوفات البُركانيّة Ejecta بأنها كل ما يندفع من البركان، ويشمل ذلك المواد الصلبة التي تندفع منه إلى جانب غيرها من الحمم والصهارة اللزجة، حيث تزداد لزوجة الحمم البركانيّة بزيادة محتواها من السيليكا، وتقل في لزوجتها كلما انخفض. تحتوي الصهارة على بعض البلَّورات، بالإضافة لشظايا من الصخور غير المنصهرة، والقليل من الغازات المُذابة، وتتضمّن عدة عناصر مثل: الأكسجين، والسيليكون، والألمنيوم، والحديد، والمغنيسيوم، والكالسيوم، والصوديوم، والبوتاسيوم، والتيتانيوم، والمنغنيز، وعند تعرّضها للتبريد تترسب على هيئة بلَّورات من معادن مختلفة مكوّنةً الصخور الناريّة يقذف البركان بثلاثة أنواع رئيسية وهي:

مقذوفات ســـائلة

وهي نفس الصهارة الموجودة في باطن الأرض وتسمى اللافا (الحمم) بمجرد خروجها إلى سطح الأرض، وتزيد درجة حرارتها على 1100 درجة مئوية، وتنبثق الحمم من فوهة البركان، ومن الشقوق والكسور على جوانب المخروط، وتتوقف سرعة انسياب الحمم على درجة سيولتها ولزوجتها. الحمم البركانية الأكثر لزوجة وأقل سوائل تتحرك بشكل أبطأ.

مقذوفات صلبـــة

ويطلق عليها أيضا اسم تيفرا، وهي الصهارة التي تكون عالية اللزوجة لدرجة تحبس الغاز داخلها حتى تصل إلى الفتحة المركزية للبركان، ثم تنفجر الصهارة نتيجة لضغط الغاز وتنطلق في الهواء، وتتكسر إلى شظايا يختلف حجمها بحسب قوة الانفجار. من أشهر مواد التيفرا ما يلي: الحجر الخفاف – ذو اللون الفاتح، والصخور البركانية الرغوية، التي تكونت نتيجة تمدد الغاز في الحمم البركانية.

التيفـرا: لقـب يطلـق علـى أي شـظية بركانيـة في الهـواء، وتختلـف أسـماؤها باختـلاف الحجـم، مثـل: الغبـار البركانـي، والرمـاد البركانـي، والقذائـف البركانيـة (القنابـل البركانيـة) التـي يصـل قطرهـا إلـى متـر، وعـادة تكـون بيضويـة الشـكل، أو تكـون علـى هيئـة حصـاة بركانيـة لا يتجـاوز قطرهـا نصـف سـنتيمتر.

القنابـل البركانيـة: القنبلـة البركانيـة عبـارة عـن كتلـة صلبـة مـن تيفـرا أكبـر مـن 64 مم في القطـر، وتشـكلت عندمـا يقـذف بـركان شـظايا لزجـة مـن الحمـم البركانيـة أثنـاء ثـوران بركانـي. يمكـن لبعـض القنابـل أن تكـون بحجـم سـيارة صغيـرة.

أمـا الرمـاد البركانـي فقطـره أقـل مـن نصـف سـنتيمتر، ويكـون مـا يسـمى (الطفـل البركانـي) عندمـا يتراكـم فـوق بعضـه البعـض، وفي حـال اختلاطـه بالمـاء يكـون جـدولاً يغلـي ويسـمى (الطفـح الوحلـي)، وقـد تصـل سـرعة جريـان هـذا الجـدول إلـى مائـة كيلـو متـر في السـاعة.

أمـا الغبـار البركانـي فحجمـه دقيـق جـدّاً، وتحملـه الريـاح مسـافات بعيـدة. ويعتبـر أجـود أنـواع الرمـاد البركانـي ويتكـون مـن جزيئـات يقـل قطرهـا عـن 0.06 مم.

مقذوفـــات غـــازية

يرافـق الثـوران البركانـي خـروج كميـات هائلـة مـن الغـاز، وتكـون سـحباً سـوداءَ نتيجـة اختلاطهـا بالغبـار البركانـي، ويتكـون الغـاز بشـكل رئيسـي مـن بخـار المـاء، ويحتـوي علـى غـازات أخـرى أهمهـا ثانـي أكسـيد الكربـون ونيتروجـين وثانـي أكسـيد الكبريـت وهيدروجـين وكلورين. وقـد ينبعـث الغـاز والبخـار مـن البراكـين السـاكنة دون أن يصاحبهـا حمـم.

أسـبـاب النشـــاط الـبـركـانـي

يحـدث النشـاط البركانـي بسـبب عوامـل فعَّالـة في باطـن الأرض وتشـترك جميعهـا في إحـداث الثـوران البركانـي وهـذه العوامـل هـي:

الطاقة الحرارية : تعمـل علـى صهـر الصخـور وتقليـل لزوجتهـا وصعودهـا إلـى القشـرة الأرضيـة وذلـك اعتمـاداً علـى الفيـض الحـراري الأرضـي والتوصيـل الحـراري والتـدرج الحـراري. وهنـاك ثلاثـة مصـادر رئيسـة للطاقـة الحراريـة التـي تتسـبب في انفجـار البراكـين هـي:

الإشعاع الذري: وينتـج عـن عمليـات تحلـل نظائـر العناصـر المشـعة، مثـل: اليورانيـوم والثوريـوم التـي تتميـز بأنهـا توجـد طبيعيّـاً في حالـة غيـر مسـتقرة ممـا يجعلهـا تتفـكك فتنبعـث منهـا جسـيمات نوويـة إشـعاعية كهرومغناطيسـية تحمـل طاقـة هائلـة تودعهـا في المـادة المحيطـة في شـكل حـرارة تعمـل علـى تسـخين الصخـور في باطـن الأرض مؤديـة إلـى انصهارهـا.

الاحتـكاك: ويحـدث عنهـا تولـد حـرارة تكفـي لصهـر بعـض الصخـور مكونـة الصهيـر الـذي لا يلبـث أن يندفـع إلـى سـطح الأرض تحـت تأثيـر عوامـل أخـرى، مثـل: الضغـط، وكثافـة المـادة المصهـورة.

الطاقـة الحراريـة الأرضيـة: وهـي طاقـة إضافيـة موجـودة أصـلاً تحـت القشـرة الأرضيـة وناجمـة عـن وجـود الصخـور الأرضيـة في حالـة منصهـرة.

الضغـط: يعمـل الضغـط الـذي يحـدث علـى المـواد المصهـورة داخـل القشـرة الأرضيـة علـى ازديـاد حالـة عـدم اسـتقرارها وتوجيههـا للمناطـق الضعيفـة الموجـودة

في الصفائح التكتونية ويتسبب ارتفاع درجة الحرارة داخل غرفة الصهير على زيادة تمدد الغازات، ومن ثم ارتفاع درجة الحرارة داخل غرفة الصهير على زيادة تمدد الغازات، ومن ثم ارتفاع الضغط الداخلي؛ فيندفع الصهير أو يتسرب عبر الشقوق والصدوع مصحوباً بتفاعلات أكسدة الهيدروجين التي تنبعث منها حرارة (تفاعلات طاردة للحرارة) ويصحب ذلك انفجارات عنيفة مدوية داخل القصبة البركانية مكونة ينابيع من اللابة والحمم والأبخرة المتطايرة والمندفعة إلى أعلى في هيئة ثوران بركاني.

أنواع الثـوران البـركانيـة

يُمكن تقسيم البراكين تبعاً لطريقة ثوران الحمم والصهارة منها:

الانبثاق البركاني أو الانسيابي Effusive Eruptions، ويحدث هذا النوع من الثوران عندما تكون لزوجة الصهارة مُنخفضة، حيث تتدفق الحمم من سطح البركان وتنساب بهدوء مثل السوائل إلى أسفل مكان تحتويه منطقة البركان، وقد تخرج الصهارة على شكل مقذوفات لتكوّن ما يُشبه بجدار يُعرف بـ (Curtain of Fire)، أو أنها قد تخرج لتصل إلى الماء لتُشكل تحته ما يُعرف بـ (الحمم الوسادية) Pillow Lavas ، وفي حال احتوت الصهارة على نسبة قليلة من الغازات الذائبة فيها بالإضافة إلى لزوجتها العالية، فإن الحمم ستستقر وتتراكم على فوهة البركان.

تتميز الانفجارات الانسيابية بتدفق الحمم البركانية على السطح، ويمكن أن تطول هذه الانفجارات وتندلع كميات كبيرة من الصخور لكنها ليست أكثر رقة واستمرارية من البراكين المتفجرة. الحمم النموذجية هي بازلت وهو سائل للغاية ويمكن أن يتدفق مع ظهور الماء وأنديسايت وهو أكثر لزوجة وينتج تدفقات قصيرة. الداسيت والريولايت شديد اللزوجة وغالباً ما يشكلان قباباً من الحمم البركانية.

تتشكل الحمم الوسادية Pillow Lava عندما تنبثق الحمم البازلتية تحت الماء وسائد دائرية من الحمم تحيط بها مواد صلبة بنية اللون تسمى البيروكلاست Pyroclastic بنية اللون

- **الانفجار البركاني** Explosive Eruptions، ويحدث هذا النوع من الثوران عندما تكون لزوجة الصهارة عالية وتحتوي على نسبة عالية من الغازات المُذابة بها، فعندما تنفجر فقاعات هذه الغازات داخل الصهارة فإنها ستتحول إلى حبيبات صغيرة من الصهارة الساخنة، ويؤدي انفجارها وتطايرها في الهواء إلى تبريدها لتنزل على الأرض على شكل حبيبات من الرماد البركاني أو على شكل مواد صلبة تُسمى بـ (البيروكلاست).

- **تحدث الانفجارات البركانية** بسبب الصهارة الفلزية الغنية بالغاز، التي تتماوج داخل غرفة الصهارة. عندما يصبح الضغط كبيراً جدّاً، تخترق الصهارة الصخور فوق الحجرة وتنفجر.

تدفق البيروكلاستيك Pyroclastic يدخل البحر

تصنيف الصخور البركانية

تتكون الصخور الناريّة السطحيّة عندما تخرج الماغما Magma إلى سطح الأرض، وتسمى عندئذ لافا Lava وتبرد وتتصلب بسرعة بسبب تعرضها لدرجات الحرارة المنخفضة نسبياً، وتتكون هذه الصخور عند ثوران البراكين، أو في شقوق الرواسب البحرية الطينية (Ooze)، وهذا لا يُعطي بلَّورات المعادن فرصة للتكوّن، لذا تكون صغيرة الحجم، فتُكوّن نسيجاً ناعماً أو زجاجيّاً، ومن أهمّ صخور هذا النوع: ريوليت Rhyolite: يُعد شبيهاً بصخر الجرانيت إلّا أنّ بلَّوراته أصغر، ويُصنّف على أنّه من الصخور البركانية السطحية، ويتكوّن من معادن الكوارتز، والفلسبار، والمايكا، والهورنبلند.

- **أنديزيت** Andesite يُعدّ الأنديزيت من الصخور الناريّة السطحية، ويحتوي على نسبة عالية جدّاً من السيليكا، وهي أعلى من نسبتها في صخور البازلت لكنها أقلّ منها في صخور الفيلسيت.
- **بازلت** Basalt يُمكن أن يكون البازلت صخراً سطحيّاً أو جوفيّاً، ويُشكل جزءاً كبيراً من القشرة المحيطيّة، حبيبات البازلت صغيرة جدّاً، ويتكون من: البيروكسين، وفلسبار البلاجيوكليز، والأوليفين، ويقابله صخر الجابرو الجوفي.
- **لاتيت** Latite يتكوّن بشكل كبير من الفلسبار القلوي، ونسبة قليلة أو معدومة من الكوارتز، ويُقابله صخر المونزونايت من الصخور الجوفية.
- **بيرلايت** Perlite تتكوّن من اللافا الغنيّة بالسيليكا، التي تحتوي على كميّة كبيرة من الماء، ويُعدّ من الصخور المهمة في الصناعة.

- **سكوريا** Scoria يُعدّ السكوريا من الصخور الناريّة السطحيّة خفيفة الوزن، ويتميّز بلونه الغامق، وهو غالباً أحد نواتج اللافا البازلتية قليلة السيليكا، كما يتميز بوجود فقاعات غازية كبيرة.

- **الخفاف** Pumice يُعدّ الخفاف من الصخور الناريّة السطحيّة الهشَّة، ويتميز بوجود فقاعات من الغاز تكوّنت بسبب تبريد اللافا.

- **تف** Tuff يُعدّ التفّ من الصخور الرسوبيّة، فهو يتشكّل من تجمع الرماد البركاني مع صخر الخفاف أو السكوريا، لكنه يتكون أثناء العمليات البركانية، تحديداً عند خروج اللافا الغنية بالسيليكا، التي تحتفظ بالغازات على شكل فقاعات، لكن عند تتحطم هذه اللافا إلى قطع مسننة يُطلق عليها اسم تفرا Tephra.

- **داسيت** Dacite يتكوّن من معادن البلاجيوكليز، والكوارتز، والبيروكسين، والهورنبلند، وهو الصخر المقابل للصخر الجوفي تونالیت.

- **أوبسيديان** Obsidian يُعدّ الأوبسيديان من الصخور البركانيّة الزجاجية اللّامعة، ويتكون عندما تبرد اللافا بسرعة كبيرة جدّاً ما لا يسمح للبلَّورات بالتكوّن، وعندما يُكسر فإنّه ينكسر بشكل مخروطيّ مُميّز، ويتميّز بلونه الأسود أو الأخضر الداكن.

- **كوماتايت** Komatiite يُعدّ الكوماتايت من الصخور السطحية النادرة، ويقابل صخر البيريدوتايت من الصخور الجوفية، ويحتوي على نسبة عالية من الأوليفين.

تـف

أنديزيت

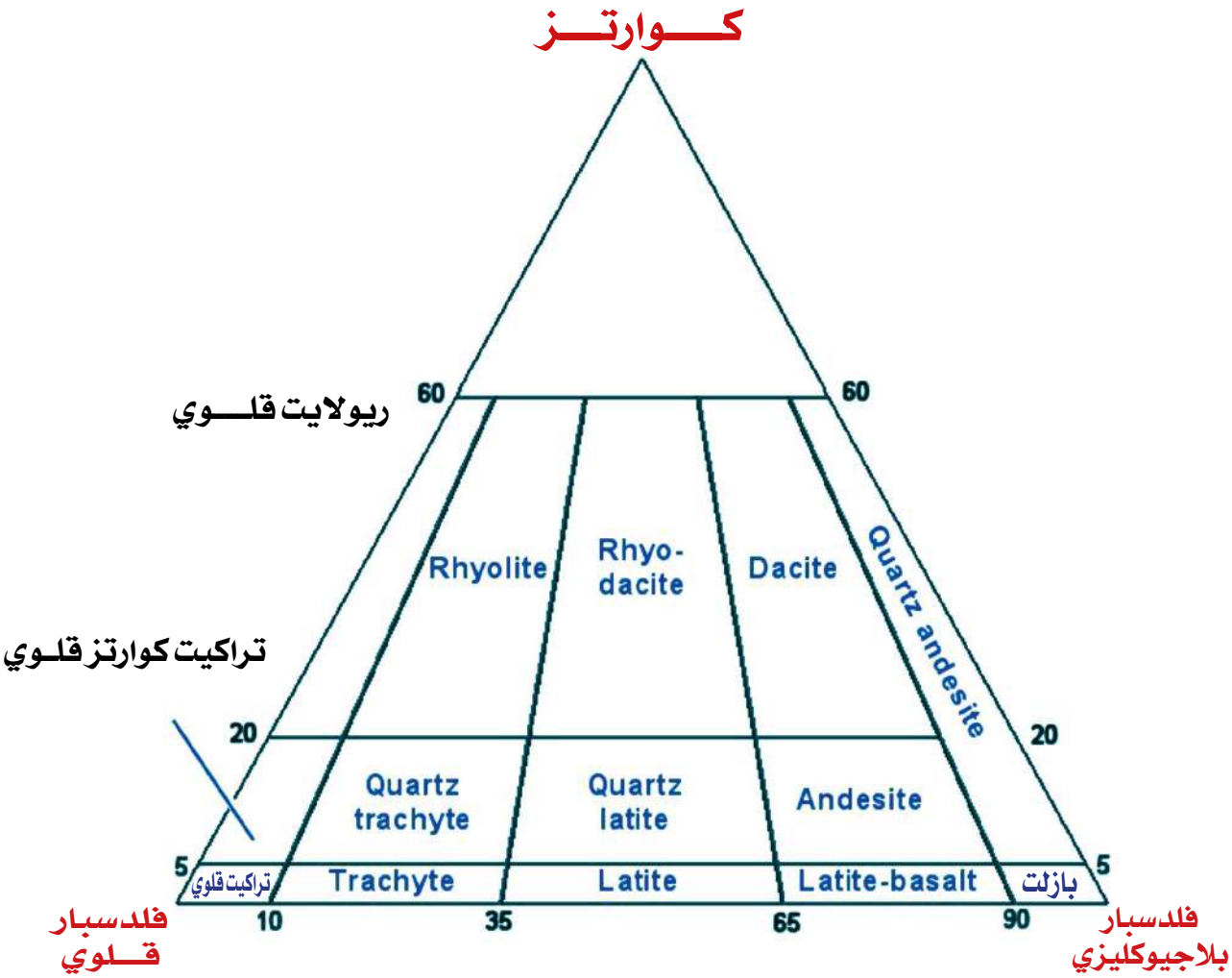
بازلـت

أوبسيديان

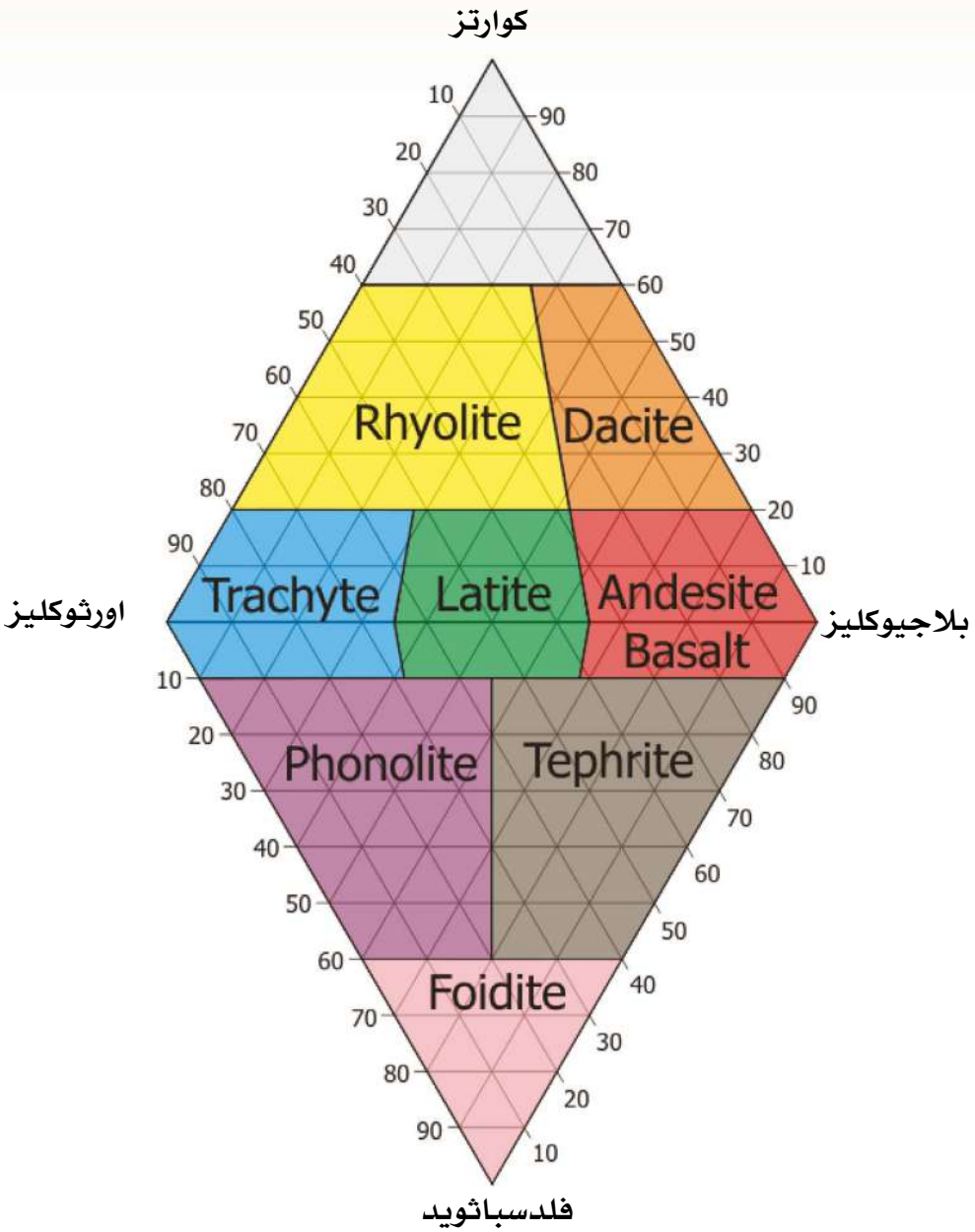
(خفاف (بيومس

ريولايت

عينات من الصخور البركانية الجوفية والسطحية



تصنيف الصخور النارية البركانية (Winter, 2001)



مخطط تصنيف الصخور النارية للصخور البركانية طبقاً لـ IUGS.

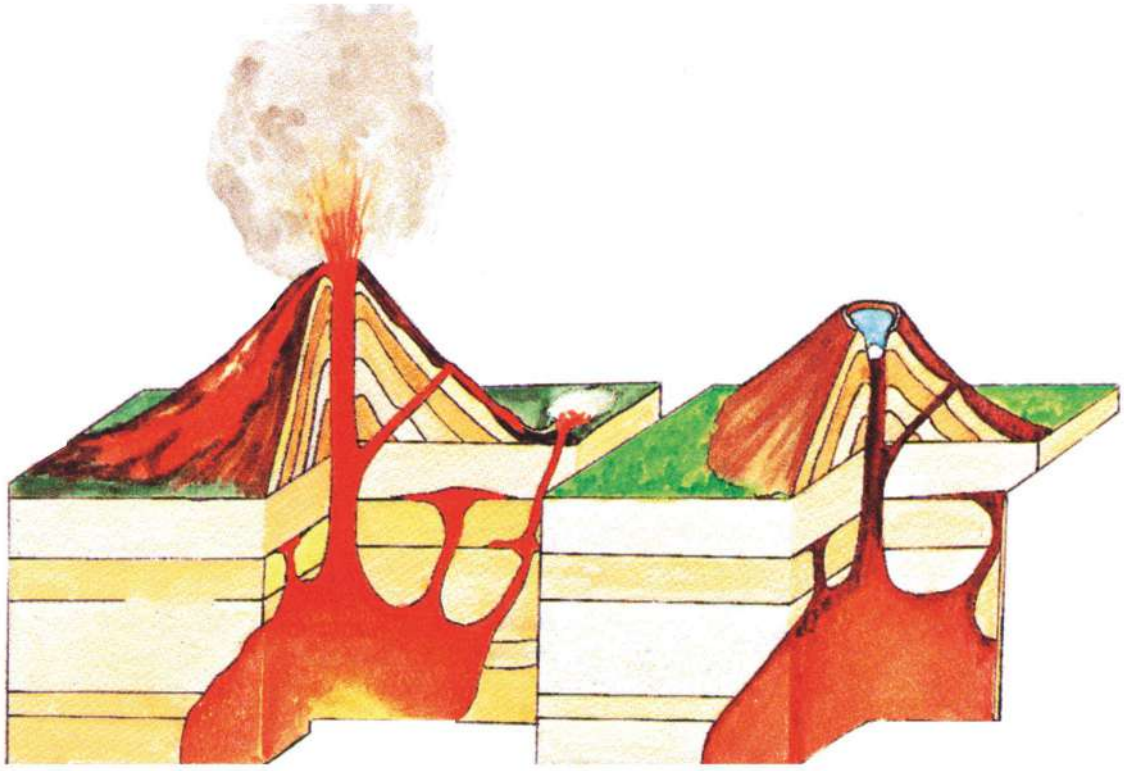
أنـــــواع الـــبراكـين

تنقسم البراكـــين من حيث نشـــاطها إلى ثلاثـــــة أنـواع هي:

البراكين النشطة براكين دائمة الثورة منذ نشأتها ولا تتوقف عن النشاط وتنبعث منها الحمم والمواد البركانية باستمرار، و يبلغ عددها على سطح الكرة الأرضية حوالي 467 بركاناً، ومن أمثلة البراكين النشطة بركان مونالوا وموناكيا في هاوايي وبركان فيزوف في إيطاليا .

البراكين النائمة براكين التي تتوقف عن النشاط لفترة زمنية قصيرة، ثم تثور مرة أخرى ثم تتوقف ويكرر نشاطها على فترات متقطعة، ومن أمثلة البراكين النائمة بركان مونت تمبورا، بركان كراكاتوه في أندونسيا، وبركان مونت بيليه في المارتينيك، وبركان مونت سان هيلين في ولاية واشنطن بأمريكا . وتعتبر البراكين النائمة أخطر أنواع البراكين، ويكمن خطرها على الإنسان وممتلكاته في الأمان الظاهري الذي يحسه في فترات سكونها، ثم ثورتها البركانية فجأة على حين غفلة.

البراكين الخامدة عكس البركان النشط، فهو لا يُخرج أي مواد منه، وتتحول مع مرور الوقت لجبال بركانية وهي براكين لم يحدث لها نشاط بركاني منذ فترة طويلة جدّاً تزيد على 25 ألف عام ومن أمثلة ذلك البراكين التي كونت الصخور البركانية الاندزيتية والريولاتية والبازلتية التابعة للعصور الجيولوجية (من عصر ما قبل الكمبري إلى العصر الثلاثي والرباعي) مثل حرات المملكة العربية السعودية وكلها عبارة عن براكين خامدة لم تثر منذ ما يربو على 1.8 مليون عام تقريباً .



البركان النشط والقائم

لا يختلف البركان الخامد في شكله عن البركان النائم ومن مميزاتهما تكون حوض على قمة الفوهة يمتلئ بالمياه السطحية ليكون ما يعرف باسم) بحيرة الفوهة) وقد يصل قطر هذه البحيرة إلى عشرة كيلو مترات نتيجة لتكرار الثوران البركاني وما يصحبها من عمليات هدم وتكهف في جوانب المخروط إلى داخل البركان، ويسمى هذه التركيب باسم (الحوض المرجلي) (كالديرا).

- **البراكيـن البحريـــة** براكين تنشط في قيعان المحيطات محدثة حرارة عالية في المياه إلا أنها لا تلبث أن تهدأ سريعاً لكن قد يكون لها أثر في تغيير بعض معالم قاع المحيط. ويمكن الكشف عنها من خلال انبعاث الغازات منها على سطح المحيط، وتستمر بانبعاث الغازات مؤديةً لتغير لون المياه فوق البركان.

بركان بحري. تنمو البراكين المغمورة ببطء إلى أعلى عن طريق الثورات البركانية المتكررة. عندما يصل إلى سطح الماء، يتحول إلى جزر بركانية.

- **البراكـــين الجليديـــة** تنشأ تحت القمم الجليدية، وبسبب ذوبان الجليد تبدأ اللافا بالانهيار مُكوِّنةً قمةً مسطحةً للجبل. عندما تضرب الأمواج الحافة الأمامية، فإنها تحفر عبر الجليد، وتطلق الماء لأعلى في الهواء. مع استمرار هذه العملية، يتجمد الماء المقذوف باستمرار، مما يؤدي إلى زيادة حجم البركان الجليدي مع كل (ثوران).

- **البراكـــين الطينيـــة** تخرج من باطن الأرض، ويحدث بركان طيني في مناطق الانقسام، عندما تتحرك إحدى الصفائح التكتونية للأرض تحت أخرى، مما يؤدي لغرقها بسبب الجاذبية عند نقاط التقارب، وعادةً ما تُطلق ثورات بركان الطين غازات، خاصةً الكميات الكبيرة من الميثان وكميات أصغر من النيتروجين وثاني أكسيد الكربون، وتترسب على شكل طين، وتُعدّ التربة الناتجة عن البركان الطيني تربةً خصبةً جدّاً.

نموذج لبركان طيني

- إن حقيقة البحر المشتعل أو البحر المسجور أصبحت يقيناً ثابتاً فنحن نستطيع اليوم مشاهدة الحمم المنصهرة في قاع المحيطات وهي تتدفق وتُلهب مياه المحيط، ثم تتجمَّد وتشكل سلاسل من الجبال قد يبرز بعضها إلى سطح البحر مشكلاً جزراً بركانيةً. هذه الحقيقة العلمية لم يكن يعلمها أحد أثناء نزول القرآن ولا بعده بقرون طويلة، و قد ذكر الله ﷻ هذا النوع من البراكين في كتابة حيث قال ﴿وَٱلۡبَحۡرِ ٱلۡمَسۡجُورِ﴾ : [الطور: 6] أي البحر الذي يتوقد ناراً ﴿وَإِذَا ٱلۡبِحَارُ سُجِّرَتۡ﴾ [التكوير:6] وروى عبد الله بن عمرو أن رسول الله ﷺ قال: (**لا يركب البحر إلا حاجاً أو معتمراً أو غازياً في سبيل الله فإن تحت البحر ناراً و تحت النار بحراً**) رواه أبو داود.

ظاهرة البحر المسجور ظاهرة كونية طبيعية. أما وصف البحر بأنه مسجور فقد جاء هذا الوصف من الفعل سَجَرَ، ومعناه تهيّج النار، والبحر المسجور يعني الممتلئ بالماء والمكفوف عن اليابسة، الذي يكفه الله تعالى بقدرته؛ كي لا يفيض على الأرض ويُغرق أهلها، فالله تعالى ذكر أنه أسجر قاع البحر حتى أصبح مكفوفاً؛ أي أوقد في قاعه ناراً عظيمة حتى حمي قاعه، وأصبح مكفوفاً قادراً على حمل الماء.

بركان عدن يعتبر من أقوى وأعظم البراكين الموجودة على وجه الأرض، رغم أنه من البراكين الخاملة غير ثائر

ذكر في صحيح مسلم قال رسول الله ﷺ بعد ما ذكر تسع علامات كبرى (نار تخرج من قعر عدن ترحل الناس) وفي رواية أخرى (تطرد الناس إلى محشرهم) ولم يكن أحد يعلم منذ ذلك العصر القديم أن عدن تقع فوق بركان عظيم حتى جاءت الدراسة البريطانية في ستينيات القرن الماضي فقط؛ لتؤكد صدق حديث رسول الله ﷺ حيث سمى العلماء هذه المدينة مدينة (فوهة البركان) لعظم هذا البركان.

أشـــكال البراكـــين

تتحكم عدة عوامل في شكل وحجم البركان. وتشمل هذه: حجم المنتجات البركانية وطول الفترة الفاصلة بين الانفجارات ومكونات المنتجات البركانية و تنوع أنواع الثوران البركاني والشكل الهندسي لفتحة التهوية والبيئة التي اندلعت فيها المنتجات البركانية. يميل ثوران الصهارة شديدة اللزوجة (شديدة اللزوجة) إلى إنتاج براكين شديدة الانحدار بمنحدرات تتراوح بين 30 و 35 درجة. ذلك لأن المادة البركانية اللزجة لا تتدفق إلى هذا الحد بعيداً عن مكان اندلاعها؛ لذا فهي تتراكم في طبقات تشكل بركاناً مخروطي الشكل يُعرف باسم (البركان الطبقي) Stratovolcano. من ناحية أخرى، تحتوي البراكين الدرع Shield Volcanoes على منحدرات لطيفة تقل عن 10 درجات، وتنفجر بحمم أكثر سائلة تسمى البازلت. عندما ينفجر بركان درعي، يمكن أن يتدفق البازلت لمسافات كبيرة بعيداً عن الفتحة لإنتاج منحدرات واسعة لطيفة.

البراكـــين المخروطيـــة

يقذف الثوران البركاني المتوسط الشدة والقوي الغبارَ والرماد البركاني واللابة في الهواء، لتصل إلى ارتفاعات كبيرة، ثم تتصلب المادّة المقذوفة بسرعة في الهواء، وتعود إلى الأرض على شكل مخروطٍ. يختلف شكل المخروط البركاني باختلاف المواد التي يتركب منها. فإذا كان المخروط يتركب كلية من الحطام الصخري، فإننا نجده مرتفعا شديد الانحدار بالنسبة للمساحة التي تشغلها قاعدته. وتتمثل في جزر إندونيسيا.

نموذج لبركان مخروطي حديث.

البراكـين الدرعيـــة (الهضبية)

تنشأ نتيجة تدفق اللابة البازلتية في صورة طبقات أفقية منبسطة والغنية بالحديد والماغنسيوم والقليل من السيليكا وتراكمها حول فوهة رئيسية ولهذا تبدو قليلة الارتفاع بالنسبة للمساحة الكبيرة التي تشغلها. وتبدو قممها أشبه بهضاب محدبة تحدباً بسيطاً وقد نشأت هذه المخاريط من تدفق مصهورات اللافا الشديدة الحرارة والعظيمة السيولة. إن البراكين الدرعية منخفضة وواسعة نظراً لأن الحمم البركانية تكون سائلة فهي أقل لزوجة من حمم البراكين الطبقية - ومن ثم فهي تنتقل سريعاً وبعيداً عن فوهات البراكين، وتتمثل هذه البراكين الهضبية براكين جزر هاواي كبركان مونالوا الذي يبلغ ارتفاعه 4100م.

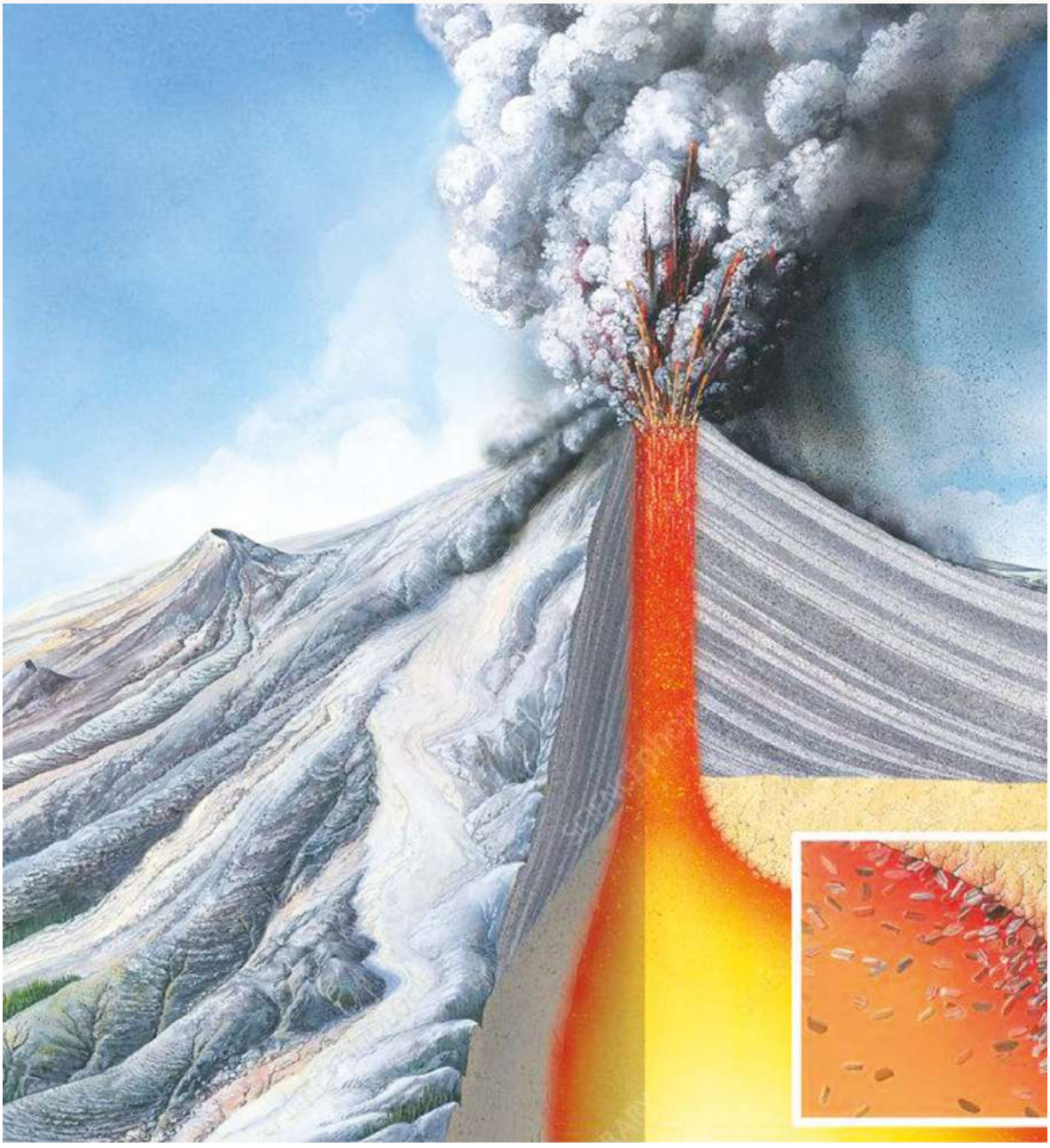
شكل البركان الدرعي

البراكين الطباقية (المركبة)

البراكين الطباقية تتكون البراكين الطبقية في المناطق الساحلية وعلى الجزر في مناطق الطرح القاري (حيث تعلو القشرة القارية فوق القشرة المحيطية). ولا تثور هذه البراكين كثيراً بيد أن ثوراتها غالباً ما تكون عنيفة، وتأخذ شكل مخروطي ذي فوهة على القمة. قد تكون الفوهة عبارة عن بحيرة بركانية أو

حفرة تفجرت أثناء ثورة البركان العنيفة. تتركب مخروطاتها من مواد الحطام الصخري ومن تدفقات اللافا التي يخرجها البركان حين يهدأ ثورانه. وتكون اللوافظ التي تخرج من البركان أثناء الانفجارات المتتابعة طبقات بعضها فوق بعض، وتتداخل اللافا في هيئة أشرطة قليلة السمك. ومن هذا ينشأ نوع من الطباقية في تركيب المخروط. قد يكون صخر الأنديسايت (الذي سمي على اسم جبال الأنديز) هو النوع الصخري الأكثر شيوعاً من البراكين الطبقية، لكن البراكين الطبقية تندلع أيضاً مجموعة واسعة من الصخور المختلفة في بيئات تكتونية مختلفة.

ومن أمثلة ذلك جبل إتنا في إيطاليا وجبل سانت هيلينز في الولايات المتحدة وجبل كوتوباكسي في الإكوادور وجبل فوجي في اليابان وجبل بيناتوبو في الفلبين ومنها ايضاً بركان جبل القدر شمال شرق المدينة المنورة.



شكل البركان الطباقي (المركب)

براكـــين الشـــقوق

تتدفق عبر شقوق هذا النوع من البراكين لافا شديدة الميوعة ذات حرارة مرتفعة جدّاً، وتغطي مساحات من القشرة الأرضية وتأخذ اللافا (اللابة) بعد تبردها وتحولها إلى الحالة الصلبة شكل التضاريس الأصلية المنطقة التي تدفقت فيما، وفي مثل هذه الحالة تتشكل مباشرة فوق الشق مخاريط من الرماد البركانى، أو حواجز كاملة من الرماد، لكن هذه الأشكال تتهشم بسرعة تحت تأثير عوامل التعرية، وكانت براكين الشقوق أكثر انتشاراً أثناء فترات جيولوجية سابقة، ويطلق على هذا النوع من البراكين اسم البراكين اللافية.

نموذج أحد الحمم البركانية أو براكين الشقوق

البحيـــرات البركانيـــة (الكالديـــرا)

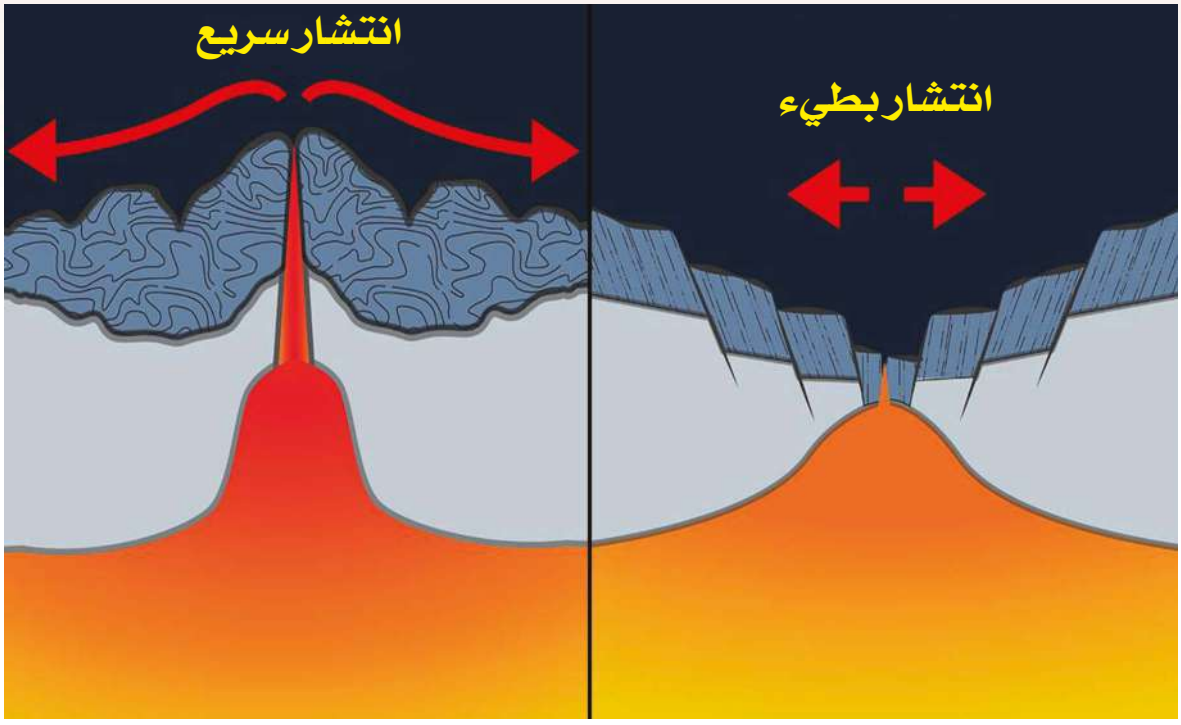
يحدث في بعض الحالات من الاندفاع البركاني ذات الانفجارات الحاوية المواد الغازية، أن تتحطم الأجزاء الداخلية من البركان وتقذف صخورها على شكل قطع مختلفة الأشكال والأحجام، وتتشكل في هذه الحالة مناطق فارغة داخل جسم البركان، ويمكن لمثل هذه الفراغات أن تتكون كذلك في حالة توقف الماجما Magma عن الخروج، وقد يصل امتداد هذه الفراغات الى سطح البركان، وعندئذ يتشكل على السطح منخفض عميق حوضي الشكل له جوانب قائمة أو شديدة الانحدار يطلق عليه اسم كالديرا، يبلغ قطره عشرات الكيلو مترات.

شكل الحوض المرجلي (كالديرا)

مناطـق النشـاط الـبركـانـي

يعـد النشـاط البركانـي ذا صلـة وثيقـة بأجـزاء الأرض التـي تكثـر بهـا الهـزات الأرضيـة ممـا يـدل علـى أن عمليـات البركنـة ذات علاقـة بالعمليـات الأرضيـة التـي تحـدث علـى أعمـاق كبيـرة تحـت القشـرة الأرضيـة قـد تصـل أحيانـاً إلـى 700 كيلـو متـر. وعمومـاً تنحصـر مناطـق النشـاط البركانـي في وسـط المحيطـات ومناطـق الاندسـاس وعلـى طـول الحـواف الجانبيـة للصفائـح التكتونيـة وداخلهـا وذلـك علـى النحـو التالـي:

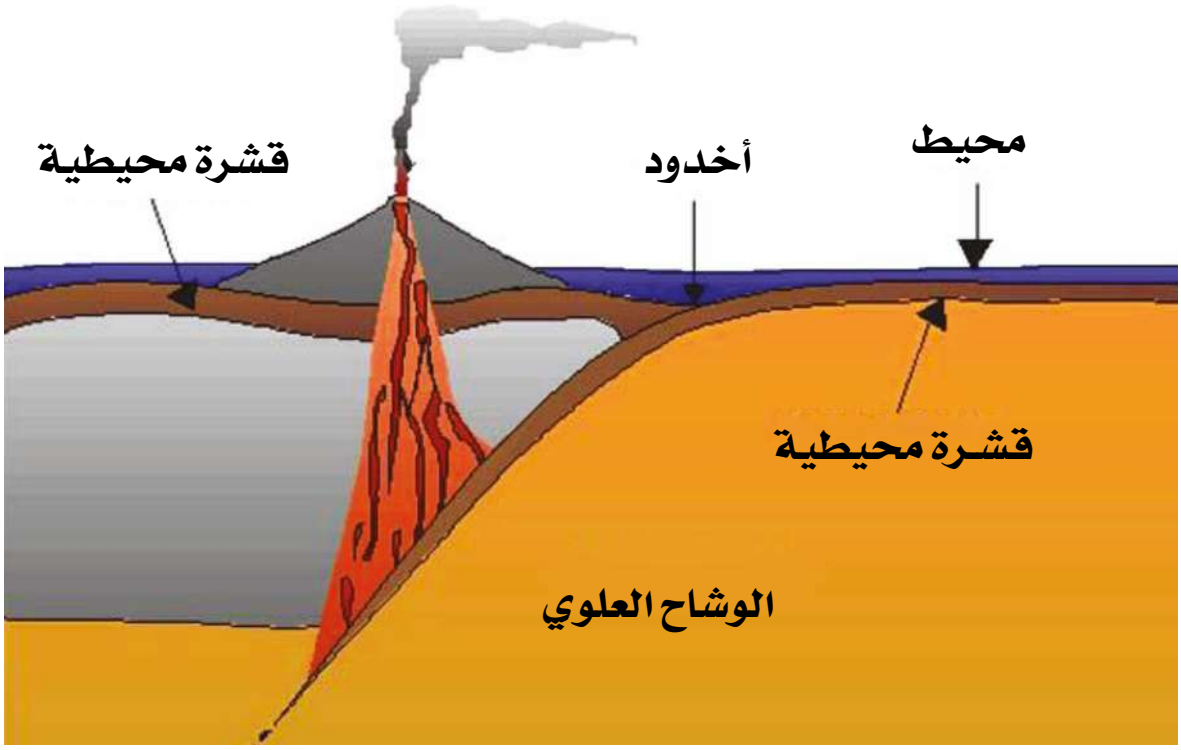
- **مرتفعـات وسـط المحيـط:** ينشـأ النشـاط البركانـي في هـذه الحالـة علـى طـول مرتفعـات وسـط المحيـط عنـد حـدود تباعـد الصفائـح التكتونيـة حيـث ندفـع الصهيـر مـن باطـن الأرض (الوشـاح العلـوي) عبـر شـقوق موجـودة علـى طـول حيـد منتصـف المحيـط (Mid Oceanic Ridge) تـاركا اللابـة تتجمـد تحـت ميـاه البحـر لتكويـن مـا يعـرف باسـم (الحمـم الوسـائدية) التـي تتولـد منهـا قشـرة محيطيـة جديـدة.



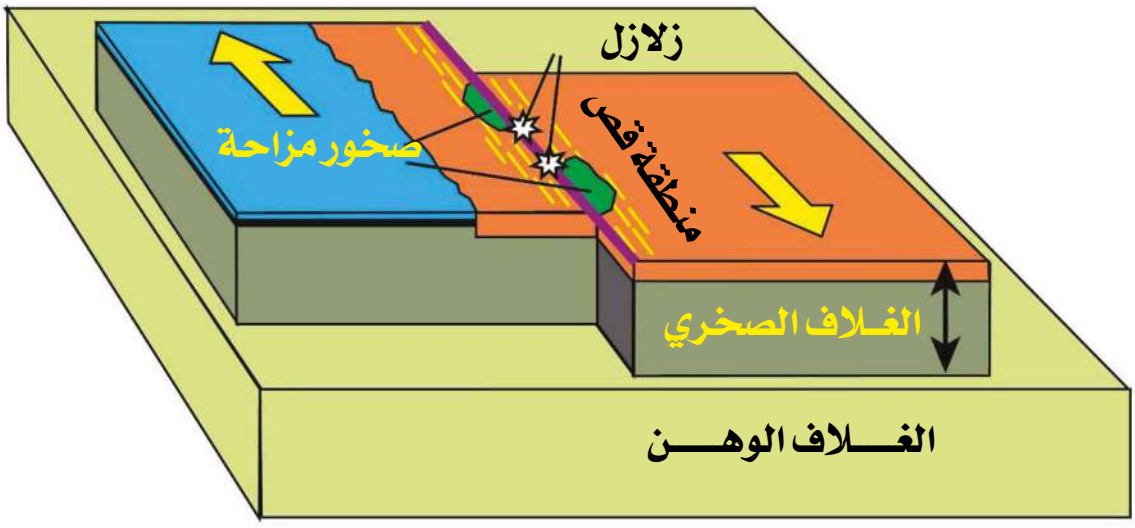
تكون الحواف المنتشرة بشكل أسرع مثل ارتفاع شمال وجنوب شرق المحيط الهادئ (أكثر سخونة)، مما يعني وجود المزيد من الصهارة أسفل محور التلال وتحدث المزيد من الانفجارات البركانية. نظراً لأن الصفيحة الموجودة أسفل قمة التلال أكثر سخونة، يعتقد العلماء أن اللوحة تستجيب لعملية الانتشار المتباينة بشكل أكثر مرونة. بينما في التلال البطيئة المنتشرة، مثل سلسلة جبال وسط الأطلسي الشمالية، يتصرف قاع البحر مثل النوجا أو ألواح الشوكولاتة الباردة - عندما يتم سحبها بدرجة كافية تتشقق وتتكسر. تتكسر قشرة المحيط عند التلال البطيئة الانتشار إلى التلال والوديان مع تجزئة قاع البحر.

- **حواشي القارات** ينشأ النشاط البركاني في هذه الحالة عند حدود تقارب الصفائح التي تسمى إما بمناطق الأندساس إما مناطق التخطي ويرتبط بمناطق الاندساس أو التخطي ما يعرف باسم (أقواس الجزر) حيث تكون العدد الأكبر من البراكين غير المغمورة تحت الماء التي هي عبارة عن مرتفعات وعرة شديدة إنحدار الجوانب مكونة من فيوض اللابة والحمم والرماد البركاني ومن أمثلة ذلك تكون أقواس جزر المحيط الهادي التي

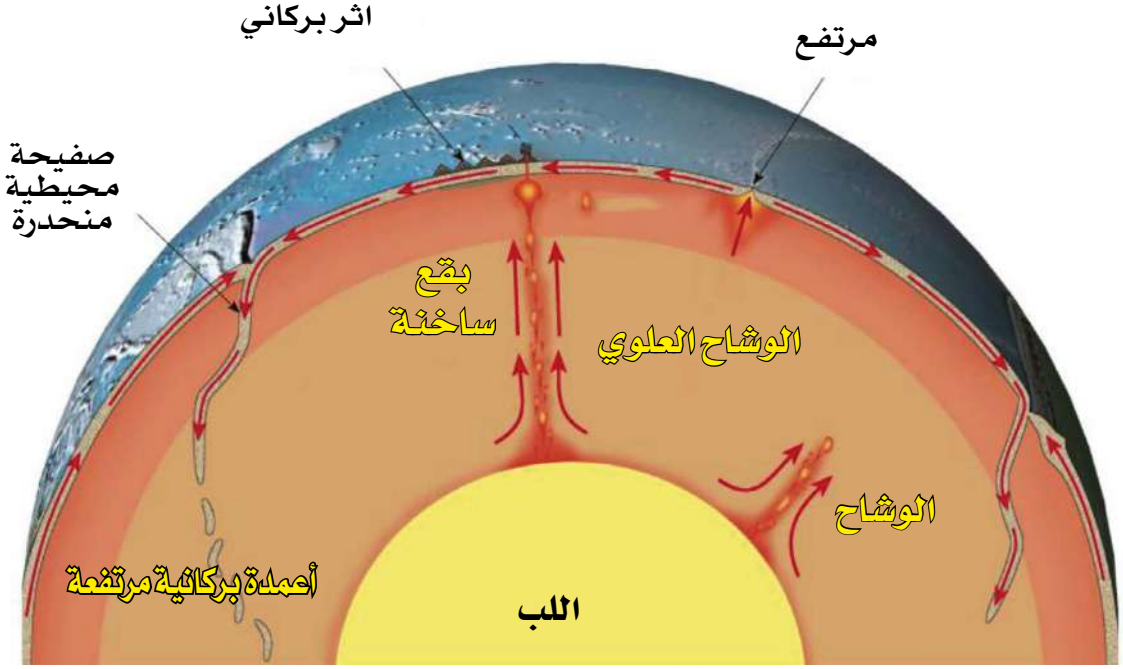
تشـكل نظـام دائـري حـول المحيـط وتشـيع فيـه أحزمـة الجبـال المشـهورة في العالـم المعروفـة باسـم (حلقـة النـار) نظـراً لتكـرار حـدوث الـزلازل عميقـة البـؤرة فيـه وكثـرة الثـوران البركانـي كمـا في اليابـان والفلبـين وألاسـكا وغـرب أمريـكا الشـمالية وأمريـكا الجنوبيـة.



- **الحواف الجانبية للصفائح** يمكن للنشاط البركاني أن ينشأ عند مناطق الصدوع المحولة (Transform Faults) وهي عبارة عن كسور في القشرة الأرضية تنزلق على طولها الصفائح بجانب بعضها البعض متلائمة وتناسب ببطء ويحب ذلك نشاط زلزالي (خاصة الزلازل ضحلة البؤرة) وخروج بعض الصهير.



- **داخل الصفائح التكتونية** لا تخلو أواسط الصفائح التكتونية من نشاط بركاني وفي هذه الحالة ينشأ العديد من البراكين دائمة النشاط فوق مناطق البقع الحارة حيث تستمد الصهير من جوف الأرض عبر مصدر يسمى (نافورات الوشاح)، ومن أمثلة ذلك سلسلة الجزر البركانية التي تشكل أرخبيل هاواي في وسط صفيحة المحيط الهادي.



يُعتقد أن البقع الساخنة ناتجة عن أعمدة الوشاح - أجسام من مواد أكثر دفئاً وأخف وزناً داخل الوشاح ترتفع بالحمل الحراري. هذه الأعمدة ترتفع لها رأس عمود منتفخ يغذيه ذيل طويل وضيق. عندما يصطدم الرأس بقاعدة الغلاف الصخري، فإنه ينتشر إلى الخارج. يُعتقد أن أقطار رؤوس الأعمدة هذه تتراوح بين 500 و 1000 كم تقريباً. مع ارتفاع العمود، ينخفض الضغط، بينما تظل درجة الحرارة مرتفعة. يتسبب هذا في ذوبان مادة الوشاح الساخن، أي تولد كميات كبيرة من الصهارة. يُعتقد أن مقاطعات البازلت ذات الفيضانات الهائلة على الأرض يتم إنتاجها عندما تصل أعمدة الوشاح الكبيرة إلى الغلاف الصخري.

ومن المعلوم أن معظم البراكين توجد ضمن أحزمة الجبال الحديثة التي لها صلة وثيقة بحدود الصفائح التكتونية في المناطق التي حدث بها تجعد وطي وتكسر حديث وقد تم خلال الخمسمائة سنة الأخيرة اكتشاف ما يقرب من 615 بركاناً نَشِطاً منها حوالي 30 بركاناً يثور كل عام تقريباً، ويوجد حوالي 80 بالمائة من هذه البراكين النشطة ضمن ما يسمى (حلقة النار)، الذي يمتد على السواحل الشرقية من المحيط الهادي فوق مرتفعات الأنديز إلى أمريكا الوسطى والمكسيك، وفوق مرتفعات غربي أمريكا الشمالية إلى جزر الوشيان ومنها إلى سواحل شرق قارة آسيا إلى جزر اليابان والفليبين ثم إلى جزر إندونيسيا ونيوزيلندا.

كذلك يوجد الكثير من البراكين الضخمة في المحيط الهادي، ومنها براكين جزر هاواي، التي ترتكز قواعدها في المحيط على عمق نحو 5000م، وترتفع فوق سطح مياهه أكثر من 4000 م.

وفي جنوب أوربا هناك براكين نشطة ومنها بركان فيزوف المشهور قُرب نابولي بإيطاليا، وأتنا بجزر صقلية وأسترو مبولي في جزر ليباري.

وفي مرتفعات غربي آسيا من أشهر براكينها أرارات واليوزنز. وفي شرق افريقيا نجد براكين كلمنجارو. عموماً هناك توزيعان كبيران للبراكين:

الأول : (دائرة الحزام الناري)، وتقع في المحيط الهادي.

والثاني: يبدأ من منطقة بلوشستان إلى إيران، فآسيا الصغرى، فالبحر الأبيض المتوسط ليصل على جزر آزور وكناري ويلتف إلى جبال الأنديز الغربية في الولايات المتحدة.

طـــرق إثـــارة الـبركـــان

كما ذكرنا توجد البراكين بالقُرْب من حواف قطع الصفائح أماكن ضعيفة تعرف بالشروخ (Cracks) أو الشقوق. ونتيجة وجود الصخور في أعماق كبيرة بالأرض حيث درجة الحرارة والضغط المتزايدين، تذوب هذه الصخور وتتحول إلى حمم. وتبقي هذه الحمم تحت ضغط كبير، وهذا يساعدها على حفر نفق إلى أعلى خلال الشروخ، فتندفع وتخرج لمسافات تتراوح ما بين 20 و 150 كيلومتراً. وتترسب الحمم بالقُرْب من فوهة البركان، ثم تبرد وتتكون التلال والجبال. وكلما كانت الحمم الخارجة أكبر، كلما كان البركان أعلى وأعرض.

ويثور البركان بطرق مختلفة. فقد يُطلق جدولاً (Stream) من الحمم المتألقة عالياً في الهواء مثل نافورة نارية ضخمة، أو قد يُطلق كتلاً صلبة من الصخور الحمراء الساخنة والجمرات (Cinders) إلى الخارج، أو قد ينتج عن البركان نهر من الحمم خلال الشروخ وعلى جانبيها. فإذا كانت الحمم خفيفة فإنها تنتشر وتصنع بركاناً عرضاً مستوياً، وإذا كانت الحمم سميكة صنعت بركاناً مخروطي الشكل بجوانب منحدرة.

ينتج عن النشاط البركاني عدد من الظواهر المختلفة، أهمها:

الينابيع الساخنة Hot Springs أو الينابيع الحرارية - الينابيع الساخنة هي نبع ينتج عن خروج المياه الجوفية الساخنة من القشرة الأرضية. يتم تسخين المياه المنبعثة من الينابيع الساخنة بواسطة الحرارة من باطن الأرض. إذا تسربت المياه / تسربت بعمق كافٍ في القشرة، فسيتم تسخينها عند ملامستها للصخور الساخنة. يتم تسخين مياه الينابيع الساخنة بهذه الطريقة.

السـخان Geyser هـو نـوع مـن الينابيـع السـاخنة التـي تنفجـر بشـكل دوري، وتخـرج عمـوداً مـن المـاء السـاخن والبخـار في الهـواء. ينفجـر السـخان عندمـا تصبـح الميـاه الجوفيـة شـديدة السـخونة، المحصـورة في العمـق، سـاخنة بدرجـة كافيـة لتشـق طريقهـا إلـى السـطح. السـخانات هـي ميـزات نـادرة للغايـة. تحـدث فقـط عندمـا تكـون هنـاك مصادفـة لظـروف غيـر عاديـة. يوجـد في جميـع أنحـاء العالـم حوالـي 1000 ينبـوع مـاء حـار، ومعظمهـا يقـع في منتـزه يلوسـتون الوطنـي الأمريكـي.

التنفيـس Fumaroles في سـطح الأرض الـذي ينبعـث منـه البخـار والغـازات البركانيـة. المصـدر الرئيسـي لبخـار المـاء المنبعـث مـن الفومـارول هـو الميـاه الجوفيـة التـي يتـم تسـخينها بواسـطة أجسـام الصهـارة الموجـودة بالقُـرْب نسـبيّاً مـن السـطح. عـادةً مـا ينبعـث ثانـي أكسـيد الكربـون، وثانـي أكسـيد الكبريـت وكبريتيـد الهيدروجيـن مباشـرة مـن الصهـارة. غالبـاً مـا توجـد Fumaroles علـى البراكيـن النشـطة خـلال فتـرات الهـدوء النسـبي بيـن الانفجـارات. ترتبـط Fumaroles ارتباطـاً وثيقـاً بالينابيـع السـاخنة والسـخانات. في المناطـق التـي يرتفـع فيهـا منسـوب الميـاه الجوفيـة بالقُـرْب مـن السـطح، يمكـن أن تتحـول الفومـارول إلـى ينابيـع سـاخنة.

فومارول Mofette عبارة عن تنفيس بخار بركاني طبيعي غني بثاني أكسيد الكربون.

فومارول Solfatara عبارة عن تنفيس بخار بركاني طبيعي غني بغازات الكبريت.

أنـــواع الحمم والطفـــوح البركانيـــة

كما ذكرنا هناك عدة أنواع مختلفة من البراكين: البراكين الطبقية شديدة الانحدار، والبراكين ذات الدرع العريض، وقباب الحمم البركانية. يعتمد شكل البركان في الواقع على أنواع الحمم البركانية التي يتكون منها. وهكذا، هناك عدة أنواع مختلفة من الحمم البركانية. يعتمد نوع الحمم البركانية الخارجة من البركان على محتواها المعدني. بعض الحمم البركانية رقيقة جدّاً، ويمكن أن تتدفق من بركان في أنهار كبيرة تمتد لعشرات الكيلومترات. الحمم الأخرى سميكة للغاية، ولا تتدفق إلا لمسافة قصيرة قبل أن تبرد وتتصلب. وبعض الحمم تكون كثيفة لدرجة أنها بالكاد (تتدفق) على الإطلاق، ويمكنها سد مواسير البركان. تم تسمية الأنواع الرئيسية لمعظم الحمم البركانية بأسماء (هاواي) ، بسبب الطبيعة البركانية لجزر هاواي.

A'a

تُلفظ (آه-آه)، وهي عبارة عن حمم بازلتية لا تتدفق بسرعة كبيرة. يبدو وكأنه كتلة تتحرك ببطء من الجيلي الساخن، مع سطح خشن أكثر برودة. بمجرد أن يصلب، يصبح من الصعب للغاية السير عبر السطح الشائك الحاد للحمم البركانية. تندلع هذه الأنواع من الحمم البركانية عند درجات حرارة أعلى من 1000 إلى 1100 درجة مئوية.

باهـــوهـــــو Pahoehoe

يُنطق هذا النوع من الحمم البركانية (pa-ho-ho)، وهو أرق بكثير وأقل لزوجة من a'a. يمكن أن تتدفق إلى أسفل منحدرات بركان في أنهار شاسعة. يتحول سطح الحمم البركانية إلى قشرة رقيقة تبدو ناعمة للغاية. يمكن أن تشكل حمم Pahoehoe أيضاً أنابيب الحمم البركانية، حيث تتصلب الصخور حول قلب سائل سريع الحركة. عندما يتدفق هذا اللب خارج الأنبوب، يبقى نفق طويل. ينفجر Pahoehoe عند درجات حرارة من 1100 إلى 1200 درجة مئوية.

عموماً إذا تباطأت الحمم، بردت، وتوقفت كاستجابة مباشرة للزيادة المقابلة في اللزوجة فقط، فإنها تحتفظ بشكل Pahoehoe. إذا تم إجبار الحمم على الاستمرار في التدفق بعد تحقيق علاقة حرجة معينة بين اللزوجة ومعدل إجهاد القص، تتغير الحمم إلى aa.

الحمـــم الوســـادية Pillow Lava

الحمم الوسادية هي النوع الأكثر وفرة من حيث الحجم لأنها تنفجر عند التلال وسط المحيط ولأنها تشكل الجزء الغاطس من الجبال البحرية والبراكين الكبيرة داخل الصفيحة، عادة ما يتم العثور على حمم الوسادة منبثقة من فتحات البركان تحت الماء. بمجرد ملامسة الحمم للماء، تبرد وتشكل قشرة صلبة. مع حدوث المزيد من مشاكل الحمم البركانية من الفتحة، تخرج قشرة الحمم البركانية والمزيد من (الوسائد) من هذه الشقوق.

Lava Flow	A'a' Lava	Pahoehoe Lava
Lava Lake	Lava Pillow	Lava Fountain

أنـــــواع اللافـــــا (الحمم)

الجزء الداخلي يتشكل من تدفق الحمم البركانية عمودياً Columnar Joints
بسبب الانكماش الحراري

الطفـــــوح (الانفجـــارات) البركانيـــة

بشكل عام، يمكن تصنيف الثورات البركانية إما على أنها مندفعة أو متفجرة. تتضمن الانفجارات الانسيابية تدفق الصهارة البازلتية التي تكون منخفضة نسبيّاً في اللزوجة وفي محتوى الغاز. تشمل الانفجارات المتفجرة عموماً الصهارة الأكثر لزوجة وتحتوي على نسبة أعلى من الغاز. غالباً ما يتم تحطيم هذه الصهارة إلى أجزاء من الحمم البركانية عن طريق تمدد الغاز المتفجر أثناء الانفجار.

عادة ما يتم تقسيم مخططات التصنيف القائمة على طبيعة الثوران والنشاط البركاني والمناطق البركانية إلى ستة أنواع رئيسية، كما هو موضح تخطيطياً في الرسم التخطيطي. تم سردها على النحو التالي بترتيب زيادة درجة الانفجار:

قد تنقسم الانفجارات البركانية إلى ستة أنواع رئيسية: الأيسلندية Icelandic، وهاواي Hawaiian، وسترومبوليان Strombolian، والفولكاني Vulcanian، والبيلان Pelean، والبلنيان. Plinian

يتميز النوع الأيسلندي بانصباب الحمم البازلتية المنصهرة التي تتدفق من شقوق متوازية طويلة. غالباً ما يؤدي هذا التدفق إلى بناء هضاب الحمم البركانية.

نوع هاواي مشابه للصنف الأيسلندي. ومع ذلك، في هذه الحالة، تتدفق الحمم البركانية السائلة من قمة البركان والشقوق الشعاعية لتشكيل براكين درع، وهي كبيرة جدّاً ولها منحدرات لطيفة.

تتضمن ثورات سترومبوليان رشقات نارية معتدلة من الغازات المتوسعة التي تقذف جلطات من الحمم البركانية المتوهجة في ثورات صغيرة دورية أو مستمرة تقريباً. بسبب هذه الانفجارات الصغيرة المتكررة، أطلق على بركان

(سترومبولي) الواقع على جزيرة سترومبولي قبالة الساحل الشمالي الشرقي لإيطاليا، اسم (منارة البحر الأبيض المتوسط).

النوع البركاني، الذي سمي على اسم جزيرة فولكانو بالقُرْب من سترومبولي، يتضمن عموماً انفجارات معتدلة من الغاز المحمّل بالرماد البركاني. يشكل هذا الخليط غيوماً بركانية داكنة ومضطربة تصعد وتتوسع بسرعة في أشكال معقدة.

يرتبط ثوران البركان بالانفجارات المتفجرة التي تولد تدفقات حممي البركانية، ومخاليط كثيفة من الشظايا البركانية الساخنة والغازات الموصوفة في قسم الحمم البركانية والغاز والمخاطر الأخرى. سميت (الانفجارات البركانية) على اسم الثوران المدمر لجبل بيليه في جزيرة مارتينيك الكاريبية عام 1902. والملاط المميع الناتج عن هذه الانفجارات أثقل من الهواء لكنه منخفض اللزوجة ويصب في الوديان والمنحدرات بسرعات كبيرة. نتيجة لذلك، فهي مدمرة للغاية.

النوع البليني هو نوع عنيف بشكل مكثف من الثوران البركاني يتجلى في اندلاع جبل فيزوف في إيطاليا عام 79 م الذي قتل العالم الروماني الشهير بليني الأكبر ووصف في رواية شاهد عيان من قِبل ابن أخيه، المؤرخ بليني الأصغر. في هذا النوع من الثوران البركاني، تولد الغازات التي تغلي من الصهارة الغنية بالغاز انفجارات نفثية هائلة ومستمرة تقريباً تعمل على قلب قناة الصهارة وتمزقها. تشبه الغازات المتدفقة والشظايا البركانية انفجاراً صاروخيّاً ضخماً موجهاً عموديّاً إلى أعلى. يمكن أن ترتفع السحب البركانية البركانية إلى طبقة الستراتوسفير وتنتج أحياناً بشكل مستمر لعدة ساعات. الصواعق الناتجة عن تراكم الكهرباء الساكنة شائعة بالقُرْب من سحب الرماد البليني، مما يضيف عنصراً آخرَ من الرعب إلى الانفجار.

Effusive Eruption	Pyroclastic Flow	Phreatic Eruption
Plinian Eruption	Strombolian Eruption	Vulcanian Eruption

أنواع الطفوح (الانفجارات) البركانية

لماذا بعض الانفجارات البركانية شديدة الانفجار بينما البعض الآخر مذهل للغاية لكنه غير ضار نسبيّاً؟

هناك أربعة عوامل على الأقل تلعب دوراً في تحديد شدة الانفجار: كمية الغاز المذاب في الصهارة، ولزوجة الصهارة، ومعدل إزالة ضغط الصهارة أثناء صعودها نحو السطح، وعدد مواقع التنوي التي يمكن أن تبدأ الغازات فيها شكل فقاعات. تحتوي البراكين المتعلقة بحواف الصفائح المتقاربة بشكل عام على نسبة عالية من الغاز، وصهارتها شديدة اللزوجة. هذا المزيج قابل للانفجار لأن الغازات لا يمكن أن تغلي بسهولة؛ بدلاً من ذلك، تظل مكبوتة حتى تصل إلى الضغط الذي ينفخون فيه الصهارة اللزجة إلى شظايا. معدل تقليل الضغط يتحكم أيضاً في الانفجار. إذا تحركت الصهارة ببطء نحو السطح، فسيتم إطلاق غازاتها المذابة ببطء ويمكنها الهروب.

النشـــاط البـركاني فـي شـــبه الجزيرة العربية

لا يوجـد في المملكـة أي نشـاط بركانـي في الوقـت الحاضـر – ولله الحمـد – وليس هنـاك أي دلائـل تشير إلـى قُـرب حدوث أي ثوران بركاني – والله أعلم في المستقبل القريب رغم حدوث بعض الهزات الأرضية المتوسطة القوة في الجزء الشـمالي الغربـي والجنـوب الغربـي مـن المملكـة. أمـا النشـاط البركانـي السـابق فآثـاره واضحـة وكثيـرة وينحصـر في صورتـين:

النشاط البركاني القديم:

وهـو الـذي حـدث منـذ أقـدم العصـور الجيولوجيـة أي بـدأ مـن عصـر مـا قبـل الكمبـري واسـتمر في الحـدوث في الكمبـرى والبرمـي والثلاثـي بتقطـع حتـى حوالـي 30 مليـون عـام مضـت حيـث توقـف النشـاط وبقيـت آثـاره علـى هيئة صخـور بركانية قديمـة، مثـل: صخـور البازلـت والريولايـت والانديزايـت القديمـة

النشاط البركاني الحديث:

هـي صخـور ناريـة قاريـة تمثـل مجموعتين أو أكثـر أي مجموعـة قديمة ومجموعة حديثـة تختلفـان في تركيبهمـا العـام ووضعهمـا البنائـي، وكلتاهمـا انعـكاس لطورين منفصلـين مـن النشـاط الصهيـري متزامنـين مـع طوريـن مختلفـين مـن النشـاط التكتونـي (الحركـي). وعمـر النشـاط البركانـي الحديـث خـلال الطوريـن يقـل عـن 30 مليـون عـام وبينهمـا فتـرة مـن الهـدوء النسـبي، وقـد نتـج عـن الطوريـن صخـور بركانيـة مميـزه.

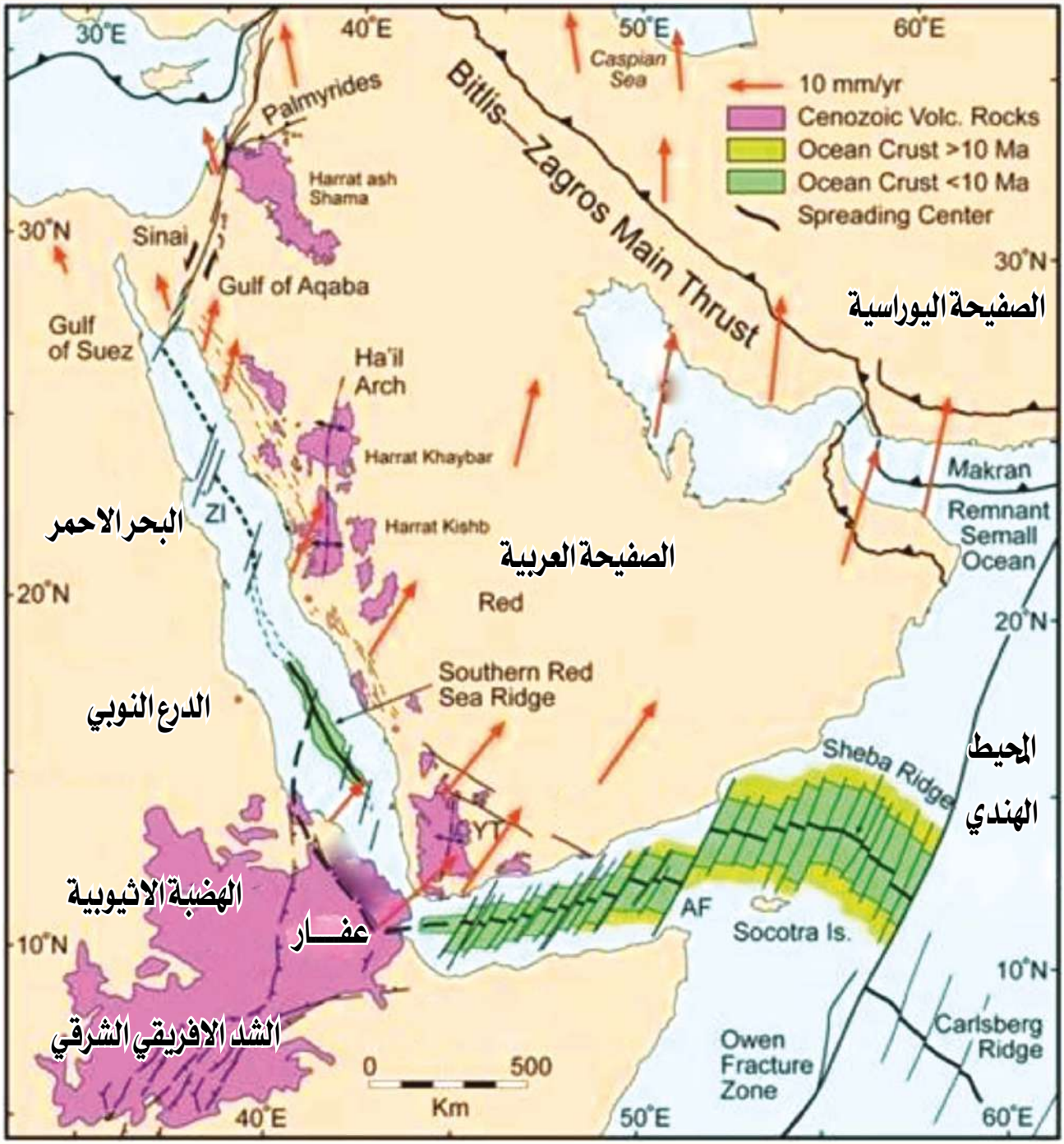
الصخـور الناريـة البركانيـة التـي تكونـت في الطـور الأول: هـي صخـور ناتجـه عـن الطـور الحركـي الأول، الـذي حـدث منـذ 30 ملـون عـام واسـتمر حتـى 20 مليـون

عام خلت وهي عبارة عن صخور سطحية مكونه من صهير ثوليايتي ولابات من البازلت الانتقالية وقد تخرجت هذه اللابات على طول اتجاهات بنائية (شقوق) ممتدة من الشمال إلى الغرب موازية لمحور البحر الأحمر.

الصخور النارية البركانية التي تكونت في الطور الأخير: وهي الصخور البركانية التي نتجت عن الطور الثاني وهي عبارة عن لابات من البازلت الانتقالي والبازلت القوي وقد توضعت على طول اتجاهات بنائية شماليه نوعًا ما تتباعد عن امتداد محور البحر الأحمر بزاوية قدرها حوالي 25°، وقد امتد عمر تطور هذه الصخور منذ 12 مليون عام حتى العصر الحديث. أما الفترة التي امتدت بين 12 –20 مليون عام خلت فهي فترة هدوء فلم يكن بها نشاط بركاني يذكر في المملكة.

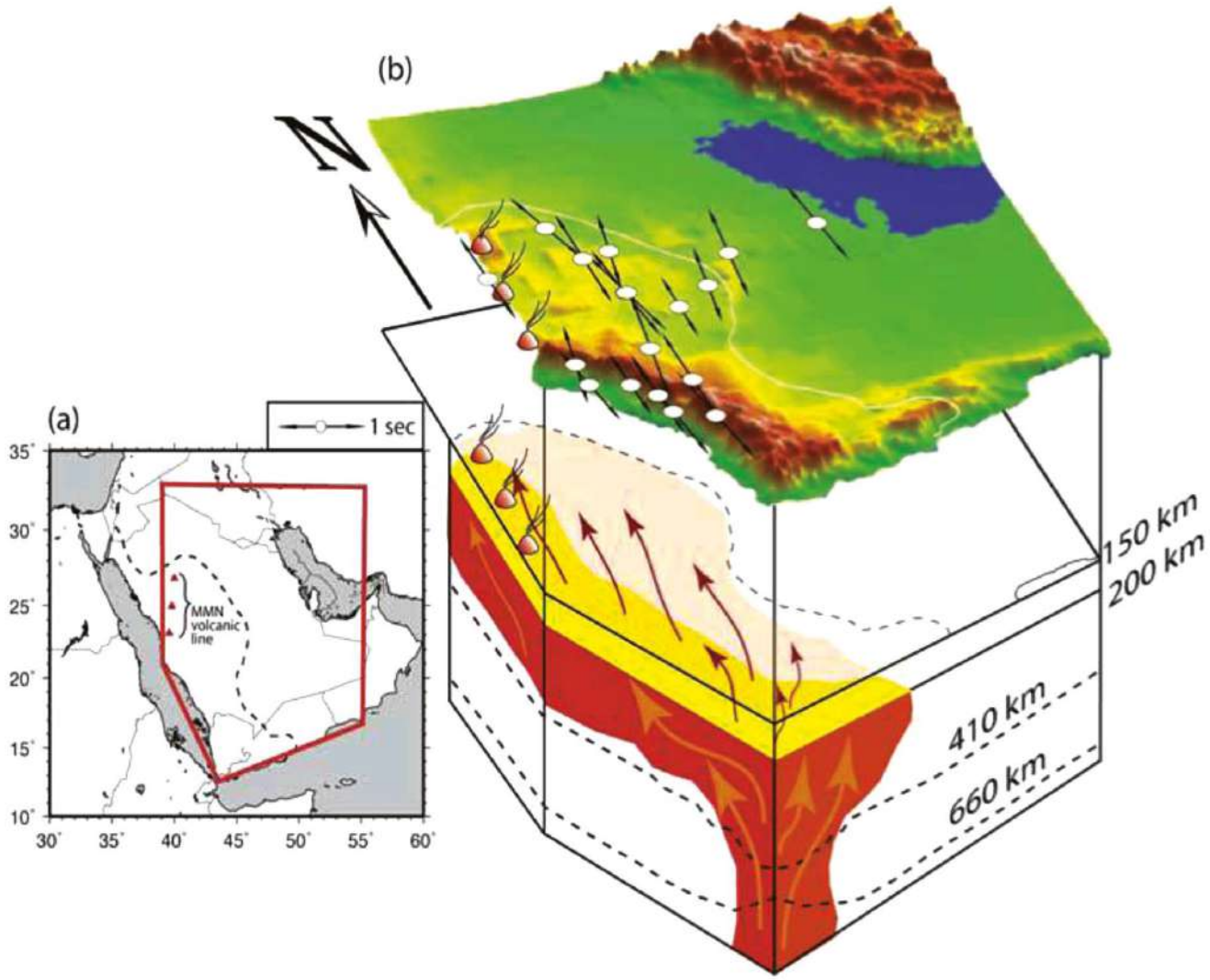
- الصخور النارية البركانية الحديثة جدّاً: وهو الصخور البركانية التي نتجت عن المراحل الأخيرة من الطور الثاني وهو عباره عن لابات من البازلت القوي وقد توضعت على نفس اتجاهات الطور الثاني متباعدة عن امتداد محور البحر الأحمر بزاوية تقارب 25° وهي تصنف ضمن صخور الطور الثاني.

اتضح أن اتساع البحر الأحمر كان ذا علاقة تزامن وثيقه مع نشوء مقاطعات البازلت القوي في المملكة وهي إحدى أكبر مقاطعات الصخور البركانية البازلتية – قلوية في العالم وهي في المملكة تسمى (الحرات) وتغطي الحرات مساحة قدرها حوالي 180000 كم2 تشكل عدة حقول من اللابة على طول جوانب منخفض البحر الأحمر.



الحقول البركانية الحديثة والمتزامنة مع مرحلتي انفتاح البحر الاحمر

دلت النماذج الحديثة للتراكيب القشرية والوشاح العلوي أن تمدد قاع البحر الأحمر يتغير من شماله إلى جنوبه حيث يزداد التمدد كلما اتجهنا جنوبًا ليصل إلى 14 ملم في السنة، ويصل عمق الحد الفاصل بين الغلافين الصخري والوهن LAB إلى 55 كم تقريباً بالقُرْب من ساحل البحر الأحمر وما بين 100–110 كم تحت الدرع العربي. أن هناك مجريين ريشيين تحت الدرع العربي وأن المناطق منخفضة السرعة (مناطق ذات درجة الحرارة الأعلى) مرتبطة بالنشاطات البركانية والخواص الطبوغرافية على سطح الدرع العربي. علاوة على ذلك هناك مرحلتان من الشّد في البحر الأحمر حيث التمدد والتعرية بالانسياب في الغلاف الوهن وأن هذا الغلاف ينساب تحت الدرع العربي والبحر الأحمر؛ حيث تخترق الصهارة المنطقة الإنتقالية تحت مثلث عفار وتسير ببطء عبر قنوات الى جنوب البحر الأحمر وشبه الجزيرة العربية.



نموذج يوضح العلاقة بين نشأة البقع الساخنة في البحر الأحمر والوشاح العلوي. دلت نتائج فصل موجات القص أن الصهارة تخترق المنطقة الانتقالية تحت مثلث عفار وتسير ببطء عبر قنوات إلى جنوب البحر الأحمر وشبه الجزيرة العربية.

وتشير دلائل السجلات التاريخية للأحداث الزلزالية والبركانية أن الصفيحة العربية وجدت ضمن نظام بيئي حركي نشط داخل القارة؛ حيث إن النشاط البركاني داخل الصفيحة أنتج 21 ثوراناً بركانيّاً على الأقل على الجزيرة العربية خلال آلاف السنين الماضية، وكان آخر ثوران بركاني سنه 1937م في ذمار شمال اليمن وبركان جزيرة جبل الطير عام 2007 م ويحتمل أن كثيراً من الثورانات البركانية التاريخية قد حدثت دون أن تسجل وهناك العديد من فيوض البازلت داخل سهول اللابة النائية انتهى أثرها بسبب التعرية الشديدة وتراكم الطين والرمل.

ومن الجدير بالذكر أن معظم هذه الحقول عبارة عن فيوض من البازلت الأوليفيني القلوي والانديزايت تتخللها بعض الفوهات البركانية ومخاريط الرماد والتوفه البركانية ويتراوح عمرها بين الأيوسين والهولوسين، وقد استمر هذه النشاط البركاني حتى الماضي القريب، ومن هذه الحقول البركانية:

- **حرة الحرة وحرة العويرض في الشمال.**
- **حرة خيبر والإثنين والمدينة ورهاط وهتيم وليونير في أواسط الشمال الغربي.**
- **حرة كشب والطائف وحدان والنواصف.**
- **حرة البرك في الجنوب الغربي.**

عموماً تكونت هذه الحرات على مرحلتين من النشاط البركاني وذلك بناءً على اتجاهات المخاريط البركانية وأعمارها، وتركيبها الكيميائي. المرحلة الأولى، كانت من نحو (15 إلى 30) مليون سنة و مرتبطة بأُخدود البحر الأحمر ومتوازية مع اتجاه البحر الأحمر، عبارة عن طفوح من الداسايت والريولايت الشديدة

التحول وما يطابقها من الفتات والرماد البركاني المتساقط مكونة تلالاً من عهد الميوسين فوق ساحل البحر الأحمر. وتشمل هذه الطفوح وحدات من مجموعة جيزان التي يُحتمل أن تكون قد ترسبت في عهد الأوليجوسين المتأخر أو الميوسين المبكر، حيث تظهر جليّاً في جنوب غرب المملكة العربية السعودية قُرب الحدود مع اليمن.

المرحلة الثانية من النشاط البركاني (أقل من 12 مليون سنة)، عبارة عن طفوح بازلتية تكون هضاباً من عصر الميوسين - الهوليوسين تتكشف فوق الدرع العربي حيث تظهر عموماً على شكل براكين ومخاريط بازلتية تكونت على طول أخدود نشط باتجاه جنوب – شمال، وبطول 900 كم يمتد من القنفذة في الجنوب حتى الجزء الجنوبي لصحراء النفود في الشمال (خط مكة المدينة النفوذ البركاني). وقد توافقت بعض هذه الحرات مع اتجاه صدع نجد (الشمالي الغربي) مثل: حرات عويرض - هتيمة - خيبر - ورهاط.

تتميز هذه الحرات بأنها تكونت نتيجة نشاط بركاني يطلق عليه نشاط أحادي التكوين، الذي يعني أن الثوران البركاني يحدث مرة واحدة في فترة زمنية معينة وفي مكان معين، ثم ينتهي، كما حدث في الثوران التاريخي في حرة المدينة سنة (654هـ) ولا يعود أو يتكرر النشاط من هذه البراكين مرة أخرى وأن أي نشاط آخر مستقبلي سيحدث في مكان آخر، مكوناً صهارة و براكين جديدة وهكذا.

بعض أشكال الحرات البركانية في المملكة

الحـــــــرّات

تعـرّف الحـرات: بأنّهـا طفـوح بازلتيـة تشـكلت مـن حمـم الصخـور البركانيـة المنصهـرة، التـي تدفقـت مـن باطـن الأرض بسـبب النشـاط الزلزالـي والحركـي منـذ أقـدم العصـور (الرشـيد، 2013م).

وقـد اسـتخدم العـرب مصطلـح الحـرّة ليطلقـوه علـى الأراضـي الواسـعة الواقعـة غـرب الجزيـرة العربيـة والمكوّنـة مـن الصخـور البازلتيـة السـوداء الناجمـة عـن تصلّـب المصهـور المتدفـق مـن باطـن الأرض، سـواء مـن خـلال فوهـات البراكـين أو مـن خـلال مناطـق الضعـف القشـري، وبعـد أن يتصلّـب المصهـور يتشـقق بسـبب العوامـل الجويـة فتظهـر الحـرّة بشـكل صخـور متناثـرة هنـا وهنـاك علـى سـطح الأرض. كمـا أنّهـم اسـتخدموا مصطلحـين همـا (الوَحْفَـاء) و (الحُمَّـة) ، اللتـان يقابلهمـا المصطلـح الحديـث (الرصيـف الصحـراوي Desert Pavement) أو (الـدرع الصحـراوي Desert Armour). كمـا ذكـر العـرب مصطلـح (الثّبْـرة) وهـو يشـير إلـى الأرض التـي تشـبه حجارتهـا حجـارة الحـرّة لكنهـا بيضـاء، وهـي تتشـكل نتيجـة تغيـرات كيميائيـة تصيـب الطبقـة السـطحية مـن صخـور الحـرّة (الغنيـم، 1988م).

جبل البيضاء عبارة عن جبل بركاني خامد يقع في منطقة المدينة المنورة غرب السعودية، ويقع تحديداً في حرة خيبر. يبلغ ارتفاع الجبل نحو 1930 متر (Harrigan, 2006)

أولاً: أنـــواع الحـــــــرات

لقد عرف العرب أشكالاً عديدةً للحرات وصنّفوها تحت ثلاثة أنواع هي: العَنَاق والصُّحْرة والصَّخْرة، التي سنتكلم عنها بالتفصيل كما يأتي:

1. العَنـــــــــاق

هي ما يمكـــــن أن يطلـــــق عليه اليـــوم اسم القصبـات البركانيـــة Volcanic Diatreme (الغنيم، 1988م). وهي عبارةٌ عن أنابيب بريشيا على شكل قمع يصل عمقها إلى 2500 متر. يُعتقد أنّ القصبات البركانية تتشكل عن طريق التفتت البركاني المائي وانهيار صخور الجدار، وقد تكمن القصبات في العمق في الخنادق (Sigurdsson, 2000).

2. الصُّحـــــــرْة

تعرّف الصُّحْرة على أنها جَوْبةٌ، أي حفرةٌ أو جفرة متسعةٌ، تظهر وسط الحرّة. ويشبه الصُّحْرة (الفقء) وجمعها (فقآن)؛ ولعل أقرب مصطلح علمي لهذا المصطلح العربي هي الفوهات الخامدة المنتشرة وسط الحرار، التي يتغير اتساعها وعمقها من فوهة أو حفرة صغيرة Crater لا يزيد قطرها على عدة أمتار إلى فوهات كبيرة العمق والاتساع تسمى Caldera ويصل قطرها إلى 2 كيلومتر (الغنيم، 1988م).

3. الصَّخـــــــــرْة

وهي التي تسمى وفق المصطلح العلمي الحديث باسم (القباب اللابية) Lava Domes، وهي تلال من الصخور البركانية التي تتشكل عندما تتدفق الحمم البركانية على السطح وتتراكم فوق الفتحة، وتتشكل القباب اللابية عندما تبرد

الصهارة اللزجة بسرعةٍ نسبيّاً بعد ظهورها على سطح الأرض، مع أنّ تركيبات القبة قد تغطي الطيف الكامل لمحتويات السيليكا، إلا أنّ الغالبية تحوي على كميات مرتفعة نسبيّاً من السيليكا. تختلف أقطار القبة من بضعة أمتارٍ إلى عدة كيلومتراتٍ، ويتراوح ارتفاعها بين بضعة أمتار و أكثر من كيلومتر واحد (Sigurdsson, 2000).

وقد قسّم العرب هذه التلال إلى أربعة أنواع مختلفة عن بعضها، وأطلقوا عليها أسماء مختلفةٍ وهي بالترتيب: النَّعْل والخُفُّ والكُراع والضِّلع. فالنعل شبيه بالنعل يكون فيه صلابة وارتفاع، والخف أطول من النعل، والكراع أطول من الخف، والضلع أطول من الكراع وهي ملتويةٌ مثل الضلع (الغنيم، 1988م).

ثانيـاً: انتشـار الحـرات

تنتشر الطفوح البركانية في شبه الجزيرة العربية من جبال اليمن جنوباً، ثم تمر عبر نطاق الدرع العربي إلى أن تصل إلى هضبة حوران وجبل الدروز في جنوب سوريا، وهذا يعني أنها تنتشر على طول الجناح الغربي لشبه الجزيرة العربية. ويتراوح زمن نشأة تلك الطفوح البركانية على طول الدرع العربي بين الزمن الأركي والعصور التاريخية، وقد حدث أشد وأعنف تلك الانبثاقات اللابية في الزمن الثالث، تحديداً بين زمني الميوسين والأوليغوسين، حيث تشكل عندها البحر الأحمر وانفصلت الكتلة العربية الإفريقية عن بعضها (الغنيم، 1988م).

وتوجد أهم الحرات في المملكة العربية السعودية في القسم الغربي منها، وذلك على الامتداد الطولي من الجنوب إلى الشمال على مرتفعات جبال الحجاز، ثم تمتد شمالاً عبر منطقة الجوف ومنطقة الحدود الشمالية حتى تتقاطع مع حدود الأردن، كما أنها توجد في السهل الساحلي الغربي (الرشيد، 2013م).

السجل الزمني للنشاطات البركانية في المناطـق المجاورة

دوّن لنا المؤرخون العرب في كتب الحوليات ما حدث في أيامهم من أحداث ووقائع، ومن بين هذه الأحداث النشاطات البركانية، وسنسرد فيما يأتي كل ما وصلنا من أرصاد عن هذه النشاطات:

سـنـة (79م)

سُجّل انفجار بركان فيزوف في كتب الحوليات العربية، ويعود أقدم توثيق لثوران هذا البركان ما ذكره ابن العبري (توفي 685هـ / 1286م) أنّه في السنة الثانية لملك القيصر طيطوس أو (تيتوس فيسباسيانوس Titus Flavius Vespasianus) (توفي 89م) – الإمبراطور الروماني العاشر الذي حكم روما لسنتين بين (79–81م) – (انشق جبل بالروم وخرج منه شهب نار أحرقت مُدناً كثيرة) (ابن العبري، 1992م). وطيطوس هذا هو ابن فيسباسيانوس الذي حكم روما لمدة عشر سنوات بعد نيرون (توفي 68م) Nero، إذاً المقصود بانشقاق جبل الروم هو انفجار بركان فيزوف عام 79 للميلاد.

سـنـة (19هـ/ 640م)

ذكر ابن كثير (توفي 774هـ / 1373م) أنه في هذه السنة (ظهرت نارٌ من حرّة ليلى، فأراد عمر أن يخرج بالرجال إليها، ثم أمر المسلمين بالصدقة فطفئت، ولله الحمد) (ابن كثير، 1997م). وقد قدّم لنا المؤرخ أسلم بن سهل بَحْشَل (توفي 292هـ/905م) تفاصيل أكثر عن هذا النشاط البركاني فقال: (حدثنا أسلم، قال: حدثنا عبد الرحيم، قال: حدثنا بشر بن مبشر، قال: حدثنا حماد بن سلمة عن الحريري عن أبي العلاء عن معاوية بن حرمل، قال: [أتيت عمر بن الخطاب ﷺ. فقال: من أنت؟ قلت: أنا معاوية بن حرمل: قال]: اذهب

فانـزل علـى خيـر أهـل المدينـة، وكان بالمدينـة رجـل إذا صلـى المغـرب ضـرب بيديـه إلـى مـن عـن يمينـه ومـن عـن شـماله، فذهـب بهمـا إلـى منزلـه، فصليت إلـى جنبـه، فإذا هـو تميـم أبـو رقيـة الـداري، فلمـا انصـرف مـن الصـلاة ضـرب بيـده إليَّ وإلـى آخـر ممـا يليـه مـن الجانـب الآخـر. فانطلـق بنـا إلـى منزلـه فوضعـت المائـدة وجـيء بالطعـام، فـأكل وأكلـت ولـم يكـن لـي عهـد بالطعـام قبـل ذلـك بثـلاث. فأكلـت أكلاً شـديداً. فبينـا نحـن نتحـدث إذ خرجـت نـار بالحـرّة، فجـاء عمـر بـن الخطـاب ﷺ، فقـال: يـا تميـم! اخـرج فأنـت لهـا، قـال: ومـا أنـا يـا أميـر المؤمنـين ومـا عسـى أن يبلـغ مـن أمـري وصغـر نفسـي؟ فقـال عمـر: عزمـت لتقومـن، فقـام وتبعتهمـا. فجعـل تميـم يجـوس النـار حتـى دخلـت الغـار الـذي خرجـت منـه، واقتحـم تميـم في أثرهـا ثـم خـرج ولـم تضـره النـار شـيئاً. فقـال عمـر ﷺ: مـا مـن رأى مثـل مـن لـم يـرَ. ومـا مـن شـهد مثـل مـن لـم يشـهد) (بَحْشَـل، 1986م).

سـنة (652هـ/ 1254م)

قـال ابـن دُقْمـاق (تـوفي 809هـ / 1407م): (وفيهـا ظهـرت نـار بـأرض عـدن في بعـض جبالهـا، بحيـث يطيـر بهـا شـرار إلـى البحـر في الليـل، ويصعـد منهـا دخـانٌ بالنهـار، فمـا شـكوا أنّهـا النـار التـي ذكرهـا النبـي ﷺ، أنهـا تظهـر في آخـر الزمـان، فتـاب النـاس وأقلعـوا [عمـا كانـوا عليـه مـن المظالـم والفسـاد] وردت بذلـك الأخبـار مـن مكـة) (ابـن دُقْمـاق، 1999م).

وفيمـا اتفـق كلٌّ مـن ابـن دُقْمـاق وابـن العمـاد الحنبلـي (تـوفي 1089هـ / 1679م) علـى أنّ هـذا النشـاط البركانـي قـد حـدث سـنة (652هـ/ 1254م)؛ فـإن ابـن الـدَّوَاداري (تـوفي بعـد 736هـ / بعـد 1432م) (ابـن الـدَّوَاداري، 1960–1994م) وقـال إنّـه حـدث سـنة (651هـ/ 1253م).

ســـــــنة (654هـ/ 1256م)

لقد أرّخ لهـــذا الـحدث البركانـــي المهيب مجـــد الدين الفيروزآبادي (توفي 817هـ / 1415م) الذي نال شهرته التاريخية الواسعة من ارتباطه بأمرين:

- **الأول وقوعه على مقربة من المدينة المنوّرة.**
- **الثاني وجود حديث نبوي شريف قاله رسول الله ﷺ.**

قال الفيروزآبادي: (ومن الحوادث العظيمة التي [حدثت، أنه في يوم] الأربعاء ثالث شهر جمادى الآخرة من سنة أربع وخمسين وستمائة حدث بالمدينة الشريفة في الثلث الأخير من الليل زلزلة عظيمةٌ، ورجفةٌ قويةٌ، أشفق الناس منها، ووجلت القلوب من صدمتها، وانزعجت الخلائق لهيبتها، وبقيت إلى الليل، واستمرت إلى يوم الجمعة، ولها دويٌّ مثل دويّ الرعد القاصف، ثم ظهرت نار عظيمة مثل المدينة العظيمة من واد، يقال له: وادي الأحيليين، بضم الهمزة، وفتح الحاء المهملة، وسكون الياء، وكسر اللام، وفتح الياء، وسكون ياء ثالثة وآخره نون، في الحرة الشرقية.

وسارت هذه النار من مظهرها إلى جهة الشمال، فخاف أهل المدينة، واستولى عليهم الوجل، وأيقنوا أنّ العذاب قد أحاط بهم، فرجع أميرهم إلى الله تعالى بالتوبة والإنابة، وأعتق جميع مماليكه، وشرع في ردّ المظالم إلى أربابها، وهبط من القلعة مع القاضي وأعيان البلد، والتجأوا إلى الحجرة المقدسة، وباتوا بالمسجد الشريف جميعهم رجالهم ونساؤهم وأولادهم، بحيث لم يبق أحدٌ لا في النخيل ولا في داخل المدينة إلا قد حضر عند النبي ﷺ. وأبصر هذه النار أهل مكة، وأهل الفلوات في بواديهم، ثم سال منها نهير من

نـار، وأخـذ في وادي أحيليـين المتقـدم ذكـره، وأهـل المدينـة يبصرونهـا مـن دورهـم كأنها عندهـم، وبـين أيديهـم، وأهـل ينبـع يبصرونهـا مـن بلدهـم، وهـي ترمـي بأمثـال الجبـال حجـارةً مـن نـار، تذكرهـم قـول اللّه تعالـى: ﴿إِنَّهَا تَرْمِي بِشَرَرٍ كَالْقَصْرِ ﴿٣٢﴾ كَأَنَّهُ جِمَالَتٌ صُفْرٌ ﴿٣٣﴾﴾ [المرسـلات: 32، 33]، وبقيـت مـدة ثلاثـة أشـهر تـدب في الـوادي دبيـب النمـل، تـأكل كل مـا مـرت عليـه مـن جبـل أو حجـر، ولا تـأكل الحشـيش ولا الشـجر، والشـمس والقمـر في المـدة التـي ظهـرت فيهـا هـذه النـار مـا يطلعـان إلا كاسـفين.

واسـتمرت هـذه النـار تـأكل الأحجـار والجبـال، وتسـيل سـيلاً ذريعـاً في وادٍ يكـون طـول مقـداره أربعـة فراسـخ، وعرضـه أربعـة أميـال، وعمقـه قامـة ونصـف، وهـي تجـري علـى وجـه الأرض، والصخـر يـذوب حتـى يبقـى مثـل الآنـك، فـإذا جمـد صـار أسـودَ، وقبـل الجمـود لونـه أحمـر.

ولـم يـزل يجتمـع مـن هـذه الحجـارة المذابـة في آخـر الـوادي عنـد منتهـى الحـرة حتـى قطعـت في وسـط وادي الشـظاة إلـى جهـة جبـل وعيـرة، فسـدت الـوادي المذكـور بسـدٍّ عظيـمٍ مـن الحجـر المسـبوك بالنـار، ولا كسـد ذي القرنـين، يعجـز عـن وصفـه بيـان الواصـفٍ، ويرجـع القلـم ولـه مـن شـرحه في كل قـدم قاصـفٍ، فانقطـع وادي الشـظاة بسـببه، وصـار السـيل إذا سـال ينحبـس خلـف السـد المذكـور، وهـو وادٍ عظيـمٌ، فيكثـر، وتعظـم الميـاه المجتمعـة حتـى تصيـر بحـراً مـد البصـر طـولاً وعرضـاً، كأنـه أرض مصـر عنـد زيـادة النيـل، فانخـرق هـذا السـد مـن تحتـه في سـنة تسـعين وسـتمائة لتكاثـر المـاء مـن خلفـه، فجـرى في الـوادي المذكـور سـنتين كاملتـين (الفيروزآبـادي، 2009م).

بقايا الثورة البركانية التي حدثت عام 1256م بالقُرْب من المدينة المنورة. وهي كما نلاحظ تمتد على مساحة شاسعة من الأراضي (Harrigan, 2006).

كما تناول هذا الحدث نور الدين السمهودي (توفي 911هـ / 1506م) وأورد كل الأحاديث النبوية التي تكلمت عن هذه النار مع ذكره المستفيض لما رافقها من زلازل (السمهودي، 1998م)، وقد أوجز ابن العماد الحنبلي الحدث (الحنبلي، 1986م).

وذكر المؤرخ حسين بن محمد بن الحسن الدِّيار بَكْري (توفي 966هـ /1559م) أنّ بركان المدينة عاد للنشاط مرةً أخرى عام (655هـ/ 1257م)، لكنه يبدو أنه قد أخطأ في التاريخ لأنه قال في نهاية حديثه (وقد سبق ذكرها) (الدِّيار بَكْري، (د.ت))، ويقصد بهذا بركان عام (654هـ/ 1256م).

وقد ورد في تاريخ ظهير الدين الكازروني (توفي 697هـ/ 1298م) عاد وظهر مرةً ثالثةً سنة (692هـ / 1293م)، أي بعد 37 سنة من الثوارن الأول، فقال: (ظهرت نارٌ بأرض المدينة النبوية في هذه السنة، نظير ما كان في سنة أربعٍ وخمسين على صفتها، إلا أن هذه النار كان يعلو لهيبها كثيراً، وكانت تحرق الصخر، ولا تحرق السعف، واستمرت ثلاثة أيام) (ابن كثير، 1997م)، وقد أكد ذلك أيضاً المؤرخ بدر الدين العيني (توفي 855هـ / 1451م) (العيني، 1987م).

بركـان المدينـــة المنـــورة التاريـخي

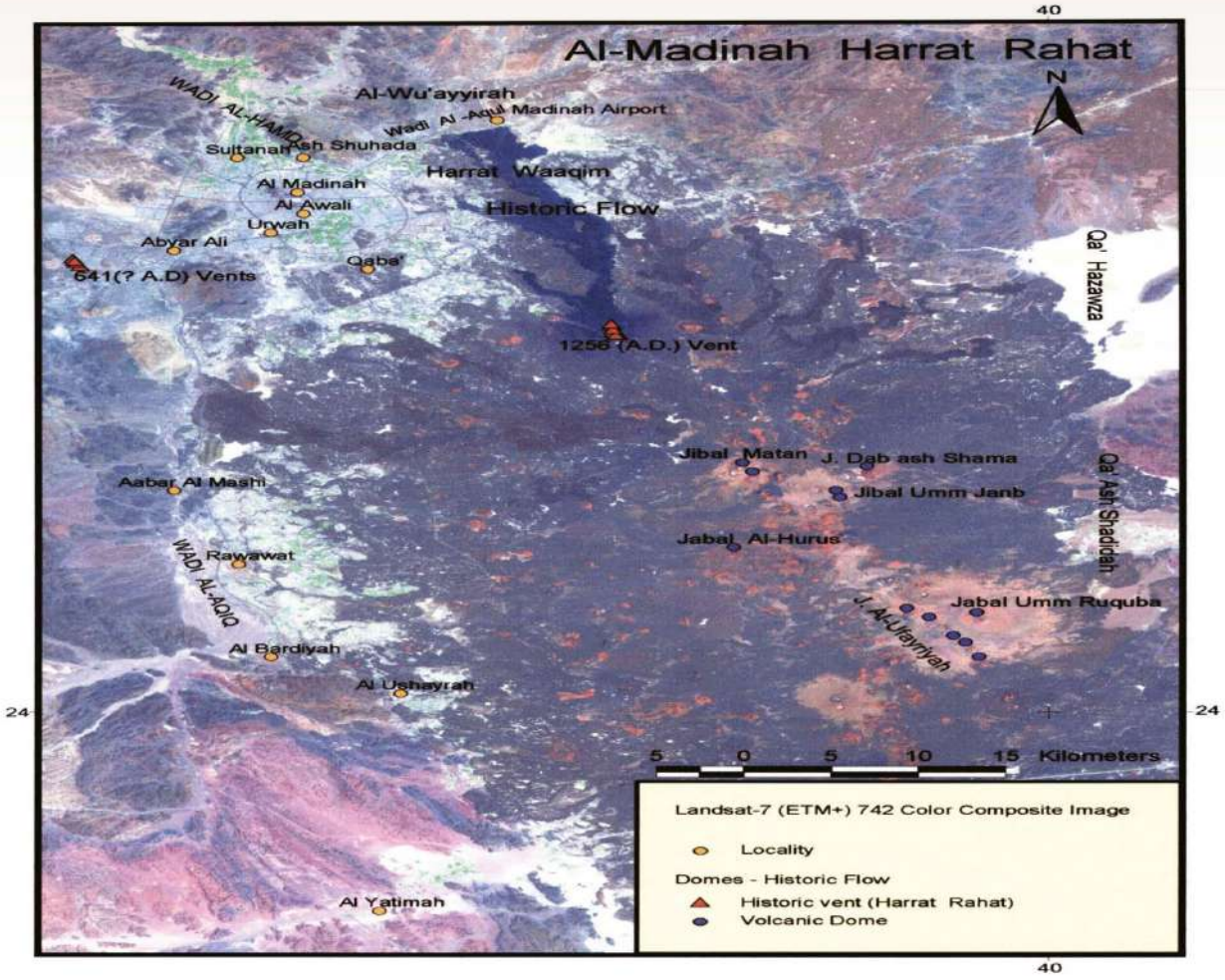
يوجد في حرة رهاط أكثر من 700 فوهة بركانية، ويعد الجزء الشمالي منها أكثر أجزاء تلك الحرة نشاطاً الذي يقع إلى الجنوب من المدينة المنورة مباشرة؛ حيث شهدت أكثر من ثلاث عشرة ثورة بركانية خلال الخمسة آلاف سنة الماضية (بما يوازي ثورة بركانية كل أربعمائة عام) منها ثورة سنة 21 هجرية (644 ميلادية)، وثورة سنة 654هـ (1256 ميلادية) البركانيتان واللتان سبقتا بعدد من الهزات الأرضية العنيفة وأصوات الانفجارات الشديدة، التي شكلت الثورة البركانية الأخيرة (654هـ/ 1256م) ستة مخاريط بركانية جديدة، ودفعت بطفوحها لمسافة زادت على ثلاثة وعشرين كيلومترا من الشمال إلى الجنوب، وامتدت حتى الطرف الجنوبي لموقع مطار المدينة المنورة الحالي، ثم تحولت إلى الشمال. ويعد جبل الملسا الذي يبلغ ارتفاعه 916 مترا عن سطح البحر بركانا خامدا يتمتع بفوهة كبيرة على قمته، أحد أجمل المناظر والفوهات البركانية، وقد كونت الحمم التي تدفقت من هذا البركان منذ آخر نشاط له في عام 1265م.

وقال ابن كثير رحمه الله: وقد ذكر الشيخ شهاب الدين أبو شامة – (في سنة أربع وخمسين وستمائة في يوم الجمعة خامس جمادى الآخرة645 هـ ظهرت نار بأرض المدينة النبوية في بعض تلك الأودية طول أربعة فراسخ، وعرض أربعة أميال، تسيل الصخر حتى يبقى مثل الآنك، ثم يصير كالفحم الأسود، وأن ضوءها كان الناس يسيرون عليه بالليل إلى تيماء، وأنها استمرت شهراً، ولم يحدث للمنازل التي بناها الإنسان بالقُرْب من حقول الصهير أي دمار ذو أثر كبير يذكر ولم يصب الحرم المدني بأي أذى يذكر. كذلك لم يشعر الناس بالزلازل التي صاحبت خروج الصهير.. يذكر امبريسي أن مسجد الرسول في المدينة حصل له نوع من التأثير في أواخر العام بواسطة النيران وليس له أي ارتباط بالبركان).

جدول زمني لأحداث الثوران البركاني في المدينة المنورة

يوم الجمعة الخامس من جمادى الآخرة عام 654هـ (30 يونيو عام 1256م)

التاريخ	أحداث وبيانات الثوران البركاني
الاثنين اليوم الأول من جمادى الآخرة سنة 654هـ الموافق 26 يونيو عام 1256م	بدأت سلسلة من الهزات المرتبطة بخروج صهيرة بركانية في منطقة المدينة المنورة وكانت مصحوبة بضوضاء لكن لم تسبب أي دمار.
الثلاثاء اليوم الثاني من جمادى الآخرة	هزة الأرض أصبحت قوية.
الأربعاء اليوم الثالث من جمادى الآخرة	زلزالي قوي ما بي الساعة الثانية والساعة السادسة صباحاً وأخاف سكان المدينة وتبعه زلازل صغيرة.
الخميس اليوم الرابع من جمادى الآخرة	وفي يوم 29 يونيو أصبحت الهزات أكثر حدة واستمرت طول هذا اليوم مع تزايد ملحوظ في قوتها مما أدى إلى انهيار عدد من المنازل والحصون في المدينة المنورة. كما استمرت الهزات الصغيرة على فترات متقطعة حتى صباح اليوم الثاني وحينها بدأ خروج كثيراً من الصهاره.
يوم الجمعة الخامس من جمادى الآخرة عام 654هـ الموافق 30 يونيو من عام 1256م.	18 **زلزالاً** تم تسجيلها وكان أكبرها في منتصف النهار وحيث هز أسقف المنازل في المدينة المنورة وبعد منتصف اليوم اندفعت الحمم والدخان من فوهة البركان في منطقة حرة رهاط على بُعْد 19 كيلومتراً جنوب شرق المدينة المنورة. بدأ خروج الصهارة ولم يعرف أحد موقع فوهة البركان على وجه الدقة وقد شوهدت سحب كثيفة من الدخان، واستمرت عدة أيام وكانت تشاهد في كل من مكة وينبع وتيماء وقد قيل أن توهج خروج الصهيرة شوهد من أماكن بعيدة تصل إلى سوريا وإلى مسافة 900 كيلومتر إلى الشمال مما سبب بعض القلق في دمشق حتى عرف السبب وجاء في بعض التقارير تطاير الصخور والحصاة في كل الاتجاهات. ولم يستطع أحد الإقتراب من مكان البركان بسبب شدة توهج البركان. وقد حدث البركان الرئيسي في منتصف النهار ولم يحدث أي دمار يذكر. وقد تدفقت الصهارة في إتجاه الشمال وتوقفت في جبل العويرى في وادي الشاشات الذي يقع بالقُرْب من جبل أحد الذي يبعد عن المدينة 4 كيلومترات كما تدفق الصهير مسافة 19 كيلومتراً طولاً و 6 كيلومترات عرض و 2.5 كيلومتر سمك وحدث لها توابع لمدة ثلاثة أشهر وأغلقت وادي الشاشات وحملت الصهارة صخور في المقدمة وكونت هذه الصخور سد وأغلق سهل الحرة الذي يقع على طريق الحجاج القادمين من العراق
السبت السادس من جمادى الآخرة	بعد تلك الأحداث جميع سكان المدينة بما فيهم النساء والأطفال قد أدوا الصلاة في مسجد الرسول خلال يوم الخميس وحتى مساء يوم الجمعة، وتوقفت حمم البركان على مشارف المدينة (على بُعْد 12 كيلو متراً منها) وتحولت إلى الشمال.
الأحد السابع والعشرون من رجب	توقفت الحمم بعد انسياب دام 52 يوماً من النشاط وقد غطت مسافة طولها 23 كيلو متراً.



موقع بركان المدينة التاريخي عام 1256 م في حرة رهاط جنوب شرق
المدينة المنورة سنة (882هـ/ 1477م)

ذكر علي بن الحسن بن أبي بكر بن الحسن بن وهاس الخزرجي (توفي 812هـ/ 1410م) أن (الفقيه علي بن محمد الناشري قال: أخبرني بعض المسافرين في البحر إنّه وقع في بلاد السودان زلزلةٌ عظيمةٌ أقامت أياماً متواليةً دون العشر انهدمت فيها عدة مواضع وجبال كثيرة، ثم حصل في ناحية منها نارٌ عظيمةٌ لها دخانٌ عظيمٌ وهربت الناس من ذلك الموضع، وأقامت النار أياماً

والدخان متراكمٌ ثم تجسم ذلك الدخان وصار خيالاً في ذلك الموضع ولم يعهد قبل ذلك هنالك شيء من الخيال وكان هذا كله في أثناء النصف الأخير من السنة المذكورة والله أعلم) (الزبيدي، 1983م).

وهذا البركان ترافق معه حدوث زلزال كما نلاحظ من النص.

سنة (991هـ/ 1583م)

ذكر المؤرخ ياسين بن خير الله العمري (توفي 1235هـ / 1820م) أنه في هذه السنة (زلزل جبل في اليمن ثلاثة أيام، كل يوم عشرين مرة، وفي اليوم الرابع تقطّع الجبل أربع قطع وخرج منه دخانٌ عظيمٌ) (ياسين العمري، 1974م).

سنة (1090هـ/ 1679م)

قال عبد الله الوَزِير (توفي 1147هـ / 1735م): (وفي النصف الآخر من شعبان ظهرت نارٌ عظيمةٌ في الجبل المقابل للمخا (في اليمن) المسمى سقار بالسين المهملة المضمومة والقاف المعجمة تلتهب بالجمر وترمي بشررها إلى البحر وتصعد في السماء كالمنارة العظيمة ويراها من في الجبال البعيدة كأجبالٍ وصابٍ وفي النهار يرى دخانها كالسحاب وتعقب ذلك زلازل بالمخا وأحرق قدر نصفه) (الوزير، 1985م).

سنة (1225هـ/ 1810م)

ويحدثنا المؤرخ عبد الرحمن الجبرتي (توفي 1237هـ / 1822م) عن نشاط بركاني وقع في مصر، لكن لم يتشكل عنه جبلٌ أو ثورانٌ فقال: (من الحوادث الغريبة أنّه ظهر بالتلّ الكائن خارج رأس الصوة المعروفة الآن بالحطابة قبالة الباب المعروف بباب الوزير في وهدة بين التلول نار كامنة بداخل الأتربة واشتهر

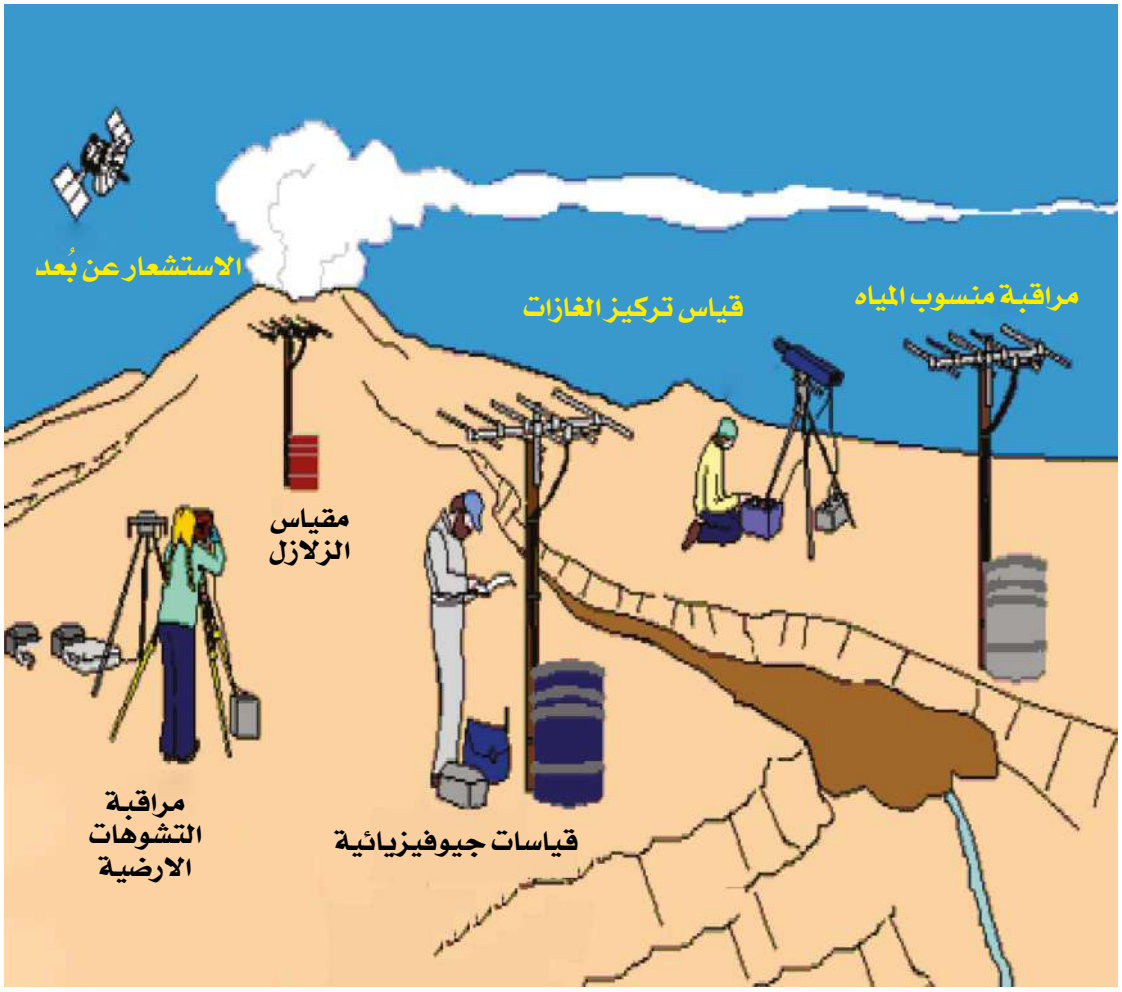
أمرها وشاع ذكرها وزاد ظهورها في أواخر هذه السنة فيظهر من خلال التراب ثقب ويخرج منها الدخان بروائح مختلفة كرائحة الخرق البالية وغير ذلك وكثر تردد الناس للاطلاع عليها أفواجاً أفواجاً نساءً ورجالاً وأطفالاً فيمشون عليها ويجدون حرارتها تحت أرجلهم فيحفرون قليلاً فتظهر النار مثل نار الدمس فيقربون منها وإنْ غوّصوا فيها خشبة أو قصبة احترقت ولما شاع ذلك وأخبروا بها كتخدا بك فنزل إليها بجمعٍ من أكابره وأتباعه وغيرهم وشاهد ذلك فأمر والي الشرطة بصب الماء عليها وإهالة الأتربة من أعالي التل فوقها ففعلوا ذلك وأحضروا السقائين وصبوا عليها بالقِرَب ماء كثيراً وأهالوا عليها الاتربة وبعد يومين صارت الناس المتجمعة والأطفال يحفرون تحت ذلك الماء المصبوب قليلاً؛ فتظهر النار ويظهر دخانها فيقربون منها الخرق والحلفاء واليدكات فتورى وتدخن واستمر الناس يغدون ويروحون للفرجة عليها نحو شهرين وشاهدت ذلك في جملتهم ثم بطل ذلك) (الجبرتي، 1978م).

توقع النشاط البركاني

يمكن التنبؤ بثورة البركان اليوم بدرجة عالية من الدقة، حيث يمكن مراقبة البراكين النشطة بالوسائل التالية:

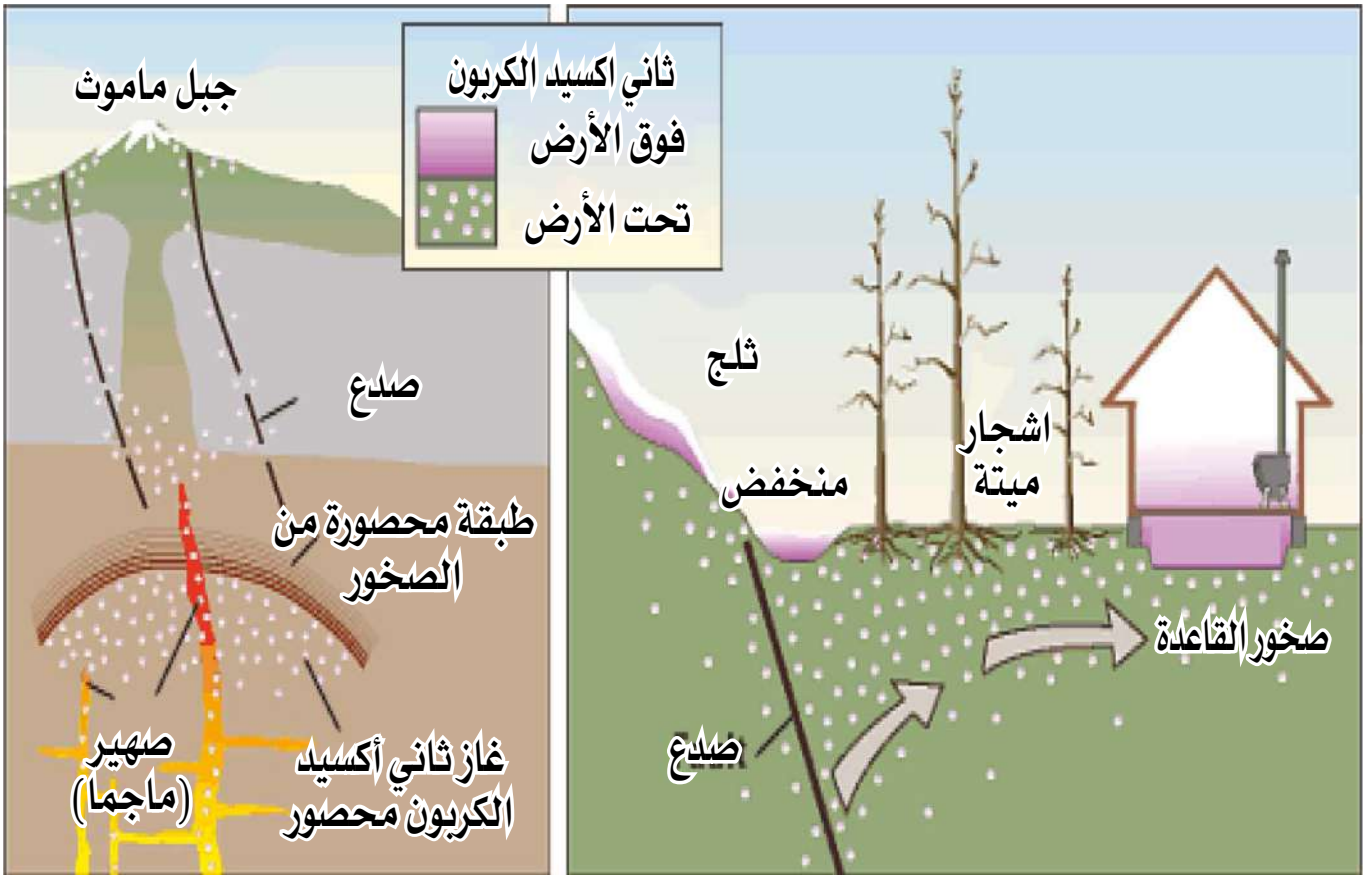
- مراقبة البراكين بالوسائل الجيوفيزيائية حيث إن حدوث الثوران يتم بعد تحرك كميات كبيرة من الصهير موجود تحت البركان وهذا يؤدي إلى تغير المجال المغناطيسي والظروف الحرارية المحلية بحيث يمكن اكتشاف ذلك الحرارية المحلية بحيث يمكن اكتشاف ذلك بالأجهزة الجيوفيزيائية وأجهزة الاستشعار عن بُعْد.
- طبوغرافية البركان مثل ميل قمته وانبعاجها أو انتفاخها أو هبوطها مما يدل على حركة الصهير وصعود إلى أعلى.
- مراقبة السلوك الزلزالي حيث يصحب صعود الصهير العديد من الهزات الأرضية الصغيرة التي يمكن تسجيلها بواسطة مقياس الزلازل (السيزموغراف) وهي تدل على قرب الثوران البركاني.
- مراقبة التغير في كيميائية الغاز البركاني وزيادة كمية الغازات والدخان والأبخرة المتصاعدة.
- إجراء دراسات جيولوجية مفصله لمنطقة البركان للتعرف على إمكانية حدوث ثوران بركاني في المستقبل، ومن أمثلة ذلك دراسة مراحل تطور البركان واختلاف على التكرار الدوري لثوران البركان ومدة هدوئه أو وجود في الحالة النائمة.
- تتبع نشاط المداخن والينابيع الحارة والنطق الحرارية المائية في منطقة البركان

- ومن الدراسات الحديثة في هذا المجال استخدام الأقمار الصناعية؛ حيث يمكن بواسطتها استعمال جهاز قياس الميل Tilt meter الذي يدلنا على تغير ميل التراكيب الجيولوجية نتيجة اندفاع الصهارة من أسفل إلى أعلى وحدوث تفلطح في المنطقة، التي يبدأ يتكون فيها المخروط البركاني الذي تخرج منه الحمم.



وسائل قصيرة المدى لتوقع البركان قبل حدوثه

أربعة أنواع من السجلات الزلزالية تقوم بقياس قوة حركة الأرض عند مستويات مختلفة في القشرة الأرضية لمراقبة النشاط البركاني



استخدام مراقبة التغير في كيميائية الغازات البركانية وزيادتها كوسيلة لتوقع البركان

إجراءات مواجهة مخاطر البراكين

من الصعوبة تجنب الثورة البركانية. ولا بُدَّ من وقوع خسائر في المناطق القريبة من البركان النشط. لكن يجب التقليل من هذه الخسائر باتباع الآتي:

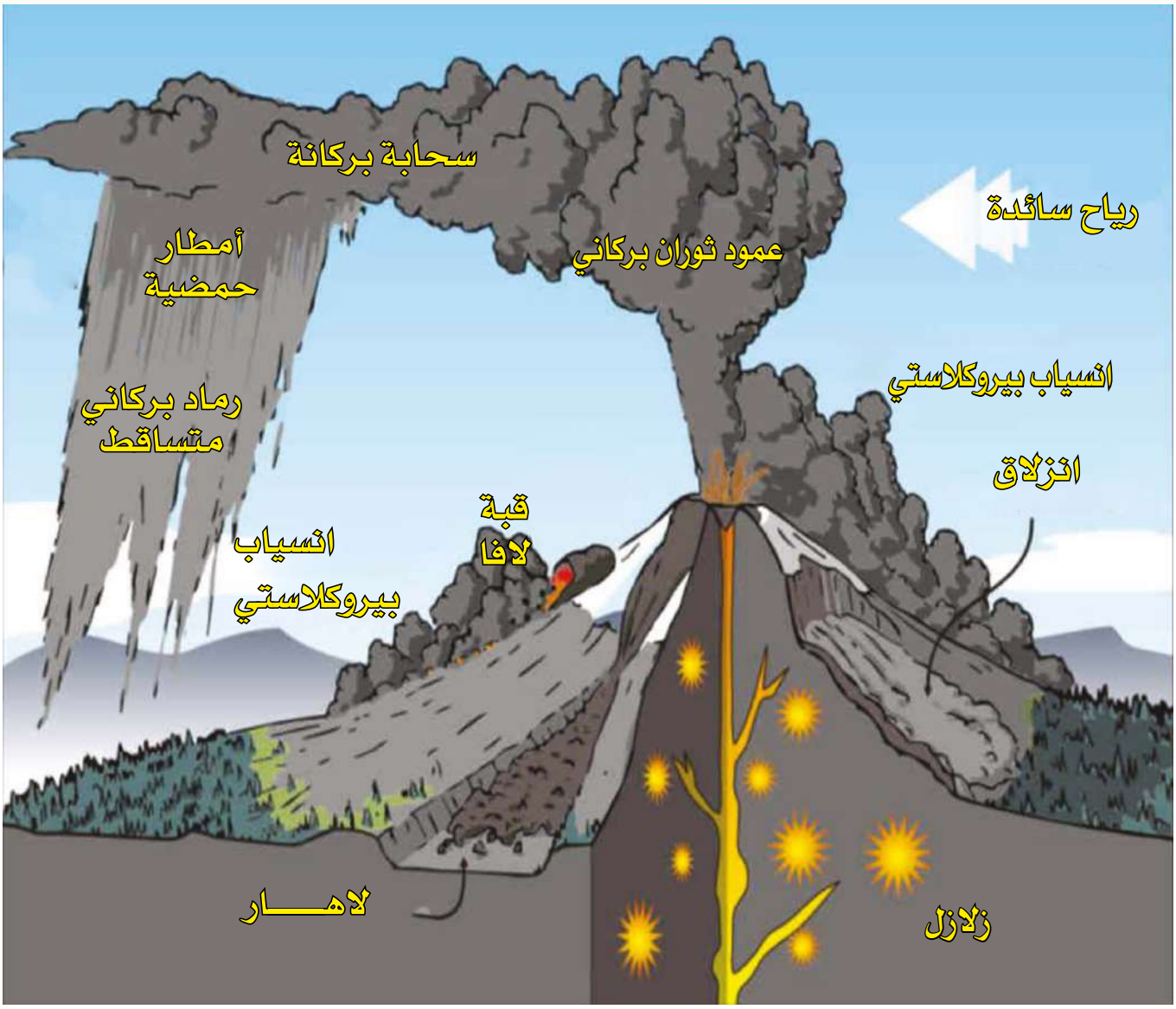
- وضع مخطط لمواجهة خطر البركان عند حدوثه في المناطق التي تقذف عادة بالحمم البركانية والحطام المتطاير.
- وضع قواعد ولوائح معينة لطريقة استخدام الأرض في هذه المناطق كأن تُصدر الحكومة أمراً بعدم التشييد في هذه المناطق مثلاً أو على الأقل التحكم في استخدامها.
- مراعاة إشارات الإنذار مع الإخلاء الفوري فور سماعها.
- متابعة وسائل الإعلام والالتزام بما يصدر من تعليمات.
- اتخاذ التدابير للحماية من الغازات البركانية السامة ومعرفة مدى الحاجة للأكسجين باستخدام الوسائل المعروفة لقياس الأكسجين أو باستخدام الكمامات.
- حماية الجسم والرأس من المقذوفات الدقيقة المتطايرة من فوهة البركان.
- الابتعاد عن الأماكن المنخفضة التي قد تتعرض للفيضان بسبب ذوبان الجليد حول فوهة البركان أو التعرض للأمطار الغزيرة في وقت متزامن مع ثورة البركان.
- استخدام النظارات لحماية العيون من الرماد شديد الحرارة.
- العمل على تنظيف أسقف البيوت من الرماد البركاني ومع تراكم الرماد المتساقط وتحذير السكان من انهيار الأسقف الضعيفة التشييد.

الفوائد والأضـرار الناجمـة عـن الـبراكين

تكمن المخاطر الأساسية للبراكين في سريان الحمم وسحب الدخان والرماد المتطاير والحطام الناتج ، التي تعتبر بكل المعاني أكبر تهديد يسببه البركان. فالناس والممتلكات في الأماكن المجاورة للبراكين مهددة بهذه المخاطر. وتقع أكثر الأماكن تأثراً بالبراكين في دائرة نصف قطرها من 80 إلى 150 كيلومتراً . ويسبب الرماد الناتج عن البركان مشاكل تنفسية خطيرة وربما اختناق. بينما يسبب الرماد والحطام معاً تلف المحاصيل الزراعية ويقلل الإنتاجية لعدة سنوات. وإذا كان ناتج البركان كبيراً، فقد تتهدم المباني وتقتل أو تحاصر الناس والحيوانات. ويرجع مستوى تدميره إلى قوته.

وعلى الرغم من الكوارث التي تسببها البراكين إلا أن لها فوائدَ وهي تشكل الجبال والهضاب والسهول بالإضافة إلى تخصيب التربة لذلك نلاحظ أن معظم الناس تتمركز و تبني قُراها و مُدنها حول البراكين لخصوبة التربة بفعل بعض المعادن الموجودة في الحمم البركانية. علاوة على ذلك تنشأ العيون الكبريتية على الفوهات الخامدة وتستخدم لأغراض علاجية مثل أمراض الروماتيزم والكسور وغيرها . ومن الظواهر الطبيعية المصاحبة للبراكين الحديثة الينابيع الحارة والفوارات ينجم عنها الزرنيخ والأنتيمون والنحاس والقصدير بالإضافة إلى الأملاح المعدنية ذات الجدوى الاقتصادية في مجال التعدين.

وفي كثير من المناطق البركانية يستخدم البخار الجوفي كمصدر للطاقة. كما تستخدم الطاقة الحرارية الجوفية لإنتاج الكهرباء في إيطاليا والمكسيك ونيوزيلندا والولايات المتحدة. وفي آيسلندا يُدفئ معظم الناس منازلهم باستعمال المياه المسحوبة من الينابيع البركانية الحارة.



المخاطر الناجمة عن البركان وتتمثل في المقذوفات الفتتاتية والغازات الخانقة والانزلاقات والسحب البركانية والأمطار الحمضية

الإنزلاقات والإنهيارات الأرضية

مُقَدِّمَة

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 والقُوى الاقتصادية والافتقار لنماذج نظرية شاملة وقابلة للتتبع (حتى مع أجهزة الحاسوب الحديثة). ففي كثيرٍ من الأحيان، إذا أحكمنا قبضتنا في مكانٍ ما، فإننا نفقد سيطرتنا على مكانٍ 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 حاليًا 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 تقريبًا، من تحفيز الزلازل عن طريق المياه المحتجزة خلف السدود الكبيرة، إلى أنظمة الإنذار المبكر لأمواج تسونامي.

لقد صار واضحًا أن العرض التقليدي لمفهوم المخاطر وعملية اتخاذ القرار بشأن الحد منها للجمهور غير مناسب تمامًا للمتطلبات الأكثر حِدة 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 ازدراء 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 مرِّ 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، وضغط المسام، والعاكسية السطحية إلى أنواع مختلفة من المخاطر الطبيعية المرتبطة بالأرض (كالزلازل، والبراكين، والانهيارات الأرضية، والهبوط، والتصحر، والجفاف)، والمحيطات (كالأعاصير، وتكاثر الطحالب الضارة، وأمواج التسونامي) والغلاف الجوي (كالبرق، والعواصف الترابية).

تؤثر الأخطار الطبيعية بشكلٍ 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 قِبل العديد من البلدان المتقدمة والنامية، في محاولةٍ 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 عامٍّ، 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 الفصل وصفًا موجزًا للأخطار التي يتم تصنيفها في الزمن الحاضر على أنها جيولوجية مثل: الانزلاقات، والانهيارات الأرضية، وسنتكلم عن الحلول الممكنة لمواجهتها.

مفهـــوم الإنزلاقـات والإنهيـــارات

الانهيـارات الأرضيـة Landslides هـي واحـدة مـن أكثـر الأخطـار الطبيعيـة الكارثيـة التـي تحـدث في جميـع أنحـاء العالـم، وتتسـبب في أضـرار هائلـة علـى كلٍ مـن الأرواح والممتلـكات كل عـام. يوجـد أنـواع عديـدة الانهيـارات الأرضيـة، مثـل (الانقـلاب أو الانـزلاق أو التدفـق أو الانتشـار) حسـب أنـواع الآليـات المعنيـة التـي تحـدث بهـا، وقـد تكـون علـى مسـتويات مختلفـة (محليـة أو متوسـطة أو كبيـرة) وأوقـات انتشـار مختلفـة (تتـراوح بـين بضـع دقائـق و بضعـة أيـام).

بشـكل عـامٍّ، تعتمـد آليـات الانهيـارات الأرضيـة علـى معاييـر بيئيـة مسـتقلة (عوامـل التكييـف)، مثـل مـادة الانحـدار والظـروف الجيومورفولوجيـة (مثـل الصخـور أو التربـة أو الحشـو الاصطناعـي) والعوامـل المسـببة.

هـذه العمليـة تخلـق حركـة لأسـفل وخـارج مـادة المنحـدر. في السـنوات الأخيـرة، تم إجـراء عـدد مـن الدراسـات المتعلقـة بتطويـر نُهـج النمذجـة المتقدمـة في مخاطـر الانهيـارات الأرضيـة ونمذجـة المخاطـر. وقـد صـارت مقاربـات النمذجـة التنبؤيـة Predictive Modelling هـذه موضـع اهتمـام كبيـر للمهندسـين المهنيـين، وكذلـك للمجتمـع والإدارات المحليـة.

تتداخـل الانزلاقـات الأرضيـة والاسـتيطان الأرضـي والانهيـارات علـى نطـاق واسـع ومسـتمر في أنشـطة الإنسـان. يتـراوح المقيـاس بـين المنحـدرات التـي يبلـغ حجمهـا بضعـة أمتـار، ممـا يسـبب إزعاجـاً طفيفـاً، إلـى الانزلاقـات أو الانهيـارات الجليديـة العملاقـة النـادرة، التـي يبلـغ حجمهـا كيلومتـرات، ممـا يؤثـر في عـدد كبيـر مـن السـكان.

نظـراً لأن خصائـص التربـة أو الصخـور أو الجليـد المتشـابهة تـؤدي دوراً في كل عمليـة علـى جميـع المسـتويات، فسـيجري وصفهـا معـاً هنـا، مـع الإشـارة الرئيسـية إلـى الانزلاقـات.

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 والمُدن وأنظمة الاتصالات والهياكل الكبيرة بما في ذلك السدود والجسور.

نظـراً لتنـوع المـواد والآليـات والمعـدلات المعنيـة، فـإن ترتيـب جوانـب حركـة الأرض يمثـل تحديـاً للمصنـف بشـكل طبيعـي؛ ونتيجـة لذلـك، تم اعتمـاد العديـد مـن مخططـات التصنيـف، وسـنناقش عـدد قليـل مـن جوانبهـا الأكثـر أهميـة فيمـا يأتـي.

تصنيـــف الانهيـــارات الأرضيـــة

• حســـب المـــادة

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 تشكّل 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.

• حســـب السرعة

لاعتبارات التأثيرات 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 عامٍّ، التي تؤدي في كثير من الأحيان إلى الأضرار والإصابات.

نـادراً مـا تتسبب الانهيـارات الأرضيـة -التـي تتحـرك ببـطء شـديد علـى مـدى فتـرات تتـراوح بـين شـهور وسـنوات- في وقـوع إصابـات وقـد تكـون عرضـةً للتدابيـر الاحترازيـة. يمكـن أن تحـوّل ترتيبـات تقسـيم المناطـق دون إقامـة الهيـاكل غيـر المناسـبة؛ لإعـادة توجيـه الطـرق السـريعة والمرافـق.

بالإضافـة إلـى ذلـك، عـادة مـا ترتبـط سـرعة الحـدث بإمكانيـة التنبـؤ بـه؛ علـى سـبيل المثـال، عـادةً مـا تتشـكل الشـقوق الأوليـة وتتسـع علـى مـدى فتـرة زمنيـة مشـيرةً إلـى حـدوث انهيـار أرضـي في المسـتقبل.

ولكـن في المناطـق الأقـل اسـتقراراً، قـد تحـدث حتـى الشـقوق الأوليـة بسـرعة كبيـرة، أو في مثـل هـذه المواقـع التـي يتعـذر الوصـول إليهـا، بحيـث لا يلاحظهـا أحـد قبـل حـدوث حركـة عنيفـة. في حالـة حـركات الأرض التـي تتطـور ببـطء، قـد يكـون تشـوه الهيـاكل الهندسـية وخصائـص سـطح الأرض واضحًـا بشـكل متزايـد قبـل حـدوث الحركـة الرئيسـية. في الحالـة الأخيـرة، يمكـن إخـلاء الهيـاكل أو يمكـن ترتيـب الالتفافـات لأنظمـة الاتصـالات قبـل أن تتمـزق.

ومـع ذلـك، حتـى عندمـا تكـون الحركـة الأرضيـة النهائيـة بطيئـة نسـبيّاً، فقـد تشـكل، إذا حدثـت علـى نطـاق واسـع بمـا يكفـي، مشـكلة هندسـية رئيسـية، وربمـا لا يمكـن حلهـا. في الزمـن الحاضـر، ترتبـط قابليـة حـل معظـم المشـكلات الهندسـية فقـط بالتكلفـة والاعتبـارات السياسـية، كمـا أن تكلفـة التحقيـق الميدانـي والمعالجـة العلاجيـة لحركـة جماعيـة تنطـوي علـى أحجـام تصـل إلـى آلاف الأمتـار المكعبـة مـن التربـة كبيـرة.

في حالـة الانهيـار الأرضـي البرتغالـي بينـد في مقاطعـة لـوس أنجلـوس، كاليفورنيـا، علـى سـبيل المثـال، فـإن الحركـة الأوليـة التـي بلغـت نحـو 10 أمتـار والتـي حدثـت

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 وجدتها 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 أيضًا سمة مُهمَّة 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 أيضًا أن تظهر هذا السلوك وتطور سرعات عالية جدًا.

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 عامٍّ، تحدث الانهيارات الأرضية السريعة أو الانهيارات الصخرية خلال ثوانٍ إلى دقائق؛ يمكن تحجيم معدلات الحركة المتوسطة في غُضون دقائق إلى ساعات، وتتطور الانهيارات الأرضية البطيئة، وتتحرك في فترات تتراوح بين أيام وسنوات.

ومع ذلك، إذا حدث انزلاق أرضي صغير جدّاً 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 أنّ سرعة المواد كانت بطيئة نسبيّاً.

أحد المكونات المُهمَّة للانهيار الأرضي والمتعلق بسرعته هو المسافة التي يتقدم بها الانزلاق قبل أن يستقر. هذا يؤدي إلى طريقة أخرى لتصنيف الانزلاقات.

• 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 نسبيّاً 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 الانهيارات الأرضية تحت سطح البحر.

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

هذه الانزلاقات، التي تسمى تيارات العكر Turbidity Currents، تشكل آلية مُهمَّة 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 جدًّا 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 بالقُرْب منه لا يقدم عائقًا ضئيلًا 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 جدًّا 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 مسارًا 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 بمادةٍ مالئة محضرة من التربة أو الخرسانة، أو ملء الشقوق بالخرسانة ومادة غير منفذة من الطين أو الجص الخرساني.

حدثت حركة صغيرة جدّاً 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 السدِّ في عام 1963.

• حســـب آليـــة الحركـــة

بشكل عامٍّ، 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 تدريجيّاً 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 حدٍ ما مقارنةً بسمكها.

الخصائص الطبوغرافية والمواد لسطح الانقطاع الذي يحدث فيه الانزلاق أو التدفق هو مستوٍ أساسًا، 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 المنزلقة إلى عدد من الكتل المفصولة عن بعضها بعضاً عن طريق الشقوق أو مستويات القص.

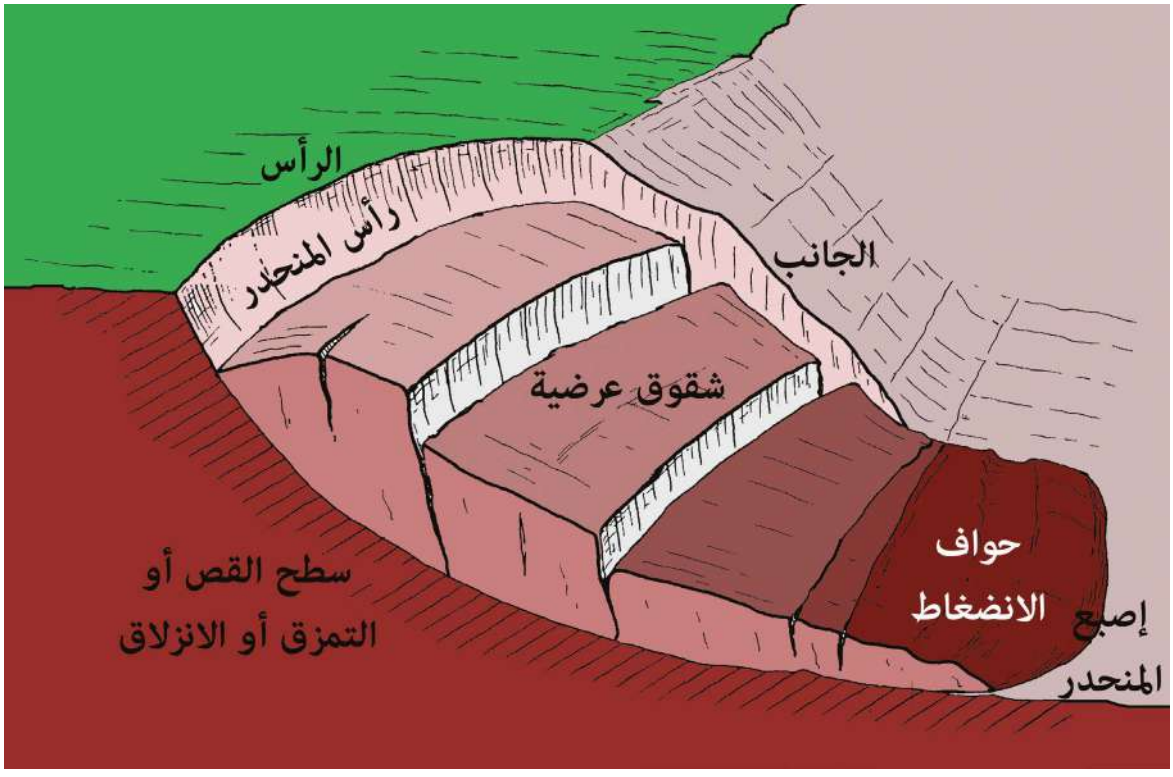
قد يبدأ الفشل عند مقدمة المنحدر، ربما عن طريق التآكل، بحيث تنزلق الكتلة أولاً عند إصبع المنحدر، وبالتالي فإنّ إزالة تأثير التثبيت في الكتل الصاعدة، والتي قد تتحرك بعد ذلك في المنحدر، تكون متعاقبةً. يسمى هذا النوع من فشل المنحدر، والذي يحدث في أشكال متنوعة، بالفشل التدريجي Progressive Failure، وقد يحدث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

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

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

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

في ظل هذه الظروف، يجب أن يتطور مستوى قص آخر بين جزيء الكتلة المنزلقة. 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 منزلقة معقدة جدّاً.



مقطع عرضي لانهيار أرضي نموذجي مع معالمه.

عندما يكون الانتقال بين الكتلة المنزلقة 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 تدريجيّاً من السطح مع العمق.

إذا كان التدفق يحدث ببطء شديد، فإن تلك الحالة يشار إليها باسم الزحف Crawling، وهي ظاهرة شائعة جدّاً، ربما تحدث في تل كل منحدر في العالم. تكون الحركة غير محسوسة في غالبية هذه الحالات ما لم تُجر قياسات دقيقة جدّاً.

عندما تشكل الصخور الهشة المفصلية منحدراً شديدَ 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 أنّ 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،

وتتنوع 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 جدّاً ويؤدي إلى عدم استقرار المنحدر.

من خلال تحليل المتغيرات البيئية الموضوعية (عوامل التكييف 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 بالمُهمَّة السهلة.

تقسم منطقة مخاطر الانهيارات الأرضية (Landslide Hazard Zonation LHZ) 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:

- تحليـل الأخطـار النسـبية، الـذي يقـارن الأخطـار الحاليـة بالمخاطـر المماثلـة السـابقة.
- المخاطر المطلقة، أي عوامل السلامة.
- المخاطر التجريبية، أي تحليل المنحنى بناءً على عدة عوامل، مثل ارتفاع المنحدر وزاويتـه، اعتمـاداً بشـكل أساسـي علـى التحليـل الجيوتقنـي واسـتنتاجات العمـل المعملـي.
- مراقبة المخاطر، والتي تقارن بين عوامل التحفيز والتعرية باستخدام بيانات موقـع الانهيـار الأرضـي التاريخـي. بالإضافـة إلـى ذلـك، يجـب التحقـق مـن النمـوذج أو البيانـات المسـتخدمة مـن حيـث الدقـة والموثوقيـة.

لبـدء تحليـل فعَّـال لحساسـية الانهيـارات الأرضيـة، يوجـد حاجـة إلـى بيانـات مختلفـة:

- جرد كامل للانهيارات الأرضية الذي يحوي على تفاصيل حول الموقع المكاني وتاريخ وزمن حدوثه وأنواعه.
- المتغيرات البيئية الموضوعية (مثل الجيولوجيا، والجيولوجيا المائية، والعوامل الجيومورفولوجية).
- متانة المواد الجيولوجية.
- تقارير ومسوحات ميدانية.

1. 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 علميّاً. بشكل عامٍّ، يوجد طريقتان معتمدتان للتحقق من صحة نتائج التنبؤات: الصمود الزمني والصمود الفراغي. يمكن رسم النتائج بيانيّاً باستخدام منحنى خاصية تشغيل المستقبل (ROC) Receiver Operating Characteristic، 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 أساسيّاً للمساعدة في صنع القرار. لزيادة تعزيز هذه المبادرات، يجري أيضاً تطوير أنظمة الكشف عن الانهيارات الأرضية ومراقبتها لاتخاذ تدابير التخفيف في الزمن المناسب.

أنـــواع الإنهيـــارات الأرضيـة

تصنـف الانهيـارات الأرضيـة علـى أسـاس الحركـة وحجـم الكتلـة التقديـري، الـذي يُحسـب بنـاءً علـى شـكل وهندسـة منطقـة الانفصـال ومنطقـة الترسـيب.

أشـار الباحثـون إلـى أهميـة صـور الأقمـار الصناعيـة التـي توفـر ثـروة مـن المعلومـات حـول الخصائـص المورفولوجيـة والمظهـر المرتبـط بالعمـر والنشـاط والعمـق والسـرعة. تُصنّـف أنـواع الانهيـارات الأرضيـة وفقـاً للأنـواع المختلفـة للحـركات الجماعيـة أو حـالات فشـل المنحـدرات إلـى:

- **الانزلاقـات الأرضيـة السـريعة الضحلـة (الانزلاقـات الحطاميـة والانهيـارات الجليديـة والتدفـق):** وهـي ناجمـة عـن هطـول أمطـار غزيـرة مـن عاصفـة ضخمـة واحـدة بالإضافـة إلـى فتـرات ذوبـان الثلـوج الطويلـة والسـريعة.

- **الانهيـارات والتدفقـات العميقـة السـريعة:** وهـي فشـل سـريع نـاتج عـن حالـة فرديـة مـن الأمطـار الشـديدة أو حـدث مطـر ممتـد مـع عاصفـة كبيـرة، مثـل انفجـار سـحابة مفاجـئ يصـل إلـى 100 ملـم / سـاعة أو أكثـر، في بضـع دقائـق، وهـو مـا يكفـي لإحـداث فيضـان.

- **عمليـة الترسـيب البطيئـة العميقـة للانهيـارات الأرضيـة (الانهيـارات الأرضيـة وتدفقـات الأرض والانتشـار الجانبـي):** وتسـمى أيضـاً عمليـة الزحـف؛ حيـث تبـدأ العمليـة بسـبب هطـول الأمطـار الممتـدة وتسـتمر لعـدة أيـام أو أسـابيع، حتـى حركـة نشـاط حركـة المنحـدرات.

- **التدفقـات والتشـوهات البطيئـة (زحـف التربـة وتدفـق التربـة):** هـي الحركـة الهبوطيـة للتربـة المشـبعة بالميـاه، والناجمـة عـن التربـة المشـبعة بالميـاه حيـث إنهـا تتحـرك ببـطء إلـى أسـفل التـل فـوق طبقـة غيـر منفـذة.

• بـــدء تقييـــم العامـــل

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 جدّاً 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 جدّاً.

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 المقدرة 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 يبلّغ 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.

• المـراقبـــة

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

أ. المراقبة القائمـــة على الاستشـــعار عن بُعْد

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

- من الصعب معرفة زمن الحركة الدقيق للانزلاقات كبيرة الحجم وعالية السرعة.
- تحتاج حركة الكتلة الصغيرة إلى صورٍ عالية الدقة.
- 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) الفعَّالة، 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 قبولًا وقوةً من بين الطُرق الأخرى.

يتكون المسح بالليزر من تقنيتين رئيسيتين: المسح بالليزر المحمول جوّاً (ALS) والمسح الأرضي بالليزر (TLS). تؤدي (ALS) دوراً مُهمّاً في رسم خرائط الانهيارات الأرضية عن طريق زيادة دقة معالم الانهيار الأرضي للتعرف على الشقوق والمواد المُزاحة. 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 . المراقبـــة الميدانيـــة

لقد استخدمت العديد من طرائق المراقبة في الزمن الحقيقي لاكتشاف تحركات الانهيارات الأرضية الأولية وتقييم الانزياح. تعتمد هذه الطرائق بشكل عامٍّ 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 فعَّال لمراقبة الحركات الجماعية، التي يمكن استخدامها في إطار أداة فردية لأنها توفر نتائج دقيقة جدّاً. ناقش الباحثون العديدَ من تقنيات مراقبة (GPS) المتوفرة، مثل:

- نظام (GPS) التفاضلي.
- نظام (DGPS) الثابت أو ثابت السرعة (FS) وحركيات الزمن الحقيقي (RTK) Real Time Kinematics بمستوى سنتيمتر من الدقة.

- تقنيتا (EDM) و (GPS).
- تقنيتا (GPS) و (InSAR) .
- محطات (GPS) ومقاييس الميل.
- قياس انعكاس المجال الزمني (TDR).

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

تؤدي الهندسة تحت السطحية، وبخاصة سطح التمزق، دوراً مُهمًّاً 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 عمليّاً. نتيجة لذلك، يمكن رؤية المزيد من الأبحاث عن طريق المراقبة السطحية أكثر من التحليل الجيوفيزيائي.

ج. رســـم 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 عامٍّ عن طريق تفسير خرائط الصور العظمية والصور الجوية، واستخدام الأساليب الجيومورفولوجية الميدانية القياسية.

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

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

بشكل عامٍّ، 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 المُهمَّة 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 'المدمجة' 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، والتصور 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 جرد الانهيارات الأرضية لإعداد وتحديث خرائط الانهيارات الأرضية، مما يقلل من مصداقية خريطة الجرد.

المتغيرات البيئية الموضعية للانزلاق الأرضي (عوامل التكييف)

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

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

- 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.
- 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.

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

- البارامترات الهيدرولوجية، مثل: التوزيع المكاني لمنسوب المياه الجوفية، ورطوبة التربة، والتبخر، والتسرّب، والتساقط (التوزيع المكاني والزماني 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 بُعْد لتسجيل مقاييس المطر.

- تُستخدم خرائط الجيومورفولوجيا لاستخراج الوحدات الجيومورفولوجية والتصنيف التاريخي لعمليات البناء الرئيسية للأرض وجوانب المنحدرات.

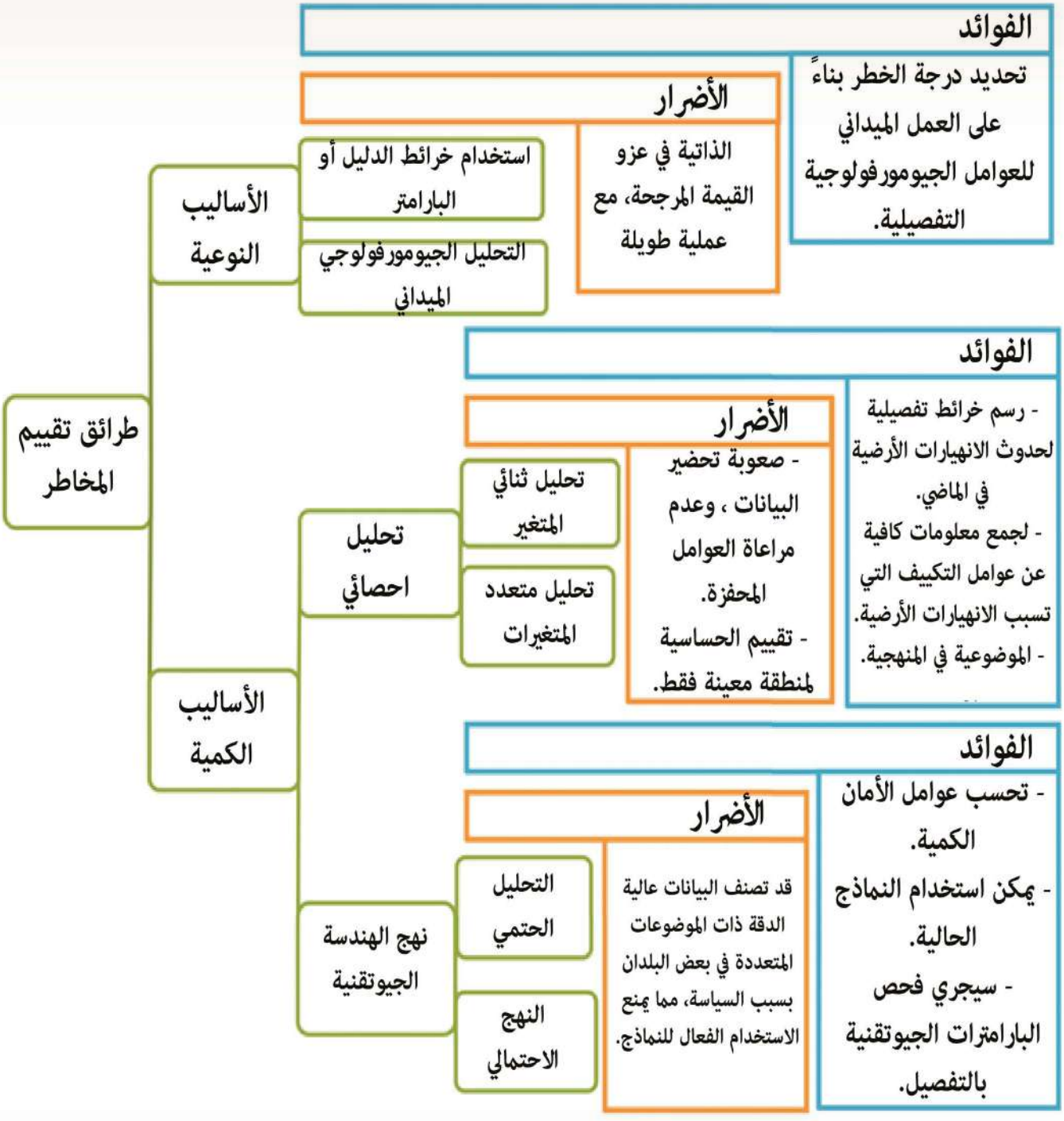
- تُستخدم خرائط استخدام الأراضي لرسم خرائط لأنواع الغطاء النباتي أو دليل الفرق المعياري للغطاء النباتي (NDVI)، والمسافة من الطرق. حيث يزيد الغطاء النباتي الكثيف من استقرار التلال بطريقتين؛ أولاً، يساعد على إزالة رطوبة التربة من خلال عملية التبخر، وثانياً، يوفر شبكة تجذير تضيف رابطة تماسك لجزيئات التربة.

- مزج خريطتين 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.

التصنيـــف العـــام

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) والتركيب الخطي الموزون، على نطاق واسع من قِبل الجيولوجيين وعلماء الجيومورفولوجيا والمهندسين للدراسات الإقليمية.

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



مقارنة تصنيفات طريقة تقييم مخاطر الانهيارات الأرضية.

• الأســـاليب النوعيـــة

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

- يتم إجراء التحليل الجيومورفولوجي الميداني من قِبل 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.

• النهـــج الكميـــة

يتم تمثيل النُهج 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 المُهمَّة بحدوث الانهيارات الأرضية، من الوزن النسبي المحدد.

تُعد النُهج متعددة المتغيرات ذات طبيعة تجريبية وتأخذ في الاعتبار العلاقات بين عوامل التكييف والانهيارات 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 حِدة. 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 (Decision Tree (DT، قويّاً جدّاً في رسم خرائط الحساسية للانهيارات الأرضية. يمكن تعديل بعض عيوب طرائق الإحصاء ثنائية المتغير في التحليل متعدد المتغيرات.

نُهـــج نمذجـــة قابليـــة الانهيـــار الأرضـــي

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.

نســـبة الـــتردد

نسبة التردد أو التكرار (Frequency Ratio) FR 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 عشوائيّاً منطقة معرضة للانهيار الأرضي وأيضاً بين نطاق زاوية ميل معين.

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

$$FR = PLO / PIF$$

حيث إنّ (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.

دالـــة التصديـــق الظاهـــر

تعتبر طريقة دالة التصديق الظاهر (EBF) نموذجاً رياضياتيّاً 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 مُهمَّة 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 حسَّاسة.
- درجات عدم التصديق التي تظهر مناطق غير حسَّاسة.
- درجات عدم اليقين، التي تقيم جودة عوامل تكييف المدخلات، من خلال الإشارة إلى الأدلة والبراهين الحالية للمعلومات المسببة للانهيار الأرضي.
- درجات المعقولية، التي توضح الحالات التي تتطلب المزيد من الأدلة المكانية. ثم فيه كل الأدلة المتكاملة ما عدا عدم التصديق.
- تكشف درجة المعقولية 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.

مؤشـــــــر الإنتروبيـــــا

مؤشـر الإنتروبيـا Entropy Index هـو تحليـل إحصائـي ثنائـي المتغيـر اقترحـه أحـد الباحثين استناداً إلـى العلاقـة بـين خريطـة جـرد الانهيـارات الأرضيـة كمتغيـر تابـع والعديـد مـن عوامـل التكييـف.

يجـري التعبيـر عـن وزن مسـاهمة المخاطـر لـكل عامـل تكييـف كمسـتوى لمؤشـر الإنتروبيـا. يأخـذ مؤشـر الإنتروبيـا اعتبارين رئيسـيين في عمليتـه:

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

وثانياً: توضيح مدى الاضطراب في البيئة.

الشبكـــة العصبيـــة الصناعيـة

تعـد الشـبكة العصبيـة الصناعيـة (ANN) أكثـر طرائـق التعلـم الآلـي شـيوعاً، حيـث يطبقهـا الكثيـرون بشـكل خـاصٍّ خـلال السـنوات الأخيـرة.

تُعـرّف (ANN) علـى أنهـا نمـوذج للتفكيـر يعتمـد علـى العقـل الـذي يمكـن اعتبـاره استنسـاخًا مبسـطًا أو مـرآة للنظـام شـديد التعقيـد. كمـا تُعـرّف (ANN) كآليـة حسـابية لاكتسـاب وتمثيـل وحسـاب تعيـين مـن مسـاحة معلومـات متعـددة المتغيـرات إلـى أخـرى، بالنظـر إلـى مجموعـة مـن البيانـات التـي تمثـل ذلـك التعيـين.

يتكـون نمـوذج (ANN) مـن الخلايـا العصبيـة أو العقـد المترابطـة، التـي يجـري تنظيمهـا في طبقـات ذات ترابـط عشـوائي أو كامـل بـين الطبقـات المتتاليـة.

يشـتمل نمـوذج (ANN) علـى طبقـات الإدخـال والمخفيـة والمخرجـات المسـؤولة عـن تلقـي النتائـج ومعالجتهـا وتقديمهـا، علـى التوالـي. تحـوي كل طبقـة علـى عقـد

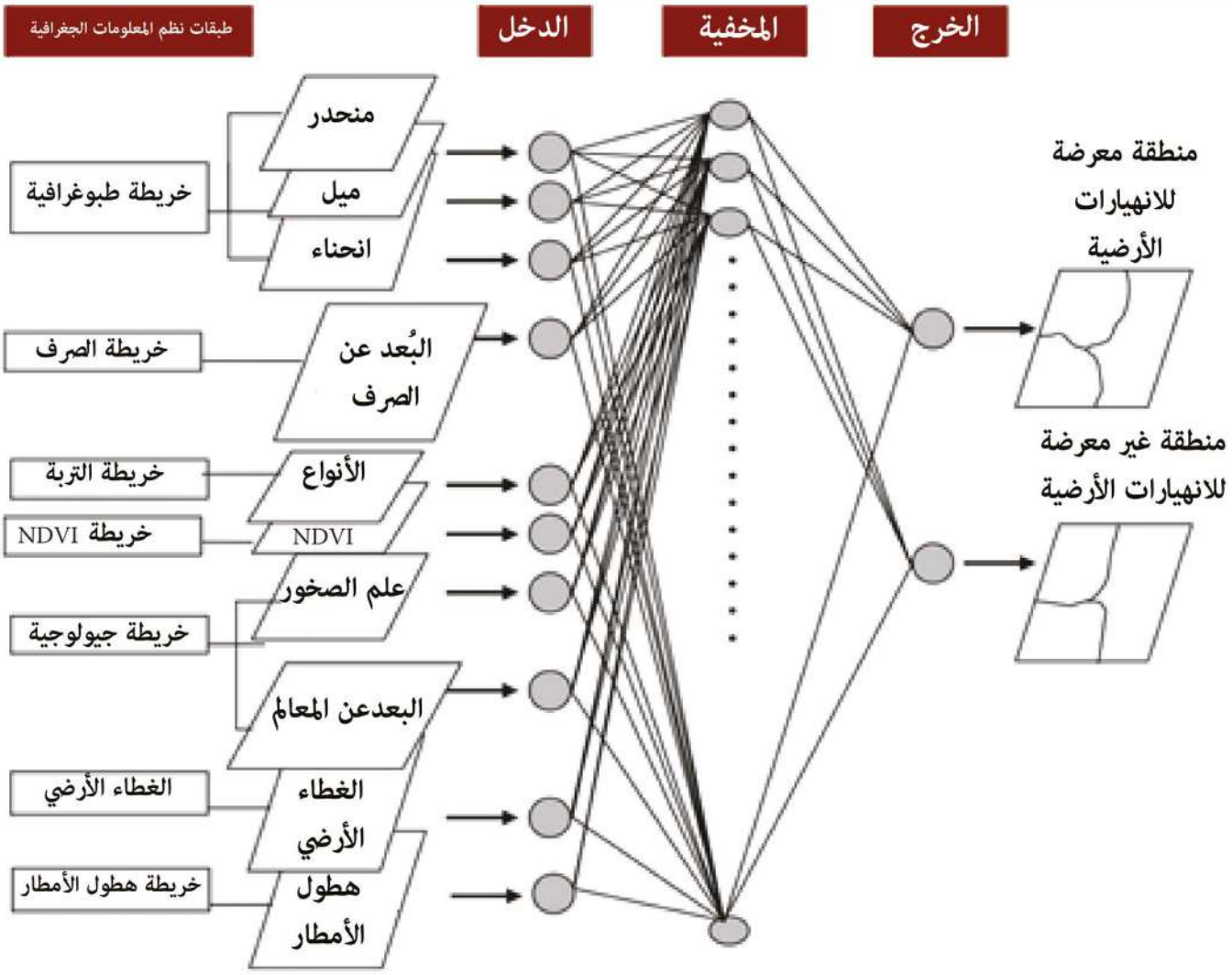
متصلة بـأوزان رقمية وإشارات خرج. والأوزان هي وظائف مجموع المدخلات إلى العقدة المعدلة بواسطة وظيفة تنشيط بسيطة. تعد إمكانية التعلم أهم ميزة تجذب الباحثين لاستخدام الشبكات العصبية الصناعية.

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، تزوّد الشبكة بأوزان اتصال عشوائية تمثل المدخلات إلى الشبكة والمخرجات المتوقعة. ثم تُحسب 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 تلقائيّاً لتقليل خطأ الإخراج وتُدرّب 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).

• الانحـــدار اللوجســـتي

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 خطيّاً 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 عددٍ 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.

• عمليـــــة التحقـــق

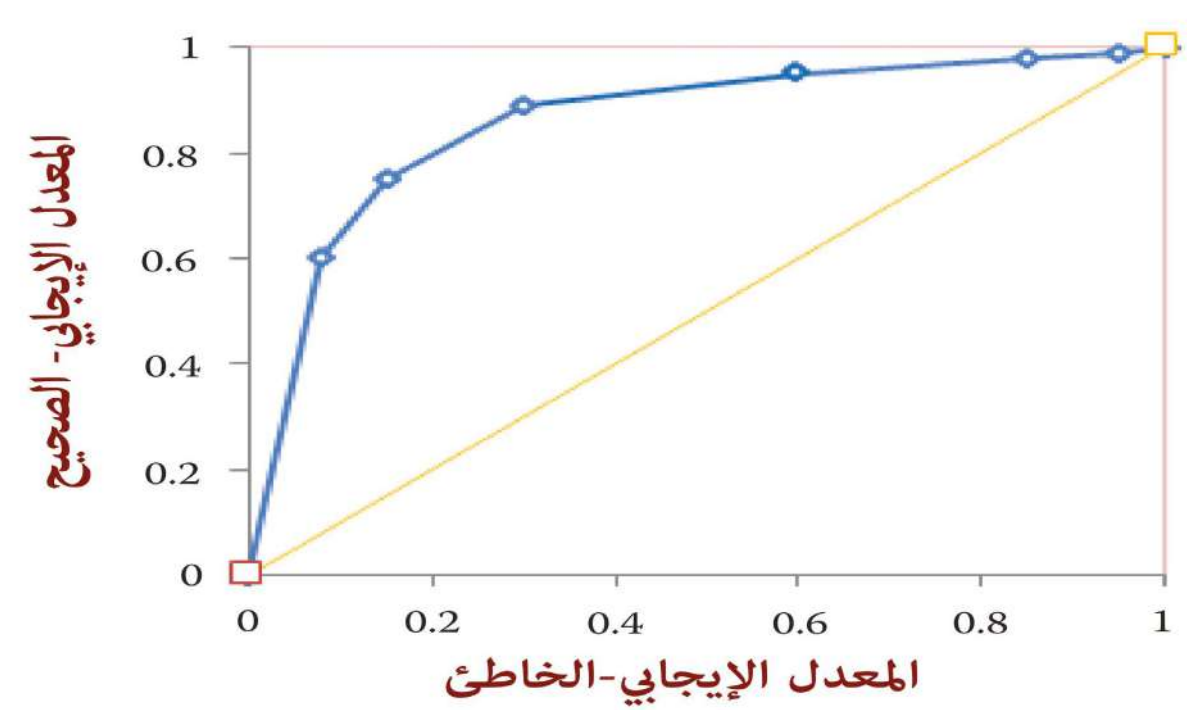
بشـكل عـامٍّ، تعـد طريقتـا الصمـود الزمنـي والصمـود الفراغـي الرئيسـيتين للتحقـق مـن قابليـة التأثـر بالانهيـارات الأرضيـة ورسـم خرائـط المخاطـر. في حالـة التحقـق مـن صحـة الزمـن، ينقسـم مخزون الانهيارات الأرضية إلـى فترتين زمنيتين: الحـدوث السـابق (بيانـات التدريـب النموذجيـة) والوقـوع المسـتقبلي (بيانـات اختبـار النمـوذج).

تُسـتخدم بيانـات الاختبـار لفحـص مـدى جـودة التنبـؤ ببقيـة المخـزون باسـتخدام النمـوذج. مـن أجـل الصمـود الفراغـي، ينقسـم جـرد الانهيـارات الأرضيـة إلـى مجموعتـين بشـكل عشـوائي: المجموعـة 1 مـن بيانـات التدريـب والمجموعـة 2 مـن بيانـات التنبـؤ.

الطريقـة الثالثـة هـي مزيـج مـن الصمـود الفراغـي والصمـود الزمنـي، التي يمكن اسـتخدامها عندمـا يتوفـر جـرد كامـل للانهيـارات الأرضيـة لإنتاج نهج شـامل.

هنـاك طريقـة أخـرى يمكـن اسـتخدامها لتقييـم أداء النمـوذج وهـي منحنـى (ROC)، التـي يمكنهـا قيـاس معـدل النجـاح والتنبـؤ. لقـد اعتمـد منحنـي (ROC) في مجـالات علميـة مختلفـة، مثـل: الاختبـار التشـخيصي الطبـي، ونمذجـة التعلـم الآلـي. ويمكـن اسـتخدام المنطقـة الواقعـة تحـت المنحنـى (AUC) Area Under the Curve كمقيـاس أساسـي لتقييـم الجـودة الإجماليـة للنمـوذج.

كلمـا زادت المسـاحة الموجـودة أسـفل منحنـي التركيـب (القيمـة > 50 %)، كانـت صحـة الأداء أفضـل. تمثـل المحـاور الرئيسـية علـى منحنـي (ROC) معـدلات الإيجابيـة الخاطئـة (FP) والإيجابيـة الصحيحـة (TP)، وهمـا أزواج مشـتقة مـن جـداول طـوارئ مختلفـة (انظـر الشـكل الآتـي).



منحني (ROC).

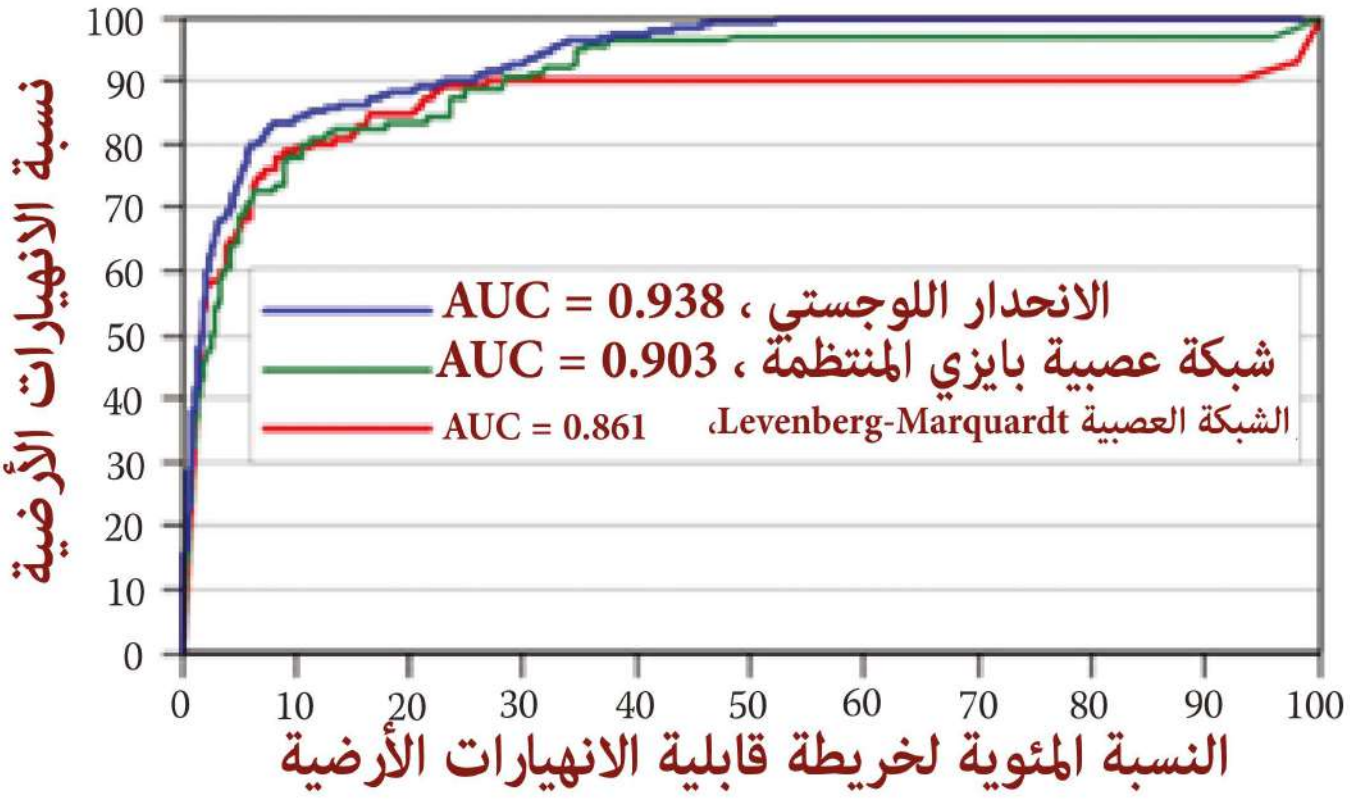
في حالة وحدات خلايا الشبكة حيث تتوافق الانهيارات الأرضية مع خلايا الشبكة المفردة وجميع وحدات التضاريس لها المنطقة نفسها، يتوافق المحور y مع TP، وهو مماثل لمساحة (ROC)، ويتوافق المحور x مع عدد الوحدات المصنفة إيجابيّاً.

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.

يمكـن الحصـول علـى منحنـي معـدل النجـاح عـن طريـق رسـم الحساسـيات ذات الصلة مقابل النسب الإجمالية لمجموعة البيانات المصنفة على أنها انهيار أرضي.

نظـراً لاسـتخدام بيانـات الانهيـار الأرضـي في التدريـب لإنشـاء النمـوذج، فـإن عمليـة التحقـق مـن الصحـة باسـتخدام بيانـات التدريـب لا تمثـل الكفـاءة الحقيقيـة للنمـوذج المطـور؛ لذلـك لا يمكـن تحقيـق قـدرة النمـوذج علـى التنبـؤ باسـتخدام معـدل النجـاح. وإنمـا يوضـح معـدل التنبـؤ مـدى قـدرة النمـوذج علـى التنبـؤ بالانهيـار الأرضـي في منطقـة مـا.



منحنيات معدل التنبؤ ومنحني معدل النجاح (AUC).

ميكانيكـــا الانهيـــارات الأرضيـــة

تكمـن مجموعـة متنوعـة مـن الأسـباب الميكانيكيـة وراء الانهيـارات الأرضيـة، ويجـب فهمهـا عنـد تقييـم حـدث أو خطـر معـين. السـمة الوحيـدة الشـائعة في الظـروف الثابتـة هـي، بالطبـع، وجـود منحـدر؛ لأن عنصـر قـوة الجاذبيـة المماسـي للسـطح مطلـوب لتوليـد ضغـوط القـص، والسـماح بالعمـل الـذي يجـب القيـام بـه أثنـاء تحـرك الانـزلاق. يمكـن أيضـاً أن توفـر التسـارع الجانبـي للزلـزال هـذه القـوة وتتسـبب في حدوث عمليات الانزياح على أسـطح الأرض الأفقية في بعض الأحيان.

يحـدث الانهيـار الأرضـي عندمـا يتجـاوز مكـون المنحـدر للقـوى المؤثـرة في الأرض أو الكتلـة الصخريـة قـوة أو مقاومـة القـص للمـادة. ويعنـي الانتقـال مـن منحـدر تل ثابـت إلـى انـزلاق نشـط أن القـوة المؤثـرة أو مقاومـة التربـة أو الصخـور قـد تغيـرت لسـببٍ مـا. مـن خـلال فحـص المكونـات التـي تشـكل قـوة التمثيـل ومقاومـة القـص للمـادة، يمكـن إنشـاء مجموعـة متنوعـة مـن الأسـباب والآليـات للانزلاقـات.

كتعريـف تقنـي، القـوة هـي حاصـل ضـرب كتلـة المـادة بالتسـارع الـذي تخضـع لـه. في حالـة حـدوث انهيـار أرضـي وفي ظـل ظـروف ثابتـة في البدايـة، يكـون التسـارع ناتجـاً عـن الجاذبيـة، التـي تعمـل في اتجـاه رأسـي، وبالتالـي تحـوي علـى مكونـات موازيـة وعموديـة علـى المنحـدر. وبالتالـي، قـد تكـون الزيـادة في القـوة التـي تعمـل علـى إحـداث الفشـل ناتجـة عـن زيـادة إمـا في كتلـة المـادة وإمـا في التسـارع.

في حالـة الانهيـارات الأرضيـة غيـر الناجمـة عـن الـزلازل، لا توجـد بالطبـع زيـادة في التسـارع بسـبب الجاذبيـة، ولكـن قـد تكـون هنـاك زيـادة في مكـون المنحـدر مـن تسـارع الجاذبيـة؛ لأن المنحـدر-علـى سـبيل المثـال- صـار أكثـر حـدة.

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

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 القُوى 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 الهشَّة، من الممكن أن تنخفض قوة القص في التربة أو الصخور، لكنّ 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، وسيسبق الانهيار الأرضي النهائي بشكل عامٍّ عمليات الانزياح يمكن ملاحظتها باستخدام أجهزة حسَّاسة.

• تغيــرات الحمــل

يمكـن أن ينشـأ تغييـر مكـون الانحـدار لـوزن كتلـة الانهيـار الأرضـي إمـا مـن أسـباب طبيعيـة وإمـا مـن صنـع الإنسـان. في الطبيعـة، تعتبـر عمليـات انحـدار المنحـدرات شـائعة، وتتطـور غالبـاً نتيجـة لتحـركات الميـاه.

الشـكل الأكثـر شـيوعاً هـو إزالـة المـواد مـن قاعـدة المنحـدر بفعـل الموجـة أو مـن خـلال التعريـة بواسـطة الأنهـار. نظـراً لأن المـادة الموجـودة في قاعـدة المنحـدر، كمـا هـو مذكـور أدنـاه، تسـاعد في تثبيـت التربـة أو كتلـة الصخـور، فـإن إزالتهـا تـؤدي إلـى عـدم الاسـتقرار.

تكـون الحـركات التـي تتطـور تدريجيـة بشـكل عامٍّ ولكـن يمكـن، في بعـض الأحيـان، أن تحـدث بسـرعة خـلال فتـرات ارتفـاع مسـتويات الفيضانـات أو العواصـف. عندمـا تتشـكل الانزلاقـات بهـذه الطريقـة، فمـن المعتـاد أن نجـد أن العديـد مـن الإخفاقـات المتتاليـة تحـدث في المنطقـة نفسـها. تعمـل مـادة الانـزلاق مـن فشـل أحـد المنحـدرات علـى اسـتقرار المنطقـة مؤقتـاً، ولكـن تجـري إزالتهـا عـن طريـق التـآكل بحيـث يتطـور المزيـد مـن عـدم الاسـتقرار، ويـزال هـذا الحطـام، بشـكل كامـل.

وبالتالـي يمكـن التعـرف بسـهولة علـى المناطـق التـي كان يجـري فيهـا هـذا النـوع مـن الآليـات. النتـوءات حيـث يُكشـف عـن المـواد الجوفيـة عـن طريـق إزالـة حطـام الانـزلاق لهـا مظهـر جديـد ومتقطـع مـع المسـار العـام مـن جانـب التـل.

الأنشـطة البشـرية، مسـؤولة عـن العديـد مـن الانهيـارات الأرضيـة. عـادة مـا ينطـوي إنشـاء الطـرق السـريعة، والتطـورات السـكنية علـى سـفوح التلال، والسـدود، والخزانـات، والصـرف الصحـي، وهيـاكل المرافـق علـى حركـة كميـات كبيـرة مـن

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

• التأثيـرات الزلزاليـــة

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 يؤخذ في الاعتبار ناتج هذه التسارع وكتلة المادة في الانهيار الأرضي المحتمل، سيتبين أن هناك قُوى أفقية عابرة من نفس الحجم مثل وزن الكتلة المنزلقة.

مع أنّ 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 القُوى 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 حد 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 عادة 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 والانهيارات الأرضية التي يسببها تحدث بسرعة. مع أنّ كتلاً معينةً 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.

تتدرج الانهيارات الأرضية التي تحدث في التصنيف من سريعةٍ إلى متوسطة. عادة، تحدث جميع الأحداث الكبرى في غُضون 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.

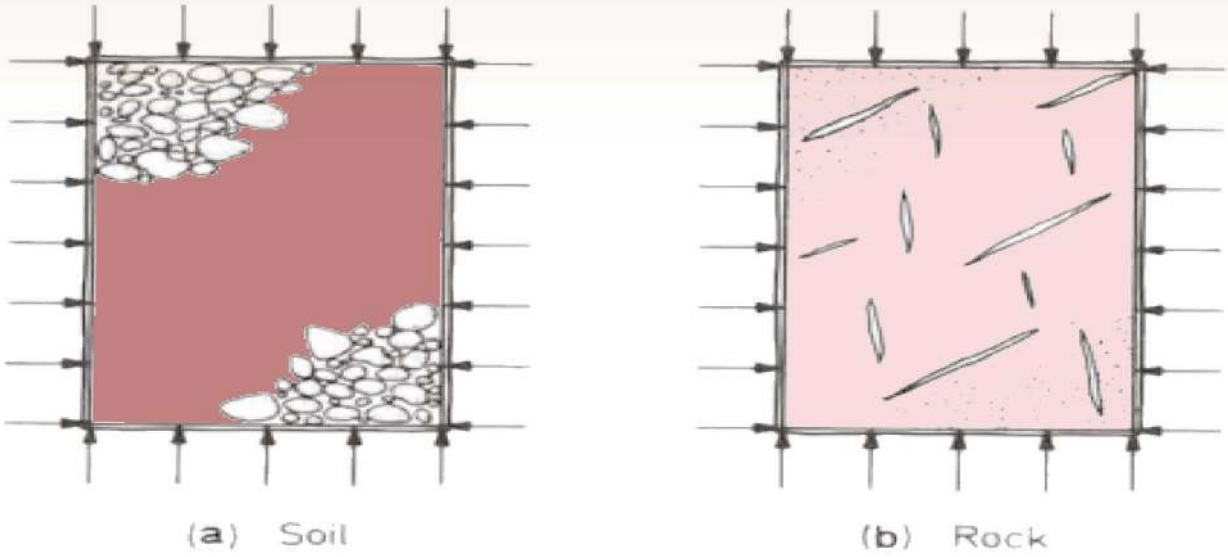
يشكل الزلزال اختباراً شاملاً واسع النطاق لجميع هياكل التربة والصخور التي يحتمل أن تكون غير مستقرة على مساحة من مئات إلى آلاف الكيلومترات

المربعة. نظراً لأنه من المستحيل في أي منطقة نَشِطة زلزاليّاً إجراء فحص شامل لجميع المناطق التي يحتمل أن تكون غير مستقرة، فإن العديد من تأثيرات الزلزال ستكون دائماً غير متوقعة.

• قـــوة القـص وضغـط المسـام

من السهل نسبيّاً فهم التغييرات في القُوى 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 مقطعيّاً لتجميع حبيبات التربة؛ توجد مسافات بين الحبيبات، ويشار إليها بالمسام أو الفراغات.
- عند النظر إلى كتلة صخرية، قد يمثل الشكل (b) مقطعاً عرضيّاً 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 للعينة.

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 نسبيّاً 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 نسبيّاً 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 الفعَّال.

إذا كان هناك ثقب في الغشاء، مما يتيح الوصول إلى منطقةٍ 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؛ سيقل التغيير في ضغط المسام، بمرور الزمن، إلى الصفر حيث يجري تصريف مياه المسام الزائدة بعيداً عن المنطقة المجهدة 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 بالقُرْب 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.

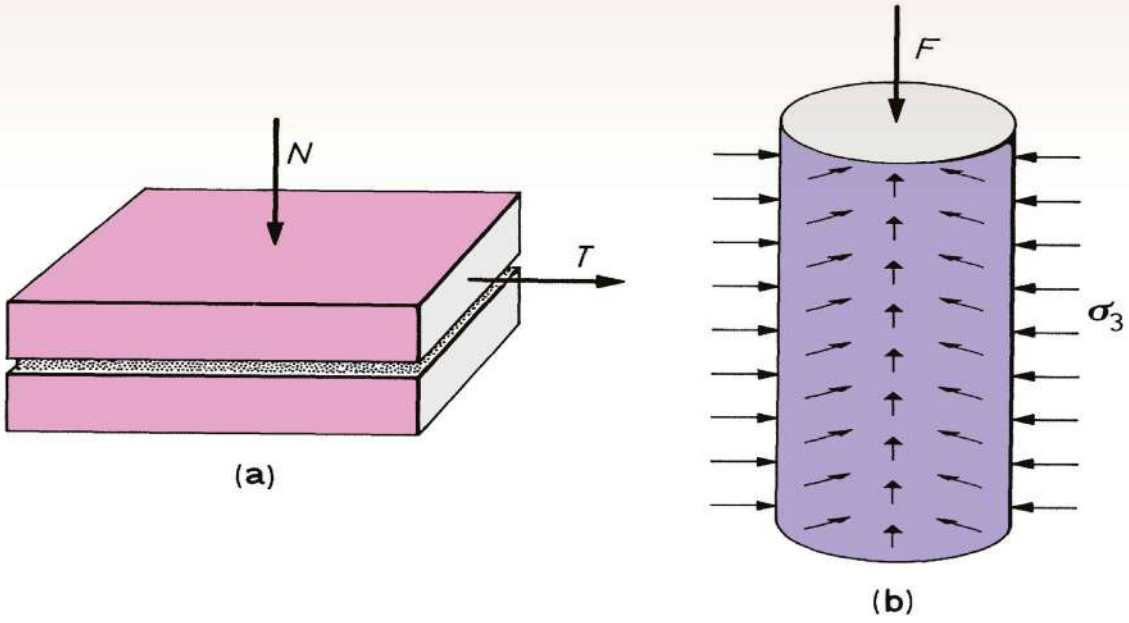
يوضـح الشـكل الآتـي قطعتـين مـن المعـدات التـي تُسـتخدم عـادة لإجـراء الاختبـارات علـى التربـة أو المـواد الصخريـة. في الشـكل أعـلاه (a) يظهـر اختبـار (القـص المباشـر). في هـذا الشـكل، يجـري احتـواء عينـة التربـة أو الصخـور داخـل صنـدوق مقسـم بالطـول بحيـث لا يتلامـس نصفـا الصنـدوق مـع بعضهمـا بعضـاً إلا مـن خـلال العينـة.

تطبّـق حمولـة عاديـة علـى هـذا المربـع N. ثـم يجـري تطبيـق قـوة القـص T على نهايات الصنـدوق لإزاحـة نصفـي الصنـدوق ومـواد الاختبـار المتعلقـة ببعضهـا بعضـاً.

مـع زيـادة القـوة T تدريجيّـاً، تتشـوه مـادة الاختبـار، عنـد القيمـة الحرجـة لـ T، سـيحدث الفشـل في التربـة، ثـم ينزلـق نصفـا الصنـدوق المتعلقـان ببعضهمـا بعضـاً، ودون وجـود زيـادة أخـرى في T قـد تكـون المـادة الموجـودة في الصنـدوق حـرة في التصريـف أو لا تتناسـب مـع معـدل التحميـل ونفـاده.

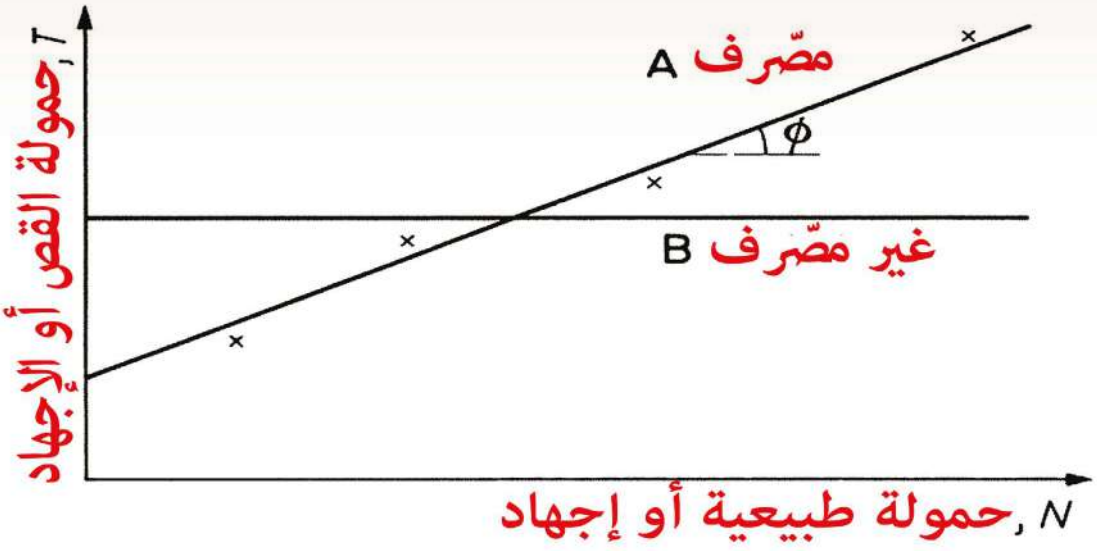
إذا سُـمح بحـدوث التصريـف وفقـاً لطبيعـة ظـروف الاختبـار، فـإن كل تطبيـق للحمـل العـادي N سـوف يتسـبب في انخفـاض حجـم العينـة قليـلاً إلـى حالـة أكثـر كثافـة. لكـن بعـض هـذه الأحمـال العاديـة سـوف تتوافـق مـع قيمـة قـوة القـص المطلوبـة لفشـل العينـة.

مـا يحـدث هـو أن التصريـف يسـمح للحمـل الكامـل N ليكـون فعَّـالاً في ضغـط المكونـات الصلبـة للتربـة أو الصخـور معـاً بحيـث تكـون قـوة القـص عنـد الفشـل متناسـبة مـع الحمـل 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 فعَّالة في تطوير قوة التربة أو الصخور، وهذا الحمل هو الذي يؤدي إلى الإجهاد الفعَّال الموصوف سابقاً. إذا لم يُسمح للمواد بالتصريف تحت تأثير الحمل الطبيعي أو إذا كان التصريف جزئيّاً فقط، فلن يُنظر إلى مجمل الحمل الطبيعي N بواسطة المكون الصلب على أنه ضغط فعَّال، ولكن بدلاً من ذلك، سيكون بعض ضغط المسام قد تشكّل. في هذه الحالة، ستكون قوة القص T المطلوبة للتسبب في فشل العينة متناسبة مع القوة الفعَّالة المؤثرة وليس مع إجمالي القوة المطبقة.

على سبيل المثال، إذا سُمح لعينةٍ من الرمل في الجهاز الموضح في الشكل (ص٦١) (a)، المشبعة بالماء، بالتصريف تحت حمولة طبيعية N_o، فإن هذا الحمل الطبيعي يكون حمولة فعَّالة. سيكون الحمل المماسي مطلوباً لفشل العينة تحت هذا الحمل N_o، حيث $T_o = N_o \tan \varphi$ ، إذا كانت φ هي زاوية الاحتكاك الداخلي للتربة.

إذاً بـدلاً مـن قـص التربـة عنـد تحميـل N_o، تُفـرض حمولـة إضافيـة ΔN دون السـماح بالتصريـف وبعـد ذلـك يجـري تطبيـق قـوة القـص، وسـنجد أن الفشـل سـيحدث بالقيمـة نفسـها لقـوة القـص T_o كمـا كانـت مـن قبـل.

يحـدث هـذا لأن زيـادة الحمـل ΔN لـم ينتـج عنهـا زيـادة في الضغـط الفعَّـال في التربـة، وبالتالـي لـم يجـر تطويـر أي زيـادة في القـوة. سـيكون هـذا صحيحـاً مهمـا كانـت قيمـة زيـادة الحمـل ΔN، ممـا يوفـر عـدم حـدوث تصريـف.

تظهـر نتيجـة هـذا السـلوك في الشـكل أعـلاه بالخـط الأفقـي B حيـث يظهـر الحمـل الإجمالـي $N_o + \Delta N = N$ علـى المحـور الأفقـي. وتُظهـر المـادة علـى مـا يبـدو بعـض التماسـك الـذي، كمـا يمكـن رؤيتـه، يرجـع في هـذه الحالـة إلـى نقـص التصريـف.

يحـدث تطويـر تماسـك حقيقـي في الصخـور السـليمة بسـبب الروابـط بـين جزيئـات المعـادن، وفي الطـين الـذي تعـرض لضغـوط فعَّالـة أو أحمـال أعلـى مـن تلـك التـي يجـري الاختبـار فيهـا. وفي الحالـة الأخيـرة، تتسـبب الضغـوط الفعَّالـة العاليـة في تكويـن روابـط بـين جزيئـات الطـين التـي لا تنكسـر عنـد إزالـة الضغـط الفعَّـال. في الواقـع، فـإن الصلصـال (يتذكّـر) أعلـى إجهـاد فعَّـال تعـرض لـه، ولذلـك يجـب كسـر الروابـط التـي طورتهـا هـذه الضغـوط لقـص الطـين عنـد أي مسـتوى أدنـى مـن الضغـط المطبـق مـع أو بـدون تصريـف.

وبالتالـي فـإن قـوة القـص أو الحمـل عنـد الفشـل تعكـس أعلـى إجهـاد فعَّـال يطبّـق علـى الصلصـال. علـى وجـه الخصـوص، إذا جـرى قـص الطـين تحـت أي إجهـاد محصـور، فـإن قـوة القـص ترجـع أساسـاً إلـى التماسـك الـذي طورتـه الضغـوط الأعلـى سـابقاً.

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

الضغط الفعَّال 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 الفعَّال. وتجدر الإشارة إلى أن ضغط المسام يُطرح فقط من إجمالي الضغط الطبيعي للحصول على ضغط طبيعي فعَّال. لا تتأثر ضغوط القص التي يجري تطويرها في كتلة التربة بضغوط المسام، حيث لا يمكن لمياه المسام أن تتحمل إجهاد القص. وبالتالي، فإن ضغوط القص دائماً ما تكون ضغوطاً فعَّالة. 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 الفعَّالة 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. إنّ التغييرات في ضغط المسام، وبالتالي الضغط الفعَّال هي، نتيجةً لذلك، سبب العديد من حوادث الانهيارات الأرضية المفاجئة وغير المتوقعة.

يوجد جانب آخر مُهمٌّ 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 (b). هنا، تُغلّف عينة أسطوانية من التربة أو الصخور بغلاف مطاطي أو بلاستيكي. ثم تُطبّق 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 (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.

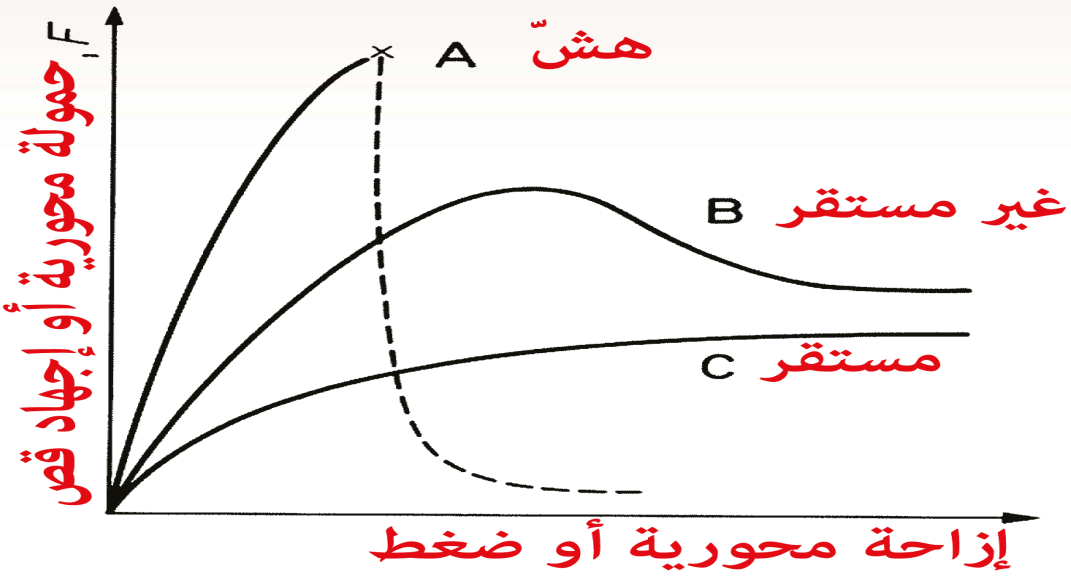
عندما تكون الظروف مناسبة، يجري تحميل العينة محوريّاً ويتم قياس الانزياح أو عمليات الانزياح المحورية الناتجة. عادة إما يتغير الحجم، إذا تم تفريغ الاختبار، إما يجري أيضاً تسجيل ضغط المسام، إذا كان غير مجوف.

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 بالقُرب من سطح الأرض، فعادة ما يُعثر على سلوك صخري

هشٍّ يتوافق مع المنحني A في الشكل أعلاه. هنا تظهر الصخور تشوهاً يزداد تدريجيّاً 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 فعَّال 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 جدّاً، أو عبارة عن رمل أو حصى رخو، أو عبارة عن طين تعرض فقط لأحمال فعَّالة سابقة متواضعة، يلاحظ السلوك الموضح بالمنحنى C في الشكل أعلاه. هنا يزداد كل من الحمل والانزياح تدريجيّاً 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 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 مُهمٍّ في السلوك. بالنسبة لمجموعة معينة من الضغوط ودرجات الحرارة الفعَّالة، يتشوه الصخر بشكل أساسي على شكل

المنحنـي B مـن الشـكل أعـلاه، ولكـن الانخفـاض في ذروة الإجهـاد يكـون مفاجئـاً بشـكل أكبـر، وإذا اسـتمر الانزيـاح المحـوري للوحـة التحميـل، سـوف يتراكـم الحمـل مـرة أخـرى إلـى قيمـة ذروة أخـرى أقـل. وهـذا بـدوره يتبعـه انخفـاض مفاجـئ في الحمـل وتراكـم آخـر. تُلاحـظ هـذه الظاهـرة بشـكل شـائع في الانـزلاق الاحتكاكـي، ويشـار إليهـا باسـم سـلوك الانـزلاق اللاصـق Sticky Slip Behavior. ونظـراً لأنهـا تحـدث فقـط في نطـاق درجـة حـرارة وضغـط معـين، يبـدو أنهـا تفسـر سـبب تولـد الـزلازل فقـط خـلال عمـق معـين في قشـرة الأرض. في الأعمـاق الضحلـة، تتشـقق الصخـور بشـكل هـشٍّ كمـا هـو موضـح بالمنحنـى A بالشـكل أعـلاه، وفي الأعمـاق الكبيـرة جـدّاً، يتجلـى السـلوك المـرن البحـت للمنحنـي C.

إذا تطـورت الظـروف المواتيـة لانهيـار أرضـي في منحـدر مـن الرمـال الرخـوة أو شـديدة الصـلابة (أي مـن اللينـة إلـى المتوسـطة)، علـى سـبيل المثـال، فـإنّ الزيـادة التدريجيـة للحمـل في الكتلـة الانزلاقيـة المحتملـة، سـتصل إلـى مرحلـة حيـث يضغـط القـص علـى طـول الجهـد، والسـطح المنزلـق يسـاوي قـوة المـادة.

تتمتـع هـذه المـواد بخاصيـة إزاحـة القـوة الموضحـة في المنحنـي C في الشـكل أعـلاه، وبالتالـي فـإن انـزلاق الكتلـة المنزلقـة أو إزاحتهـا سـوف يتطـور تدريجيّـاً مـع اقتـراب القـوة مـن قيمـة الـذروة. في هـذه الحالـة يمكـن ملاحظـة أن عمليـات الانزيـاح التـي تحـدث لا تـؤدي إلـى انخفـاض في مقاومـة القـص للمـادة. ومـع ذلـك، عنـد حـدوث الانـزلاق، يحـدث تخفيـض تلقائـي أساسـي لقـوة التمثيـل؛ لأن حركـة المنحـدر تنقـل بعـض الحمـل إلـى مقدمـة المنحـدر وتخفـف الحمـل في الأعلـى. وهكـذا، ربمـا بعـد حركـة صغيـرة نسـبيّاً، يسـتقر الانـزلاق بسـبب علاقـات الإجهـاد والانفعـال للمـادة، والتغيـر الهندسـي الطفيـف الناجـم عـن الانزيـاح. السـلوك مسـتقر، لأن تغييـراً بسـيطاً في الحمـل لا يـؤدي إلا إلـى إزاحـة صغيـرة.

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 الازاحة 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 الهشِّ كما يتضح من المنحني A في الشكل أعلاه، فإن تطور الأحمال الكبيرة بما يكفي لتسبب فشلاً للمواد الموجودة في المنحدر يؤدي إلى فقدانٍ 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 عامٍّ غير المستقر؛ تحدث الانزلاقات ذات السرعات المتوسطة من دقائق إلى ساعات وتكون عموماً ذات طبيعة تقدمية في المواد غير المستقرة؛ والانهيارات الأرضية البطيئة أو الزاحفة هي من سمات المواد ذات العلاقة الثابتة بين الإجهاد والانفعال.

• ضغــوط المســـــام

يعد تأثير التغييرات في ضغوط المسام في تطور الانهيارات الأرضية مُهمّاً لدرجة تتطلب مناقشة منفصلة. تتطور ضغوط المسام في تربة مشبعة أو كتلة صخرية عن طريق أي تغييرٍ 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 القُوى التي تميل إلى التسبب في الفشل، ولكن الضغوط الفعَّالة في التربة، تبقي 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 الفعَّالة. وبالتالي تزداد قوة التربة وسلامة المنحدرات بمرور الزمن أيضاً. بشكل عامٍّ، 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.

تنخفض 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 الفعَّالة 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.

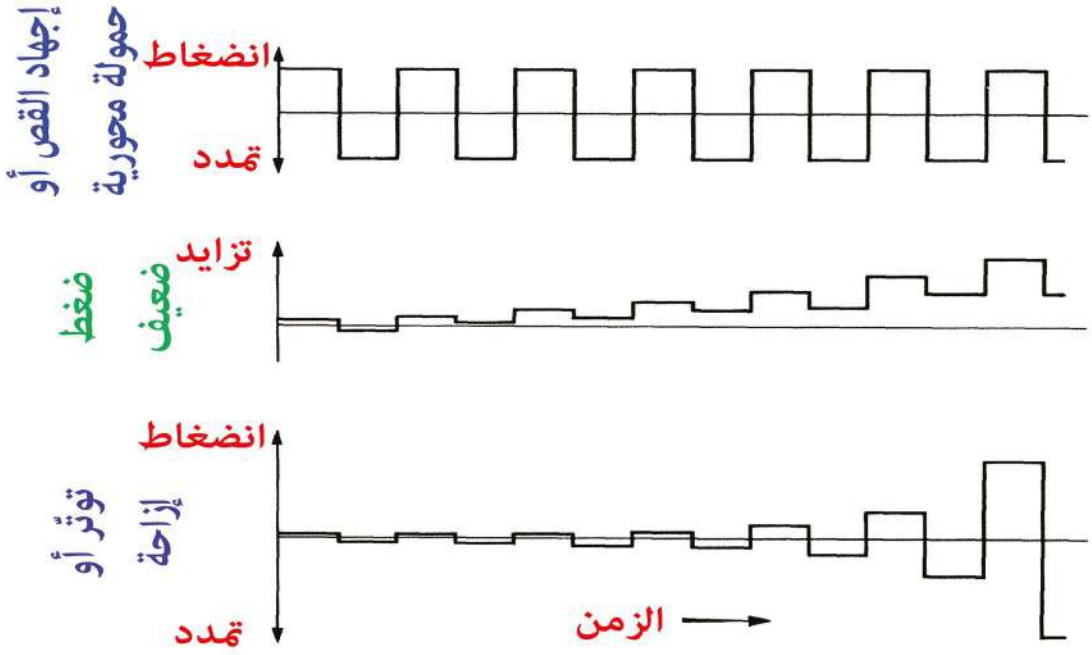
مثلاً في لوس أنجلوس، كاليفورنيا، لم يكن فشل سفوح التلال التي تم بناء المنازل عليها والاستيلاء عليها أمراً غير مألوف. في كثير من الحالات، تكون هذه الإخفاقات، على الرغم من صعوبة التحقيق فيها، على الأرجح بسبب التغيرات في كمية المياه الموجودة في سفوح التلال القاحلة عادة.

توجد آلية أخرى يمكن بواساطتها زيادة ضغوط المسام، وذلك من خلال اهتزازات الزلزال. إذا تعرضت التربة الحبيبية الجافة أو الرملية لتحميل متكرر،

فسيعثر على أنه حتى المواد الكثيفة نسبيّاً ستنخفض في الحجم مع عدد دورات تطبيق الحمل.

وبالتالي، إذا وضعت التربة نفسها في التكوين الاختباري للشكل (ص٦١) (a)، يمنع الصرف، ويطبق الحمل المحوري دوريّاً لإحداث ضغطٍ متناوبٍ وتمديدٍ لعينة التربة، سيزداد ضغط المسام تدريجيّاً.

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 الفعَّالة في عينة التربة تتناقص.

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

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 نسبيّاً، 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، فعادةً ما تمتلك بعض التماسك. وهو ما يمنع تطور الظاهرة لأنه، مع أنّ 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 رئيسيًاً 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.

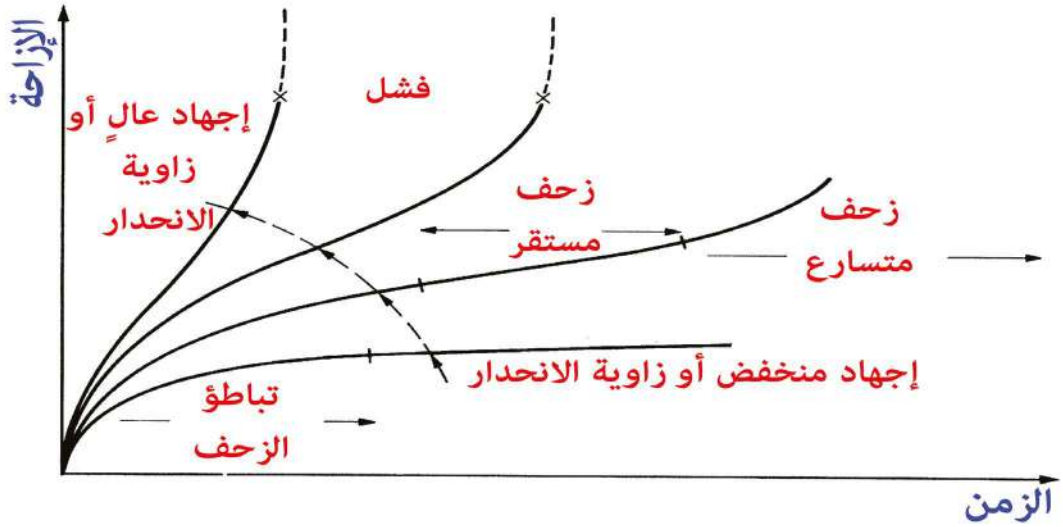
في زلزال سان فرناندو بكاليفورنيا عام 1971، تسبب تسييل المواد في سد سان فرناندو في حدوث انهيار أرضي للجزء العلوي من هيكل السد. كما يُعزى هبوط وإزاحة المنحدرات والجسور الأخرى في هذا الزلزال إلى ظاهرة التسييل.

• من الزحـــف إلى الفشـــل

تُظهر جميع مواد التربة والصخور السلوك اللزج للتدفق أو الزحف تحت ضغوط القص المستمرة. نظراً لوجود ضغوط القص على سفوح التلال، فمن الشائع جدّاً أنّ رؤية الأشجار على المنحدرات تظهر انحناءً لقاعدة الجذع، منحدراً 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 نسبيّاً 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 منطقةٍ أقصى إجهادات القص (عادةً عند إصبع أو قمة المنحدر)، وهناك قوة المادة سوف يجري تخفيضها إلى قيمتها النهائية. ثم تعمل هذه المنطقة إلى حدٍ 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 القص. أخيراً، عندما يصل سطح القص إلى بُعدٍ 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 منحنٍ السلوك تحت قيمة واحد لإجهاد القص، وتزايد إجهاد القص 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.

• الحـــــركات التكتونيـــــة

في أجزاء كثيرة من العالم، لا سيَّما 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.

• تحليـــل المنحـــــــدر

تنقسم دراسة الانهيارات الأرضية إلى واحدةٍ من فئتين: إما التحقيق في الانهيار الأرضي الذي حدث بالفعل، مع تحليل مصاحب لشرح تطوره، إما دراسة وتحليل منحدر طبيعي أو صنعي 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 القُوى العاملة لمقاومة الفشل، إلى القُوى التي تعمل على التسبب في الفشل.

تتطور قُوى المقاومة من خلال مقاومة القص للتربة، ويجري إجمالها على سطح الفشل أو التمزق المحتمل؛ إن القُوى المؤثرة، كما وصفت سابقاً، ناتجة عن حمل الكتلة المنزلقة، جنبًا إلى جنب مع أي قُوى 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.

مـن الممكـن، بالطبـع، لا سِـيَّما في حالـة المنحـدرات الطبيعيـة، ألا يُعثـر علـى الآليـة الأكثـر ملاءمـة للفشـل أو تحديـد موقعهـا في التحقيـق -علـى سـبيل المثـال- قـد لا يكتشـف الشـق أو مسـتوى القـاع الـذي يحـوي علـى المـاء أو مـادة ذات مقاومـة قـص منخفضـة في العمليـات المعتـادة لعمـل الآبـار وأخـذ العينـات، وفي هـذه الحالـة، قـد يحـدث الفشـل بالفعـل قبـل أن تصـل الأحمـال إلـى قيمتهـا التصميميـة، أو في منحـدر محسـوب علـى أنـه آمـن. الاحتيـاط الوحيـد هـو توظيـف العنايـة القصـوى في التحقيـق والتحليـل الميدانـي. سـنتعرف فيمـا يأتـي علـى عـددٍ مـن آليـات الفشـل الأكثـر شـيوعاً:

1. المنحـــــدر اللانهـــــائي

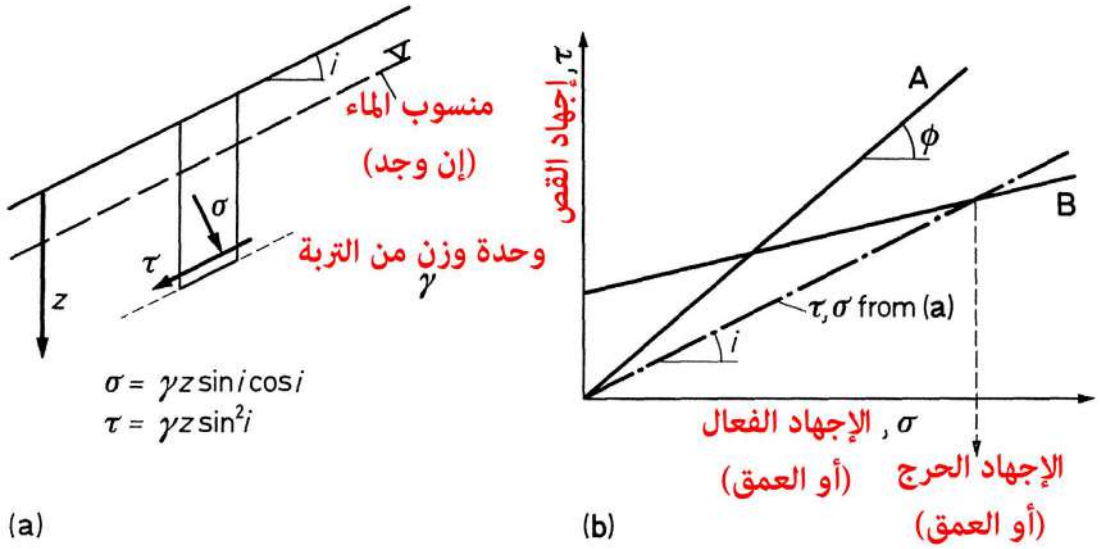
أسـهل آليـة للتخيـل تتضمـن منحـدراً طويـلاً مقارنـة بسـمك مـادة يحتمـل أن تكـون غيـر مسـتقرة. كمـا أنهـا طويلـة بمعنـى أن الظـروف في أعلـى وأسـفل المنحـدر بعيـدة بمـا يكفـي ليكـون لهـا تأثيـر ضئيـل في اسـتقرار السـطح المنحـدر. تحـدث هـذه الحالـة عـادةً عندمـا تكـون الطبقـة غيـر المسـتقرة رقيقـة نسـبيّاً وتغطـي طبقـةً أقـوى بكثيـر. يمكـن أن تتحقـق الظـروف في الممارسـة العمليـة مـن خـلال طبقـة مـن التربـة التـي تعلـو سـطحاً صخريّـاً مائـلاً أو عـن طريـق الصخـر الأساسـي نفسـه عندمـا تعمـل طبقـات الوصـل أو مسـتوي القـاع بالتـوازي مـع سـطح المنحـدر.

مـن خـلال النظـر في عمـود عنصـري المـادة في مثـل هـذا المنحـدر، يمكـن الحصـول علـى معالـم التحليـل. وهـي موضحـة في الشـكل أدنـاه (a) حيـث σ يمثـل الضغـط الفعَّـال الـذي يعمـل بزاويـة قائمـة علـى السـطح المنزلـق المحتمـل عنـد العمـق z أسـفل منحـدر الميـل i، و τ هـو إجهـاد القـص الـذي يعمـل علـى السـطح نفسـه.

هـذه هـي الضغـوط المؤثـرة. ينطبـق الرسـم التوضيحـي الموضـح علـى الحالـة البسـيطة حيـث تكـون المـادة متجانسـة بـين السـطح والعمـق موضـع الاهتمـام. في

حالـة وجـود طبقـات مـن مـواد وخصائـص مختلفـة، فيجـب ترجيـح وزن الوحـدة γ المسـتخدم في تعبيـرات الشـكل بشـكل مناسـب.

عندمـا يكـون منسـوب الميـاه الجوفيـة موجـوداً في المنحـدر بسـبب حالـة تسـرب الميـاه المتدفقـة عبـر التربـة، يمكـن الحصـول علـى ضغـط المسـام المناسـب وطرحـه مـن إجمالـي الإجهـاد الطبيعـي σ مـن أجـل الوصـول إلـى الضغـط الفعَّـال علـى مسـتوى الفشـل المحتمـل.



الإجهـاد والقـوة لمنحـدر لانهائـي. (a) الضغـوط علـى سـطح التربـة عنـد العمـق z أسـفل المنحـدر، (b) العلاقـة بـين الضغـوط في المنحـدر وقـوة المـواد.

إذا جـرى رسـم الإجهادين τ و σ من الشـكل أعـلاه (a) و (b)، مـع إظهـار زيادتهمـا مـع العمـق، يُلاحـظ أنهمـا مرتبطـان ببعضهمـا بعضـاً مـن خـلال خـط يصنـع الزاويـة نفسـها مثـل منحـدر إلـى المحـور الأفقـي.

لتحديد ما إذا كان الميل مستقراً أم لا، من الضروري رسم شكل بياني على الشكل (ص 62) (b) حيث إنّ مقاومة القص (التي تقاوم الفشل) مقابل علاقة الضغط الفعَّالة العادية الموضحة في الشكل (ص 62) 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 الفعَّال، 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 ستنزلق.

حتى يكـــون 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.

المنحـــدرات المحـــدودة

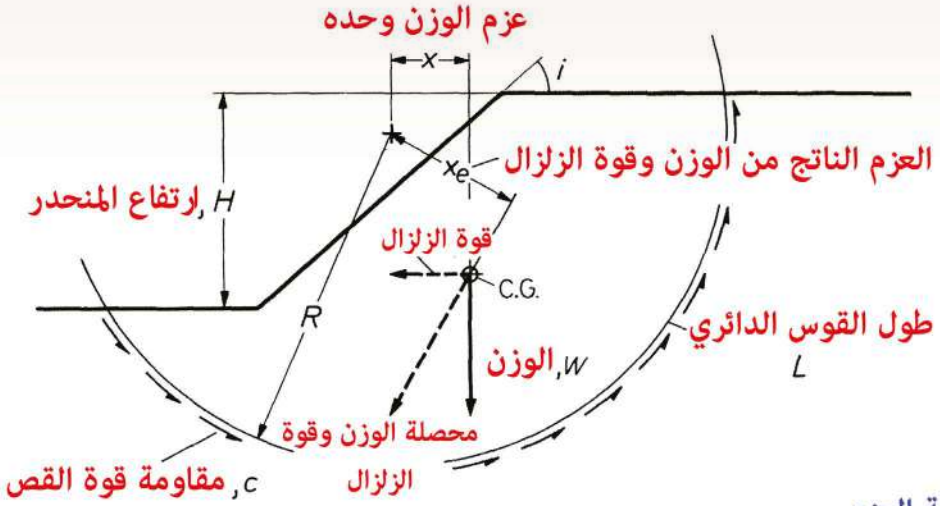
الموقف الذي نواجهه بشكل متكرر هو المنحدر المحدود حيث يكون عمق المادة القادرة على الانهيار مشابهاً لأبعاد المنحدر. في هذه الحالة، ومع أنّ السطح المستوي المنهار لا يزال ممكناً، إلا أنه ليس موازياً لسطح المنحدر ويجب أيضاً مراعاة الأسطح الأكثر تعقيداً.

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.



cLR مقاومة العزم

Wx العزم الفعال

عامل الأمان $= \frac{cLR}{Wx}$

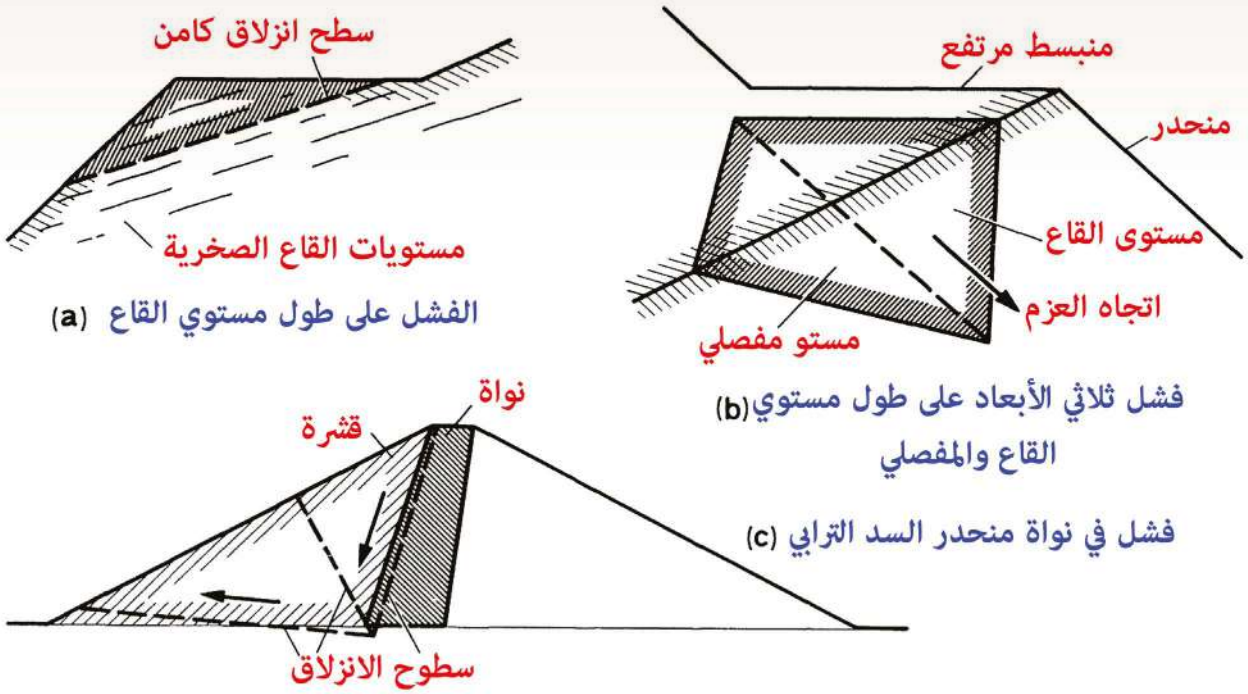
حساب ثبات المنحدر باستخدام سطح فشل القوس الدائري.

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 المصفاة. 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 الفعَّال لهذه القوة، وتعتمد قوة القص على هذا المكون.

يمكن بعد ذلك جمع قُوى القص ومقاومة قص التربة لجميع الانزلاقات، وحساب عامل الأمان لدائرةٍ 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 توحي 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 الشكل8-؛ 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 حادٍّ 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.



آليـات الفشـــل.

تتمثل إحدى التقنيات المستخدمة في بناء السدود الترابية في استخدام مادة حبيبية خشنة نسبيّاً 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 المنزلقة 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 المنزلقتان على واجهة تنزلق على طولها فيما يتعلق ببعضها بعضاً.

• الاعتبـــــارات الزلزاليـــة

في التحليلات التي نوقشت إلى الوقت الحالي، أُخذت القُوى الرأسية فقط بسبب الجاذبية في الاعتبار. عندما يحدث زلزال، ينشأ تسارع أفقي وعمودي ذو طبيعة ديناميكية. ومن خلال كتلة المادة، تغير هذه القُوى 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 المنزلقة المحتملة. يمكن تطبيق القوة الساكنة المكافئة من خلال المكونات الأفقية والعمودية.

من الشائع إهمال المكـــون الرأسي لتسارع الزلازل في مثل هذا التحليل. إذا اعتبـــر التســـارع الجانبي لذروة الزلـــزال جزءاً من تسارع الجاذبيـــة 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 المنزلقة في الاتجاه الأقل ملاءمةً، أي للخارج.

يؤخذ حجم القوة على أنه المعامل الزلزالي مضروباً في وزن الكتلة المنزلقة. 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. أن الزلزال يقلل بشكل واضح من سلامة المنحدر في الاعتبار.

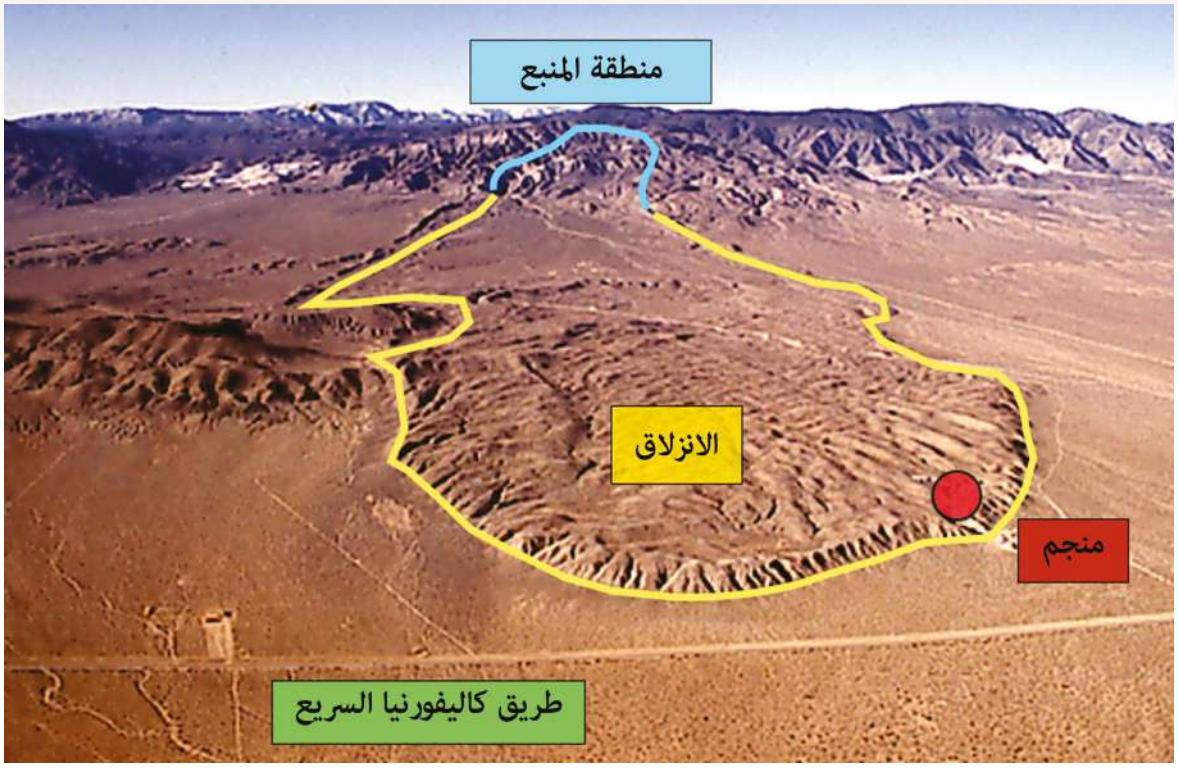
يمكن تطبيق طريقة التحليل هذه، التي تتجاهل الطبيعة الديناميكية للظواهر التي تنطوي عليها الزلازل، على المنحدرات الصغيرة نسبيّاً أو السدود الترابية التي يبلغ ارتفاعها عادةً أقل من 30 متراً. بالنسبة للهياكل الأكبر، يلزم وجود طرائق تحليل أكثر تعقيداً.

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.

• تحقيقـــات موقـــع الانهيـــارات 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 مميزاً 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 كاف بسبب التآكل مما يجعلها أكثر صعوبة إلى حد ما في الكشف عنها، إلا أنها تتميز عادةً بتضاريس مجعدة 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 خاصٍّ.

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 المعملي.

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 طفيفة أو التي لا تعرض الحياة للخطر مقارنة بهيكل مُهمٍّ 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 مُهمَّاً 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.

• الكشـــف والتحكـــم

العديد من الانهيارات الأرضية، إن لم يكن كلها، تسبقها فترة من الزحف التي تزداد تدريجيّاً 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 للتنبيه عن أي مشكلات في منحدر خُفّض 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 للأنابيب 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 الأنابيب 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 منحدرةً 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 جدّاً، 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 تجفّف 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 يُشتبه 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 أفقياً، ويجب التحكم بعناية في ضغط التربة التي تشكل المنحدر لتتجاوز حدّاً 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 نواحٍ 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 عامٍّ 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 والجيولوجية 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 المُدن 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، والانهيارات 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 أنهما 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.

اســـتخدام الاحتمـــالات والإحصـــاء

يجب علينا في البداية تحديد المقصود بالمخاطر الجيولوجية. من الواضح أن ثوراناً بركانيّاً أو فيضاناً على جزيرة غير مأهولة لا يشكل عادةً أي خطر على الإنسان أو أعماله. تأخذ المخاطر معنًى 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 رقميّاً أو أبجديّاً اعتباطيّاً. 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.

لـم يجـر تطويـر هـذا النـوع مـن المخاطـر الإحصائيـة بشـكل جيـد في السـياق الجيولوجـي بسـبب نقـص البيانـات التخمينيـة بشـكل رئيسـي. وغالبـاً مـا يكـون معقـداً جـدّاً بحيـث يتعـذر علـى عامـة النـاس فهمـه ولكـن موضوعيتـه تشـير إلـى أنـه يسـتحق المزيـد مـن الاهتمـام. يعـد التدريـب الإحصائـي شـرطًا أساسـيّاً تقريبـاً للطـلاب الجادين في مجـال المخاطـر الجيولوجيـة.

يجـري أيضـاً التعامـل مـع تقسـيم المناطق لتخفيف المخاطر بطريقتين رئيسـيتين: إحداهمـا معالجـة المخاطـر في منطقـة معينـة كدالـة للشـدة التراكميـة للضـرر الناجم عـن الانهيـارات ومـا إلـى ذلـك، بغـض النظـر عـن تكـرار حـدوث هـذه الأحـداث. هـذه الوظيفـة ثابتـة لا يكـون فيهـا الزمـن عاملاً.

مخطـط تصنيـف بديـل هـو أن تأخـذ في الاعتبـار تواتـر حـدوث المخاطـر الجيولوجيـة. وهـذا يتيـح للأحـداث النـادرة ولكنهـا كارثيـة أن تُعطـى وزنـاً مناسـباً مقارنـةً بالأحـداث الأكثـر تكـراراً ولكنهـا أقـل ضـرراً.

لهـذا الغـرض، يجـب إنشـاء منحنيـات التكـرار التـي تصنـف تواتـر وحجـم الأحـداث الخطـرة لـكل 50 عامـاً -علـى سـبيل المثـال- لـكل وحـدة مسـاحة، ثـم يمكـن تعيـين المعالـم الاحتماليـة.

السـلامة العامـة

• تخطيـط اسـتخدام الأراضـي

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.

الأسـئلة الأولى في دراسـة إقليميـة 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.

• خرائط المخاطـر الجيولوجيـة

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 قدراً 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

العلمـي والصناعـي خرائـط لنـوع التربـة يمكـن قراءتهـا بالاقتـران مـع الخرائـط الجيولوجيـة القياسـية. في ولايـة نيـو إنغلانـد بالولايـات المتحـدة الأمريكيـة، تحـدد سلسـلة مـن الخرائـط حجـر الأسـاس وأخـرى للرواسـب الجليديـة السـطحية.

نقطـة ضعـف أخـرى هـي نقـص التفاصيـل عنـد رسـم خرائـط الظـروف الجويـة لأنـواع الصخـور. قـد يكـون لعمـق التجويـة أهميـة كبيـرة في تقديـر اسـتجابة الأرض لحركـة الزلـزال القويـة.

بالطريقـة نفسـها، فـإن مواقـع التعـرض غيـر المحجـوب للصخـور الأساسـية تسـتحق التخطيـط علـى الخرائـط الجيولوجيـة الأساسـية بحيـث يمكـن إعـادة النظـر في هـذه النتـوءات بسـرعة عنـد الحاجـة إلـى إجـراء تحقيقـات مفصلـة.

غالبـاً مـا تتطلـب الرواسـب الطينيـة تقسـيماً فرعيّـاً، يتناسـب مـع المقيـاس المسـتخدم (علـى سـبيل المثـال 1: 250.000) يظهـر السـهول الفيضيـة، ورواسـب البحيـرة، والتربـة، والتربـة المتبقيـة، ومـا إلـى ذلـك. بهـذه الطريقـة، يمكـن تحديـد أجـزاء مـن ترسـبات سـطحية معينـة، تتكـون مـن مـادة دقيقـة الحبيبـات مـع قنـوات تدفـق مضفـرة مـن مـادة خشـنة، مـن الخريطـة.

يسـتمر الجـدل الحـادُّ حـول مـا إذا كانـت الخرائـط الجيولوجيـة يجـب أن تسلّـط الضـوء علـى المعالـم التفسـيرية أو تقتصـر علـى الملاحظـات المباشـرة لعلمـاء الجيولوجيـا الميدانيـين. تحـوي الخرائـط الجيولوجيـة التفسـيرية، بالضـرورة، علـى الاسـتدلالات الشـخصية التـي قـد يكـون لهـا عواقـب وخيمـة علـى التخطيـط والتطويـر. الرسـم التوضيحـي هـو إنشـاء الخرائـط التـي تُظهـر الأخطـاء المصنفـة علـى أنهـا نَشِـطة أو غيـر نَشِـطة.

• المحاكـــاة الحاســـوبية

التطور التخيلي 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 لمعاير التنبؤ بخريطة المخاطر لكارثة مستقبلية. يمكن بعد ذلك تستخدم هذه الخرائط بحكمة للتخطيط الاستقصائي والمراقبة.

• النمـــو الســـكاني والأولويـــات

إنّ الخطـر الجيولوجـي هـو دالـة قويـة للكثافـة السـكانية؛ كان عـدد سـكان سـانت بييـر مارتينيـك الفرنسـية 30000 يتركـزون في منطقـة صغيـرة عندمـا جـرى تدميرهـا في عـام 1902. عـلاوة علـى ذلـك، مـن الضـروري في تحديـد أولويـات التنبـؤ والتحكـم الحصـول علـى تقديـرات موثوقـة لمعـدل النمـو السـكاني.

لتقديـر المخاطـر الجيولوجيـة، يكـون مفهـوم متوسـط المنطقـة الحضريـة مفيـداً. يمكـن تخصيـص منطقـة ثابتـة مـن الأراضـي الصالحـة للاسـتخدام ومزيـج متوسـط مـن المسـاكن والاسـتخدام الصناعـي للمقاطعـة. في الدراسـات الديموغرافيـة، يقاس عـدد السـكان في منطقـة الدراسـة علـى أنهـا عـدد سـنوات الفـرد (Py)، التـي تُعـرّف علـى أنهـا متوسـط عـدد السـكان في المنطقـة الحضريـة لـكل عقـد.

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 حدٍ 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، عادةً 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 وسيتطلب 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.

• أولويـة الخطـــر

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 حادَّة، إلا أن الإلحاح في تخصيص الموارد قد يكون منخفضاً إذا كانت المنطقة قد جرى تطويرها بالكامل بالفعل أو إذا كانت ذات كثافة سكانية منخفضة.

• قـــرارات متعـددة 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 رياضياتية 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 الوجبات 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.

• فـــــرق التفتيـــــش

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.

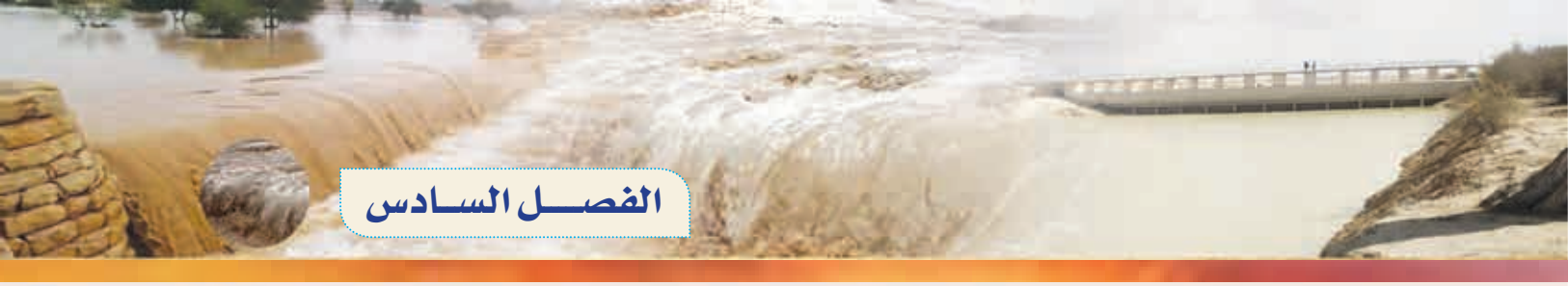
بمرور الزمن، قد تقوم الدراسات متعددة التخصصات في الجامعات بتدريب المتخصصين في كل من التحليل المسبق واللاحق للكوارث الطبيعية. في الوقت الحاضر، فإن أفضل فحص ضد الرأي غير المطلع خارج مجال الاختصاص هو الاعتماد بشكل عامٍّ على قرارات المجموعة.

• ما الذي يشـــكل خدمـــــة تحذيـــر جيـــدة؟

مـع وجـود منتـج ملمـوس لخدمـة التحذيـر مـن الفيضانـات - وهـو التحذيـر الـذي يتـم نشـره للجمهـور ووسـائل الإعـلام ووكالات الاسـتجابة - فـإن الخدمـة نفسـها تعتمـد في الواقـع علـى العديـد مـن الأجـزاء المكونـة. تعتبـر هـذه بشـكل أساسـي علـى النحـو الآتـي:

- **الاكتشاف**: هـو القـدرة علـى اكتشـاف فتـرات احتمـال حـدوث انهيـارات أرضيـة محتملـة (علـى سـبيل المثـال، باسـتخدام رادار الطقـس أو خدمـات التنبـؤ ومقاييـس المطـر).
- **التنبؤ**: هـو القـدرة علـى تفسـير آثـار الطقـس المعاكـس في مناطـق خطـر الانهيـارات الأرضيـة (علـى سـبيل المثـال، تنبـؤات السـيناريوهات المعـدة مسـبقًا وأنظمـة النمذجـة).
- **التحذير**: هـو تفسـير التنبـؤ إلـى رسـالة ذات صلـة محليّـاً ونشـر هـذه الرسـائل مـن خـلال قنـوات واسـعة النطـاق (علـى سـبيل المثـال، أنظمـة نشـر الرسـائل التلقائيـة، والبـث الإعلامـي، وتمثيـل التحذيـرات عبـر الإنترنـت).
- **الاستجابة**: هـي قـدرة المعرضـين للخطـر والذيـن يدعمونهـم (علـى سـبيل المثـال، الشـرطة) علـى فهـم الانهيـارات الأرضيـة والاسـتعداد لهـا عنـد تلقـي تحذيـر (علـى سـبيل المثـال، حمـلات التوعيـة لإعـلام الجمهـور وإعدادهـم، وتخطيـط الاسـتجابة للانهيـارات الأرضيـة).

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

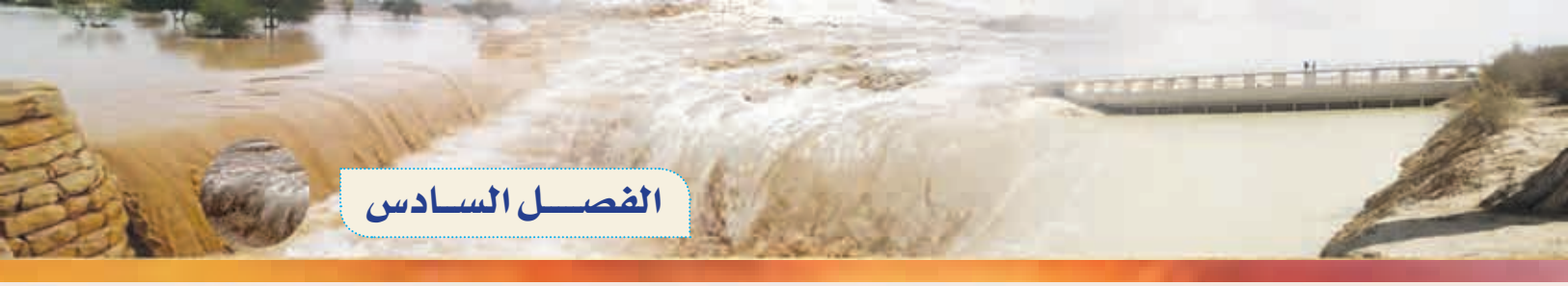


الفصـــل الســادس

المخاطـــر المائيـــة

الأمطار والسـيول | الفيضانـات | التسـونامي

موسوعة المخاطر الطبيعية
Encyclopedia of Natural Hazards



الأمطار والســيول

مُقَدِّمَة

سبحان من جعل من الماء كل شيءٍ حيّ، فما أن تُذكر كلمة الحياة إلا ويقابلها على الفور كلمة (**ماء**). ولعل كثيراً من الناس لا يعلم أن جوهر رحلات الاستكشاف الفضائية هي عملية البحث عن الماء أولاً وأخيراً، فإذا وُجد الماء فإن أية مشكلة أخرى قابلة للحل.

حتى على الأرض ما كانت الحضارات لتنشأ أو تتشكل في بلاد الرافدين أو وادي النيل لولا توفر الماء، حتى قيل إن مصر هبة النيل. وفي المقابل انهارت الحضارات عندما قلّت مصادر المياه. وقد تنشب صراعات وحروب بين الناس من أجل الاستيلاء على مصادر المياه.

لا يقتصر دور المياه على سدّ حاجة الكائنات الحية للشراب أو الطعام، وإنما تؤدي المياه دوراً هائلاً وكبيراً في تشكيل تضاريس الأرض. فالمثالج المتجمدة تشق مجاري الوديان وتقطع الجبال، ويمكن لمياه الأنهار أن تحمل بقايا الصخور وتسوقها لأماكن بعيدة، وتصدم مياه البحار والمحيطات صخور الشواطئ وتحطمها، والمطر يهطل على اليابسة ويجرف التربة إلى الأنهار.

إذاً المياه قوّة هائلة وفاعلة في كل مكونات كوكب الأرض الحية وغير الحية. ومع أننا نعيش على كوكب نسبة المياه عليه 97 %، إلا أن ما يصلح منه للشرب أو الزراعة أو الصناعة هو فقط 3 %، وقد تضاعفت احتياجات البشرية للمياه العذبة في عام 2000م عما كانت عليه في ثمانينيات القرن العشرين، ومع ذلك هناك كمية ما تكفي البشرية جمعاء.

الأمطـــار

ذكر الله تعالى الماء في القرآن الكريم في ثلاثةً وستين موضع ولكل منهم سماته المحددة. المطر في القرآن الكريم له أنواع عديدة ومنها ما يلي:

- **الصيـب:** هو ماء المطر الذي يقع ويصوب من السحاب كما يُقال للسحاب صيب، وقد ورد ت كلمة الصيب في القرآن الكريم في قول الله عز وجل: ﴿ أَوْ كَصَيِّبٍ مِّنَ ٱلسَّمَآءِ فِيهِ ظُلُمَٰتٌ وَرَعْدٌ وَبَرْقٌ ﴾(البقرة الآية 19)، تشير القرائن إلى أنّ معنى الصيب هو المطر الشديد، ولكن أحيانًا يشير إلى الخير وذلك لما جاء عن رسول الله ﷺ : «اللهم صيبا نافعا».
- **الوابـل:** وهو ماء المطر الغزير الذي يروي الأرض.
- **الطـلّ:** وهو المطر الخفيف ويطلق على الندا طلاً.
- **البـرد:** المطر في هذا المعنى يكون على شكل حبات متجمدة عند نزوله من السحاب وقد جاء ذلك في قول الله سبحانه وتعالى: ﴿ وَيُنَزِّلُ مِنَ ٱلسَّمَآءِ مِن جِبَالٍ فِيهَا مِنۢ بَرَدٍ فَيُصِيبُ بِهِۦ مَن يَشَآءُ ﴾ (النور: 43).

المطر هو قطرات الماء التي تتساقط من السحب أو الغيوم إلى الأرض، إذ تتشكل هذه القطرات عبر عدة مراحل تبدأ من تبخر مياه البحار والأنهار والبحيرات نتيجة درجات الحرارة، وكما هو معلوم، فإن الهواء الساخن يصعد للأعلى حاملاً معه بخار الماء، وعند وصوله إلى طبقات الجو العليا تنخفض حرارته ويبدأ بالتكاثف.

المطر مهم في الحفاظ على التربة السطحية وذلك بإيقاف العواصف الرملية، بالإضافة إلى أنّ الأمطار تنظف الهواء من الملوثات الكيميائية والغبار، ويمكن

أن تكون الأمطار ضارة وخاصة عندما تتفاعل الرطوبة مع أكسيد النيتروجين وثاني أكسيد الكبريت، وتنبعث هذه المواد الكيميائية من وسائل النقل والمصانع ومحطات توليد الطاقة، حيث تعمل على تلويث المياه في البحيرات والجداول، وبالتالي تشكل خطراً على الحياة المائية وعلى الحقول الزراعية، كما أنّ كثرة المياه قد تكون سبباً في الفيضانات التي تدمر الممتلكات، وتسرع في فقدان التربة السطحية، وتخلق اضطراباً في الاتصالات.

أنـــواع الأمطـــار

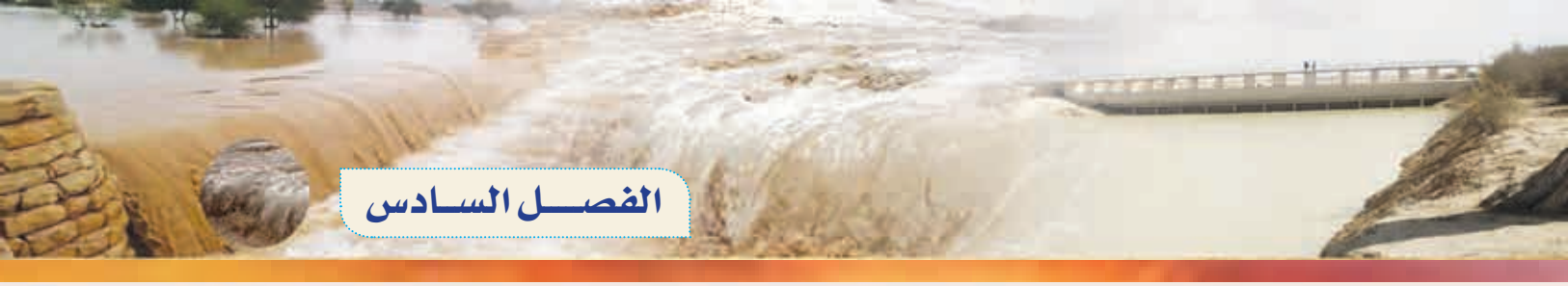
يمكن تحديد أنواع المطر وفقًا لدرجات الحرارة والرطوبة اللتان تعدان العوامل الرئيسية لخصائص قطرات المطر التي تسقط على الأرض، كما تتحكم أنماط الرياح والتضاريس في هطول الأمطار، وبناءً على هذه العوامل تم تصنيف الأمطار إلى عدة أنواع وهي كالآتي:

- **الأمطار التقليدية/ التصاعدية** (Conventional Rainfall) هي الأمطار التي تتشكل عندما يرتفع الهواء بشكل طبيعي عندما يسخن ويصبح خفيف الوزن، وعندما يصل إلى ارتفاعات عالية يبرد ويتمدد، ولأن الهواء البارد لا يحتفظ بالرطوبة بقدر الهواء الدافئ، وتتكثف الرطوبة في السحب المعروفة باسم «السحب الركامية»، لتصبح هذه الغيوم محملة بقطرات الماء بالحجم الذي يجعلها تتساقط على شكل أمطار، ويسبب الهواء المتشبع ببخار الماء والحرارة الشديدة تيارات تصاعدية قوية قد تؤدي إلى هطول أمطار غزيرة مصحوبة بعواصف رعدية لا تدوم طويلاً، وعادةً ما يكون هذا المطر في الصيف، أو في الجزء الأكثر سخونة من اليوم، ويحدث هذا النوع من الأمطار بشكل عام في المناطق الاستوائية والأجزاء الداخلية من القارات، في الغالب في نصف الكرة الشمالي.

- **الأمطـار التضاريسـية** (Orographic / Relief Rainfall) يعـود تكـوّن هـذه الأمطـار إلـى المرتفعـات الجبليـة (أو التضاريـس)، وهـذا هـو سـبب تسـميتها بالأمطـار التضاريسـية، حيـث تتحـرك الريـاح الرطبـة والدافئـة، وتصـل إلـى مناطـق يتواجـد فيهـا مرتفعـات جبليـة عاليـة الارتفـاع، فتجبـر هـذه الجبـال الهـواء إلـى الصعـود نحـو الأعلـى، فيبـرد ويتكاثـف وتتشـكل السـحب الماطـرة، لهـذا تكـون نسـبة هطـول الأمطـار علـى المناطـق المرتفعـة أعلـى مـن المناطـق المنخفضـة، وإذا كانـت درجـة الحـرارة بـاردة بدرجـة كافيـة، فقـد يكـون الهطـول علـى شـكل ثلـوج.

- **الأمطـار الجبهيـة / الإعصاريـة** (Frontal / Cyclonic Rainfall) وهـي الأمطـار التـي تتشـكل بفعـل الجبهـات الهوائيـة، حيـث تسـمى المنطقـة التـي تلتقـي عندهـا كتلـة هوائيـة بـاردة مـع كتلـة هوائيـة دافئـة بالجبهـة، وعنـد التقـاء كلتـا الكتلتيـن، يُدفـع الهـواء الدافـئ خفيـف الـوزن وقليـل الكثافـة إلـى الارتفـاع فـوق الهـواء البـارد الأكثـر كثافـة، وهـذا بـدوره يتسـبب في تبريـد الهـواء الدافـئ وتكاثفـه، فتتشـكل السـحب وتتسـاقط الأمطـار والتـي قـد تترافـق أحيانـاً مـع العواصـف الرعديـة المصحوبـة بالبـرق، ويمكـن أن يسـتمر هطـول الأمطـار النـاتج مـن بضـع دقائـق إلـى سـاعة أو جـزء كبيـر مـن اليـوم.

- **الأمطـار الموسـمية** (Monsoonal Rainfall) يتكـون هـذا النـوع مـن الأمطـار بفعـل الانعـكاس الموسـمي للريـاح التـي تحمـل معهـا رطوبـة المحيـط (خاصـةً الريـاح الموسـمية الجنوبيـة الغربيـة)، بحيـث تهـبّ هـذه الريـاح طـوال العـام، لكنهـا تغيـر اتجاههـا مـع المواسـم، إذ إن هـذا التحـول الموسـمي يتسـبب في هطـول أمطـار غزيـرة في جنـوب شـرق آسـيا وأماكـن أخـرى.



• العوامل المؤثرة على توزيع الأمطار

ارتباط الحرارة بالرطوبة: لا تستطيع الحرارة وحدها التسبب في هطول الأمطار والدليل على ذلك هي الأماكن الصحراوية، حيث يجب أن يكون كل من الحرارة والرطوبة متوافرين كما هو الحال في المناطق الاستوائية .

القرب أو البعد من المسطحات المائية: تعتبر المسطحات المائية من العوامل التي تؤثر في سقوط الأمطار، حيث تتميز المناطق الساحلية ذات السطح المرتفع بكثرة هطول الأمطار بها مقارنةً بالمناطق الداخلية .

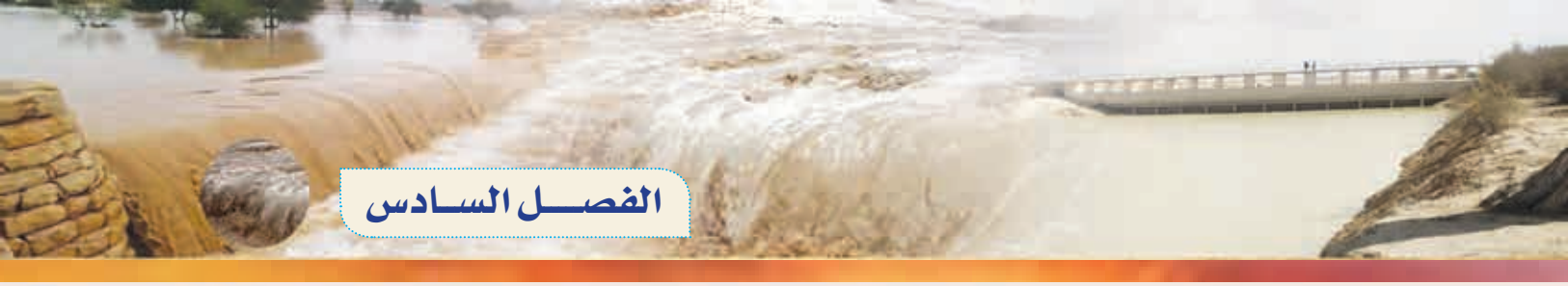
وجود التضاريس: يجب الأخذ في الأعتبار أنه إذا كان هناك تضاريس قامت باعتراض خط سير الرياح الرطبة فإن ذلك يؤدي إلى ارتفاعها إلى الأعلى وانخفاض درجة حرارتها ثم تكاثف بخار الماء الموجود بها ، لذلك كثيراً ما تهطل الأمطار في المناطق الجبلية .

نظام الضغط العام: يختلف الضغط العام في الصيف و الشتاء ، حيث عندما تكون درجة حرارة اليابس منخفضة و درجة حرارة الماء مرتفعة فإن ذلك يؤدي إلى هبوب الرياح الرطبة من البحار إلى اليابس و سقوط الأمطار ، أما عندما يحدث العكس فإن ذلك يؤدي إلى هبوب الرياح الجافة من اليابس إلى البحار، ولا ينتج عنها أمطار إلا إذا مرت على مسطحات مائية .

نظام هبوب الرياح: الرياح العكسية هي المسؤولة عن سقوط الأمطار على السواحل الغربية للقارات، بينما الرياح التجارية تعمل على سقوط الأمطار على السواحل الشرقية للقارات، أما الرياح التي تهب بشكل موازي للسواحل فلا ينتج عنها أمطار مثل: الرياح الموسمية الجنوبية الغربية التي نراها في سواحل الصومال.

• فوائد وأضرار الأمطار:

- تعد الأمطار مصدر هام لاستمرار الحياة للإنسان والحيوان وكذلك النبات؛ حيث يساهم في تخصيب التربة وري الأشجار والنباتات بشكل طبيعي، لاسيما في المناطق التي تخلو من المياه. كذلك يساهم المطر في تنقية الهواء من الشوائب والرواسب العالقة به. يستخدم الماء كأحد الوسائل الطبية التي تعالج مشكلات صحية عديدة، باعتباره ماء مقطر. عند تعرض الجسم لماء المطر بشكل مباشر يساهم في تجديد خلايا الجلد التالفة، وبالتالي تعزيز نشاط الجسم وحيويته.
- ويمكن أن تكون الأمطار ضارة أيضا مثل ظاهرة المطر الحمضي التي تتشكل عندما تتفاعل الرطوبة مع أكاسيد النيتروجين وثاني أكسيد الكبريت. تنبعث هذه المواد الكيميائية من المركبات والمصانع ومحطات توليد الطاقة. وتعمل هذه الأمطار على تلويث مياه البحيرات والجداول، مشكلة بذلك خطورة على الحياة المائية، كما تلوث الأمطار الحقول مسببة تلفا للمحاصيل، والأشجار والتربة. فكثرة الأمطار قد تخلق اضطرابا في الاتصالات وتسبب الفيضانات وتدمر الممتلكات وتسرع فقدان التربة السطحية.



• أشـــــكال الهطـــولات المطريـــــة

المطر عبارة عن هطول سائل بقطر يزيد على (0.5 ملم)، بينما يبلغ قطر رذاذ المطر (0.2 – 0.5 ملم). الضباب عبارة عن سحابة تقع قاعدتها على السطح، وتحوي على جزيئات أصغر لا تتحول إلى هطول حقيقي إلا عندما تدفعها الرياح ضد السطح أو الأرض.

يسقط المطر المتجمد والرذاذ في شكل سائل ولكن يتجمد عند اصطدامه بالأسطح الباردة على الأرض، مما يؤدي إلى تكوين طبقة متجمدة تعرف باسم الصقيع. يتكون الصقيع من حبيبات جليدية متجمدة يبلغ قطرها أقل من (5 ملم)، ويتكون البَرَد من جزيئات أكبر شفافة إلى غير شفافة يبلغ قطرها عادة (5 ملم – 2 سم)، ولكنها تصير في بعض الأحيان بحجم كرات الجولف ونادراً ما تصير بحجم حبة الجريب فروت. أما الثلج فهو هطول متجمد يتكون من بلَّورات جليدية سداسية معقدة تسقط على الأرض.

المياه كثيرة، ولكنها ليست دائما في أمكنة الحاجة إليها*

يهطل على سطح الأرض سنويا عشرة آلاف كيلومتر مكعب من الأمطار، أي ما يعادل عشرة أضعاف حجم البحيرة Lake Superior. وتعتبر هذه الكمية الضخمة كافية لتلبية احتياجات كل فرد على الكوكب فيما إذا وصلت هذه المياه إلى المكان الذي يعيش فيه وزمان الحاجة إليها. بيد أن الجزء الأعظم لا يمكن الحصول عليه (*أعلى الشكل*) والباقي يتوزع بشكل غير منتظم (*أسفل الشكل*).

نسبة المياه باللون الأخضر (61.1% من الهطل الكلي*) تمتصها التربة والنباتات، ومن ثم تعود إلى الهواء، وهي غير قابلة للاستخدام.

نسبة المياه باللون الأزرق (38.8% من الهطل الكلي*) تتجمع في الأنهار والبحيرات والمستنقعات والمياه الجوفية، وهي قابلة للاستخدام قبل أن تتبخر أو تصل إلى المحيطات.

أين تذهب الأمطار؟

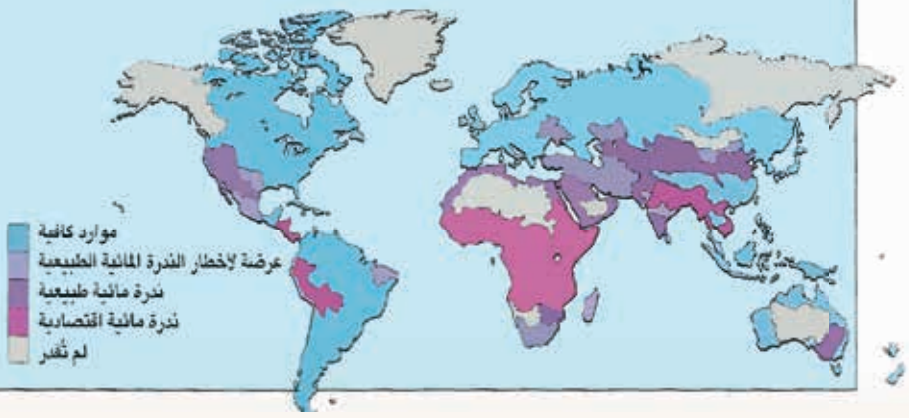
أكثر من نصف مقدار الهطل المطري على اليابسة لا يكون متاحا لاحتجازه أو تخزينه، لأنه يتبخر من سطح الأرض أو يفقد بفعل النتح من النباتات؛ ويطلق على هذا الجزء من الهطل «المياه الخضراء» وقد أشير إليها في الشكل باللون الأخضر. والباقي يجد طريقه إلى ما يسمى مصادر المياه التي أشير إليها في الشكل باللون الأزرق - الأنهار والبحيرات والمستنقعات والطبقات الصخرية الحاملة للمياه - وهي المياه التي يمكن أن يحصل عليها الناس مباشرة. وتشكل الزراعة المروية من هذه الأجسام المائية الجارية بحرية أكبر الاستخدامات البشرية للمياه العذبة. وتستهلك المدن والصناعة جزءا يسيرا فقط من إجمالي الموارد المائية العذبة، بيد أن الطلب المحلي الكثيف من الناس يسبب في الغالب استنزافا للإمدادات المائية المتاحة في المناطق المجاورة.

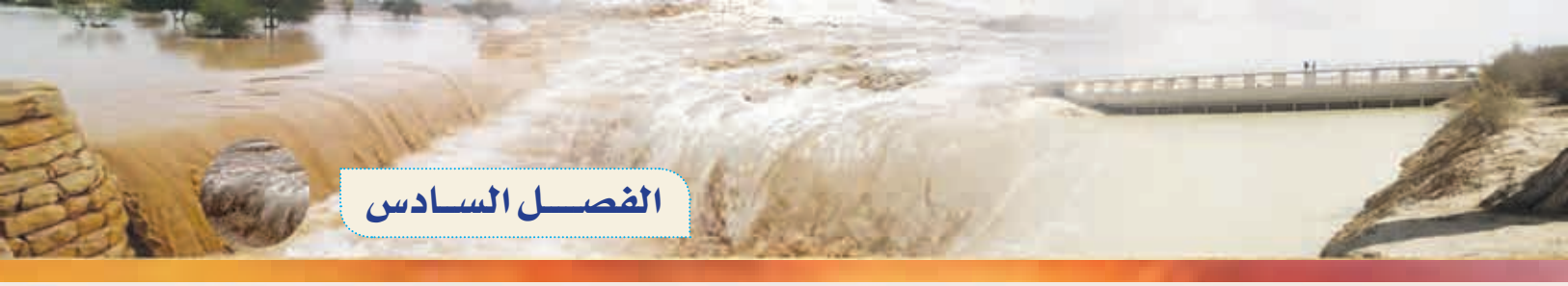
فقط 1.5% تستخدم من قبل الناس مباشرة.

* بسبب التقريب، لن يكون مجموع النسب المئوية أعلاه 100%.

الإمدادات المائية حاليا

ينعم الجزء الأعظم من الأمريكتين وشمال قارتي أوروبا وآسيا بإمدادات مائية وفيرة. بيد أنّ عدة مناطق تعاني الندرة المائية الطبيعية بدرجات متباينة - حيث يتجاوز الطلبُ على المياه العذبة الموارد المتاحة لها محليا. أما المناطق الأخرى، منها أواسط إفريقيا وأجزاء من شبه القارة الهندية وجنوب شرق آسيا، فإنها تتصدى لندرة مائية اقتصادية، حيث يحدّ غياب التدريب التقني والحكومات الفاسدة أو التمويل الهزيل من إمكانية الحصول على المياه، على الرغم من وجود إمدادات كافية.





في المناطق الاستوائية والمناخات المعتدلة في الأجزاء الأكثر دفئاً من العام، تهطل معظم الأمطار على شكل مطر ورذاذ. يُعرّف المطر الغزير بأنه أكثر من (4 ملم) من التساقط في الساعة، وهطول الأمطار المعتدلة (4 ملم – 0.5 ملم) في الساعة، والمطر الخفيف (يطلق عليه عادة رذاذ) أقل من (0.5 ملم) في الساعة.

الأمطار المتكررة والمستمرة من سمات بعض المناطق؛ يتميز البعض الآخر بأمطار غزيرة نادرة ولكنها شديدة، بما في ذلك العواصف الرعدية التي قد تتسبب في تساقط البَرَد. في المرتفعات العالية وخطوط العرض العالية وفي خطوط العرض الوسطى في الأشهر الباردة، يسقط معظم هطول الأمطار بشكل جسيمات صلبة مجمدة. وتسقط معظم الأمطار المتجمدة على شكل ثلج يحوي عادةً على ما يعادل عُشر كمية الثلج المتساقط (أي أن 10 سم^3 من الثلج تساوي 10 ملم^3 من المطر). تتميز بعض المناطق بالمطر المتجمد والصقيع أكثر من الثلوج، ولا سِيَّما المناطق الساحلية المتأثرة بتيارات المحيط الدافئة.

تُعد الارتفاعات العالية داخل السحب أو الأنظمة الكبيرة ضرورية بشكل عامٍّ لبدء تكوين قطرات الماء التي تتحول إلى هطول. يمكن لخلايا الحمل الحراري في القمم الرعدية، والهواء المدفوع فوق الجبال، ومناطق التقارب على طول الجبهات، والأنظمة الإعصارية أن تكون على ارتفاعات كبيرة وتحفز هطول الأمطار.

واحدة من أكبر العقبات التي يجب التغلب عليها حتى يتشكل هطول الأمطار هي أن الماء الصغير جدّاً (أو أن قطرات الجليد) التي تفصل بينها مساحات واسعة جدّاً يجب أن تتحد لتشكل جزيئات كبيرة بما يكفي لتقع على شكل هطول مطري. بالإضافة إلى ذلك، يجب أن تتغلب الجزيئات على قُوى التبخر أثناء صعودها أو سقوطها عبر الهواء غير المشبع من أجل الوصول إلى الأرض.

تساعد الحركات الجانبية والعمودية السريعة في السحب، التي تؤدي إلى الاصطدام بين الجسيمات، في اندماج الجسيمات، ثم تسرع الجاذبية الجسيمات إلى الأرض مع سقوط الجسيمات الأكبر في البداية أسرع من الجزيئات الأصغر نظراً لأنها أقل تأثراً بالتيارات الصاعدة. لذلك تميل الجسيمات الكبيرة إلى الاصطدام مع الجسيمات الأصغر ودمجها.

تتشكل الجسيمات المتجمدة في المستويات العُليا من أنظمة السحب المتسعة عموديّاً وقد تسقط بالتناوب وتخرج من المستويات الأدنى، حيث تذوب وتنمو وترتفع جزئيّاً في عمليات الترطيب. يمكن أن ينتج عن مثل هذا التدوير جزيئات كبيرة نسبيّاً قد تسقط على شكل هطول مطري.

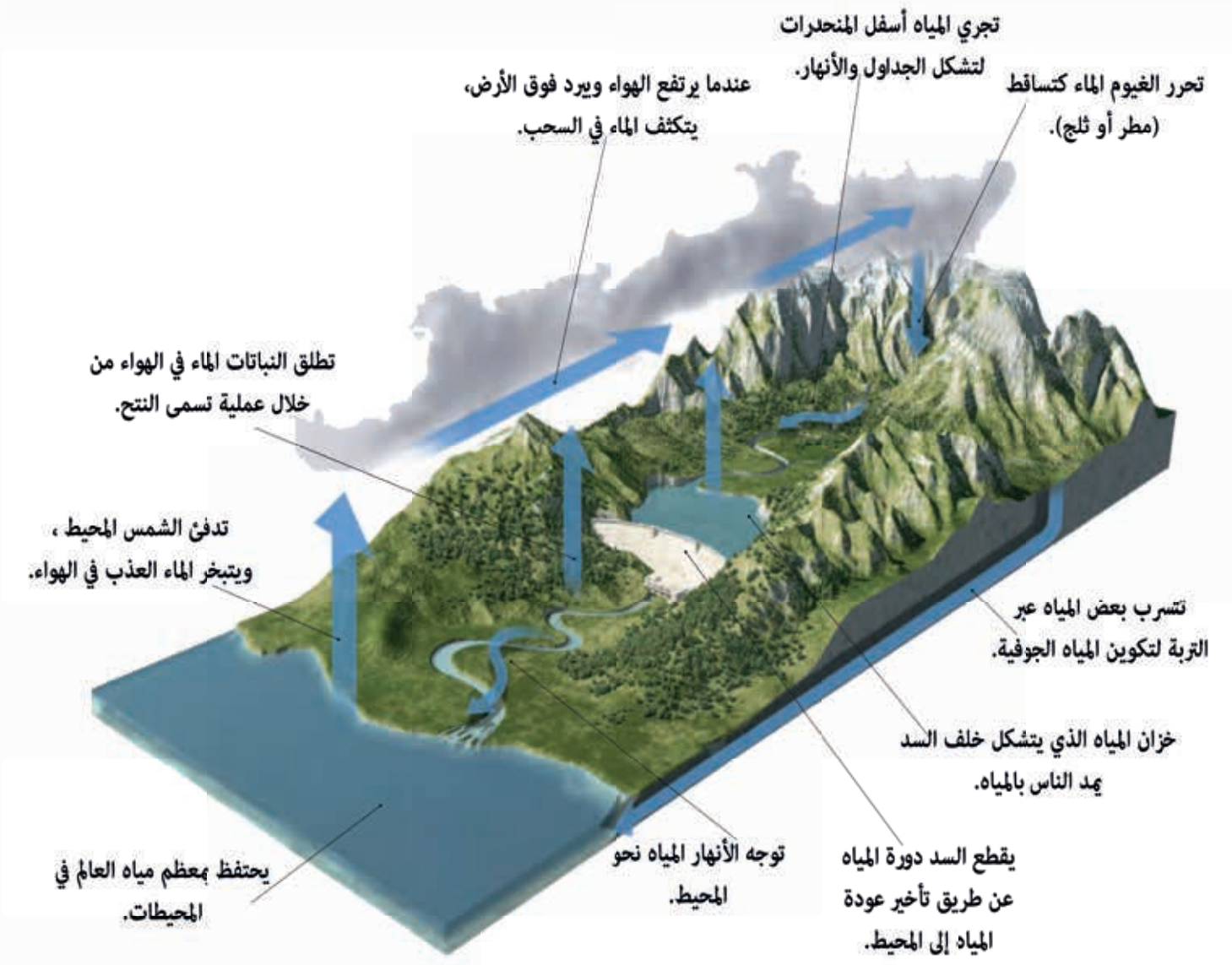
الـــــدورة المائيـــــة

يتحرك الماء من خلال دورة مستمرة بين المحيطات والغلاف الجوي والأرض تدعى الدورة المائية Water cycle أو الدورة الهيدرولوجية Hydrologic cycle.

وهي توفر المياه العذبة الضرورية للحياة على الأرض. كما تظهر الدورة المائية الحركة المستمرة للماء داخل الأرض والغلاف الجوي. إنها نظام معقد يتضمن العديد من العمليات المختلفة.

■ مخطـــط الـــدورة المائيـــــة

خلال هذه العملية، يغير الماء حالته من مرحلة إلى أخرى، لكن العدد الإجمالي لجزيئات الماء يبقى كما هو. بمعنى آخر، إذا كان من الممكن جمع 100 غرام من الماء وغليها، فستبقى تحتفظ بكتلة 100 غرام كبخار. وبالمثل، إذا جُمع 100 غرام من البخار وتكثيفه، فسيبقى وزن الماء الناتج 100 غرام.



يغير الماء حالته في الدورة المائية من خلال مجموعة متنوعة من العمليات من التبخر والذوبان والتجميد إلى التسامي والتكثيف والهطول. كل هذه التغييرات تتطلب تطبيق الطاقة.

مراحـــل الـــــدورة المائيـــة

يوجد العديد من العمليات المتضمنة في حركة المياه بصرف النظر عن الخطوات الرئيسية الواردة في مخطط الدورة المائية. المدرجة أدناه هي مراحل مختلفة من الدورة المائية.

أ. التبخـــــر

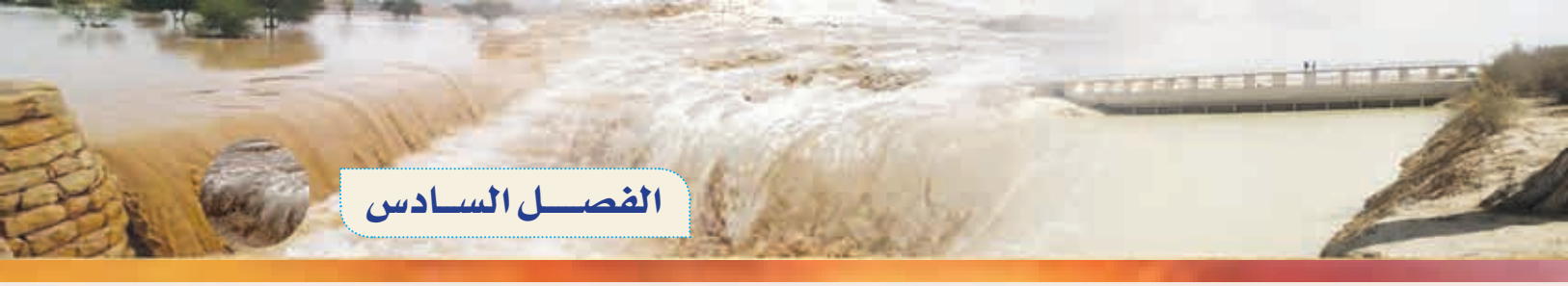
الشمس هي المصدر النهائي للطاقة، وهي تُشغل معظم التبخر الذي يحدث على الأرض. يحدث التبخر بشكل عامٍّ عندما تصير جزيئات الماء على سطح المسطحات المائية متحمسة وترتفع في الهواء. تتراكم هذه الجزيئات ذات الطاقة الحركية الأعلى في سحب بخار الماء.

يحدث التبخر عادة تحت نقطة غليان الماء. تحدث عملية أخرى تسمى النتح Evapotranspiration عندما يحدث النتح من خلال أوراق النباتات. تسهم هذه العملية في نسبة كبيرة من الماء في الغلاف الجوي.

ب. التســـــامي

يحدث التسامي عندما يتحول الثلج أو الجليد مباشرة إلى بخار ماء دون أن يتحول إلى ماء. يحدث هذا عادة نتيجة الرياح الجافة وانخفاض الرطوبة. يمكن ملاحظة التسامي على قمم الجبال، حيث يكون ضغط الهواء منخفضاً جدّاً.

يساعد ضغط الهواء المنخفض على تسامي الثلج وتحويله إلى بخار ماء حيث يستخدم طاقة أقل في هذه العملية. مثال آخر على التسامي هو المرحلة التي يتدفق فيها الضباب من الجليد الجاف. على الأرض، المصدر الأساسي للتسامي هو من الصفائح الجليدية التي تغطي قطبي الأرض.



ج. التكثيـــــف

يبرد بخار الماء المتراكم في الغلاف الجوي في النهاية بسبب درجات الحرارة المنخفضة الموجودة على ارتفاعات عالية. تتحول هذه الأبخرة إلى قطرات صغيرة من الماء والجليد، وتتجمع في النهاية لتشكل غيومًا.

د. الهطـــــول

فوق 0 درجة مئوية، ستتكثف الأبخرة في قطرات الماء. ومع ذلك، لا يمكن أن يتكثف بدون غبار أو شوائب أخرى. ومن ثم، فإن أبخرة الماء تلتصق بسطح الجسيم. عندما يندمج عدد كافٍ من القطرات، فإنها تسقط من السحاب وتوجد على الأرض بالأسفل. هذه العملية تسمى هطول الأمطار. في الطقس البارد بشكل خاصٍّ أو ضغط الهواء المنخفض جدّاً، تتجمد قطرات الماء وتتساقط على شكل ثلوج أو برد.

هـ- التســـــرب

يجري امتصاص مياه الأمطار في الأرض من خلال عملية التسلل. يختلف مستوى الامتصاص بناءً على المادة التي تسرب الماء إليها. على سبيل المثال، ستحتفظ الصخور بكمية أقل من المياه نسبيّاً مقارنة بالتربة. يمكن أن تتبع المياه الجوفية مجاري أو أنهار. لكن في بعض الأحيان، قد تغرق عميقاً، وتشكل طبقات المياه الجوفية.

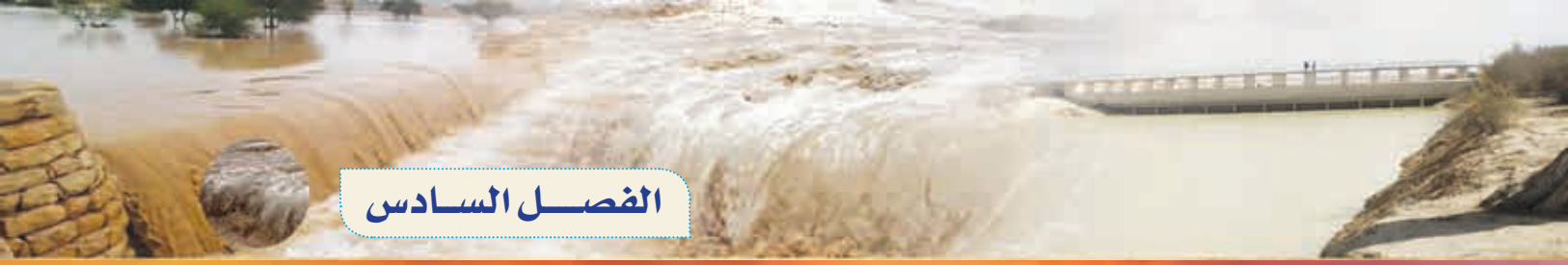
و- جريـــــان الميـــاه

إذا كانت المياه من مياه الأمطار لا تشكل طبقات المياه الجوفية، فإنها تتبع الجاذبية، وغالبًا ما تتدفق إلى أسفل جوانب الجبال والتلال؛ تشكل الأنهار في نهاية المطاف. هذه العملية تسمى الجريان السطحي Runoff. في المناطق الباردة، تتشكل القمم الجليدية عندما تكون كمية تساقط الثلوج أسرع من معدل التبخر أو التسامي. عثر على أكبر أغطية جليدية على وجه الأرض في القطبين.

جميع الخطوات المذكورة أعلاه تحدث بشكل دوري بدون بداية ثابتة أو نهاية.

تداعيات الدورة المائية

- للدورة المائية تأثير هائل في المناخ. على سبيل المثال، سيؤدي تأثير الاحتباس الحراري إلى ارتفاع درجة الحرارة. بدون تأثير التبريد التبخيري للدورة المائية، سترتفع درجة الحرارة على الأرض بشكل كبير.
- تعد الدورة المائية أيضًا جزءًا لا يتجزأ من الدورات البيوجيوكيميائية الأخرى.
- تؤثر الدورة المائية في جميع عمليات الحياة على الأرض.
- تعرف دورة الماء أيضًا بمنقية الهواء. على سبيل المثال، أثناء عملية الهطول، يجب أن تلتصق أبخرة الماء بجزيئات الغبار. في المُدن الملوثة، تلتقط قطرات المطر، بالإضافة إلى التقاط الغبار، الغازات القابلة للذوبان في الماء والملوثات أثناء سقوطها من السحب. ومن المعروف أيضًا أن قطرات المطر تلتقط عوامل بيولوجية، مثل: البكتيريا، وجزيئات السخام الصناعية، والدخان.



الســـيول وكيفيـــة التحكـــم بهـا

يُعرّف السيل Torrent بأنه عبارة عن تدفق مائي ذي تصريفات شديدة التغير، وتدرجات عالية من المنحدرات في القاع، ونشاط تنظيف عالٍ، ونقل، وترسيب للرواسب والتغييرات المتكررة لأبعاد القناة، والمعيار الرئيسي هو التكوين والنقل وترسيب الرواسب.

قد يكون تباين التفريغ، أي النسبة بين الحد الأدنى والحد الأقصى للتصريفات، عريضًا مثل 1: 5000 أو حتى أوسع. عادة ما تحدث التغيرات المفاجئة في تصريف السيول أثناء هطول أمطار الفيضانات بعد فترة رطبة طويلة عندما لم تعد التربة في مستجمعات المياه لديها القدرة الكافية لامتصاص مياه الأمطار الغزيرة.

من السمات المميزة للسيول أن تصريفها ينمو بسرعة ليصل إلى الحد الأقصى، ثم ينخفض مرة أخرى بسرعة متساوية. تحوي السيول على مستجمعات مياه صغيرة، لذا فإن هطول الأمطار الغزيرة يؤثر عادة في منطقة مستجمعات المياه بكاملها.

مع الميل العالي للأرض، يتركز الجريان السطحي بسرعة في القناة، ويمكن أن يصل إلى الأجزاء السفلية من السيول أثناء هطول الأمطار.

المعيار الرئيسي لطبيعة تدفق السيول هو النشاط الذي يجري بوساطته إطلاق رواسب الحصى ونقلها في اتجاه مجرى النهر. وتشمل مصادر الرواسب قناة السيول نفسها ورواسب الحصى المنقولة إليها من المنحدرات الشديدة للوديان المعرضة للتعرية ومن الوديان الرافدة.

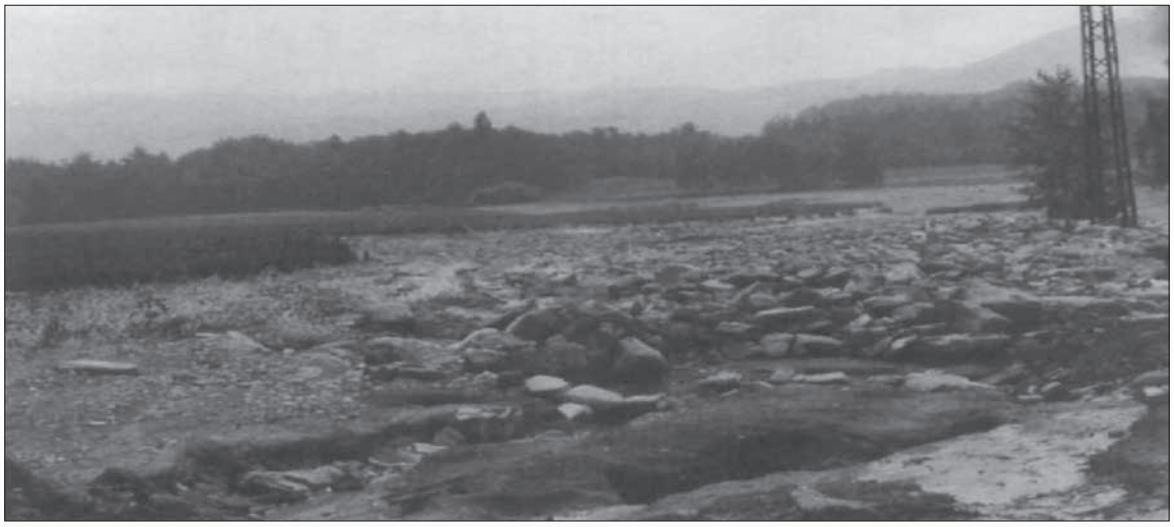
إن تجفيف ونقل الرواسب من قناة السيول يرجع إلى ارتفاع انحدارها وعدم التوازن في اتجاهات التدفق. كلما زاد تدرج القناة، زادت القوة الحاملة لتيار الماء الذي ينقل مقاعد الحصى، ويطلق كميات إضافية من الرواسب ويعمق القاع.

قناة عميقة من سيل سيرفينا الخاضع للتنظيم في جبال الركاز في بوهيميا.

في قنوات السيول ذات اتجاه التدفق غير المنظم، تتعرض الخزانات المقعرة لضغط مرتفع يؤدي إلى عمليات مسح واسعة النطاق للخزانات ولتخفيف كميات كبيرة من الحصى. يحمل الماء الرواسب، التي تُرفع من قناة السيل، بعيدًا في اتجاه مجرى النهر ويودعها مرة أخرى في الأماكن التي يكون فيها السيل منحدرًا منخفضًا، وبالتالي قوة حمل أقل. يتسبب هذا في مزيد من الضرر لأن الحصى تعمل على ترسيخ قناة السيول والحقول المجاورة.

ترسيب الرواسب في قناة سيل.

يعبر الشرح الوارد سابقاً عن خصائص مجاري المياه الجوفية بشكل عامٍّ جدّاً بحيث لا يوفر أساساً كافياً لتقرير ما إذا كان سيتضمن مساراً مائيّاً معيناً في السيول. ولمعالجة ذلك، جرى تطوير عدد من طرائق التصنيف، بناءً على مواصفات مدى عمليات التعرية والعوامل التي تعدلها.



رواسب في موقف حبوب بعد فيضان على نهر تيسا في جبال الركاز، بوهيميا

• الرواســـــب

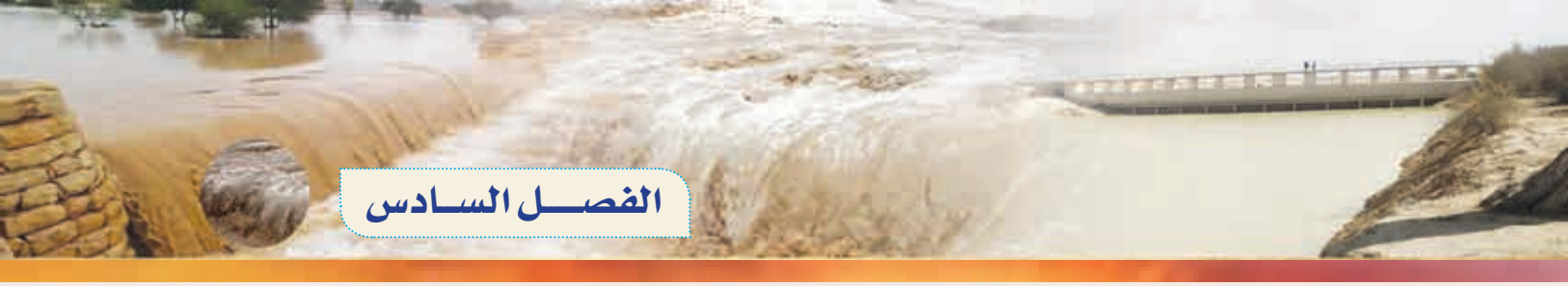
يتكون حوض السيول من مزيج من الرمل والحصى والجلاميد والصخور، يشار إليها عموماً باسم الرواسب Sediments. يتكون الخليط نفسه من جزيئات (حبيبات) تعتمد خصائصها على أصلها الجيولوجي. غالبية الحبيبات، التي تحدد الطبيعة العامة للخليط بكامله، تنشأ من الصخر نفسه. بالإضافة إلى ذلك، تحوي رواسب غالبية السيول أيضًا على نسبة أصغر من حبيبات أنواع أخرى من الصخور. وقد تتكون بعض رواسب السيول من خليطٍ غير متجانسٍ يحوي على نسب مختلفة من حبيبات صخور مختلفة، تتميز بخصائص مختلفة في اتجاه مجرى التقاء الروافد التي تحمل حطامًا من أصل جيولوجي مختلف.

الرواسب فئة مُهمَّة في السيول. يؤثر تكوينها، بما في ذلك الحبيبات ذات الأحجام والأشكال المختلفة، على التخفيف الجزئي والكلي لسطح قاع السيول والذي بدوره يؤثر في خصائص التدفق. يتحكم وجود فئات الحبيبات الأكبر (الحصى والجلاميد والصخور) في شكل الطبقة السطحية لقاع السيل، مما يؤثر في اضطراب التدفق. يتحكم شكل الحبيبات بشكل أساسي في طريقة ترسب الأجزاء المختلفة من الرواسب في الطبقة السطحية للقاع، وبالتالي تحديد مقاومة الحبيبات المنفصلة ورواسب الحمل الكامل للرفع والنقل.

خصائص حبيبات الرواسب

■ حجم حبيبات الرواسب

جرى تحديد حجم الحبيبات من خلال ثلاثة أبعاد رئيسية: **a, b, c**، متعامدة مع بعضها بعضاً، حيث إن **a** طول المحور الأطول، و **b** طول المحور المتوسط، و **c** طول أقصر محور. المحور المتوسط **b** هو الأهم من ذلك كله، ويشار إليه بمتوسط حجم الحبيبات **d**.



تستخدم المناخل لتحديد متوسط أبعاد الحبيبات في مواد الرواسب الدقيقة. يمكن قياس الحبيبات الخشنة (التي يزيد أقطارها على 0.08 م) عن طريق تمريرها عبر مقاييس حلقية أو باستخدام عيار منزلق كبير لقياس المحور **b**.

■ كثافة وكتلة حبيبات الرواسب

تعتمد كثافة الرواسب على أصلها الجيولوجي. مع أن كثافة كل معدن تختلف باختلاف مكان حدوثه، يمكن استخدام بيانات الكثافة المتوسطة للصخور المختلفة، الكثافة هي العامل الرئيسي الذي يتحكم في وزن حبيبات الرواسب. العوامل الأخرى التي تعتمد عليها الكثافة هي حجم الحبيبات وشكلها.

يمكن قياس كتلة حبيبات الرواسب الصغيرة لحمل السرير بالوزن. ومع ذلك، فإن مخاليط الرواسب من السيول تشتمل أيضًا على صخور كبيرة لا يمكن التقاطها من القاع لوزنها. يمكن حساب كتلة هذه الحبيبات الكبيرة من اعتماد الكتلة على البُعْد المتوسط **d**:

$$G = a\, d^{b}$$

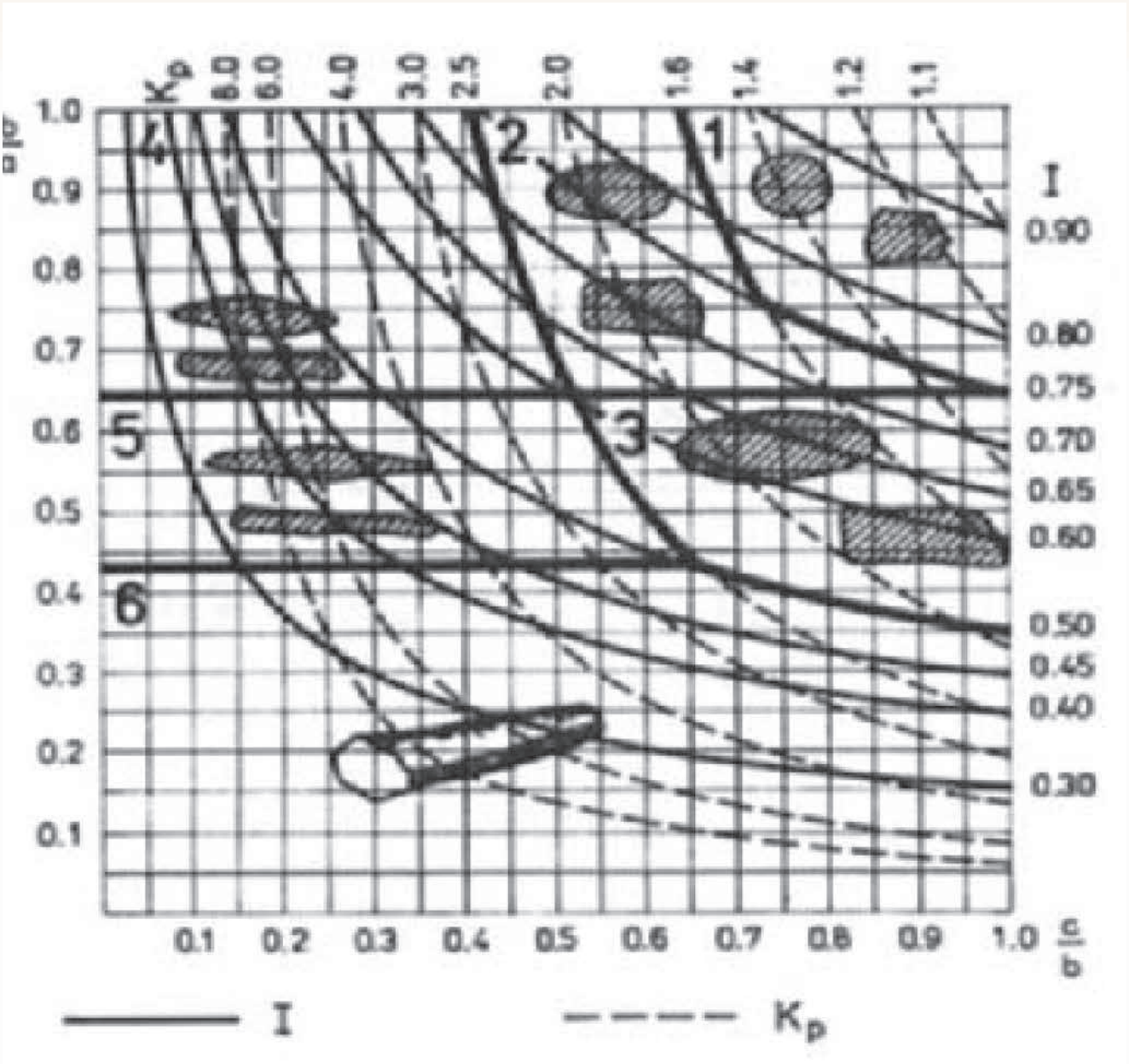
حيث إنّ a ، b : المعاملات التي تعبر عن تأثير شكل الحبيبات.

ويمكن قياس البُعْد المتوسط **d** (المحور **b**) في جميع الصخور الكبيرة تقريبًا.

■ شكل حبيبات الرواسب

الشكل هو من بين الخصائص الرئيسية لحبيبات الرواسب. يعتمد تكوين الطبقة السطحية للقاع على شكل حبيبات الرواسب كما هو الحال أيضًا، على وجه الخصوص، المقاومة التي يجب أن يتغلب عليها التدفق أثناء المرور بحبيبات الرواسب؛ وبهذه الطريقة، يحدد شكل الحبيبات ما إذا كانت الحبيبات سترتفع أم لا من القاع ويتم نقلها بواسطة التدفق.

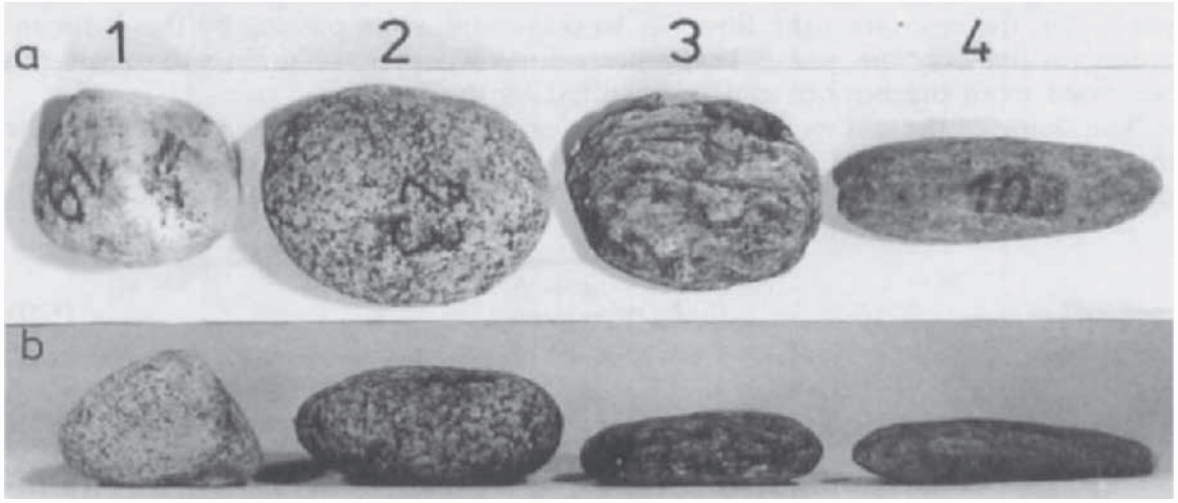
يوضح الشكل الآتي فئات حبيبات الرواسب حسب الشكل.



تصنيف حبيبات الرواسب حسب الشكل. حيث إن: K_p تعني معامل تسطيح الحبيبات، و I معامل استدارة الحبيبة.

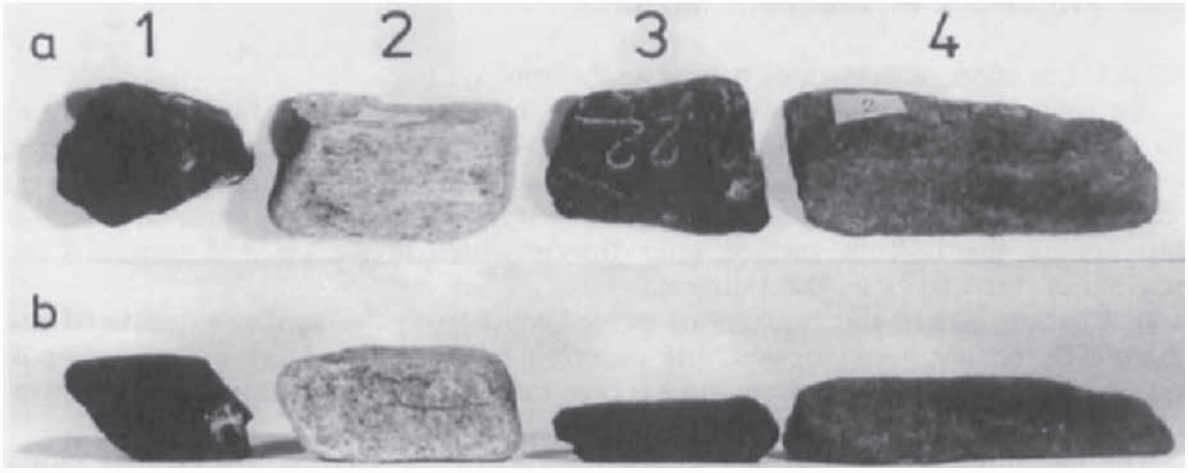
الفئـــات هي كمـــا يـــأتي:

الحبيبات المستديرة وهي: كروية، وبيضوية، وقرصية وعصوية مستديرة كما في الشكل الآتي.



تصنيف شكل حبيبات الرواسب الدائرية: a -الإسقاط في مستوى المحاور أ وb، b- الإسقاط في مستوى المحاور a و-1 c، كروي، 2 – إهليلجي، 3 – قرصي، 4 – عصوي مستدير.

الحبيبات الزاوية: المكعب والمنشور واللوح والعصوي الزاوي كما في الشكل الآتي.



تصنيف شكل حبيبات الحمل السفلي الزاوي: الإسقاط في مستوى المحورين a وb، الإسقاط b في مستوى المحورين a و-1 c، مكعبة، 2 – منشورية، 3 – مسطحة، 4 – عصوية الزوايا.

تتميـز حبيبـات الحمـل المسـتديرة بالحـواف المسـتديرة بشـكل ملحـوظ. أثنـاء تنقلها الطويل عبر قناة السيل، جرى العمل بشكل مكثف بحيث لا يمكن التعرف على شكلها الأصلي.

حبيبـات الرواسـب الكرويـة الشـكل Sphere-shaped لهـا شـكل كـروي غيـر منتظـم. يبـدو المقطـع العرضـي لهـا في مسـتويات المحـاور ab وac وbc دائـرة غيـر منتظمـة إلـى بيضويـة.

إنّ السـطح الإهليلجـي Ellipsoid هـو الشـكل الأكثـر شـيوعًا لحبيبـات الرواسـب المسـتديرة في السـيول. في المقطـع العرضـي في مسـتويات المحـاور ab، وac، وbc، يكـون لهـا شـكل قطـع ناقـص غيـر منتظـم أو شـكل بيضـوي غيـر منتظـم.

تتميـز حبيبـات الرواسـب قرصيـة الشـكل Disc-shaped عـن الأشـكال الدائريـة الأخـرى مـن خـلال تسـطيحها. في المقطـع العرضـي في مسـتويات المحـاور ab، عـادة مـا تكـون مسـتديرة بشـكل غيـر منتظـم أو بيضـوي الشـكل. في مسـتويات المحوريـن ac وbc، يكـون الشـكل المقطعـي الأكثـر شـيوعاً هـو القطـع الناقـص.

الحبيبـات المسـتديرة العصويـة Rounded rod-shaped أحـد الأشـكال الإهليلجيـة الطويلـة. المحـور a أطـول بكثيـر مـن المحـاور الأخـرى في مثـل هـذه الحبيبـات.

تشـمل حبيبـات الحمـل الـزاوي الحبيبـات Angular bed-load غيـر المشـغولة ذات الحـواف الحـادَّة دون التقريـب، والحبيبـات ذات الحـواف الحـادَّة والقادمـة والحبيبـات ذات الحـواف المسـتديرة قليـلاً مـع أجـزاء مميـزة غيـر مجوفـة مـن السـطح الأصلـي.

تتميـز المكعبـات Cubes عـن حبيبـات الرواسـب ذات الشـكل الكـروي بزوايـا أكبـر وتشـكيل أجـزاء مسـطحة علـى السـطح. عـادة مـا تكـون الزوايـا والحـواف حادَّة.

الحبيبات المنشورية Prismatic لها شكل مناشير غير منتظمة. يتكون سطحها من جوانب مسطحة، وتكون الحواف حادَّة أو مستديرة قليلاً.

تختلف حبيبات الرواسب المسطحة Plate-shaped عن حبيبات الزاوية الأخرى كونها مسطّحة بشكلٍ أكبر. على عكس الحبيبات القرصية، يتكون سطحها من مقاطع مسطحة أكثر أو أقل مع قواطع وحواف حادَّة أو غير حادَّة. عادةً ما يكون للمقاطع العرضية في مستويات المحاور ab وac وbc شكل مستطيل، وقد تكون أحيانًا شبه منحرفة أو معينية.

تكون القضبان الزاويّة Angular rods ممدودة، وأحيانًا غير منتظمة، وقد تكون أركانها وحوافها حادَّة أو غير حادَّة أو مدورة قليلًا، اعتماداً على المدة التي جرى نقلها فيها.

خصائـــص مخاليـــط الرواســـب

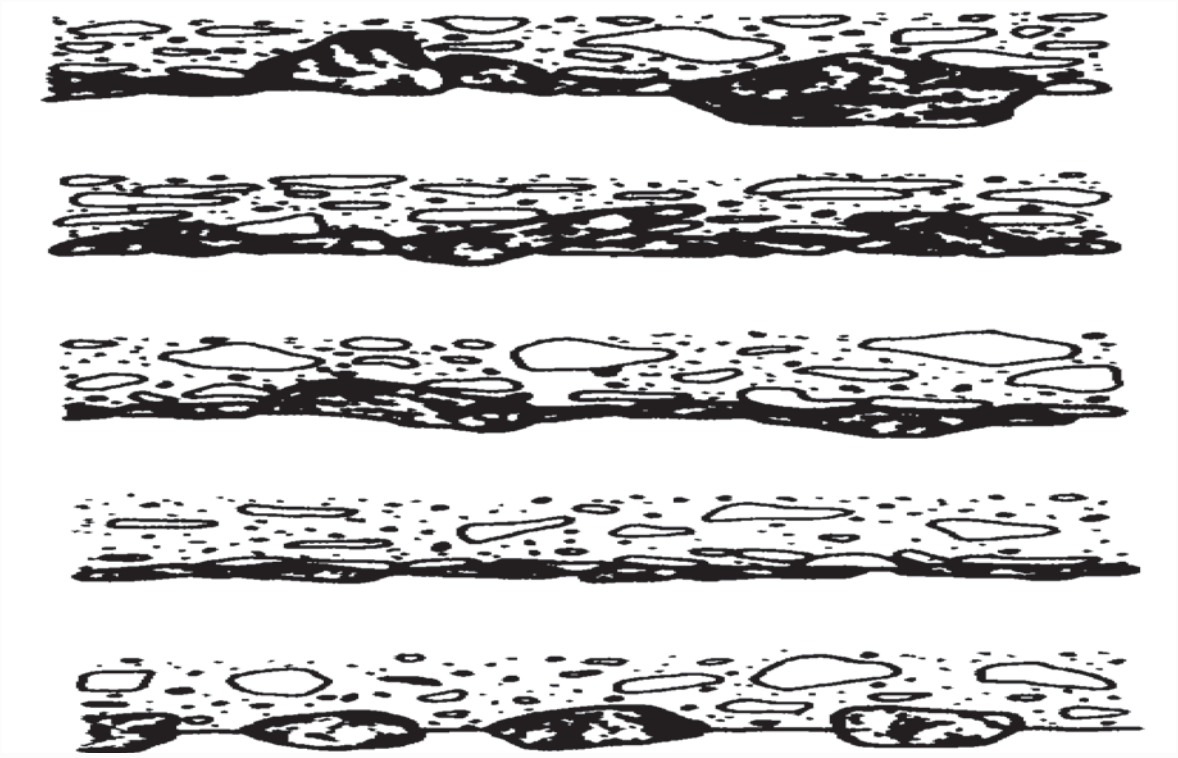
• موقع حبيبات الرواسب في الخلطة

يتطور مزيج أحمال السرير غير المصنف على سطح القاع بشكل رئيسي في السيول مع حركة الرواسب المكثفة. بعد فترة من التصريفات المرتفعة، تترسب حبيبات الرواسب ذات فئات الأحجام المختلفة (الرمل، والحصى، والجلاميد) على قضبان من الحصى فوق مستوى التصريف الدائم. تظهر المخاليط غير المصنفة أيضاً على السطح السفلي بعد الفيضانات التي تحطمت وأزالت الطبقة السطحية الأصلية للقاع.

في السيول حيث يتم تقليل أو إيقاف حركة حمل السرير من الأجزاء العُليا للقناة، تعمل القوة الحاملة لتدفقات الفيضانات على تفكيك الحبيبات الصغيرة

من السطح السفلي وتكشف الحبيبات الأكبر التي تشكل طبقة غطاء. تغطي طبقة الغطاء طبقة من خليط الرواسب غير المفرز.

قد تكون الحبيبات الفردية التي تشكل طبقة الغلاف لقاع سيل إما ملقاة بشكل غير محكم بجانب بعضها بعضاً أو قد تكون ملتصقة ببعضها بعضاً، أو قد تكون مثبتة في الطبقة السفلية. قد تتطور طبقة الغطاء أيضًا بين مقاعد الحصى حيث يتركز تدفق المياه الدائم.



تشكل طبقة الغطاء في التيارات الغزيرة.

في السيول الجبلية، يحوي مزيج الرواسب أيضًا على صخور كبيرة تختلف بشكل ملحوظ في حجمها عن مواد الرواسب الأخرى. إما بمفردها وإما في مجموعات، فإن هذه الصخور تبرز من خلال طبقة الغطاء أو قد تُدفن بالكامل في الطبقة الحاملة لمزيج الرواسب.

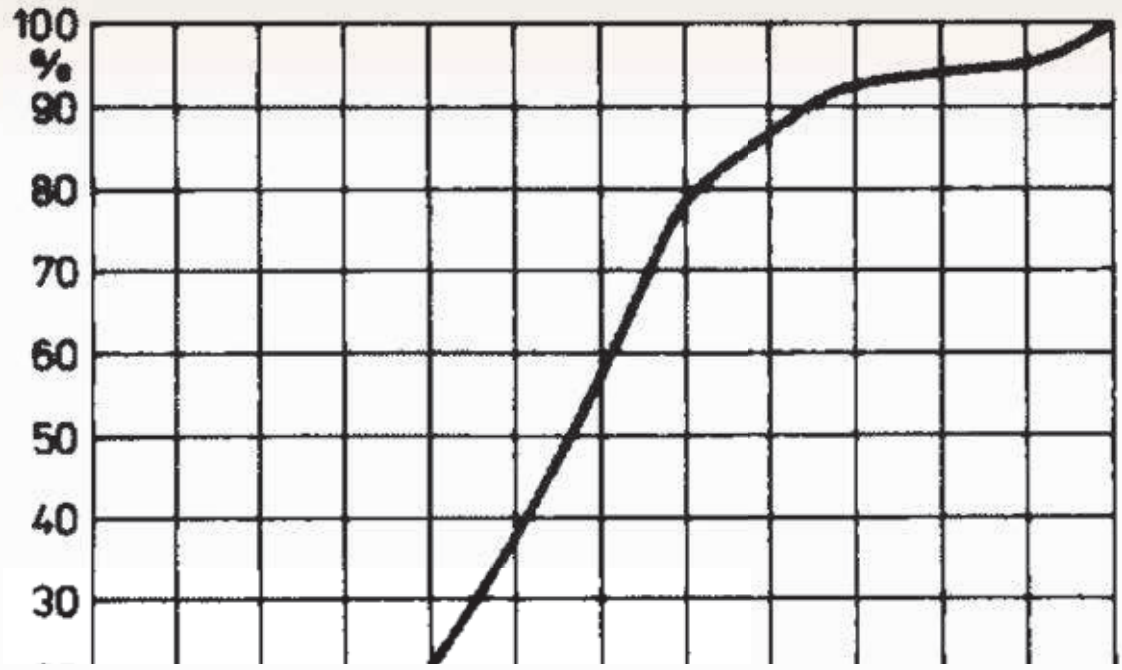
طبقة تغطية مع صخور كبيرة.

يشـكّل مزيـج الرواسـب غيـر المتدرجـة وطبقـة الغطـاء ذات الصخـور الكبيـرة الطبقـة السـطحية للقـاع. يتحكم هيـكل الطبقـة السـطحية للقـاع في خشـونة القـاع واسـتقرار الرواسـب.

تعتمـد مقاومـة كل جسـيم أو قابليتـه للرفـع والتحـرك علـى اتجـاه حبيبـات الطبقـة السـطحية بالنسـبة لاتجـاه التدفـق. وجـد أن أطـول محـور للجسـيمات التـي يحملهـا التدفـق مـوازٍ لاتجـاه التدفـق: ومـع ذلـك، عندمـا يتحـرك الجسـيم مـع الملـح، أو يتـم دفعـه أو دحرجتـه (بسـرعات تدفـق منخفضـة)، يكـون أطـول محـور لـه متعامـداً علـى اتجـاه التدفـق. ويكـون انتشـار الجسـيمات الموجـودة في الطبقـة السـطحية مـع محورهـا الأطـول موازيـاً لاتجـاه التدفـق.

• تكوين خليط الرواسب

تشـكل الطبقـة السـفلية الطبقـة السـطحية، وتتكـون الطبقـة السـفلية مـن حبيبـات مختلفـة الأحجـام. مـن الأفضـل توضيـح قـوام الخليـط مـن خـلال منحنـى حجـم الحبيبـات؛ يوضـح المنحنـى أحجـام الحبيبـات التـي تميـز بنيـة الخليـط، والتـي قـد تكـون أحاديـة التشـتت، ومتدرجـة، ومتجانسـة، ومـا إلـى ذلـك.



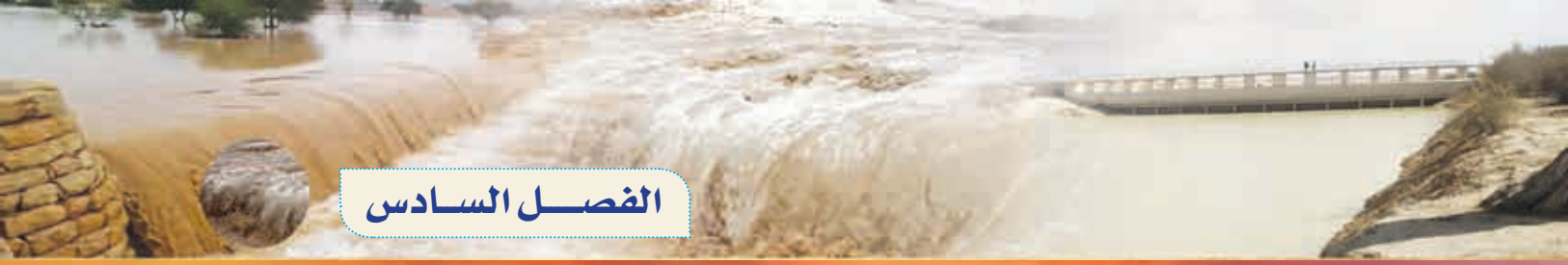
منحنى التحبيب

الخصائص الفيزيائية والميكانيكية الأساسية للسيول الجبلية

كما هو الحال في ظاهرة الفيضانات الخاصة، فإنّ السيول الجبلية لها خصائص حركية وديناميكية مختلفة عن الفيضانات العادية. تتميز العواصف المطيرة والفيضانات الجبلية بخصائص السرعة الحالية السريعة، والمحتوى العالي من الرواسب، والقدرة التدميرية الكبيرة، وإمكانية المياه الشديدة الانحدار، والمدة القصيرة.

• خصائص حركة السيول الجبلية

تحدث السيول الجبلية في أحواض أصغر. تحت تأثير العواصف المطيرة القوية، تتقارب المياه بشكل سريع وتشكل السيول الجبلية، لتصل إلى أعلى



مستوى للمياه بسرعة. وقت ارتفاع الفيضان أقصر من وقت السقوط؛ سرعة التدفق القصوى هي في الأساس نفس وقت أعلى مستوى للمياه، وسرعة التدفق عند الارتفاع أكبر من سرعة السقوط. يجري تقديم منحنى الحلقة على مخطط تدفق مستوى الماء. هناك أرقام نموذجية لخط عملية تدفق فيضان الجبل وخط منسوب المياه والسرعة.

• تفادي مخاطر الفيضانات الجبلية

السيول الجبلية هي فيضانات مفاجئة في أخدود. لها خصائص مفاجئة ومركزة ومدمرة وما إلى ذلك. لذلك، بمجرد أن تكون في منطقة جبلية، لا داعي للذعر وحاول الاستماع إلى أوامر الأشخاص ذوي الخبرة، والبحث على الفور عن أرض مرتفعة لتجنب الكارثة. اهرب في اتجاه التلال ولا تتجنب الفيضان تحت الصخور الخطرة والصخور غير المستقرة. لا تبتعد عن الوادي، فالوادي هو طريق السيول الجبلية.

عندما تقابل فيضانات وسيول الجبل، عليك القيام بما يأتي:

- تأكد من الحفاظ على الهدوء والانتقال بسرعة إلى الجبال أو المرتفعات؛ إذا كان لا يمكن نقله للحظة، فاختر مكاناً آمناً نسبيّاً في الوقت نفسه مع مراقبة البيئة خلفه.
- عند حدوث فيضان مفاجئ، لا تنزل على منحدر التل أو مخرج الوادي. اختر طريقاً آمناً قريباً للركض على طول التلال.
- السيول الجبلية سريعة وعنيفة وذات سرعة عالية ومدمرة، إنها لا تعبر النهر برفق.
- عندما تحاصر السيول الجبلية، من الضروري الاتصال بقسم الوقاية من الفيضانات في الحكومة المحلية على الفور وطلب المساعدة. يجب أن نستمع إلى ترتيب الأفراد المعنيين، وفي الوقت نفسه، في حالة الطوارئ، يجب أن نتعلم إرسال إشارات استغاثة، مثل الصراخ طلباً للمساعدة أو هز الملابس.

كيفيـــــة التحكـــــم في الســـــيول

الغرض الرئيسي من التحكم في السيول هو التحكم في تدفقات الفيضانات على طول قنوات السيول وذلك لحماية المباني المجاورة والهياكل والطرق والحقول والمناطق السكنية المجاورة، لجعل قنوات السيول مقاومة (في اتجاهها وعمقها) للقوة الحاملة للتيار المائي، وبوجه خاصٍّ، لمنع ارتفاع ونقل وترسب الرواسب.

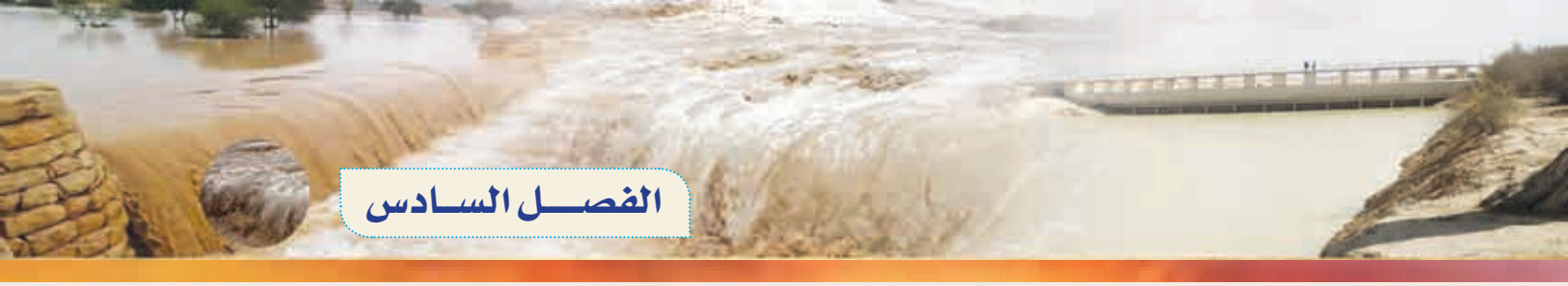
• كيفية إدارة السيول

سيعتمد مدى التدخل بشكل أساسي على حالة السيول. يجري تنفيذ التدخلات المنهجية لإدارة السيول على قنوات السيول التي يكون تطويرها غير مكتمل من حيث مسار السيول والمقطع العرضي ومنحدر السرير. لا يمكن بناء الأنظمة الكاملة التي تغطي التدفق بالكامل من الجدول إلى الفم إلا على السيول القصيرة. (هذه الأنظمة مبنية في أجزاء قصيرة من منطقة المصدر إلى الفم).

نادراً ما تحتاج تدفقات السيل الطويلة إلى تنظيم طوال مسارها. حيث إنّ تنظيم التدخلات على مثل هذه السيول تغطي قطاعات منفصلة طويلة. في مثل هذه الحالات، يجب أن يكون قد جرى فحص السيل بالتفصيل لمعرفة ما إذا كانت أجزاء المنبع غير المنظمة للقناة لن تعرض المقاطع الخاضعة للتنظيم للخطر.

إذا لزم الأمر، ينبغي اتخاذ تدابير لإزالة هذه الأخطار. من المُهمِّ بشكل خاصٍّ ضبط المكان الذي يمر فيه المقطع غير المنظم إلى الجزء الخاضع للتنظيم ولمنع نقل مادة حمولة السرير إلى القناة المنظمة، على سبيل المثال، عن طريق بناء مصائد من الحصى.

من الضروري أيضاً تقييم تأثير المقطع المنظم على الجزء السفلي غير المنظم من القناة من حيث السعة لمعدلات التدفق المختلفة وعمليات تحميل السرير المتغيرة.



جـرى تصميـم التنظيـم الجزئـي فقـط علـى السـيول التـي لهـا منحـدر سـرير مسـتقر نسـبيّاً ولكـن اتجاهـات التدفـق غيـر مناسـبة. تتضمـن إدارة مثـل هـذه السـيول إعـادة تنظيـم مسـار التدفـق، واسـتقرار عمليـات مسـح الخزانـات المحليـة، وتثبيـت قضبـان الحصـى عـن طريـق بنـاء عتبـات أو سـدود منفصلـة، وبنـاء مصائـد مـن الحصـى، ومـا إلـى ذلـك. كمـا يُسـتخدم التنظيـم الجزئـي حيـث يجـري تجسـير الرافـد وحيـث يكـون موازيـاً لحمايـة الطريـق عنـد مصـب الرافـد.

• طرائق التحكم في السيول

يتضمـن التحكـم في السـيل عـددًا مـن المهـام المحـددة، بمـا في ذلـك تحديـد تصريـف التصميـم، وإعـادة تنظيـم التدفـق، وتعديـل منحـدر السـرير، وتصميـم المقطـع العرضـي، وتصميـم بطانـة القنـاة، وتصميـم الهيـاكل.

تدفق التصميم

قبـل البحـث عـن الحلـول التقنيـة للتحكـم في السـيول، يجـب أولاً تحديـد مقـدار الحمايـة التـي يجـب توفيرهـا لـلأرض والمحاصيـل والمرافـق والمناطـق السـكنية ومـا إلـى ذلـك الواقعـة ضمـن نطـاق تأثيـر الهيـكل المخطـط.

يجـب أن يكـون مسـتوى الحمايـة المحـدد كافيـاً لضمـان عـدم زيـادة تدفـق الميـاه عنـد معـدل معـين مـن التدفـق في الجـزء المنظـم مـن التيـار. يشـار إلـى هـذا «معـدل التدفـق المعـين» باسـم التدفـق التصميمـي Design discharge.

مـن المسـتحسـن أن يعتمـد تحديـد تصريـف التصميـم علـى التحليـل الفنـي الاقتصـادي لتدابيـر إدارة السـيل المخطـط لهـا، وتكاليـف الإنشـاء والصيانـة العاديـة للسـيول الخاضـع للرقابـة مقارنـة بالخسـائر التـي تسـببها الفيضانـات.

من الصعب جدّاً تقييم الخسائر على مستويات مختلفة من الحماية بشكل موضوعي ويجب أيضًا أن يؤخذ في الاعتبار أن التحكم في السيول يجلب عددًا من المزايا المختلفة بالإضافة إلى الفوائد الاقتصادية: بالنظر إلى ذلك، قد يكون من المفيد تحديد تصريف التصميم باستخدام البيانات الموجودة في الجدول الآتي:

درجة الحماية	المحاصيل المهددة بالانقراض، والهياكل، والمرافق، إلخ.	تدفق التصميم لسعة القناة
1	منطقة حضرية مدمجة، مجمعات سكنية أكبر، قرى أكبر، منشآت صناعية، هياكل خطية مُهمَّة متوازية (طرق سريعة، سكك حديدية، إلخ)، آثار محمية.	Q_{50}-Q_{100}
2	قرى صغيرة، مجموعات منازل، وديان متفرقة (المسافة بين المنازل لا تقل عن 100م)، طرق ذات أهمية محلية (الفئتان الثانية والثالثة)، طرق نقل الغابات، مقالب، منتجعات ترفيهية، حقول مهددة بالانقراض.	Q_{20}-Q_{50}
3	مناطق البناء الخارجية، الإنتاج الزراعي المكثف، والتزلج والطرق الحرجية الأخرى.	Q_{5}-Q_{20}
4	مناطق البناء الخارجية، المروج والغابات المنتجة ومرافق الري والصرف.	Q_{5}-Q_{10}

إذا كانت تدابير إدارة السيول تنطبق على مقاطع السيل سواء خارج وداخل القُرى أو البلدات، أو الأجزاء التي تمر عبر الأراضي المستخدمة بطرق مختلفة (الصالحة للزراعة، والمراعي، والغابات)، فسيكون هناك، بقدر الإمكان من الناحية الفنية، تصريفات تصميم مختلفة لقدرة القناة في مقاطع الدفق المختلفة.

إذا لـم يكـن مثـل هـذا الحـل ممكنـاً أو مفيـداً، يتـم الاحتفـاظ بتصريـف أعلـى مثـل تصريـف التصميـم أيضـاً لقطاعـات التيـار في المناطـق التـي تتطلـب حمايـة أقـل.

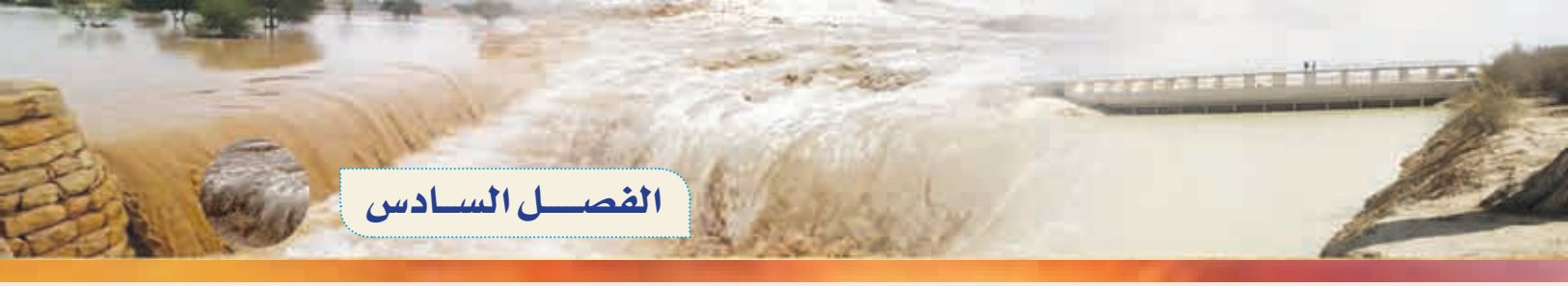
تتسبب تيارات السيول في أضرار أكبر بكثير من خلال تدمير قنواتها الخاصة والممتلكات الموجودة في المنطقة المجاورة لها أكثر مما تسببه الفيضانات. وبالتالي، تحتاج قيعان وضفاف السيول إلى حماية أكثر من قنوات مجاري المياه الأخرى.

طاف خزان على قاع طريق بعد فيضان في نهر جيلوفسك، بوهيميا.

إن سـعة التدفـق يكـون لهـا التأثيـر الأكبـر علـى تكويـن قنـاة السـيل؛ ومـن ثـم، فإن تدفـق التصميـم لمقاومـة قـاع سـيل مثـل هـذا هـو نفسـه بالنسـبة لسـعة القنـاة. وقـد أظهـرت التحقيقـات حـول تكويـن قنـاة السـيل أن عمـق الميـاه الـذي لا تـزال فيهـا الحبيبـات الفعَّالـة التـي تشـكل قـاع سـيل لا تتحـرك يتوافـق مـع عمـق القنـاة

المتكونـة بطريقـة طبيعيـة. ومـن ثـم، فـإن معـدلات التدفـق أعلـى مـن التصريـف المصمـم وتتسـبب في غمـر مسـاحات كبيـرة ليس لهـا تأثيـر كبيـر علـى تكويـن القـاع. ومـع ذلـك، في الوديـان الضيقـة حيـث لا يمكـن للميـاه أن تفيـض خـارج الضفـاف القريبـة، يتعـرض قـاع السـيل لضغـط عـالٍ نـاتج عـن التدفـق المركـز، في مثـل هـذه السـيول، يجـب تقييـم اسـتقرار القـاع مـن حيـث الميـاه لمـدة 100 عـام.

منازل متضررة بعد سيول في جدول ستريبرني في جبال العملاق، بوهيميا



• إعـــــادة المحـــــاذاة

مبادئ التخطيط لتدابير إدارة السيل تعد إعادة التنظيم الصحيحة من بين المتطلبات الأساسية للحفاظ على قاع سيل مستقر. لحماية الضفاف والجزء المجاور للقاع في منحنيات مقعرة ضد الكثير من الضغط أثناء التدفق في قناة كاملة، يجب أن يكون تخطيط تدابير التنظيم أقرب ما يكون إلى تبسيط تدفق التصميم.

سوف يفي هذا أيضًا بالمتطلبات الأخرى، بما في ذلك تلك المتعلقة بأقل التكاليف الممكنة لإعادة تجديد الخزانات والتكامل الجمالي للتيار في المناظر الطبيعية. عندما يجري تصميم مخطط الإجراءات التنظيمية، لا ينبغي أن يكون التدفق السلس والآمن للمياه على طول القناة هو الغرض الوحيد الذي يجب مراعاته، ويجب أيضًا مراعاة الحاجة إلى حماية الأراضي والمباني والممتلكات الأخرى المجاورة. يجب أن تمر المحاذاة عبر نقاط الارتفاع الأدنى للوادي مع الحفاظ على الاتجاه الحالي للتدفق.

يجب الاستفادة القصوى من القناة الأصلية حتى لا تُجرى تغييرات مفرطة في حالة الأراضي، مع أنه في بعض الحالات، من ناحية أخرى، سيكون من المفيد إعادة إنشاء القناة من أجل تنظيم أفضل لحالة الأراضي.

عندما يسير سيل موازياً لطريق ما أو عندما يتقاطع الطريق معه، فقد تؤدي المحاذاة الخاطئة إلى خطر تلف أو تعطل قاع الطريق. في مثل هذه الأماكن، يجب رسم المحاذاة بعناية خاصة للسماح للمياه بالمرور بأمان تحت الجسور أو القنوات. يوصى بأن تعبر الطرق السيول بشكل عمودي أو بزاوية 60 درجة كحد أقصى. بالطبع، يجب ألا يغيب عن الأذهان أن المعبر 90 درجة مناسب حيث يكون مسار المجرى متعامداً أو قريباً من الطريق. في حالات أخرى، قد يكون الالتزام بمبدأ العبور المحيطي خطيراً؛ فالتعديل القسري لاتجاه التيار قد يعرض للخطر ليس فقط قناة التيار ولكن أيضاً قاع الطريق.

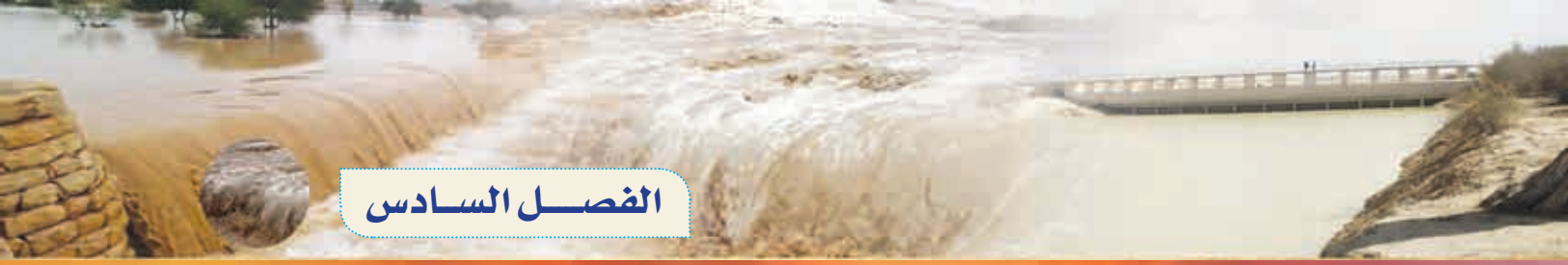
• خـــــط تنظيـــم الســـــيل

يتكون خط تنظيم السيل من منحنيات ومقاطع مستقيمة تمر بسلاسة إلى بعضها بعضاً. وتشمل العوامل الرئيسية الأكثر أهمية للالتواء الأمثل الانحناء الصحيح وطول الانحناءات؛ يجب أن تتداخل المقاطع الطويلة المستقيمة أو شبه المستقيمة بشكل كاف بين الانحناءات المتتالية.

يجب تصميم ميزات التوجيه بعناية خاصة في التدفقات الغزيرة لفئة التدفقات الصغيرة التي لها نسبة ضيقة من عرض القناة (تقاس على سطح الماء) إلى عمق القناة والتي يسود فيها التداول المتقاطع البسيط. يجب أن يتبع خط القعر Thalweg المصمم بسلاسة من منحنى إلى آخر مع الحد الأدنى من إجهاد القص على الخزانات عند قمة كل منعطف.

جرى فحص الجاذبية المثلى في التيارات الطبيعية. وقد أثبت تحليل الاتجاهات في القنوات الطبيعية لمجاري المياه في النمسا أنه لا الأقواس الدائرية ولا الخطوط المستقيمة نموذجية للقنوات التي تطورت بواسطة العمليات الطبيعية.

ومن ثم يوصى بتجنب الأقواس الهندسية والخطوط المستقيمة واستخدام منحنيات مشتركة غير منتظمة. ومع ذلك، فإن هذا النهج يتطلب الكثير من المهارة والخبرة في تصميم المشروع، وتنفيذها ليس بالأمر السهل. يمكن استخدام الأشكال غير المنتظمة مع ميزة في التعديلات الجزئية، على سبيل المثال، في تحديد خط الخزان عند توحيد عمليات المسح المصرفي أو عند إعادة تنظيم الانحناءات المحلية الحادَّة.



• تأثيـر الرطوبـة وتركيـب الخرسـانة على قيـاس نفاذيـة السـيول

في بحث نُشر عام 2005 دُرست تغيرات نفاذية الغاز على الخرسانة بمرور الزمن وتأثير ظروف الرطوبة المحددة. جرى إنتاج وتخزين أربع خلطات خرسانية مختلفة في المختبر، ثلاثة منها عند رطوبة نسبية قدرها: 35 % و70 % و90 %.

وقد جرت مراقبة نفاذية الهواء للخرسانة المغطاة باستخدام طريقة التورنت. في ظل الظروف البيئية الخاضعة للرقابة، تكون طريقة التورنت حساسة لجودة الخرسانة. ومع ذلك، عند اختبار الخرسانة الصغيرة أو الخرسانة الرطبة، تؤدي التأثيرات الضارة إلى نتائج غير متوقعة.

تتم مقارنة نتائج طريقة التورنت غير المدمرة مع البيانات التي تم الحصول عليها بطرائق أخرى وتشير إلى تأثيرات مُهمَّة للرطوبة في ظل ظروف معينة.

وقد نوقشت تأثيرات الرطوبة على النتائج التي جرى قياسها باستخدام طريقة التورنت وإمكانيات تحسين طريقة التطبيق على الهيكل الحقيقي.

السـدود المائيـة

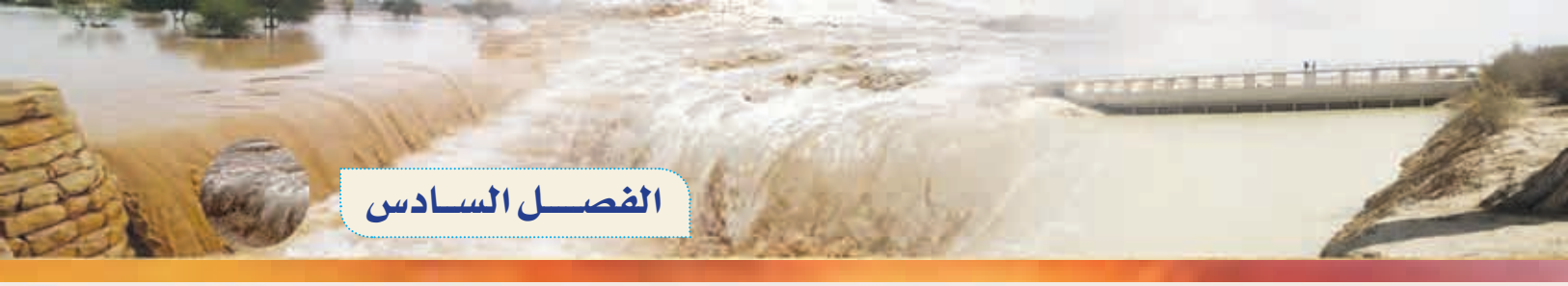
السدّ Dam هو منشأة تشيّد عبر نهرٍ للقيام بإحدى المهام الآتية: تحسين الملاحة، أو تخزين المياه، أو تحويل المياه إلى قناة جانبية، أو التخلص من المواد الرسوبية، أو توليد الطاقة الكهربائية. وللسدود أنواع مختلفة حسب نوع المادة التي يتألف منها جسم السدّ.

يعدّ السد أحد أكبر المباني التي بناها القدماء، وقد تكون الأنظمة الهيدروليكية مخصصة لتزويد المياه أو الري أو الطاقة المائية أو أي مزيج من هذه الثلاثة، وهذا صحيح في العصور المبكرة كما هو الحال اليوم، ولكن لم يجر تقديم الأنواع الثلاثة للنظام في عصرٍ واحدٍ.

جرى تطبيق الأساليب الهندسية على أنظمة الري منذ فجر الحضارة، وعلى إمدادات المياه بحلول القرن السابع قبل الميلاد، وعلى الطاقة المائية بحلول القرن الأول قبل الميلاد تقريباً، مع أنه في الحالة الأخيرة ليس لدينا تاريخ مؤكد.

السدود مطلوبة في معظم الأنظمة الهيدروليكية، مهما كان الغرض منها، لكن وظائف السدود تختلف. فهي تستخدم في ري الوديان، كما تُستخدم في حبس مياه الفيضانات التي تنتج عن هطول أمطار غزيرة ولكنها حالة نادرة، بحيث يرتفع منسوب المياه فوق مستوى الحقول المحيطة، والتي يمكن أن تجري عليها بعد ذلك تحت تأثير الجاذبية.

تستخدم السدود للري الدائم لتحويل المياه من الجداول أو الأنهار إلى شبكة القنوات. يمنح حجز الأنهار خلف السدود مزيداً من التحكم في الإمدادات على مدار العام. كما هو الحال مع ري الوادي، فإنه يسمح أيضاً بتغذية المياه الموجودة في الخزان بالجاذبية في أنظمة الري وإمدادات المدينة. وهناك ميزة أخرى، إذا كانت المياه ستستخدم للطاقة المائية، وهي أن هناك رأس مائي مرتفع وثابت إلى حدٍ ما، فإنه لن يكون كذلك إذا كان النهر غير منظم.



• بنـــــاء الســـــدود

في العصر الحديث، عندما تم بناء المصانع الأولى، لم تكن الطاقة البخارية قد اخترعت بعد. في البداية، كانت الآلات الكبيرة تعمل بالطاقة المائية، والتي يجري توفيرها بواسطة النواعير. تطلبت هذه الآلات إمدادات موثوقة من المياه المتدفقة، وجرى بناء المزيد من السدود لتوفيرها. عندما حلّ البخار محل الطاقة المائية، لم تعد هناك حاجة لتلك السدود، وجرى التخلي عن معظمها، ولكن في الآونة الأخيرة، جرى استخدام تقنية العجلة المائية لصنع التوربينات.

تُسخّر هذه الطاقة الحركية للمياه المتدفقة لتشغيل الآلات بكفاءة أكبر بكثير من نواعير المياه التقليدية، وتستخدم لتوليد الطاقة الكهرومائية. وقد أدى ذلك إلى بناء المزيد من السدود. اليوم، يجري توليد نحو 19 % من الكهرباء في العالم من المياه المتدفقة عبر السدود.

■ مراحل بنـــاء السدود

لقد بُنيت معظم السدود المبكرة من الأرض أو الصخور أو مزيج من الاثنين. يعتبر بناء السد الصغير عملاً كبيراً ويستخدم كمية هائلة من المواد، لذلك كان من الطبيعي استخدام الأرض والصخور، والتي كانت متوفرة محلياً. من المحتمل أن تكون السدود الأولى مصنوعة بالكامل من الطين أو أي تربة دقيقة الحبيبات تكون غير منفذة إلى حد ما عندما يجري تجميع جزيئاتها معًا بإحكام. يسمى السد المصنوع من مادة واحدة «بالسد المتجانس».

يزن المتر المكعب الواحدة من الماء 1000 كغ، لذلك حتى الخزان الصغير يمارس ضغطاً كبيراً على السد. هذا يعني أن جدار السد يجب أن يكون كبيراً وعادة ما يكون أكثر سمكاً عند قاعدته منه في الجزء العلوي.

الجدار، إذن، هو مثلث في المقطع العرضي. يجب ألا ينحدر الجدار بشدة بحيث تكون الأرض أو الصخر قادرين على الانحدار إلى القاع. يجب أن يوزع المنحدر أيضاً وزن الجدار، لمنع الأرض تحته من الانضغاط بشكل غير متساوٍ والتسبب في انهيار السد.

على جانب المنبع، يجب أن يقاوم الجدار حركة الأمواج، وفي الجانب السفلي يجب أن يقاوم التعرية بفعل المطر. يمكن زرع الغطاء النباتي على جانب مجرى النهر لربط الأرض ببعضها.

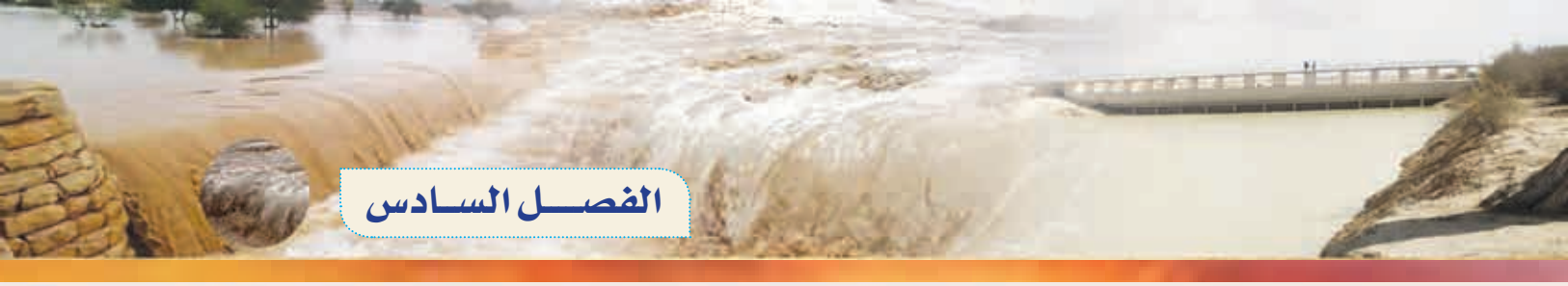
غالباً ما تتراكم الصخور ذات الأحجام المختلفة، والتي تسمى التبليط الصخري أو الدَكّة Riprap، مقابل وجه المنبع لامتصاص طاقة الأمواج. بدلاً من ذلك، يمكن حماية وجه المنبع بسطح من البناء أو الخرسانة أو الأسفلت.

لا تزال الأرض والصخور مستخدمة على نطاق واسع، ولكن في الوقت الحاضر تحوي العديد من جدران السدود أيضاً على الفولاذ والخرسانة والبناء الصلب.

يتم اختيار نوع السد الذي سيُستخدم وفقاً لمدى ملاءمته للموقع، وغالباً ما يشتمل الشلال على سدود من عدة أنواع.

قد يكون السد الترابي متجانساً، ولكن الأكثر شيوعاً أنه يتكون من لب من الطين غير المنفذ مع طبقة خارجية من الأرض المتماسكة والتبليط الصخري ذات كسوة ممزقة لحماية وجهها العلوي. يمكن بناء السدود الترابية على أرضية ناعمة، لأنها واسعة جدّاً عند القاعدة بحيث يتوزع وزنها على مساحة كبيرة.

تعتبر السدود الصخرية Rockfill أكثر أهمية ولكنها أيضاً أثقل وتحتاج إلى أساس متين. كما يوحي الاسم، فهي مصنوعة من صخور فضفاضة بأحجام مختلفة وطبقة صلبة أو جلد من الخرسانة أو الأسفلت يحمي وجه المنبع. يجب أن تكون الواجهة غير منفذة لمنع الماء من اختراق الهيكل.



تتحدر السدود الأرضية والسدود الصخرية على جانبي المنبع والمصب، لكن لسد الجاذبية وجه رأسي على جانب المنبع. وهي مصنوعة من الصخور أو الكتل الخرسانية التي يجري تثبيتها مع الأسمنت والمكسوة بالخرسانة. إنه ثقيل جدّاً، ووزنه هو الذي يؤمنه على الأساس. يُثبت في مكانه عن طريق الجاذبية، ومن هنا جاء الاسم. قاعدته العريضة جدا توزع الوزن. مع أن التصميم يبدو حديثاً، فقد بُني أول سدود الجاذبية في إسبانيا في القرن السادس عشر؛ ولا يزال اثنان منها قيد الاستخدام.

أنـــــواع الســـــدود

بشكل عامٍّ يوجد نوعان أساسيان من السدود: الجاذبية والقوسية. الأول، كما يوحي اسمه، يعتمد على وزن السد لتحمل ضغط الماء. يمكن أن تفشل سدود الجاذبية في أيّ قسم بسب الانزلاق أو الانقلاب، إذا تغلب دفع الماء على مقاومة القص والاحتكاك في هذا القسم، ويمكن أن يحدث الفشل أيضاً إذا أدت عملية تجفيف المياه إلى تقويض الأساسات.

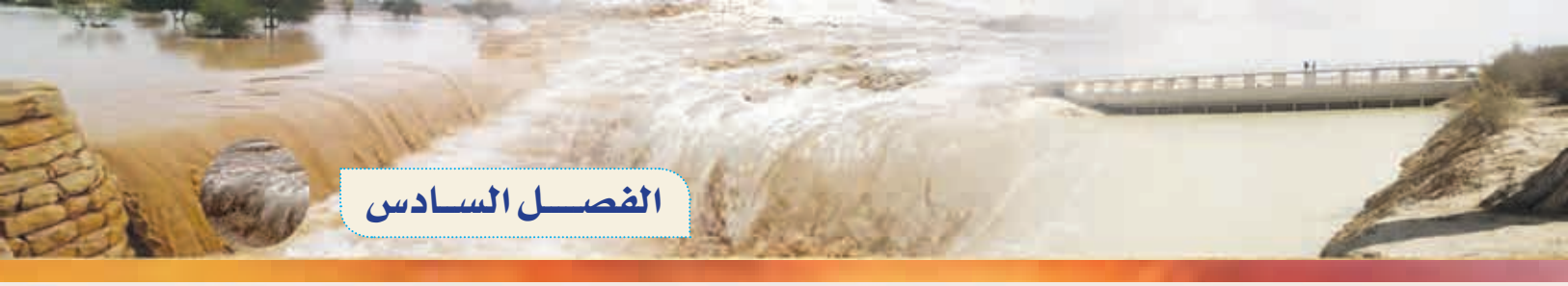
في حالة سدود الجاذبية، من المُهمِّ الحفاظ على خط الدفع (الناتج عن ضغط الماء ووزن السد) داخل «الثلث الأوسط» من المقطع العرضي، أي الثلث الأوسط مع الخط الذي يربط بين مراكز الجاذبية للأقسام كخط مركزي لها، وإذا تجاوز خط الدفع هذا الحد، فستنتج ضغوط شد قد تؤدي إلى حدوث كسر، لأن البناء، وبخاصة مفاصله، لا يمكنه تحمل التوتر. لمزيد من القوة، تضاف الدعامات أحياناً إلى الجدار السفلي لسدود الجاذبية.

أما النوع الثاني فهي السدود المقوسة التي صُمّمت لمقاومة قوة الماء والطمي من خلال حركة القوس الأفقية وهي قابلة للتكيف فقط مع تلك المواقع التي

يكون الطول فيها صغيراً مقارنة بالارتفاع، وتتكون جوانب الوادي من صخور جيدة لمقاومة دفع القوس عند التدفق. مع وجود استثناءات لسدود تاريخية نادرة؛ فإن السدود القوسية الحقيقية لم تُبن قبل العصر الحديث.

السد القوسي هو أحد أشكال سد الجاذبية، حيث إنّ وزنها الكبير يؤمنها. ينحني السد في اتجاه المنبع، وهذا الشكل ينقل ضغط المياه إلى الجوانب، ويدفع السد إلى الضفاف ويزيد من قوته. سد هوفر من هذا النوع، لكن بعض السدود المقوسة بها أكثر من قوس واحد.

يبلغ طول سد بارتليت متعدد الأقواس الواقع على نهر فيردي في ولاية أريزونا (244 م) وله 10 أقواس وليس قوساً واحداً.



في سد الدعامة، يكون وجه المنحدر منحدراً، غالباً عند نحو 45 درجة، والوجه السفلي يكون عموديّاً، والدعامات تدعم السد على جانب المصب.

لقد أُنشئت السدود على شكل أقواس عندما اكتشف المهندسون -على سبيل المثال- أن أفضل قوس هو صخرة تقع على طول مسار النهر. ومع ذلك، لم تكن السدود من هذا النوع سدوداً مقوّسةً حقيقية؛ وإنما كانت ذات بناء ضخم وكانت، في الواقع، سدود جاذبية.

لم يكن التحليل الرياضياتي للقُوى المؤثرة في السدود، بالطبع، غير معروفاً بالنسبة للمهندسين الأوائل؛ ولكن استندت تصاميمهم أيضاً إلى الخبرة المتراكمة والحدس والممارسة الإنشائية السليمة. من الواضح أن اختيار الموقع المناسب كان ذا أهميةٍ قصوى؛ حيث تُحدّد المنطقة العامة التي سينشأ السد فيها من خلال العوامل الهيدرولوجية والاجتماعية، ولكن بالنسبة للسد من أي حجم، فإن الموقع الدقيق يعتمد على العثور على موقع فيه طبقات جيدة تحمل الأحمال، ويفضل أن تكون صخرية. أكثر من أي شيء آخر، يعتمد استقرار السد على الحفر وصولاً إلى طبقة جيدة، ثم التأكد من وجود رابطة قوية بين هذه الطبقة والهيكل.

ينطبق هذا الأمر بشكل خاصٍّ على السدود المبكرة، حيث صممت الهياكل بشكل مفرط وفقاً للمعايير الحديثة، وبالتالي كانت أضعف نقطة هي الأساسات. بمجرد اختيار الموقع، سيحدد ارتفاع السد. للقيام بذلك، ستكون هناك حاجة إلى مسح دقيق إلى حد ما للمنطقة المحيطة. كان على المهندسين أن يأخذوا في الاعتبار متغيرين رئيسيين: ارتفاع السد ومدى النظام الهيدروليكي المقترح.

لقد غذيت الأنظمة - سواء لإمدادات المياه أو للري أو كليهما- في الغالب عن طريق الجاذبية، لذلك كان ارتفاع السد عاملاً رئيسيّاً في تحديد حجم النظام. كما أن ارتفاع السد تأثر بعوامل أخرى: مثل الظروف المائية المحلية، والطبوغرافيا، والسلامة، والموارد المتاحة للبناء.

كما هو الحال دائماً في تصميم المشاريع الهندسية، كان لا بد من البحث عن أفضل حل وسط بين عددٍ من الاحتمالات. كثيراً ما نجد آلات لرفع المياه أقيمت بالقُرْب من السدود. يبدو من غير المحتمل أن تكون قد رُكبت لاحقاً، وإنما جرى تضمين استخدامها في تخطيط النظام الهيدروليكي بكامله.

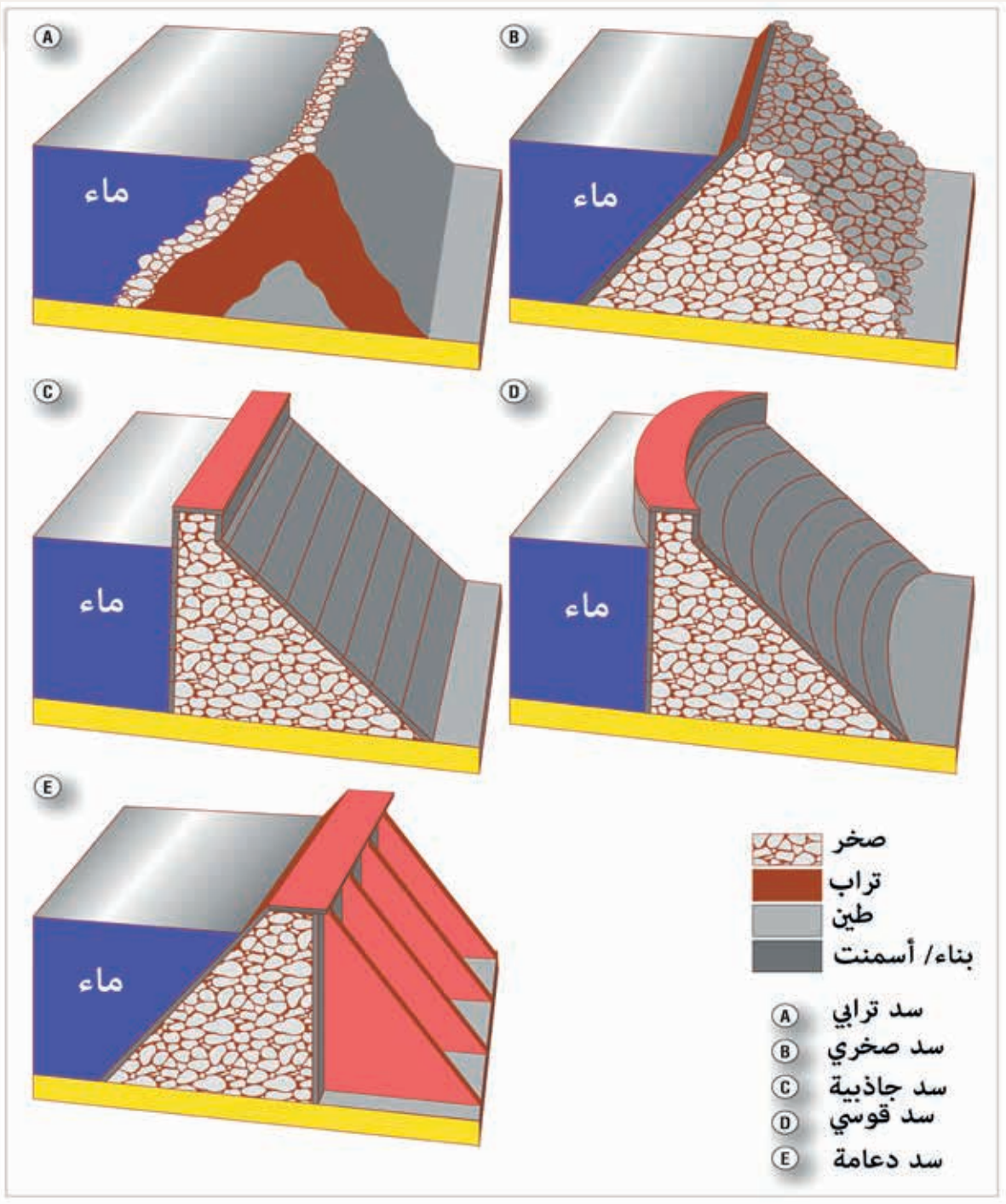
تأثر اختيار مواد البناء جزئيّاً بتصميم السد وجزئيّاً بالتوافر. كانت السدود الأرضية شائعة ولا تزال مستخدمة على نطاق واسع اليوم. إنها مرضية تماماً لأنواع معينة من الخدمة، بشرط أن تحوي على نواةٍ من الطين أو مادة أخرى غير منفذة وقدرة كبيرة على الفائض، لكنها ليست مناسبة أبداً للسدود العالية.

في مناطق معينة، ولا سيَّما العراق، كانت السدود الترابية شبه شائعة؛ كانت (ولا تزال) مناسبة تماماً لتحويل الأنهار إلى أنظمة القنوات، وعلى أي حال، كانت تكلفة نقل كميات كبيرة من الحجر باهظة الثمن.

في مناطق أخرى، حيث كانت هناك الحاجة إلى السدود أعلى، كان من الضروري إنشاء شكل من أشكال البناء. ويمكن أن يكون هذا باستخدام الحجر الملبس، أو بملاط أو دون ملاط، أو أنقاض عشوائية أو خرسانة.

في كثير من الأحيان، جرى بناء السدود عن طريق بناء جدارين من البناء مع وجود فجوة بينهما، ثم ملء الفجوة بمواد أرخص مثل التراب أو الأنقاض. إذا كان السد مصمماً لتصريف المياه الفائضة من قمته، فيجب أن يكون من الحجر أو الخرسانة، لأن الأرضية كانت ستتآكل بسرعة بفعل المياه.

هناك طريقة أخرى للتخلص من المياه وهي بناء قنوات تصريف يجري التحكم فيها بواسطة قنوات من الخزان إلى جانب المصب؛ كما جرى استخدام بوابات السد في هيكل السد نفسه. ولكن نظراً لأن الغرض الرئيسي للعديد من السدود هو حجز المياه، بشكل مؤقت أو دائم، لاستخدامها في الري أو الإمداد بالمياه، كان لا بد من توصيل المياه إلى حيث تكون هناك حاجة إليها.



أنواع السدود المختلفة. في جميع الرسومات، جرى المبالغة في انحدار المنحدرات. أما في السدود الحقيقية، فإنّ القاعدة أوسع بكثير مما تظهر هنا.

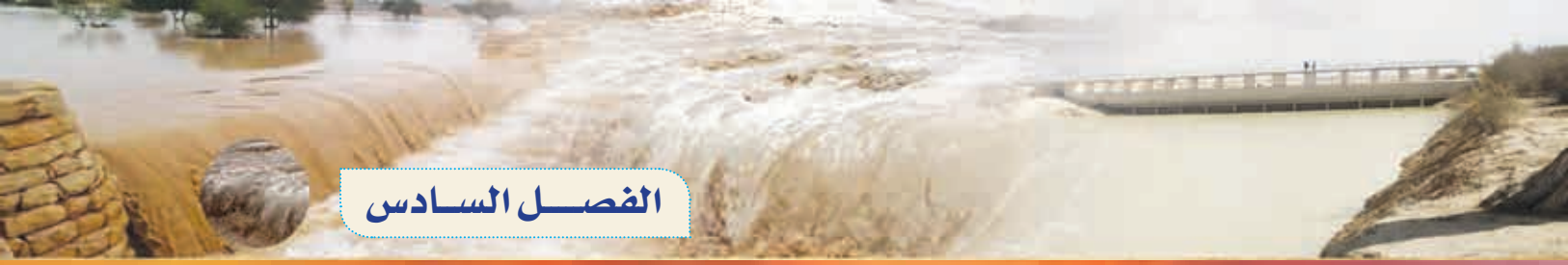
في بعض الحالات حدث ذلك عن طريق حفر قنوات الإمداد من ضفاف الخزان إلى بداية النظام الهيدروليكي. كانت هناك طريقة أخرى وهي بناء قناة كبيرة واحدة من مجرى التصريف، عبر خزان الترسيب، إلى خزان التوزيع، يجري من خلالها إخراج قنوات الإمداد. كما جرى إنشاء قنوات تحت الأرض من الخزان إلى خزان التجميع.

كانت أفواه هذه الأنفاق على مسافة ما فوق قاع الخزان، حتى لا تنسدّ بالطمي. يعتبر الطمي مشكلة شائعة في السدود والأعمال الهيدروليكية المرتبطة بها، ولكن في حين يمكن تنظيف القنوات بانتظام، وإن كان ذلك بتكلفة كبيرة، فإنه لا يمكن عادة تنظيف الخزانات من الطمي. وبالتالي، فإن الخزانات تتوقف تدريجيّاً على مدى سنوات، وبالتالي تقل كمية المياه المخزنة تدريجيّاً.

• الســـــدود ضخمـــــة

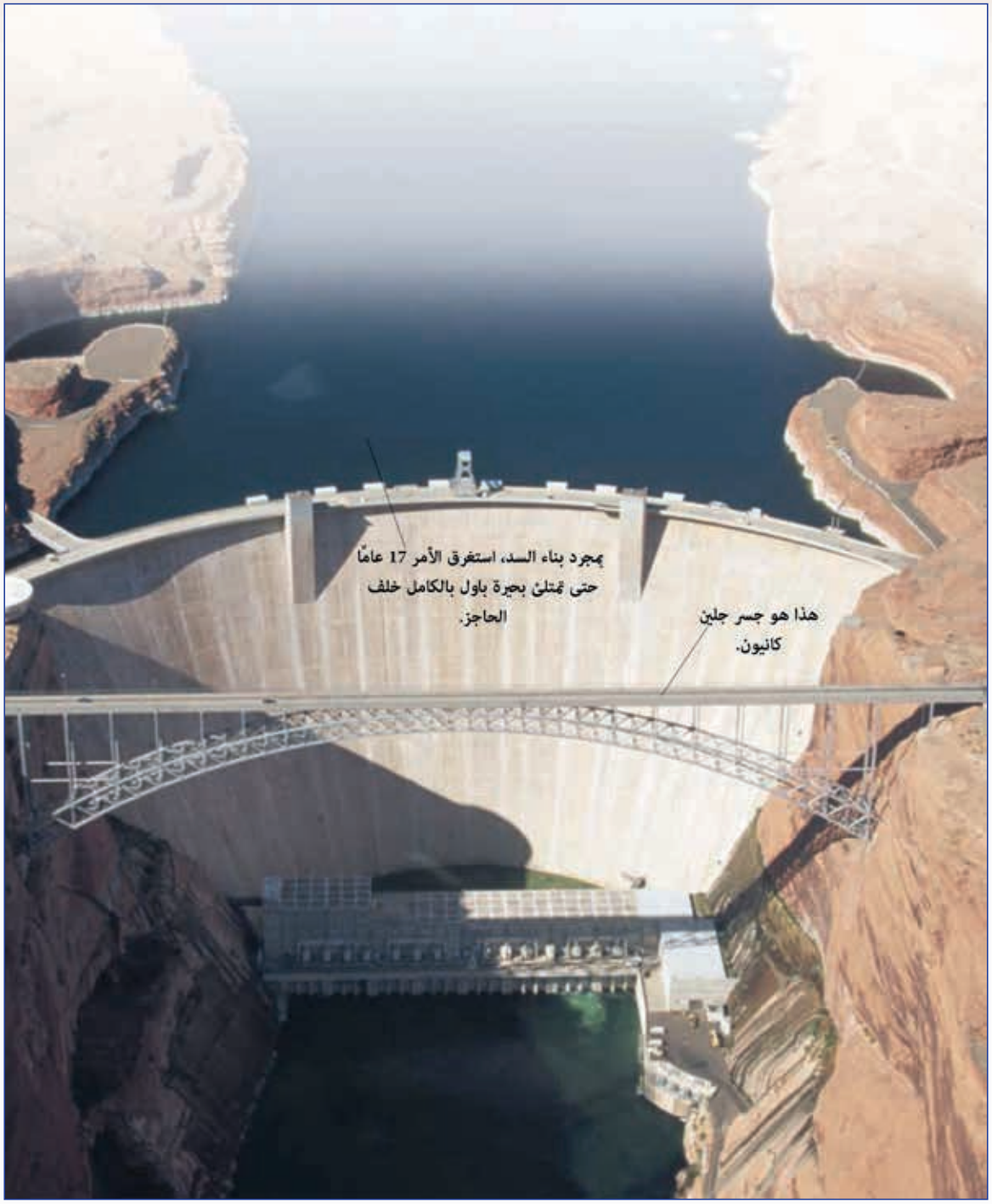
العديد من السدود الحديثة كبيرة جدّاً. في عام 2001، كان هناك أكثر من 45000 سد يزيد ارتفاعها على (15.25 متر) تعمل في أكثر من 150 دولة. وتتسع الخزانات الموجودة خلف هذه السدود لنحو (6248 كيلومتراً مكعباً) من المياه. بعض السدود أعلى بكثير من (15.25 متر).

من الناحية الفنية، لا يعتبر ارتفاع السد (15.25 متر) كبيراً. يُعرّف السد الكبير بأنه السد الذي يزيد ارتفاعه على (150 متراً)، أو الذي يحجز أكثر من (15 مليون م^3) من المياه، أو أنه يشكل خزانًا قادرًا على احتواء 12 مليون فدان من المياه. وهذه المياه تكفي لتغطية (4.9 مليون هكتار) حتى عمق (30 سم) وتساوي (14802 بليون لتر).



إن أعلى سد في العالم هو سد روغون، على نهر فاخش في طاجيكستان. حيث يبلغ ارتفاعه (335 متراً) من القاعدة إلى القمة. وكذلك المسافة على طول قمة سد ياسيريتا أبيبي على نهر بارانا بالقُرْب من الحدود بين الأرجنتين وباراغواي، تزيد قليلاً على (69 كيلومتراً). وعند الانتهاء من هذا السد في عام 1998 بلغت طاقته التوليدية 12.6 جيجاوات. ويبلغ طول قمة سد بيرجيك، على نهر الفرات في تركيا (2.5 كم).

كان أول سد كبير يجري بناؤه هو سد هوفر على نهر كولورادو. اكتمل بناؤه عام 1936 وبلغ ارتفاعه (221 متراً). يبلغ ارتفاع سد موفوازين على نهر درانس دي بانيز بسويسرا (237 متراً) وسد فايونت في شمال إيطاليا (262 متراً). وهناك العديد من السدود الأخرى أقل ارتفاعاً قليلاً مثل: سد أغواميلبا، على نهر سانتياغو، المكسيك الذي يبلغ ارتفاعه (187 متراً)، وسد لاكوار، على نهر يامونا، الهند الذي يبلغ ارتفاعه (204 مترات).



يبلغ ارتفاع سد جلين كانيون في ولاية أريزونا (216 متراً) وسمكه (91 متراً) في الأسفل. يتسبب تقييد المياه في تكوين بحيرة اصطناعية (خزان)، تسمى بحيرة باول، خلف السد.

• الســـــــدود المتتاليـــة

مـن الواضـح أنـه لا يوجـد وادي يمكنـه اسـتيعاب سـد أعلـى أو أوسـع منـه، وبالتالـي فـإن أبعـاد الـوادي تفـرض قيـوداً علـى حجـم السـد. ومـع ذلـك، فـإن القيـد ليـس مطلقـاً، لأنـه مـن الممكـن في بعـض الأحيـان سـد النهـر في أكثـر مـن مـكان، وقـد يضيـف سـدان أو ثلاثـة سـدود صغيـرة مـا يعـادل سـد واحـد كبيـر.

يجـري سـد العديـد مـن الأنهـار بشـكل متكـرر علـى طـول مجاريهـا. وتسـمى هـذه السـدود «بالسـدود المتتاليـة». في الولايـات المتحـدة، تعـد ولايـات أوهايـو وتينيسـي وميسـوري والميسيسـيبي العُليـا وكولومبيـا مـن بـين تلـك التـي تم تتابعهـا. تمتلـك كولومبيـا، في ولايـة واشـنطن، أطـول سلسـلة شـلال.

تبـدأ سلسـلتها المكونـة مـن 12 سـداً بالقُـرْب مـن الحـدود الكنديـة وتنتهـي عنـد سـاحل المحيـط الهـادئ علـى بُعْـد نحـو (1030 كيلومتـراً). يبـدأ الشـلال بسـد جرانـد كولـي، بارتفـاع (168 متـراً) وطولـه أكثـر مـن (1.2 كـم). يعتبـر جرانـد كولـي أهـم عضـو في السلسـلة في التحكـم في تدفـق النهـر ومنـع الفيضانـات.

الـــــــزلازل والســـــــدود

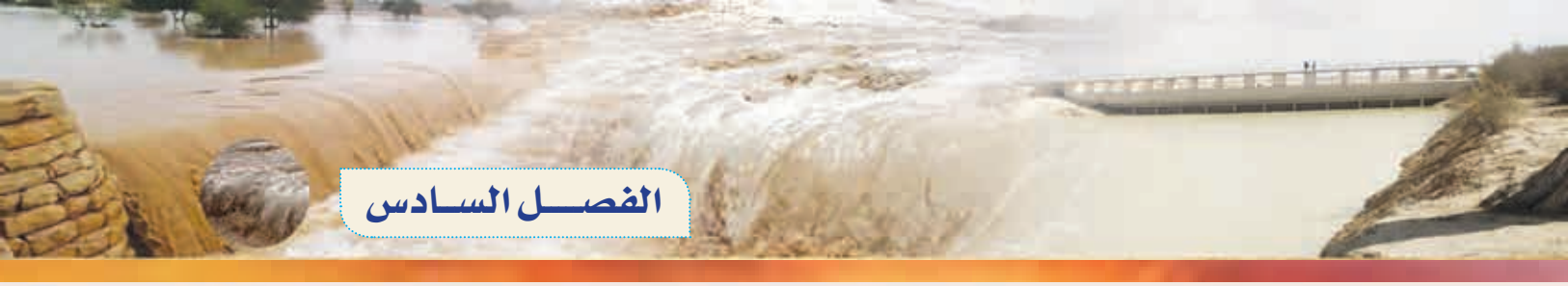
تعتبـر الـزلازل مـن الكـوارث الطبيعيـة التـي عرفهـا الإنسـان منـذ القـدم والتـي تتسـبب عـادةً في وقـوع أعـداد كبيـرة مـن الضحايـا بالإضافـة إلـى الخسـائر الماديـة والاقتصاديـة والاجتماعيـة الهائلـة الناجمـة عنهـا وذلـك لأنهـا تحـدث بشـكل مفاجـئ وسـريع وبـدون سـابق إنـذار. الـزلازل عبـارة عـن اهتـزازات في القشـرة الأرضيـة تحـدث بمشـيئة اللّه ثـم بسـبب انطـلاق وتحـرر الطاقـة الناتجـة عـن احتـكاك الصخـور وتحـرك الطبقـات الأرضيـة حـول الصـدوع الكبيـرة، كمـا تحـدث نتيجـة لعـدة أسـباب أخـرى منهـا: الثـورات البركانيـة والاختـراق المفاجـئ للمـواد المنصهـرة

في باطن الأرض للأجزاء الهشَّة من القشرة الأرضية، والتفجيرات النووية تحت السطحية وسقوط النيازك كبيرة الحجم على سطح الأرض وانهيارات الكهوف الكبيرة تحت سطح الأرض وإنشاء السدود والبحيرات الصناعية وضخ المياه والمخلفات داخل الآبار.

- يعتقد البعض أنه لا يوجد أي ارتباط بين إنشاء السدود والزلازل ولكن الأبحاث والدراسات أثبتت العكس، التي تعرف حالياً بالزلازل المستحثة أو الصناعية كما هو الحال في الصين، تركيا، مصر وغيرها من الدول.

- هناك علاقة طردية مباشرة بين مستوى ارتفاع المياه في السدود وعدد الزلازل التي يتعرض لها المنطقة التي تنشأ عليها السدود، وغالباً ما تقع المراكز الزلزالية في حوض السد في الموقع التي تزيد عمقها على 40 متراً وتزداد باتجاه زيادة العمق، إضافة الى حجم وكمية المياه والمساحة التي تغطيها تلعب دوراً مُهمّاً في تنشيط الزلازل فيها، ويزداد تأثير تلك العناصر في المناطق التي تزداد ارتفاع الجبال بحكم تشبعها بالمياه التي تمتصها من السد، مما يزداد من خطورة تعرضها إلى زلازل.

تاريخيّاً حدث العديد من الزلازل بسبب السدود. هناك أكثر من 100 حالة زلازل محددة يعتقد العلماء أنها سببتها الخزانات. قد تكون الحالة الأكثر خطورة هي زلزال سيتشوان الذي بلغت قوته 7.9 درجة في مايو 2008، والذي أودى بحياة ما يقدر بنحو 80 ألف شخص وجرى ربطه ببناء سد زيبينغبو Zipingpu. وكان من أخطر الحالات أيضاً في عام 1967 في كويينا، الهند. كانت قوة هذا الزلزال 6.3. كما لوحظت آثار كبيرة سد هسينجفينجكيانغ Hsingfengkiang في الصين، وسد كاريبا Kariba في زيمبابوي، وسد كريماستا Kremasta في اليونان.



بالنظر إلى أن كل موقع من مواقع السدود له خصائص جيولوجية مختلفة، فليس من الممكن التنبؤ بدقة بموعد ومكان حدوث الزلازل. ومع ذلك، توصي الدراسات المتعلقة بالسدود الكبيرة بضرورة مراعاة للخزانات التي يزيد عمقها على 100 متر. تُعرف ظاهرة الزلازل التي تسببها السدود بالزلازل المستحثة في الخزان (RIS).

الزلزالية التي يسببها الخزان ليست مفهومة جيداً، ولكن ما يحدث أساساً هو: عندما يجري بناء السد ويمتلئ الخزان بالمياه، يتغير مقدار الضغط الذي يمارس على الأرض في تلك المنطقة بشكل كبير. عندما يرتفع مستوى الماء في الخزان، يزداد الضغط على الأرض تحته؛ عندما ينخفض مستوى الماء، ينخفض الضغط. يمكن أن يؤدي هذا التقلب إلى الضغط على التوازن الدقيق بين الصفائح التكتونية تحت السطح، مما قد يتسبب في انزياحها.

عامل آخر هو الماء نفسه. عندما يزداد ضغط الماء، يدفع المزيد منه إلى الأرض، وتمتلئ الشقوق. كل ضغط الماء هذا يمكن أن يوسع تلك الشقوق بل ويوجد شقوقاً جديدة صغيرة في الصخور، مما يتسبب في قدر أكبر من عدم الاستقرار تحت الأرض. علاوة على ذلك، عندما يغوص الماء بشكل أعمق، يمكن أن يعمل كنوع من مواد التشحيم للألواح الصخرية التي يجري تثبيتها في مكانها عن طريق الاحتكاك وحده. يمكن أن يتسبب التزييت في انزلاق تلك الصفائح.

يعتبر عمق الخزان هو العامل الأكثر أهمية، لكن حجم المياه يؤدي أيضاً دوراً مُهمّاً في إحداث الزلازل. يمكن ملاحظة الهزات على الفور أثناء فترات ملء الخزانات. يمكن أن تحدث على الفور بعد ملء الخزان أو بعد فترة زمنية معينة.

تعتمد تأثيرات الزلازل على السدود بشكل أساسي على أنواع السدود.

إنّ المخاوف التي تتعلق بسلامة السدود هي الجسور المعرضة للزلازل التي تنطوي إما على فقدان الاستقرار بسبب فقدان قوة السد ومواد الأساس وإما التشوهات المفرطة مثل السقوط، والتسوية، والتصدع، وفشل المنحدر الدوراني.

يجب أن تتضمن متطلبات السدود الخرسانية المعرضة لأحمال ديناميكية تقييم الاستقرار العام للهيكل، مثل التحقق من قدرته على مقاومة القُوى الجانبية المستحثة.

سلامة السدود من الزلزال هي ظاهرة مُهمَّة في هندسة السدود. خلال زلزال بوج عام 2001 في ولاية غوجارات، الهند، تأثر 245 سداً وأعيد تأهيلها أو تقويتها بعد الزلزال. أيضاً، في حالة 11 مارس 2011 زلزال توهوكو في اليابان، لوحظت أضرار بنحو 400 سد وارتفاع السد 18 متراً وفقدان 8 أشخاص أرواحهم.

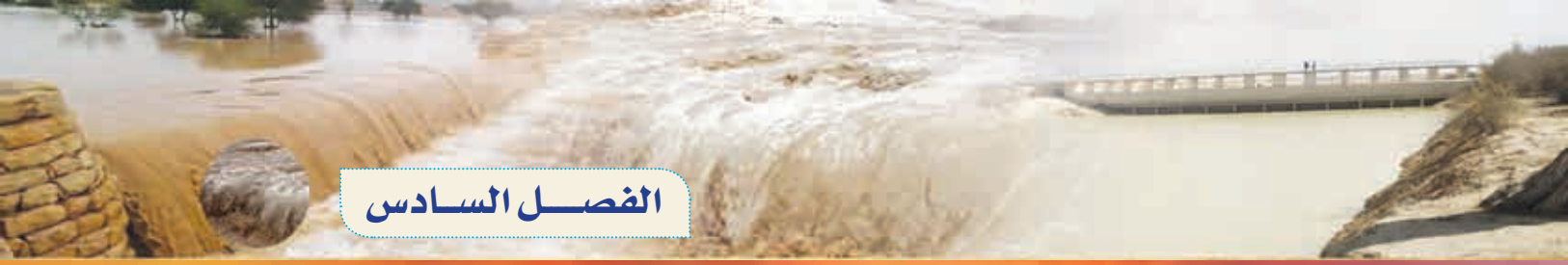
وعلى سبيل المثال لا الحصر منطقة كوينا الواقعة غربي الهند وتبعد نحو 200 كم إلى الجنوب من مدينة بومباي، حيث جرى بناء سد كوينا على مجرى نهر كريشنا في 1962، وانتهى ملء خزان الماء في بحيرة شيفاجيزاجار في 1963. ويبلغ ارتفاع هذا السد الخراساني 110 أمتار وطوله 800 متر. كما تبلغ سعة الخزان 2.8 بليون متر مكعب، وأقصى ارتفاع للماء يصل إلى 103 أمتار. وقد شهد ديسمبر 1967 وقوع زلزال بمقدار 5.6 في منطقة السد أدى إلى حدوث أضرار جسيمة، فبلغ عدد الوفيات من جراء تدمير الزلزال للمنازل نحو 200 شخص.

وفي منطقة جوانجزاهو في جنوب الصين حيث وقعت سلسلة من الزلازل في منطقة لم تحدث بها الزلازل قط. وأعقب انشاء سد هسينج فينج كيانج الخراساني في سنة 1959 (والذي يبلغ ارتفاعه 105 أمتار) ازدياد في تسجيل عدد الزلازل المحلية التي بلغ عددها في عام 1972 نحو 250.000 زلزال. ومع أنّ معظم هذه الزلازل كان ضعيفاً إلا أنه في 19 مارس من عام 1962 وقع زلزال قوي بمقدار 6.1 درجة، أدى إلى تخريب جسم السد وتطلب ذلك عمل الإصلاحات العاجلة له

امتد هذا النشاط بعد إنشاء السد العالي الذي تجمعت خلفه بحيرة ناصر في منطقة أسوان بمصر، والسد العالي كما هو معروف عبارة عن سد ترابي تم الانتهاء من بنائه في سنة 1970 في منطقة تبعد نحو 10 كم إلى الجنوب من أسوان. ويبلغ ارتفاع السد 111 متراً، وطوله 3.6 كم، والسعة التخزينية القصوى لبحيرة ناصر التابعة للسد تبلغ 164 بليون متراً مكعباً. وقد بدئ بملء البحيرة في سنة 1964 ووصل الماء إلى أقصى ارتفاع له في نوفمبر 1978. ويصل الماء إلى أقصى ارتفاعه موسمياً في شهري أكتوبر ونوفمبر من كل عام. وقد شهد الرابع عشر من نوفمبر سنة 1981 وقوع زلزال مقداره 5.6 وشعر به السكان بقوة في مدينة أسوان.

جـــدول ببعـــض الحـــالات المختـــارة للـــزلازل المستحثـــة

السـد / الخـزان	البلـــد	الارتفاع (متر)	الحجم/ (10^6×م^3)	سـنة الملء	سنة حدوث أقوى زلزال	M_{max}
كويانا	الهند	103	2.780	1964	1967	6.3
كريماستا	اليونان	165	4.750	1965	1969	4.4
هسينج فينج كيانج	الصين	105	10.500	1959	1962	6.1
كاريبا	زيمبابوي	128	160.368	1959	1963	6.2
هوفر	الولايات المتحدة الأمريكية	221	36.703	1936	1939	5.0
ماراثون	اليونان	63	41	1930	1938	5.7
أسوان	مصر	115	165.000	1978	1981	5.3
بنمور	نيوزيلاند	118	2.100	1965	1966	4.5
مونتينارد	فرنسا	155	240	1962	1963	4.9
كوروب	اليابان	186	199	1960	1961	4.9
باجينا-باتا	صربيا	89	240	1965	1967	5.0-4.7
نوريك	طاجسكتان	317	10.400	1972	1972	4.6
مانغالا	باكستان	116	7.250	1967	1967	4.2
غراندفال	فرنسا	88	292	1959	1963	4.7
كاناليس	إسبانيا	150	678	1960	1962	4.7



عموماً يتضاءل خطر الزلازل بسبب RIS بسرعة إلى حد ما. إذا كان الخزان سيحرر الطاقة المخزنة على شكل زلزال، فغالباً ما يحدث هذا بمجرد امتلاء الخزان. إذا استغرق الماء بعض الوقت لاختراق التربة أسفل الخزان، فقد يكون هناك تأخير لبضع سنوات قبل حدوث الزلزال. بمجرد التخلص من الضغط في الصخور، لن يتسبب السد في المزيد من الزلازل. هذا لا يعني أنه لن يكون هناك زلزال آخر، بالطبع، ولكن فقط إذا حدث واحد، فلن يكون السد وخزانه مسؤولين.

طبعاً لا ينبغي المبالغة في خطر الزلزال الناجمة عن السدود. فهي موجودة فقط في بعض مواقع السدود. يمكن للدراسات الجيولوجية التعرف عليها وقياسها، ويمكن بناء السدود لمقاومة الزلازل.

• منـــع فيضـــان الميـــاه

بمجرد بناء سد لسد النهر، سوف تتراكم المياه خلف السد لتشكل بحيرة اصطناعية. في النهاية، سيصل منسوب المياه في البحيرة إلى قمة الحوض الذي يحويها. السدود لا تصل أبداً إلى ارتفاع الوديان التي تحويها، لذا لا يمكن أن تتسرب المياه على جوانب البحيرة إلى المناطق الريفية المحيطة. ومع ذلك، ما لم يُسمح أيضاً بتدفق المياه عبر السد أو بعده، فستكون هناك أوقات يفيض فيها.

في حالة وجود سد ترابي، سيؤدي ذلك إلى إزالة الجزء العلوي من الهيكل، وبعد فترة من الوقت سوف يدمر السد. إذا كانت قاعدة السد ضعيفة، فقد تتدفق المياه من خلالها وتهرب بهذه الطريقة، فتغسل الجدار حتى ينهار السد. حتى السدود المصنوعة من الأحجار الصلبة أو الخرسانة يجب أن تسمح للماء الزائد بالخروج بطريقة خاضعة للرقابة.

ولذلك، فإن جميع السدود إما أن يكون لها قنوات انسكاب في المركز وإما على جانب واحد أو كلا الجانبين، أو أنابيب في القاعدة يمكن من خلالها تصريف المياه. بعضها لديه مزيج من الاثنين.

يسمح تنظيم تدفق المياه عبر السد بإبقاء مستوى المياه خلف السد بعيداً بدرجة كافية عن القمة لمنع الأمواج من الغسل فوق القمة. تسمى المسافة بين القمة وأقصى ارتفاع مسموح للماء بالوصول إليه «لوح الطفو».

إذا كان من المقرر استخدام سد لتوليد الطاقة، فإن الأنابيب تحمل المياه عبر الهيكل، مما يسمح لها بالهبوط من مستوى مرتفع إلى مستوى منخفض وتوجيهها لتدفق التوربينات قبل أن يجري تفريغها في جانب المصب.

مهما كان الغرض الأساسي من السدود، فإنها توفر حماية ممتازة من الفيضانات. ربما كان أشهر مشاريع بناء السدود والسيطرة على الفيضانات هو المشروع الذي بدأته هيئة وادي تينيسي (TVA) في عام 1933. كانت فريدة من نوعها من حيث إنّها جمعت المشاريع التي يديرها بالفعل عدد من الوكالات الحكومية واستندت إلى حوض تصريف لنظام نهر يغطي ما يقرب من (106190 كيلومتراً مربعاً)، بشكل رئيسي في تينيسي ولكن تمتد إلى كنتاكي، وفيرجينيا، ونورث كارولينا، وجورجيا وألاباما وميسيسيبي.

كانت أهداف TVA هي السيطرة على الفيضانات على نهر تينيسي وروافده، وتحسين الملاحة، وتوليد الطاقة الكهربائية. لقد كان نجاحاً باهرًا وحظي بإعجاب كبير في البلدان الأخرى، ليس أقلها التحسينات الاجتماعية التي أدخلتها على المنطقة الخاضعة لإدارتها. كما أنها حالت دون حدوث فيضانات خطيرة.

تستخدم العديد من السدود لتوليد الطاقة الكهربائية. في بعض البلدان، يجري توفير كل الطاقة الكهربائية تقريباً بهذه الطريقة. حيث يحوي السد على محركات كبيرة تسمى التوربينات. تُطلق كميات هائلة من المياه عبر الحاجز، في النهر أدناه، مما يجعل التوربينات تدور. تعمل التوربينات الدوارة على تشغيل المولدات لإنتاج الطاقة الكهربائية.

صُممت سدودها للحفاظ على قناة صالحة للملاحة (2.7 م) بعمق ولمنع الفيضانات في جميع أنحاء (1،046 كم) من بادوكا، كنتاكي، إلى نوكسفيل، وتينيسي.

هناك تسعة سدود رئيسية، خمسة منها لا تزال قيد الإنشاء، لكن السدود الأصغر المستخدمة لتوليد الطاقة تجعل المجموع أكثر من 50 سداً. تُعرف الخزانات المحجوزة خلفها باسم البحيرات الكبرى في الجنوب. وتحتفظ معاً بنحو (14.79 كيلومتر مكعب) من المياه.

في فبراير 1957، كان نهر تينيسي قد غمر تشاتانوغا لو لم يحتفظ بالمياه الزائدة في الخزانات. بدلاً من أن يرتفع إلى (16.5 متر)، وصل النهر إلى ما يزيد قليلاً على (9.75 متر). بعد عام، في مايو 1958، أنقذت خزانات TVA القاهرة، إلينوي، من الفيضانات.

ستة سدود بُنيت على طول نهر ميسوري منذ عام 1944، جنباً إلى جنب مع السدود لحماية الأراضي الزراعية والبلدات المعرضة للخطر، منعت أيضاً الفيضانات، وتولد المحطات الكهرومائية التي بنيت في السدود طاقة كافية لتلبية جميع احتياجات نبراسكا. وتتسع السدود لـ 105 خزانات موزعة على طول سلسلة (1600 كم) بسعة إجمالية (92.4 كم^3).

• فشـــل الســـدود

في حالة فشل السد، تكون النتيجة فيضانات كارثية للوادي أسفل مجرى النهر. حالات الفشل نادرة ولكنها تحدث. فقد فشل سد بيونتس Puentes، وهو سد جاذبية على نهر غوادالنتين Guadalentín في إسبانيا والذي جرى الانتهاء منه في عام 1791، وفي عام 1802 عندما أوصلت الأمطار الغزيرة بشكل غير عادي إلى الخزان مياهاً أكثر مما يمكن أن يتحمله السد.

بُني سد جاذبية آخر، وهو نهر سانت فرانسيس في كاليفورنيا، على أُسس غير مستقرة جيولوجيّاً وانهار في عام 1928، بعد عامين من اكتماله. تحتاج السدود الخرسانية إلى أساسات صلبة، على صخر حديث العهد لم يتآكل ويتشقق بفعل العوامل الجوية.

عندما بُني سد كلوفر، وهو سد دعامة صغير، على نهر كيوا بأستراليا، تسببت التجوية تحت بعض الدعامات في حدوث تسربات كان من الصعب إصلاحها. كان خطأً صغير أسفل الأساس هو الذي تسبب في انهيار سد مالباسيت، وهو سد مقوس على نهر ريان في جنوب فرنسا، في نوفمبر 1959.

تسبب فشل سد أوستن في عام 1911 في وفاة 78 شخصاً ولا يزال أحد أسوأ حالات فشل السدود في تاريخ الولايات المتحدة الأمريكية.

كان لا بد من التخلي تماماً عن سد قوسي آخر، وهو سد مونتي جاك في إسبانيا، ليس بسبب الشقوق ولكن بسبب الكهوف الموجودة في الصخور الجيرية المحيطة. جرى بناء السد وامتلأ خزانه، لكن المياه تسربت إلى الكهوف وعبرها. ومع محاولات إغلاقه، فقد ثبت أنه من المستحيل جعل الخزان مانعاً للماء، لذلك لم يحتفظ بالمياه مطلقًا.

كذلـك عانـى سـد كنتاكـي، علـى نهـر تينيسـي، مـن مشـاكل مماثلـة. في هـذه الحالـة جـرى علاجهـا باسـتخدام التـبن والقـار والأسـمنت لإغـلاق الخـزان، لكـن التكلفـة كانـت مرتفعـة جـدّاً.

في 5 يونيـو 1976، انهـار سـد تيتـون في وادي نهـر سـنيك بولايـة أيداهـو. كان سـد ترابـي بارتفـاع 93 متـراً وطولـه أكثـر مـن 0.8 كـم. وقـد فشـلت بسـبب ملء خزانـه واحتوائـه علـى نحـو (3 بليونـات متـر مكعـب) مـن الميـاه بنسـبة 97 % مـن طاقته المخططة. وقد غطت الفيضانات الناتجة (64.75 كيلومتر مربع) وتشريد 30 ألـف شـخص.

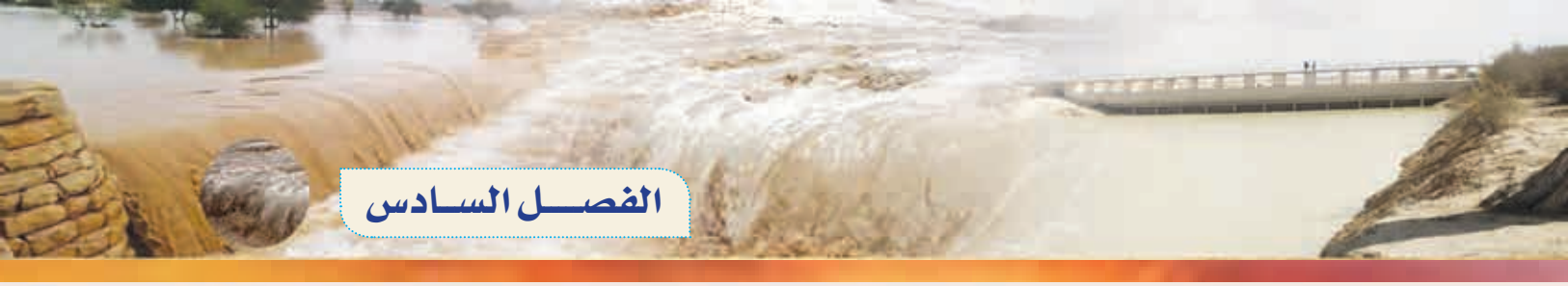
لـم يفشـل سـد فايونـت الكبيـر، لكـن الفيضـان الـذي حـدث عندمـا انهـار سـفح جبـل فيـه أدى إلـى إطـلاق كميـة هائلـة مـن الميـاه وتسـبب في العديـد مـن الوفيـات.

• مـــاذا يحـــدث لمجـــرى النهـــر؟

تشـهد معظـم الأنهـار الرئيسـية تباينـاً موسـميّاً كبيـراً في كميـة الميـاه التـي تحملهـا. يزيـد موسـم الأمطـار أو ذوبـان الجليـد مـن التدفـق، وبمجـرد ذوبـان كل الثلـج، يقلـل موسـم الجفـاف مـن التدفـق. تنظـم السـدود التدفـق، لذلـك يبقـى ثابتـاً طـوال العـام، لكـن هـذا يغيـر مجـرى النهـر في اتجـاه مجـرى السـد.

اعتـادت الفيضانـات الموسـمية علـى طـول نهـر كولـورادو أن ترسـب الرمـال علـى طـول الضفـاف، وتشـكل الشـواطئ، لكـن التدفـق الأبطـأ والمنظـم في اتجـاه مجـرى النهـر مـن سـد غلـين كانيـون تسـبب في اسـتقرار الرمـال علـى طـول السـرير.

تغيـرت موائـل الحيـاة البريـة، وأدرك العلمـاء أن السـبب في ذلـك هـو أن هـذه الموائـل بحاجـة إلـى فيضانـات دوريـة للحفـاظ عليهـا، لذلـك حاولـوا إعـادة فيضـان الجـدول.



من 26 مارس إلى 2 أبريل 1995، أطلق السد المياه بأسرع ما يمكن عبر غراند كانيون. عندما جرى استئناف التدفق العادي، ظهر 55 شاطئاً جديداً وازداد حجم 75 % من الشواطئ الموجودة.

جرف الغطاء النباتي على جانب الضفة والذي نما في المياه بطيئة الحركة، وجرى تنشيط المستنقعات والمياه الخلفية، وتحسنت الموائل للعديد من الأنواع. تسبب الفيضان في أضرار طفيفة لبعض الموائل، ولكن حُكم عليه بشكل عامٍّ بنجاح كبير، وبدأ العلماء في البحث في الأنهار الأخرى التي قد تستفيد منها.

كان نهر كولومبيا مرشحاً رئيسيّاً، لكن النهر التالي الذي جرت معالجته كان نهر ترينيتي، في مقاطعة ترينيتي، شمال كاليفورنيا. بُنيت السدود في عام 1963، وسمح التدفق الأبطأ للنباتات بالنمو من الضفاف، مما قلل من موائل السلاحف والضفادع والحشرات والأسماك، وأحواض الحصى التي يستخدمها السلمون للتبويض المملوء بالرمال.

منذ عام 1991، تحدث فيضانات سنوية تستمر عدة أيام عندما تتسرب المياه بسرعة من السد. يُنظر في معاملة مماثلة للأنهار الأخرى. هذه القضية مثيرة للجدل، بخاصة في تلك الأجزاء من الغرب حيث يوجد نقص في المياه، لكنها تساعد في الحفاظ على الحياة البرية الطبيعية في النهر وبجانبه مع الاحتفاظ بمزايا السد.

إن السدود ناجحة جدّاً في منع الفيضانات، ولكنها تسببت في الماضي في مشاكل من خلال إتلاف الموائل وتغيير أنماط الترسيب في اتجاه مجرى النهر، وتسبب فشل السدود العرضي في حدوث كوارث مروعة. هناك رابط راسخ بين السدود الكبيرة حديثة البناء والزلازل.

يفهم العلماء والمهندسون حالياً أكثر بكثير مما فعلوا قبل بضع سنوات حول الطريقة التي تنقل بها الأنهار المياه، وحول تحديد المواقع المناسبة لبناء السدود وكيفية بنائها بأمان، وحول موائل الحياة البرية التي توفرها الأنهار وكيفية حمايتها.

• مزايـــا وعيـــوب الســـدود

السد عبارة عن هيكل بُني عبر نهر للتحكم في تدفق النهر. عادة، تخلق المياه المحصورة بالسدود بحيرة اصطناعية، أو خزاناً، خلف السد. تتمثل الأهداف الرئيسية لنظام السدود والخزانات في التقاط الجريان السطحي وتخزينه، وتحريره حسب الحاجة للسيطرة على الفيضانات، وتوليد الكهرباء (الطاقة الكهرومائية)، وتوفير المياه من أجل الري والبلدات والمُدن.

توفر الخزانات أيضاً أنشطة ترفيهية، مثل: السباحة وصيد الأسماك وركوب القوارب. السدود والخزانات الكبيرة لها مزايا وعيوب.

أدى وجود أكثر من 45000 سد كبير في العالم (22000 منها في الصين، بما في ذلك سد الخوانق الثلاثة الضخم الذي جرى بناؤه مؤخراً) إلى زيادة الجريان السطحي الموثوق به السنوي المتاح للاستخدام البشري بنحو الثلث. نتيجة لذلك، تحوي الخزانات حالياً من 3 إلى 6 مرات على كمية من المياه أكبر من الكمية الإجمالية المتدفقة في جميع الأنهار الطبيعية في العالم.

على الجانب السلبي، أدى هذا النهج الهندسي لإدارة الأنهار إلى نزوح 40-80 مليون شخص من منازلهم، وإغراق منطقة من الأراضي المنتجة في الغالب، التي يبلغ مجموعها تقريباً مساحة ولاية كاليفورنيا الأمريكية، وإضعاف بعض الخدمات البيئية المُهمَّة التي تزود المنطقة.

قدرت دراسة أجراها الصندوق العالمي للحياة البرية (WWF) عام 2007 أن نحو واحد من كل خمسة أنواع من أسماك المياه العذبة وأنواع النباتات في العالم إما منقرض وإما معرض للخطر، ويرجع ذلك أساساً إلى أن السدود وسحب المياه قد قللت بشكل حاد من تدفق العديد من الأنهار مثل كولورادو.

ووجـدت الدراسـة أيضـاً أنـه بسـبب السـدود، والسـحب المفـرط للميـاه، وفي بعـض المناطـق الجفـاف الشـديد الـذي طـال أمـده، فـإن 21 نهـراً فقـط مـن أطـول 177 نهـراً علـى كوكـب الأرض تجـري بحريـة مـن مصادرهـا إلـى البحـر.

سـيؤدي تغيـر المنـاخ المتوقـع إلـى تفاقـم هـذا الوضـع في المناطـق التـي تصيـر أكثـر سـخونة وتتلقـى كميـات أقـل مـن الأمطار.

تمتلـئ الخزانـات الموجـودة خلـف السـدود أيضـاً بالرواسـب مثـل الطـين والطمي، عـادةً في غُضـون 50 عامـاً، ممـا يجعلهـا غيـر مجديـة لتخزيـن الميـاه أو إنتـاج الكهربـاء. صـار عمـر نحـو 85 % مـن أنظمـة الخزانـات الأمريكيـة للسـدود 50 عامـاً أو أكثـر عـام 2020.

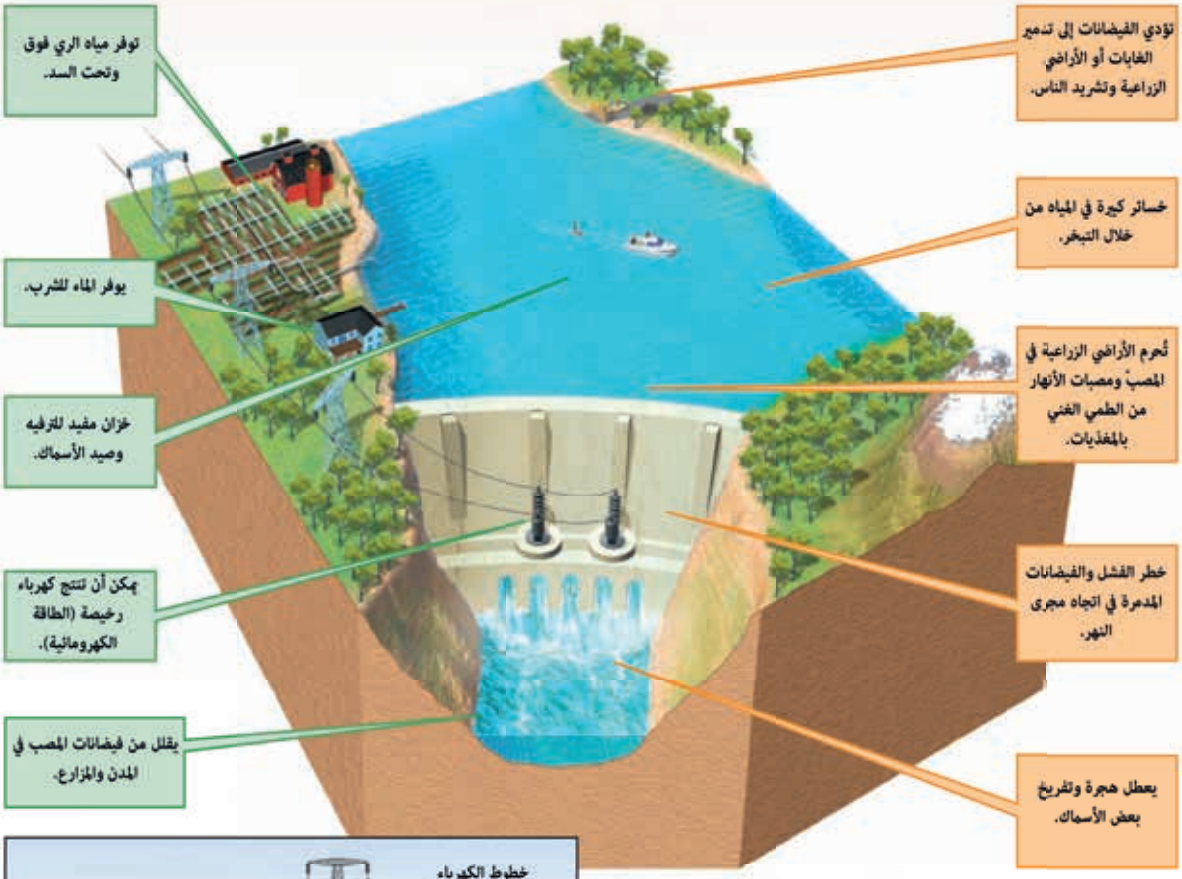
إن اسـتخدام السـدود لاحتجـاز وتخزيـن تدفقـات الأنهـار وسـحب كميـات كبيـرة مـن الميـاه مـن الأنهـار للـري ومياه الشـرب يمكـن أن يتسـبب في جفـاف البحيـرات والبحـار الداخليـة التـي تغذيهـا هـذه الأنهـار.

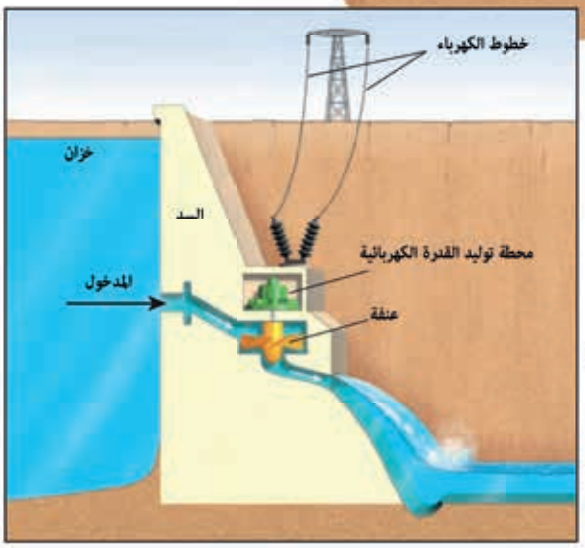
مثـال علـى ذلـك بحيـرة تشـاد في إفريقيـا. فهـي محاطـة بالـدول الأفريقيـة مثـل تشـاد والنيجـر والكاميـرون ونيجيريـا، والتـي هـي بعضـاً مـن أسـرع الـدول نمـوّاً في العالـم. بسـبب مزيـج مـن النمـو السـكاني السـريع والـري المتزايـد بشـكل كبيـر والـري غيـر الفعـال والجفـاف المطـول، تقلصـت البحيـرة بنسـبة 97٪ منـذ عـام 1963 وقـد تختفـي قريبـاً تمامـاً.

إذا حـدث تغيـر المنـاخ كمـا هـو متوقـع خـلال هـذا القـرن، فسـيؤدي إلـى تفاقـم نقـص الميـاه في أجـزاء كثيـرة مـن العالـم. يعتمـد مئـات الملايـين مـن النـاس في الصـين والهنـد وأجـزاء أخـرى مـن آسـيا علـى تدفقـات الأنهـار التـي يغذيهـا ذوبـان الأنهـار الجليديـة في جبـال الهيمالايـا.

كثيـر مـن هـذه الأنهـار الجليديـة في آسـيا وأجـزاء مـن أمريـكا الجنوبيـة آخـذة في الانحسـار مـع ارتفـاع درجـة حـرارة الغـلاف الجـوي لـلأرض. إذا اختفـت هـذه الأنهـار الجليديـة الجبليـة في النهايـة، فسـوف تتضـاءل أو تجـف الأنهـار التـي تغذيهـا.

سـيجعل هـذا الأمـر أكثـر صعوبـة بالنسـبة للمزارعـين الذيـن يعتمـدون علـى هـذه الميـاه في زراعـة مـا يكفـي مـن الغـذاء لنحـو بليـون شـخص، أي أكثـر مـن 3 أضعـاف عـدد سـكان الولايـات المتحـدة الحاليـين. في عـام 2009، أعلنـت الصـين عـن خطـط لبنـاء 59 خزانـاً لجمـع بعـض الميـاه التـي تـذوب حاليـاً مـن أنهارهـا الجليديـة المتقلصـة.





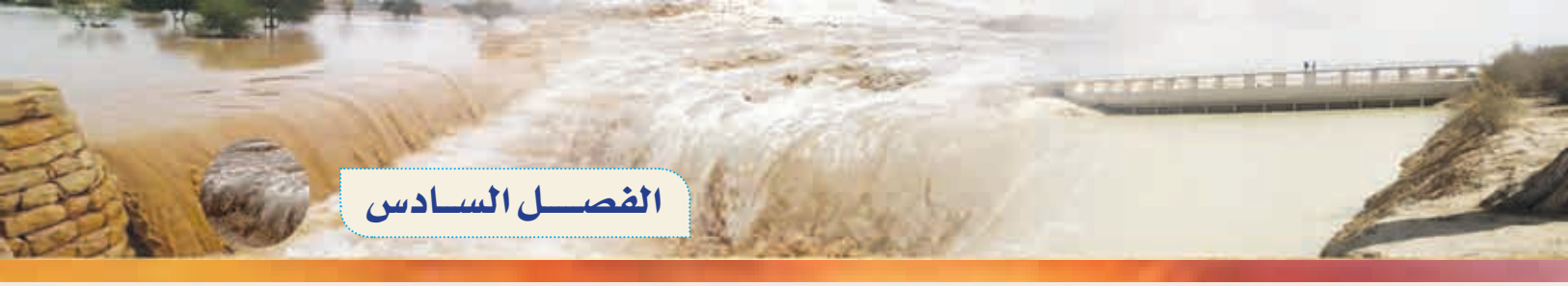
السدود وخزانات المياه الكبيرة لها مزايا (خضراء) وعيوب (برتقالية). 45000 سد كبير في العالم (15 متراً أو أعلى) تلتقط وتخزن نحو 14٪ من الجريان السطحي في العالم، وتوفر المياه لما يقرب من نصف جميع الأراضي الزراعية المروية، وتوفر أكثر من نصف الكهرباء المستخدمة في 65 دولة. تمتلك الولايات المتحدة أكثر من 70000 سد كبير وصغير، قادرة على التقاط وتخزين نصف تدفق النهر بكامله في البلاد.

الآثـــار البيئيـــة لبنـــاء الســـــدود

تعمل السدود المبنية على إنشاء خزانٍ للمياه لأغراض الري، وتربية الماشية، والأنشطة الترفيهية، وتوليد الطاقة الكهربائية، وكحاجز مائي مؤقت لمنع التدفق العالي للأنهار لمنع الفيضانات. ربما كان سحب المياه مستمراً منذ آلاف السنين، ولكن لا يوجد شيء مثل النطاق الهائل والحجم الهائل الذي شهدناه منذ عام 1900. كان سد هوفر على نهر كولورادو بين أريزونا ونيفادا، مثالاً رائعاً، فهو أعلى (221 متراً) وأطول (379 متراً) سد في العالم عندما اكتمل بناؤه عام 1936. تشكل مياهه المحجوزة بحيرة ميد، التي يبلغ طولها 1885 كم وعرضها 1.6–12.9 كم. يبدو أن اكتماله قد أدى إلى دخول حقبة جديدة في بناء السدود في جميع أنحاء العالم وربما خلق انطباعاً وهميّاً بأن البشر يمكنهم التحكم في كل من أبعاد الزمان والمكان لإمدادات المياه. فقد تبعته مشاريع السدود الأخرى في الولايات المتحدة وفي بقية العالم.

كما شكل سد أسوان على نهر النيل في مصر – بارتفاع 114 متراً وطول 3600 متر – بحيرة ناصر، التي تحوي على ما يكفي من المياه لري أكثر من 2.8 مليون هكتار من الأراضي الزراعية.

صار بناء السدود واسع الانتشار لدرجة أن 2 % فقط من الأنهار في الولايات المتحدة تتدفق بحرية. على الصعيد العالمي، بلغ متوسط معدلات بناء السدود الكبيرة التي لا يقل ارتفاعها عن 15 متراً نحو 885 عاماً بين عام 1950 ومنتصف الثمانينيات ونحو 500 عام في التسعينيات. من المتوقع أن تنخفض معدلات البناء إلى 350 في السنة خلال الثلاثين سنة القادمة.



التـــراجع في البنـــاء يحـــدث لعـــــدة أســـباب:

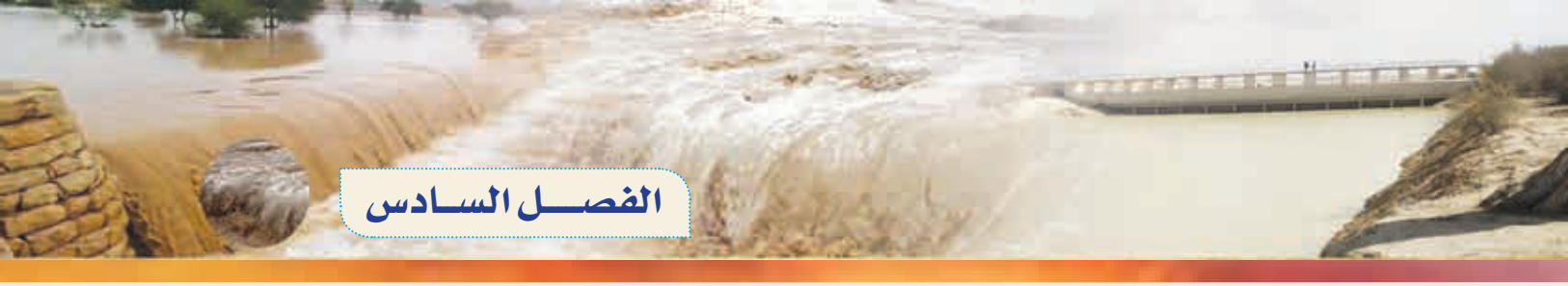
- **أولاً :** تبقّي القليل من الأنهار التي يمكن بناء السدود عليها.
- **ثانياً:** الفقد التبخيري من مساحة 500000 كيلومتر مربع من خزانات العالم مذهل، لا سِيَّما في المناطق شبه القاحلة والجافة حيث يمكن أن يتجاوز التبخر هطول الأمطار بأكثر من متر واحد في السنة.

والأهم من ذلك، أن العديد من هذه الهياكل الهندسية مكلفة، حيث تُظهر الدراسات من العديد من مناطق العالم أن التكاليف البيئية والمجتمعية والاقتصادية والثقافية المرتبطة بالسدود كبيرة جدّاً.

إن التكاليف مثل إزاحة السكان المحليين، وتدهور واستنفاذ الموائل المائية، وأحمال التلوث الثقيل، وفقدان التنوع البيولوجي، وخسائر اقتصادية أخرى مثل هلاك تجمعات الأسماك، تدخل حالياً في حسابات (التكلفة - المنفعة) التي تُجرى قبل بناء السد. علاوة على ذلك، غالباً ما تُصمم السدود بحيث يكون عمرها الإنتاجي 50 عاماً فقط بسبب معدلات ملئها السريعة بالرواسب التي تحملها الأنهار التي تدخل الخزان. في حالة سد الخوانق الثلاثة في الصين، هناك اتفاق ضئيل حول مدى نجاح خطة الإدارة في منع الملء السريع للخزان بالرواسب.

دمر بناء السدود على الامتدادات العُليا لنهر كولومبيا في الشمال الغربي الأمريكي - في البداية بواسطة سد غراند كولي (في الصورة هنا) وحالياً بإجمالي 14 سداً - 40% من أكثر موائل تكاثر السلمون إنتاجية في العالم. كان ما يقرب من 10-15 مليون سمكة سلمون تسبح فوق النهر من المحيط لتفرخ في غُضون عام. حتى إعادة الصغار المرباة في المفرخات إلى المحيط بواسطة البارجات أو الشاحنات فشل في استعادة إنتاجية النظام.

نجح بناء قناة الشحن في المسيسيبي في أواخر عشرينيات القرن الماضي، جنباً إلى جنب مع عشرات السدود التي أقيمت بشكل رئيسي على نهر ميسوري، في عكس اتجاه التوسع الجيومورفولوجي لمدة 7000 عام لساحل لويزيانا في نيو أورلينز عن طريق منع الرواسب خلف السدود. وقد تسبب هذا بدوره في زحف خليج المكسيك على ساحل لويزيانا (أي خسارة الأرض) بمعدل 100 كيلومتر مربع في السنة بحلول الثمانينيات، والذي يستمر حالياً بمعدل 65 كيلومتراً مربعاً في السنة.



تشـير الأبحـاث الحديثـة إلـى أن أضـرار العواصـف الناجمـة عـن إعصـاري دينيس وكاترينـا في عـام 2005 قـد تفاقمـت بشـكل كبيـر بسـبب فقـدان الأراضـي الرطبـة السـاحلية في خليـج المكسـيك والقنـوات عبـر الأراضـي الرطبـة. جـرى تجريفهـا مـن قِبـل شـركات النفـط التـي تريـد طريقـاً أكثـر اسـتقامةً وأقصـر عبـر الأراضـي الرطبـة بـين منصـات النفـط البحريـة ومنشـآتها البريـة.

هنـاك أمثلـة أخـرى موثقـة. جلبـت المرحلـة الأولـى مـن مشـروع جيمـس بـاي في كيبيـك، الـذي كلـف 6 بلايـين دولار (أنفـق 20 ألـف دولار فقـط منهـا علـى تقييـم الآثـار البيئيـة)، مصاعـب خطيـرة لهنـود كـري. لقـد انتهـى بنـاء سـد الخوانـق الثلاثـة علـى نهـر يانغتسـي في الصـين في عـام 2009 بتكلفـة 24.5 بليـون دولار (بقيمـة دولار 1997)، وكان عرضـه كيلومتريـن وارتفاعـه 200 متـر، أمـا الخـزان الـذي أغـرق 600 كيلومتـر مربـع فقـد أدى إلـى نـزوح 1.2 مليـون شـخص.

حتـى كتابـة هـذه السـطور، فـإن التأثيـرات البيئيـة المماثلـة لقنـاة سـردار سـاروفار ووندر علـى نهـر نارمـادا في وسـط الهنـد نوقشـت كثيـراً. وتقـدر دراسـة مفصلـة عـن 54 سـداً في ذلـك البلـد «بشـكل متحفـظ» أنـه خـلال الخمسـين عامـاً الماضيـة، نـزح 33 مليـون شـخص بسـبب بنـاء السـدود وحـده. وقـد صُمـم سـد سـردار سـاروفار، وهـو سـد خرسـاني بطـول 460 كيلومتـراً مـع شـبكة بطـول 75000 كـم مـن القنـوات الفرعيـة، لـري مليونـي هكتـار مـن الأراضـي.

سـنتعرّف في هـذه النبـذة التاريخيـة علـى أهـم السـدود المبنيـة لـدى مختلـف الحضـارات، مـع إشـارة خاصـة إلـى السـدود التـي بُنيـت في المنطقـة العربيـة والإسـلامية.

الفيضـــانـــــات

مُقَدِّمَة

الفيضان كارثة طبيعية مائية ومن أكثر الكوارث شيوعا نظراً لما تقوم به المياه الجارفة من اكتساح وحمل كل ما تقوى عليه من طين ورمال وصخور وتغطية كل ما يقع في طريقها من أشجار وبيوت وغيرها وما يترتب على ذلك من خسائر وأضرار مباشرة يمكن حصرها في تدمير المساكن والطرق البرية والسكك الحديدية والجسور وإتلاف المدارس والحدائق وشبكات المياه والهاتف وكذلك نفوق الماشية وإتلاف المحاصيل علاوة على إلحاق الأضرار بالبشر وإنتشار الأوبئة. أضرار غير مباشرة وهى ناتجة عن توقف العمل والخدمات العامة نتيجة للأضرار المباشرة.

تحدث الفيضانات عندما يغمر فائض المياه الأراضي التي عادةً ما تكون جافة. وغالباً ما تنتج الفيضانات عن هطول الأمطار الغزيرة أو ذوبان الثلوج السريع أو موجة العواصف الناجمة عن إعصار مداري أو تسونامي في المناطق الساحلية. هناك نوعان رئيسيان من الفيضانات: **فيضانات الغمر**، وهي فيضانات بطيئة التطوُّر، وقد يستغرق تطورها ساعات أو أيام، في حين تحدث **الفيضانات المفاجئة**، وغالبًا دون سابق إنذار، وعادة ما تكون بسبب الأمطار الغزيرة.

على الرغم من أن الفيضانات السنوية ظاهرة طبيعية في أجزاء كثيرة من العالم، فإن ممارسات سكن البشر واستخدامات الأراضي أدت إلى زيادة الفيضانات وتيرةً وحجمًا. ومن المتوقع أيضا أن تصبح الفيضانات أكثر تواترًا وشدةً في المستقبل بسبب تغيُّر المناخ. ويمكن أن تكون الفيضانات بالغة الخطورة، وان تسبب وقوع أضرار بشرية وبيئية ومادية هائلة للمجتمعات المحلية.

في العاشر من سبتمبر2023، كانت مناطق الشرق الليبي على موعد مع العاصفة الشبيهة بالإعصار «دانيال» التي أسفرت عن فيضانات غيرت ملامح مدينة درنة لما خلّفته من دمار واسع أودى بحياة الآلاف، لتكون تلك الكارثة أسوأ الكوارث الطبيعية التي وقعت في ليبيا.

ماهيـــــة الفيضـــان

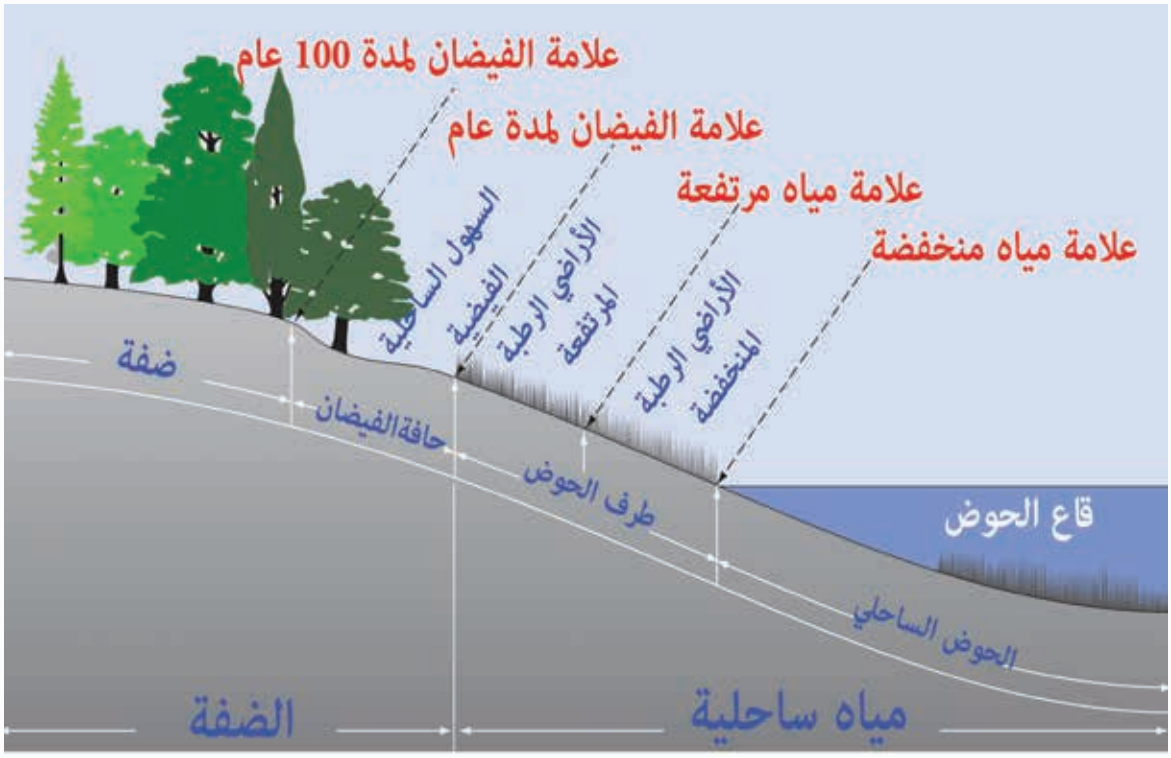
الفيضان Flood ببساطة هو ظاهرة طبيعية تماماً تحدث عندما يرتفع جسم مائي (نهر أو بحر بدرجة كبيرة) ليفيض فوق الأرض التي لا تغمرها المياه في العادة. في الوقت نفسه، يعد الفيضان ظاهرة معقدة جدّاً تربط البيئة الطبيعية والناس والأنظمة الاجتماعية لمنظمتهم.

تسبب الفيضانات خسائر في الأرواح البشرية، وتضر بالبنية التحتية، **مثل:** الطرقات والجسور والمباني، وتضر 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 العديدَ 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.

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 وفقدان 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.

كمـا بـدأت فيضانـات الصـين عـام 2010 في أوائـل مايـو. وقـد بلـغ إجمالـي عـدد القتلـى حتـى 5 أغسـطس 2507. تأثـر أكثـر مـن 305 مليـون شـخص في 28 مقاطعـة وبلديـة ومنطقـة، في حـين تم إجـلاء مـا لا يقـل عـن 12 مليـون شـخص بسـبب مخاطـر الفيضانـات والانهيـارات الأرضيـة بحلـول أوائـل أغسـطس، وقـد ارتفـع عـدد قتلـى الفيضانـات إلـى 3000. وكان مـا يقـرب مـن 20 مليـون شـخص قـد تضـرروا مـن الفيضانـات بحلـول أوائـل أغسـطس.

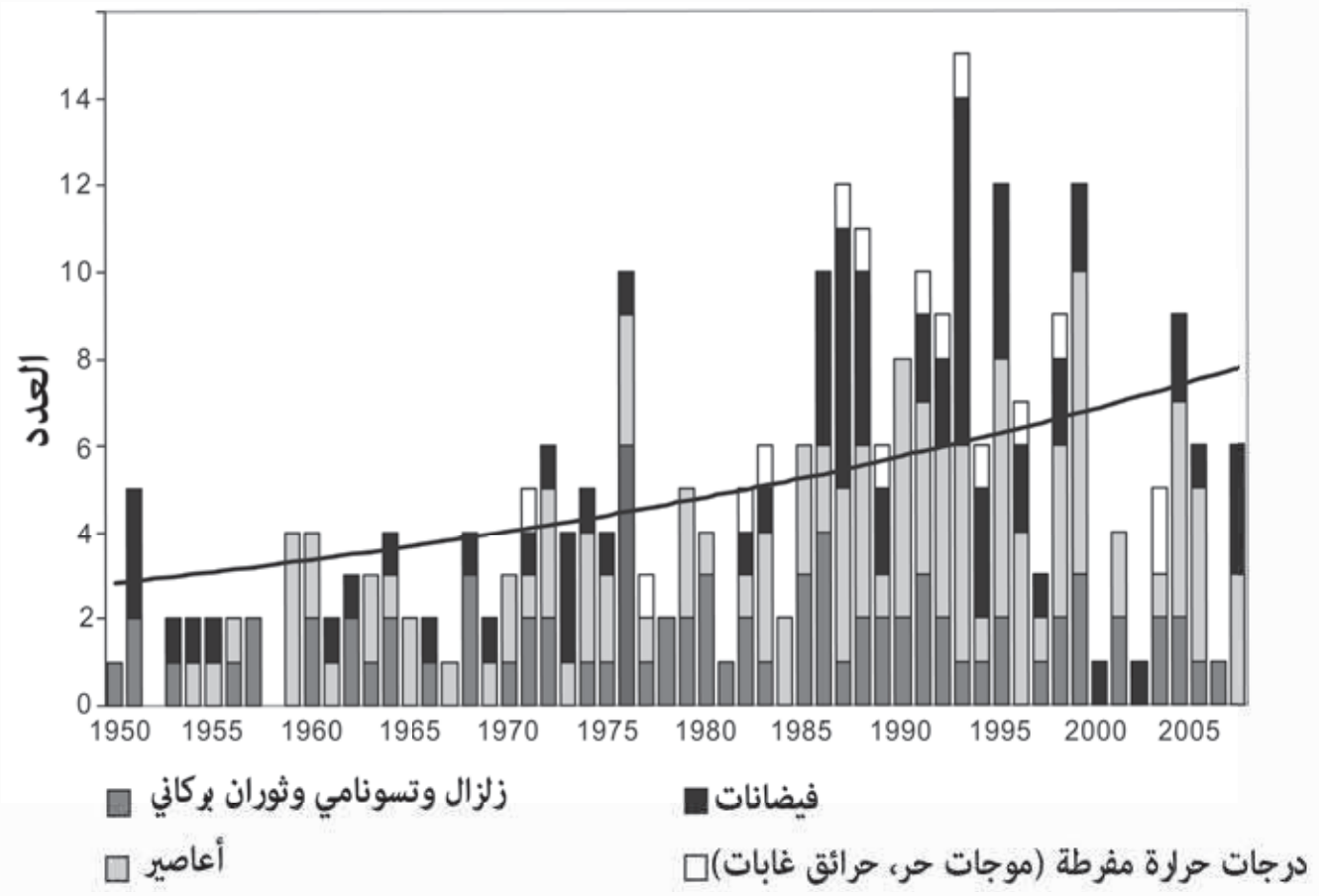
وتسـتعد المناطـق الواقعـة في اتجـاه مجـرى النهـر في وادي نهـر السـند، حيـث يعيـش معظـم سـكان باكسـتان البالـغ عددهـم 162 مليـون نسـمة، للفيضانـات التـي قـد تلحـق الضـرر بالمحاصيـل.

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

مشـــكلة الفيضانـــات العالميـــــة

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

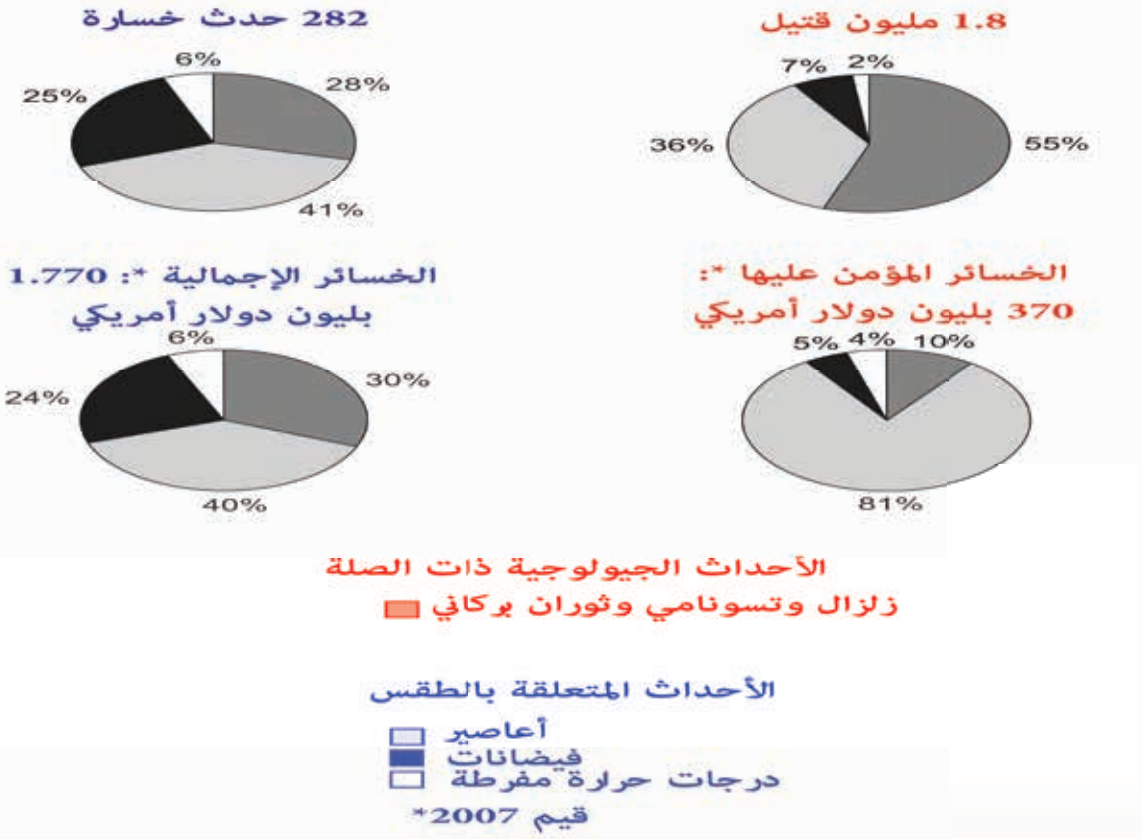
معظم المعلومات التي سنقدمها هنا مأخوذة من مرصد دارتماوث لبيانات الفيضانات Dartmouth Flood Data Observatory في ألمانيا، وقاعدة بيانات أحداث الطوارئ EM-DAT التابعة لمركز الأبحاث حول وبائيات الكوارث في بلجيكا و Munich Re NatCatSERVICE قاعدة بيانات ميونخ على الإنترنت.



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

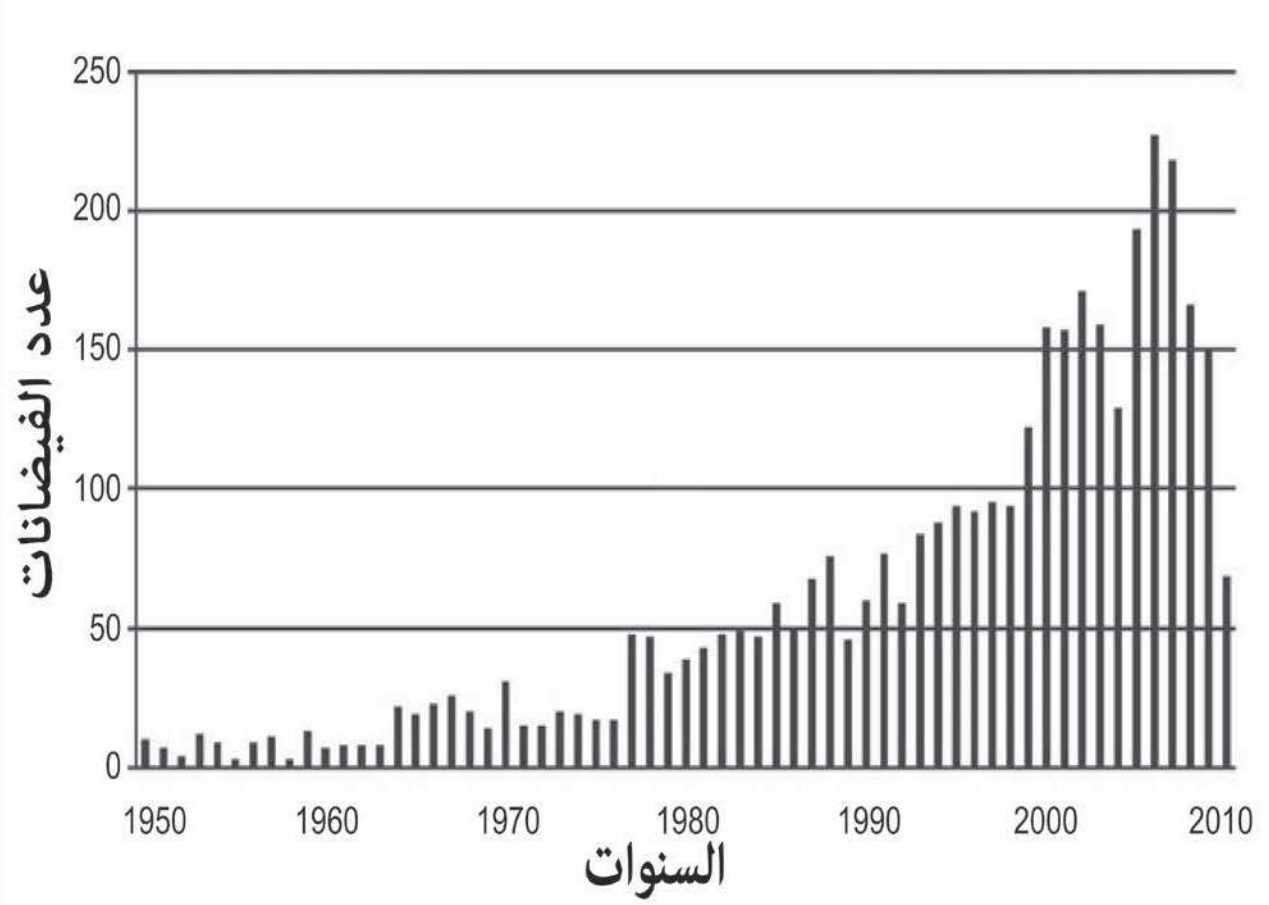
تُظهر سجلات الفترة الزمنية الأطول (التي تعود إلى عام 1900، مع أنها أكثر موثوقية بعد عام 1950) حركة تصاعدية لا هوادة فيها في عدد الكوارث الطبيعية وتأثيرها البشري والاقتصادي.

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.



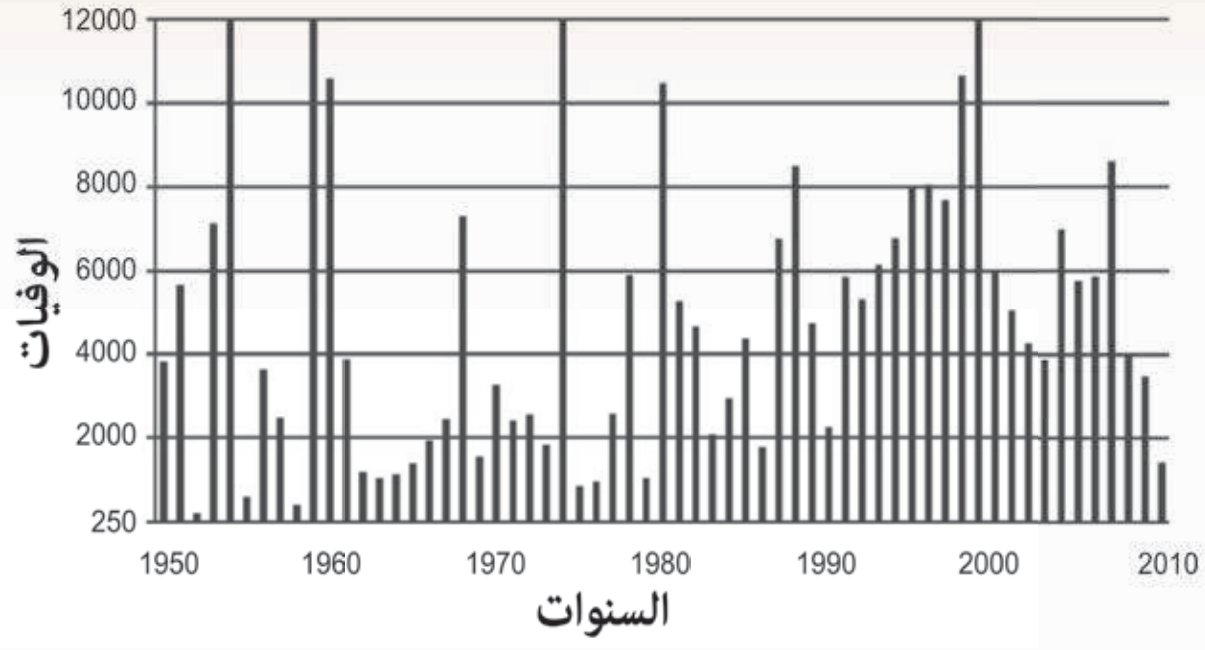
الكوارث الطبيعية الكبرى 1950–2007: النسبة المئوية للتوزيع في جميع أنحاء العالم.

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.

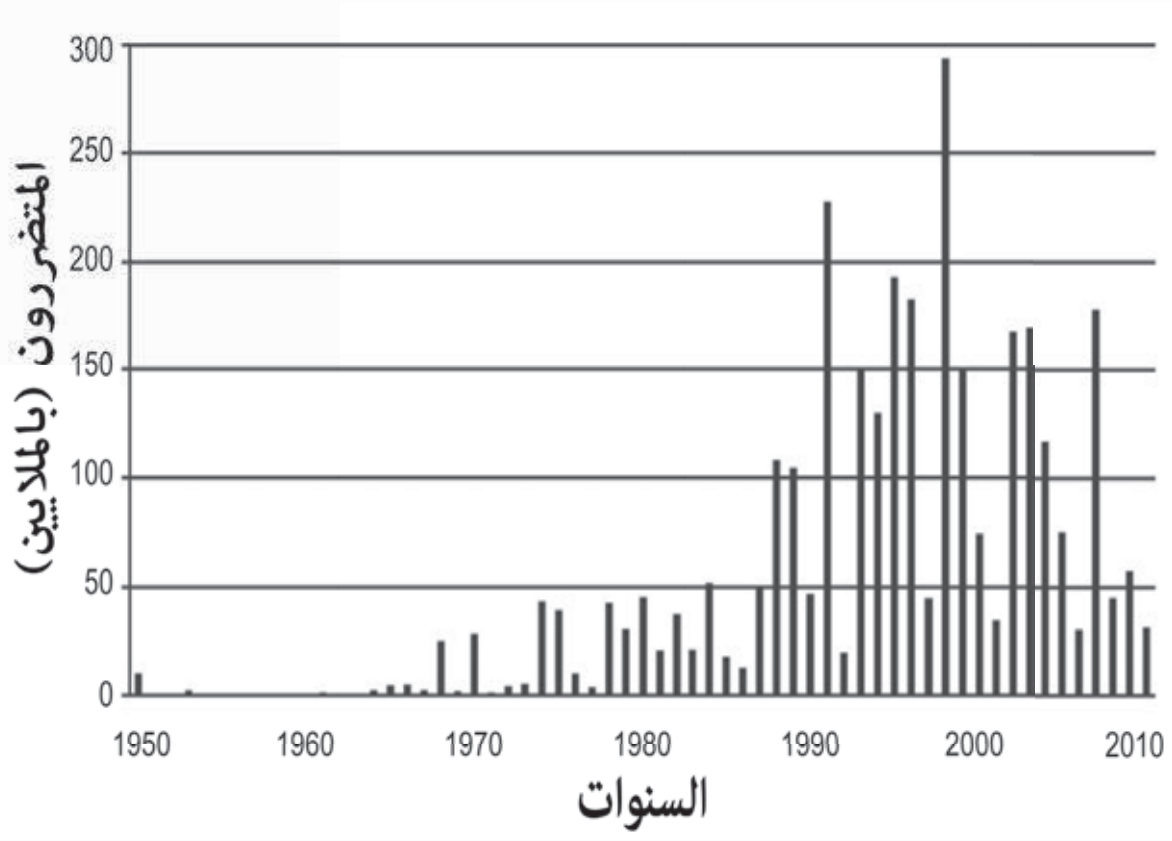


إجمالي عدد الوفيات الناجمة عن كوارث الفيضانات بين عامي 1950–2010 عالميّاً.

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

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 حادٍّ 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

متوسـط عـدد القتلـى سـنويّاً بنحـو 7000 شـخص علـى مـدار الخمسـة وعشـرين عامـاً الماضيـة. في عـام 1998 وحـده، يقـال إنّ هـذا الرقـم اقتـرب مـن 30000.



العدد الإجمالي للأشخاص المتضررين من كوارث الفيضانات بين عامي 1950–2010 عالميّاً.

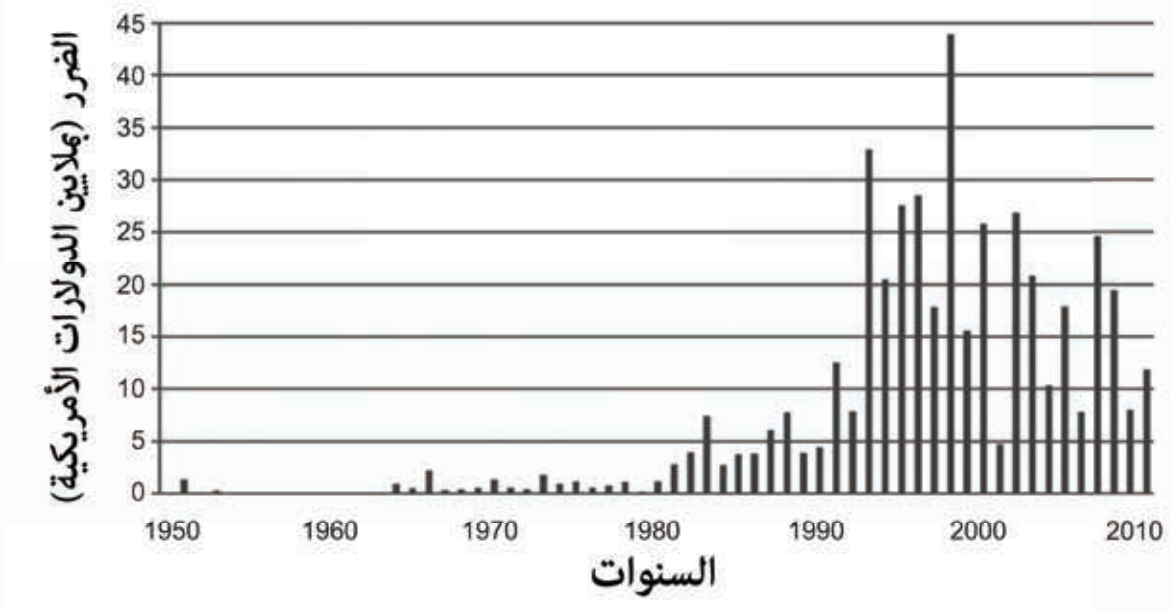
جرى تقديم تصنيف للفيضانات في الجدول الآتي مع تقديرات تكرار حدوثها للفترة ما بين 1985 و2009. يُعزى أكثر من 90 % من الفيضانات إلى عمليات جوية، حيث تسهم الأنواع الهيدرولوجية في نحو 5 % فقط من الأحداث.

جـدول بأنـــواع الفيضـــانات وتكرارهـــا بين عامـــي 1885 – 2009.

النـــــوع	التأثيـــــر	رقـم	تكرر (%)	مجموع الصنف (%)
بفعـــل الإنسان	تحطم السد / فشل السد	47	1.34	1.34
حـــدث طبيعي	متعلق بانهيار ثلجي	2	0.06	0.14
	انزلاق	1	0.03	
	انفجار فيضان	2	0.06	
الهيدرولوجيـا	مطر فوق الثلج	84	2.40	4.97
	ذوبان الجليد	60	1.72	
	تكسر الثلج	30	0.86	
جويـــــة	أمطار غزيرة مؤقت	297	8.49	92.40
	إعصار موجي	19	0.54	
	مطر غزير	2235	63.89	
	مطر موسمي	280	8.00	
	مطر مؤقت	27	0.77	
	إعصار استوائي	348	9.95	
	إعصار مداريّ	26	0.74	
أخـــرى	عرام العواصف	4	0.11	1.14
	غير محدد	36	1.03	
المجمـــوع		3498		100

تقديرات الأضرار الناجمة عن الفيضانات الواردة هنا هي تقديرات بالمعنى الخالص للكلمة. من الصعب جدّاً 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 عالميّاً.

الفيضانـــات وتغير المُنـــاخ

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 جزءًا من تاريخ البشرية. وسوف تستمر في أن تكون كذلك في المستقبل. في سياق التغيير العالمي، فهي جزء من تاريخ البشرية بقدر ما يمثل النمو السكاني، والاستيطان، والتصنيع، والحوسبة ودورات الركود والتوسع المتكررة.

تعتبر مخاطر الفيضانات والكوارث مكوناً جوهريّاً من الخبرة الثقافية المتراكمة التي تتجلى في الهياكل والممارسات الاجتماعية المعقدة. ومخاطر الفيضانات متأصلة 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:

- **التغيرات في تواتر أو شدة الظواهر المناخية المتطرفة.**
- **ارتفـــاع 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 التغيرات 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 غِرار 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.

إنّ ارتفاع مستوى سطح البحر نتيجة حتمية للاحترار 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 بدرجةٍ كبيرةٍ. 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 المُدن 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.

يمـر العالـم بأكبـر موجـة نمـو سـكاني وحضـري في التاريـخ. في عـام 2008، ولأول مـرة في التاريـخ، كان أكثـر مـن نصـف سـكان العالـم يعيشـون في البلـدات والمُدن. بحلول عـام 2030، سيتضخم هـذا الرقـم إلـى مـا يقـرب مـن 5 بلايـين، مـع تركـز النمـو الحضـري في إفريقيـا وآسـيا. في حـين أن المُدن الضخمـة قد اسـتحوذت علـى الكثيـر مـن الاهتمـام العـام، فـإن معظـم النمـو الجديـد سـيحدث في البلـدات والمُـدن الأصغـر، التـي لديهـا مـوارد أقـل للاسـتجابة لحجـم التغييـر.

مـن حيـث المبـدأ، تقـدم المُـدن بيئـة أكثـر ملاءمـة لحـل المشـكلات الاجتماعيـة والبيئيـة مـن المناطـق الريفيـة. تتولـد في المُـدن الوظائـف والدخـل. ومـن خـلال الحكـم الرشـيد، يمكنهـا تقـديم خدمـات التعليـم والرعايـة الصحيـة وغيرهـا بشـكل أكثـر كفـاءة مـن المناطـق الأقـل كثافـة في الاسـتقرار، وذلـك لمجـرد مزاياهـا مـن حيـث الحجـم والقـرب. تقـدم المُـدن أيضـاً فرصـاً للتعبئـة الاجتماعيـة وتمكيـن المـرأة.

تقـع معظـم مُـدن العالـم علـى طـول الأنهـار والبحيـرات وشـواطئ المحيـط. كانـت أولـى عوامـل الجـذب لهـذه المواقـع كمصـادر للطعـام ومياه الشـرب. في زمـن لاحـق، تضمنـت عوامـل الجـذب أيضـاً ميـاه الـري والنقـل. وفي الزمـن الحاضـر، يوفـر القُـرب مـن المـاء أيضـاً توليـد الطاقـة والتجـارة والترفيـه. تعـد ضفـاف الأنهـار والسـهول الفيضيـة أيضـاً جاذبـة للزراعـة والجمـال وطريقـة للتخلـص مـن النفايـات.

علـى مـدى عـدة آلاف مـن السـنين، توغلـت المُـدن والمسـتوطنات والبنيـة التحتيـة الأخـرى بشـكل متزايـد في السـهول الفيضيـة. ترتبـط الآثـار السـلبية لكـوارث الفيضانـات ارتباطًـا مباشـراً بالاتجاهـات والتغيـرات السـكانية. يتعـرض عـدد أكبـر مـن النـاس بشـكل مباشـر إلـى مخاطـر أعلـى محتملـة بسـبب الفيضانـات.

عـدد السـكان وتغيـر المنـاخ مرتبطـان ببعضهمـا بعضـاً. يُعـزى معظـم تغيـر المنـاخ إلـى التأثيـرات البشـرية. سـيكون لكـوارث الفيضانـات وتغيـر المنـاخ والتفاعـلات

السكانية بعدًا 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 أنّ عواقب تغير المناخ على توزيع السكان غير واضحة ولا يمكن التنبؤ بها.

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

- **العمليات المناخية، مثل:** ارتفاع مستوى سطح البحر، وملوحة الأراضي الزراعية، والتصحر، وندرة المياه المتزايدة.
- **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، مُهمَّة 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 مُهمَّة 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 نفشل 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 أثيرت 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 والمترابطة، وتؤكد الطابع الديناميكي للعمليات المعنية، وتهتم بشكل خاصٍّ بكيفية تغير النظام بمرور الزمن، سواء أكان ذلك فيضاناً أم سهولاً فيضية أم مجتمعاً متأثراً بالكوارث.

عادة ما يكون العرض التقليدي خطيّاً 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:

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

جميع الأنظمة الكاملة والفرعية ديناميكية وتنطوي 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 ومترابطاً 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 إنّ 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 جدّاً (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 بجدية 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 واعداً بشكل خاصٍّ عند استخدام الموارد النادرة بشكل فعَّال. تعتبر مشكلات تخصيص الموارد شائعة جدّاً في مجال إدارة مخاطر الفيضانات، وتؤثر في كل من البلدان المتقدمة والنامية، التي تواجه اليوم ضغوطاً متزايدة لاستخدام مواردها بكفاءة.

مخاطـــــــر الفيضـــــــانات

تشمل مصطلحات (الفيضانات) و (الطوفان) و (مخاطر الفيضانات) و(مخاطر الطوفان) مجموعة واسعة جدّاً 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 ضمنيّاً 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. تنجم 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 حدثًا طبيعيّاً شديداً، عادة ما يهم 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 يُقلّل من مخاطر الفيضانات من خلال هياكل إدارة الفيضانات و / أو التخطيط الفعَّال للطوارئ. لذلك، فإن خطر الفيضانات الحقيقي ينبع من احتمال وقوع حدث خطير بشكل غير متوقع وأنه سيؤثر سلباً في الناس ورفاهيتهم.

تنجم 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:

المخاطـــــرة = الاحتماليـــــة × العواقـــــب

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

من المُهمِّ تجنب الوقوع في الفخِّ 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؟

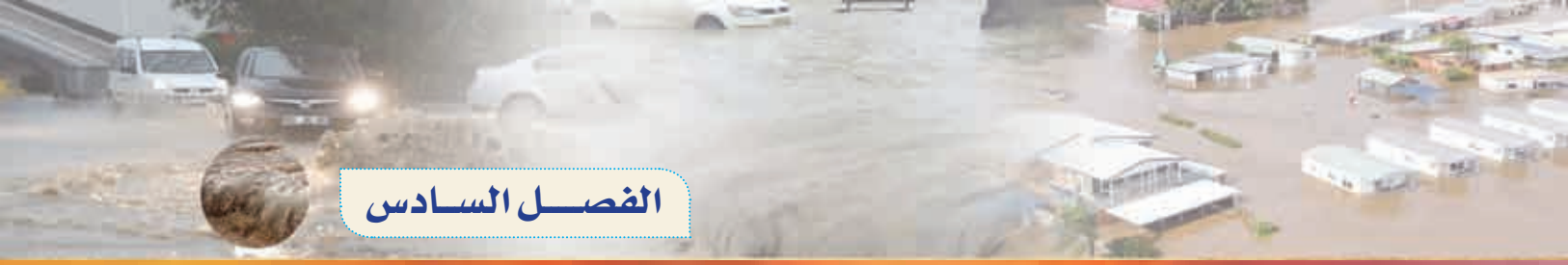
في العديد من البلدان، تتطور إدارة مخاطر الفيضانات من الأساليب التقليدية القائمة على معايير التصميم إلى تطوير عملية صنع القرار على أساس المخاطر، التي تتضمن مراعاة مجموعة من الأعباء، واستجابات نظام الدفاع وتأثيرات الفيضانات.

الفرق بين النُّهج القائمة على المخاطر والنُّهج 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 يمكّن من اتخاذ خيارات مستنيرة 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 الفعَّال 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 تشاركيّاً وشاملاً للقطاعات وشفَّافاً 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:

- **إدارة دورة المياه ككل.**
- **دمج إدارة الأراضي والمياه.**
- **إدارة المخاطر وعدم اليقين.**
- **تبني أفضل مزيج من الاستراتيجيات.**
- **ضمان نهج تشاركي.**
- **اعتماد نُهج 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:

- **الوقايـــــة**: منـع الأضـرار التـي تسـببها الفيضانـات عـن طريـق تجنـب بنـاء المنـازل والصناعـات في المناطـق المعرضـة للفيضانـات الحاليـة والمسـتقبلية؛ مـن خـلال تكييـف التطـورات المسـتقبلية مـع مخاطـر الفيضانـات؛ ومـن خـلال تشـجيع الاسـتخدام المناسـب للأراضـي والممارسـات الزراعيـة والحراجيـة.
- **الحمايـــــة**: اتخـاذ تدابيـر، هيكليـة وغيـر هيكليـة، لتقليـل احتماليـة حـدوث فيضانـات و / أو تأثيـر الفيضانـات في موقـع معـين.
- **التأهـــــب**: إطـلاع السـكان علـى مخاطـر الفيضانـات ومـا يجـب القيـام بـه في حالـة حـدوث فيضـان.
- **الاستجابة للطوارئ**: تطويـر خطـط الاسـتجابة للطـوارئ في حـال حـدوث فيضـان.
- **التعافي**: العـودة إلـى الظـروف الطبيعيـة في أسـرع وقـت ممكـن والتخفيـف مـن الآثـار الاجتماعيـة والاقتصاديـة علـى السـكان المتضرريـن.

يتطلـب التغييـر في الإدارة الاسـتباقية لمخاطـر الفيضانـات تحديـد المخاطـر، وتطويـر اسـتراتيجيات للحـد مـن هـذا الخطـر، وإنشـاء سياسـات وبرامـج لوضـع هـذه الاسـتراتيجيات موضـع التنفيـذ.

• عـرض نظـــم إدارة مخاطـــر الفيضانـــات

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 تعقيداتها وطابعها الديناميكي واحتياجاتها متعددة التخصصات لخيارات الإدارة.

ينصب التركيز الأساسي لتحليل النظم في إدارة مخاطر الفيضانات على توفير أساس محسن لاتخاذ القرارات الفعَّالة. 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.

إدارة مخاطر الفياضانات

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 عامٍّ المجتمع نفسه هو نظام يتكون من الأفراد، والمنظمات 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: 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: 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 ضغطًا سلبيًّا على الأنظمة الفرعية لضمان ملاءمتها. بالإضافة إلى ذلك، يمكن أن تحد البيئة من العمل من خلال نفاد الموارد أو عن طريق تغيير الظروف لجعل المورد أكثر قيمة، على سبيل المثال تغيير المناخ.

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

تستخدم المعلومات من قِبل 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**: تستخدم المعلومات من قِبل 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 والمستخدمة. 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. **مبـدأ الإدارة**: 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 مباشرةً إلى الوصول إلى الموارد، وستطلق إشارات توضح الأداء الاجتماعي أو البيئي الذي سيسمح بالوصول إلى الموارد بشروط محسنة.

6. **مبـدأ الإدارة**: استراتيجيات الإدارة الأكثر فعالية للإدارة 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 يواجه مدير مخاطر الفيضانات في إدارة هذه العناصر الثلاثة، عبر الأفراد والمنظمات والمجتمع وداخل البيئة، لتحقيق النتيجة الممكنة الأكثر فاعلية.

7. **مبدأ الإدارة: 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 جدّاً الاعتقاد بأنها تركز على جوانب مختلفة ذات روابط هشَّة. ما هو ضروري هو نموذج أنظمة لفهم التفاعلات والديناميكيات التي تُدار. سيسمح لنا هذا بالتعلم مما نقوم به (بشكل أخرق)، حتى نتمكن في النهاية من القيام به بشكل أفضل.

الفيضانــات وخصـائصها الطبيعيــة

الفيضانـات جـزء لا يتجـزأ مـن التغيـر المتأصـل في الطبيعـة. بقـدر مـا نسـعى للسـيطرة علـى الفيضانـات والقضـاء عليهـا، فإنهـا سـتسـتمر في الحـدوث. يجـد معظـم النـاس بشـكل متزايـد اهتمامـاً مشـتركاً بقبـول حتميـة حـدوث فيضانـات أكبـر مـن المتوقـع، وفي قبـول أن العديـد مـن الأنشـطة البشـرية يمكـن أن تضخـم حجـم وتأثيـر الفيضانـات.

في حـين أن النـوع الأكثـر شـيوعاً مـن الفيضانـات ينتـج عـن الإدخـال السـريع للكميـات الزائـدة مـن الميـاه، فقـد تنشـأ الفيضانـات أيضـاً عـن طريـق انسـداد داخـل شـبكة الصـرف، وعـن المـد والجـزر والريـاح البريـة التـي يمكـن أن تتسـبب في حـدوث فيضانـات بحريـة ومصبـات.

تعـدل جميـع مدخـلات الميـاه مـن خـلال التضاريـس والخصائـص الهيدروليكيـة للسـطح (و / أو) المـواد الجوفيـة التـي تواجههـا. ويتأثـر حجـم الفيضـان وتوقيتـه بالتفاعـلات الطبيعيـة مـع البيئـة والبشـر.

يقـوم الرسـم البيانـي لتدفـق النهـر بتجميـع هيدرولوجيـا الفيضانـات دون إنتـاج مزيـد مـن المعلومـات حـول العمليـات الرئيسـية المنتجـة للفيضانـات. صـرح الباحـث هيولـت أنـه (ليـس ذروة التفريـغ في منابـع الميـاه هـي التـي تنتـج الفيضانـات في اتجـاه مجـرى النهـر، بـل حجـم ميـاه العواصـف التـي تحررهـا مناطـق منابـع الميـاه).

• الفيضانـــات الناجمـــة عن هطول الأمطار

تحـدث الفيضانـات في معظـم أحـواض الأنهـار بشـكل شـبه كامـل نتيجـة هطـول الأمطـار الغزيـرة (و / أو) المطولـة بشـكل مفـرط أو عـن فتـرات الذوبـان الطويـل

(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 للتسرّب والتدفق في التربة (Qt)، تصير منحدرات الوادي السفلية مشبعة مع ارتفاع منسوب المياه الضحلة إلى سطح الأرض. في هذه المناطق المشبعة، تكون سعة التسرّب صفراً بحيث يتحول كل هطول الأمطار عليها، مهما كانت شدته، إلى تدفق بري (Qo).

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 خاصٍّ، أو حيث تقل قدرات التسرّب 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 إنّ: i هي كثافة هطول الأمطار، وهي قدرة التسرّب، 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 التسرّب بعد زمن قصير من بداية هطول الأمطار، لذلك قد يسقط المطر بكثافةٍ معتدلة، مع عدم قدرته في البداية على توليد التدفق البري، بمجرد انخفاض معدل التسرّب المرتفع المبكر.

نظراً لأنه من المرجح أن تُظهر قدرة التسرّب انخفاضاً مستمراً من خلال سلسلة من العواصف المتقاربة، 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 التسرّب أو التشبع الأولي، فإن مقدار التدفق السريع المتولد لعمق معين من الأمطار سيكون هو نفسه تقريباً من منطقة حراجية أو زراعية أو حضرية. هذا له آثار مُهمَّة في فعالية استراتيجيات إدارة مستجمعات المياه التي تهدف إلى الحد من جريان الفيضانات.

• انصهـــار الجليـــد وذوبـــان الثلـــج

عندما يكون ذوبان الجليد مكوناً رئيسيّاً 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 ازدحام جليدي، مما قد يعيق كميات كبيرة من المياه.

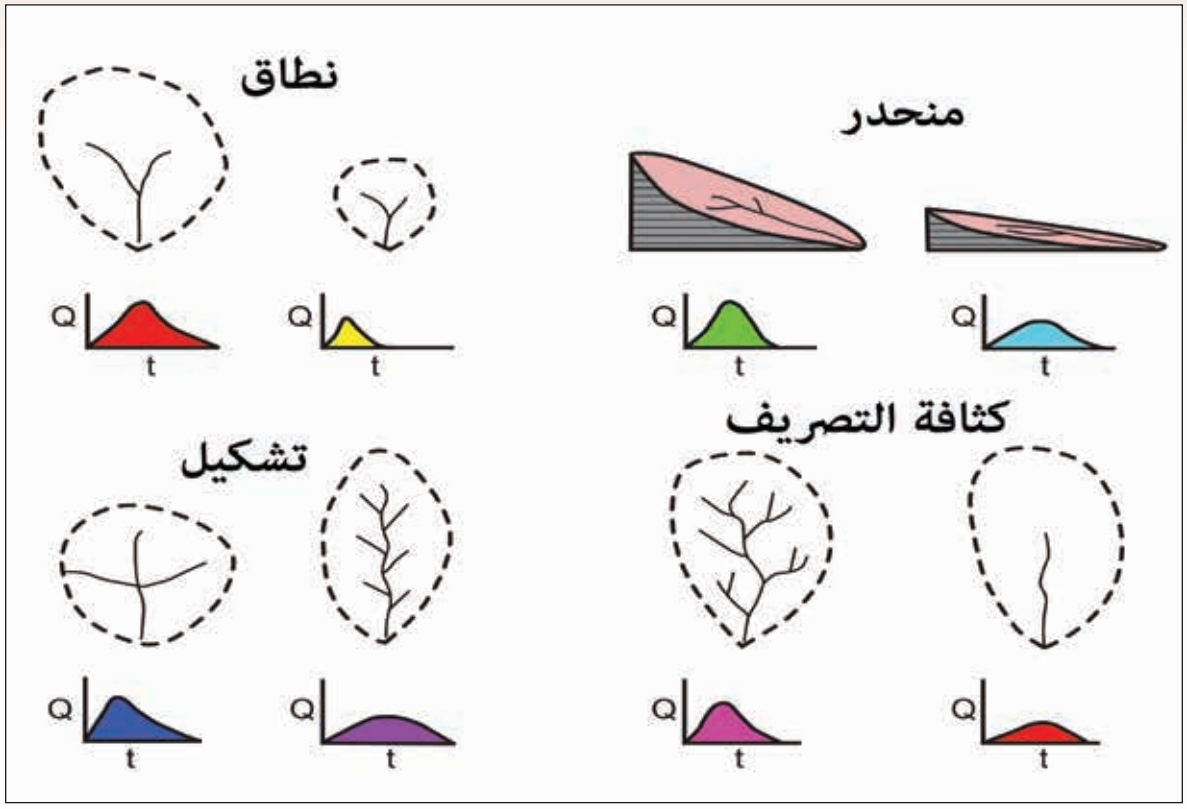
• تعديـــــل الحجـــم والتوقـــيت

يمكـن أن يكـون انتظـام أوقـات الجريـان السـطحي مـن أجـزاء مختلفـة مـن الحـوض أمـراً بالـغ الأهميـة في إحداث فيضـان. إذْ كلمـا كانـت الاسـتجابة وأوقـات الارتحـال أكثـر اتسـاقاً، زادت احتماليـة تراكـم تدفـق النهـر إلـى ذروة تدفـق عاليـة.

قـد تخلـق الأحـواض المنتظمـة جـدّاً في كل مـن العمليـة وزمـن النقـل تدفقـات فيضـان مـن أحجـام الجريـان السـطحي التـي قـد تمـر في الأحـواض الأخـرى علـى أنهـا أحـداث غيـر مُهمَّـة.

التربـة ذات النفاذيـة المنخفضـة تولـد الفيضانـات بسـرعة أكبـر. سـرعة الجريـان السـطحي لا تقـل أهميـة عـن الإنشـاء الفعلـي للجريـان السـطحي. تعـد السـرعة أمـراً بالـغَ الأهميـة في تحديـد مـا إذا كان الجريـان السـطحي يصـل إلـى نقطـة معينـة في القنـاة في الزمـن المناسـب لإضافـة تدفـق الـذروة أو اعتبـاره جريانـاً عاديّـاً. تسـهم التدرجـات عاليـة الانحـدار وكثافـة التصريـف العاليـة في سـرعة الجريـان السـطحي، فضـلاً عـن شـكل الحـوض المضغـوط وشـبكة القنـوات المضغوطـة.

يوضـح الشـكل الآتـي تأثيـرات المتغيـرات الشـكلية الرئيسـية علـى الفيضـان. حيـث تكمـن أهميـة كثافـة شـبكة التدفـق في التبايـن الكبيـر في سـرعة الإرسـال بـين عمليـات منحـدرات التـل وتدفـق القنـاة. كلمـا كان طـول منحـدر التـل أقصـر الـذي يجـب أن تمـر بـه الميـاه، بـأي طريـق، زادت سـرعة وصولـه إلـى القنـاة.



تأثير شكل الحوض في شكل المخطط المائي للفيضان.

سـرعات القنـوات المفتوحـة النموذجيـة أثنـاء أحـداث التدفـق السـريع هـي في حـدود بضعـة أمتـار في الثانيـة. يقـارن هـذا بمتوسـط قياسـات 300 ملـم / ثانيـة لتدفـق الأنابيـب، و50 ملـم / ثانيـة للتدفـق البـري، و3 ملـم / ثانيـة لتدفـق المسـام الكبيـرة، وهلـم جـرّاً.

في حـوض ممـدود علـى شـكل ريشـة، تسـتنزف الميـاه مـن أجـزاء مختلفـة مـن الحـوض بأوقـات ارتحـال مختلفـة وتصـل ذروة التصريفـات مـن الروافـد إلـى مصب الحـوض في أوقـات مختلفـة، ممـا يـؤدي إلـى انتشـار الـذروة وتقليـل مخاطـر الفيضانـات. تكـون أوقـات الارتحـال أكثـر تسـاوياً عندمـا تكـون الروافـد بطـول مماثـل، وهـو مـا يحـدث بشـكل أكثـر شـيوعاً في الأحـواض الدائريـة.

من بين جميع المتغيرات المورفولوجية، تعتبر منطقة الحوض (A) بشكل عامٍّ 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 تجريبيّاً. 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 خاصّاً بخصائص التربة، بما في ذلك وجود طبقات غير منفذة وسمك طبقات المياه الجوفية.

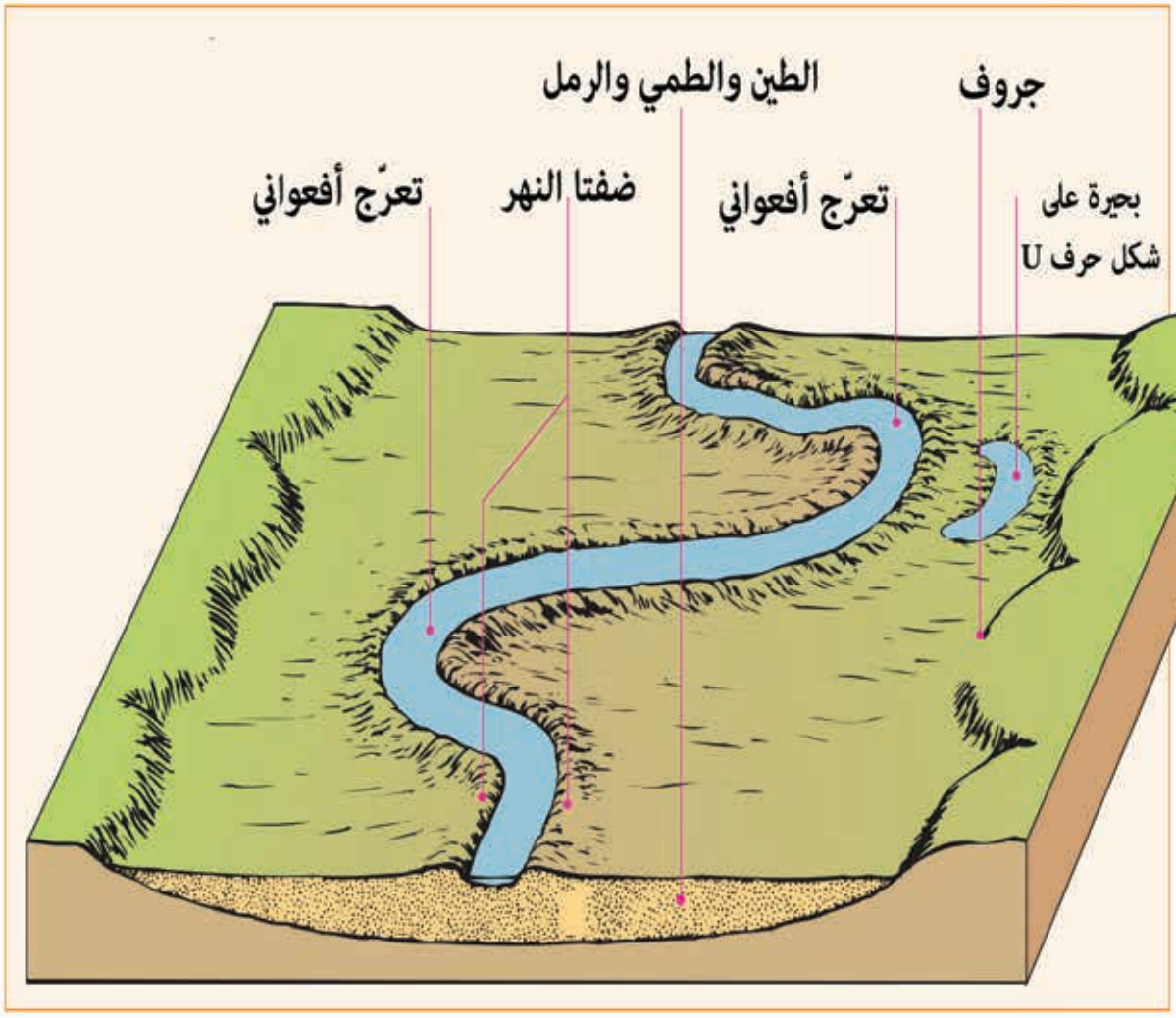
• الســـــهول الفيضيـــــة

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.

مـن بـين المعالـم النموذجيـة للسـهول الفيضيـة للنهـر التعرجـات الأفعوانيـة وبحيـرات أو بِـرك علـى شـكل حـرف U ، والسـدود المرتفعـة، والتـلال التـي تآكلهـا النهـر إلـى منحـدرات أو منحـدرات نهريـة. يجـري تغطيـة السـهول الفيضيـة نفسـها بطبقـة مـن الطـين والطمـي والرمـل وغيرهـا مـن الرواسـب التـي يجرفهـا النهـر.

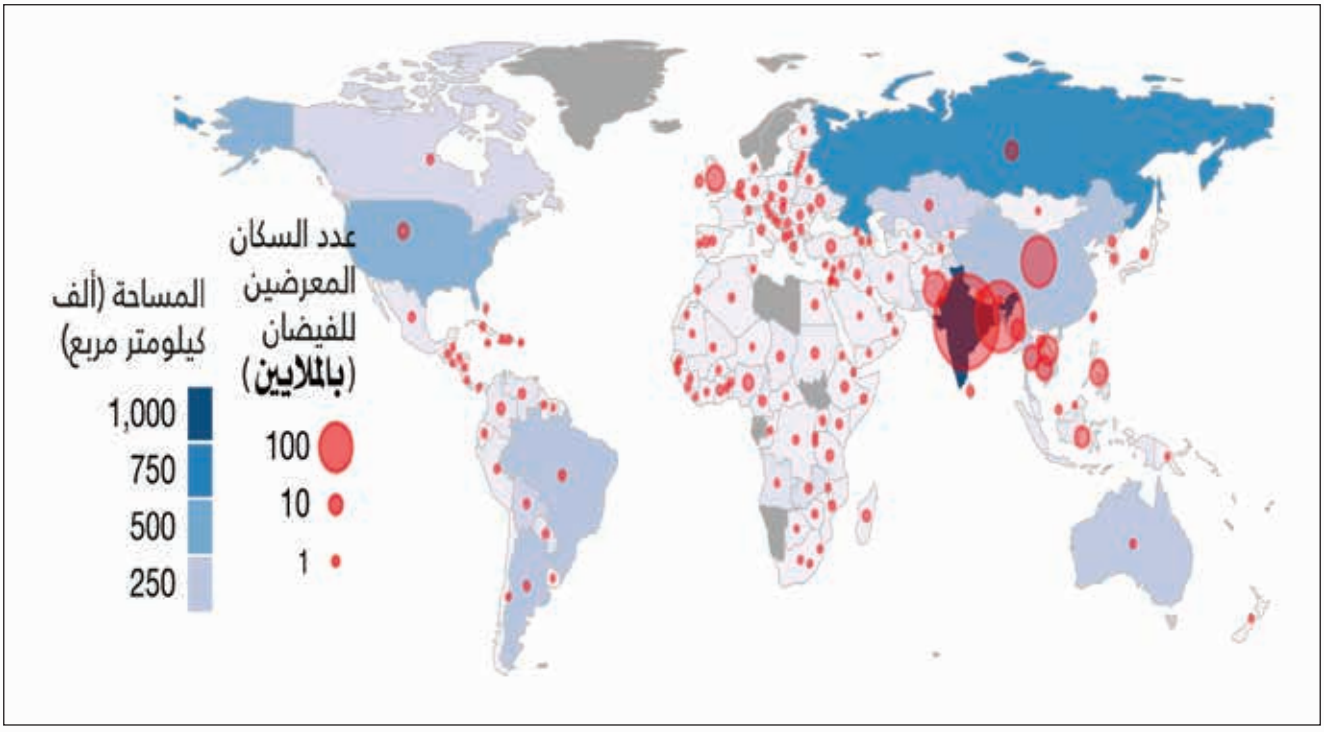


معالم السهول الفيضية الرئيسية.

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.

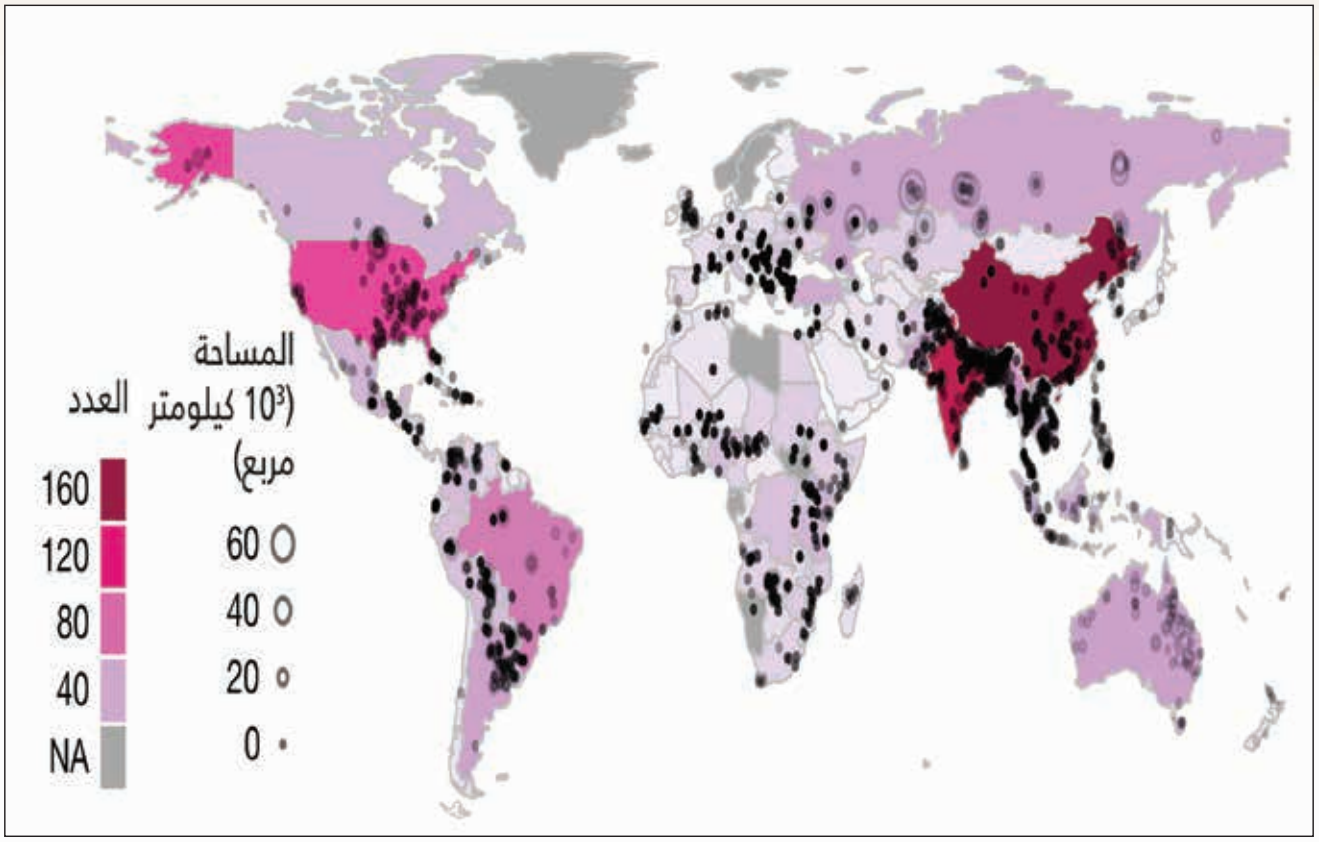
الفيضـــــانات والســـكان

تؤثـر الفيضانـات في أعـداد كبيـرة مـن النـاس، وقـد يفـوق عددهـم أعـداد المتضررين مـن أي خطـر بيئـي آخـر، كمـا أنهـا تؤثـر في جهـود التنميـة المسـتدامة. لذلـك فـإن الاسـتثمار في اسـتراتيجيات التكيّـف مـع الفيضانـات قـد يقلـل مـن الخسـائر في الممتلـكات والأرواح.



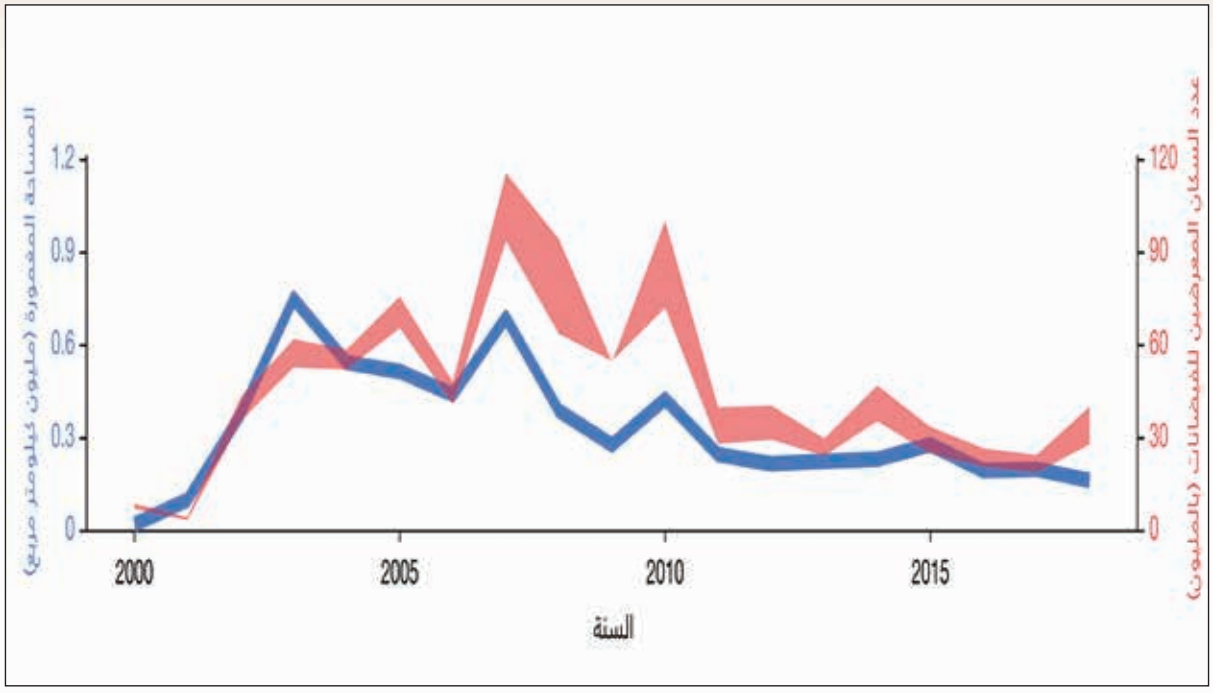
إجمالي السكان المعرضين للفيضانات (عدد تراكمي) على مدار الفترة الممتدة من عام 2000 إلى عام 2015 (دوائر)، والمساحة المعرّضة للفيضان (مقياس لوني) لكل بلد.

لكـن تحديـد الأشـخاص المعرّضـين للفيضانـات، والكيفيـة التـي تحـدث بهـا، وموقـع حدوثهـا، كلهـا عوامـل خاضعـة للتغيـر حسـب سـرعة الحركـة العمرانيـة، والتوسـع في إقامـة المسـتوطنات في السـهول الفيضيـة، ووجـود بنيـة تحتيـة مخصصة لتخفيـف آثـار الفيضـان.



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).

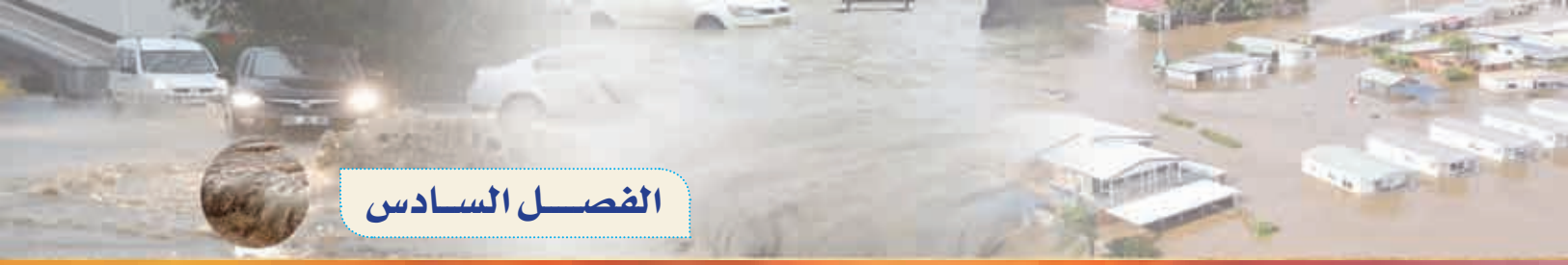
وقد لاحظ الباحثون أن التقديرات السابقة لأعداد السكان المعرضين لخطر الفيضانات على مستوى العالم لم تكن كبيرةً جدّاً، ويعود السبب في ذلك إلى نقص البيانات الرصدية؛ الأمر الذي دفع بالقائمين على إعداد هذه الإحصاءات إلى الاعتماد على النماذج، بدلاً من البيانات، لكن هذه النماذج اتسمت بمستويات كبيرة جدّاً من عدم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



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

آثـــار التدخـــل البشـــري

لقد حدث تعديل لسطح الأرض بشكل كبير من خلال الأنشطة البشرية. وقد أثر ذلك في موازين المياه المحلية والإقليمية وأنظمة الأنهار. هذه التأثيرات إما مباشرةً، 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 وتعريض سطح التربة للطاقة الحركية الكاملة للمطر المتساقط، مما يتسبب في تفتيت بقايا التربة، وانسداد المسام، وتقليل قدرة التسرّب، 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 أنّ أي نشاط يزيد من فقد التبخر أو قدرة التسرّب، أو يحسن بنية التربة، أو يصدر المياه من الحوض أو يستهلكه، سيقلل 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 مستوياتٍ تدفق النهر يمكن أن تؤثر في مخاطر الفيضانات في كلا الاتجاهين، اعتماداً على توقيت ومعدل استخراج المياه العذبة وعودة المياه العادمة.

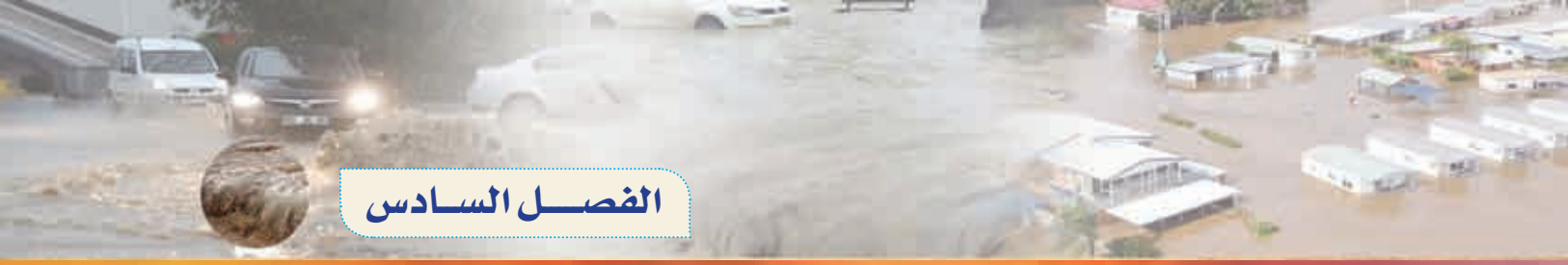
• تعديـــــلات الغابـــــات

قد تؤدي إزالة الغابات إلى تكثيف فيضان الأنهار من خلال التأثير سلباً في بنية التربة وحجمها، وتقليل معدلات التسرّب، 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 التسرّب.

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 المنزلقة 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 حِراج سابقاً يتسبب في انخفاض متوسط في التدفق يعادل 200 ملم من الأمطار. مع أنّ 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 يلقى باللوم على إزالة الغابات لأغراض الزراعة في زيادة الفيضانات في اتجاه مجرى النهر. إذْ 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.

• الزراعـــة وصـــرف الأراضـــي

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 إنّ 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.

■ التحضـــر

مع أنّ المناطق الحضرية تشغل أقل من 3 % من سطح الأرض، فإن تأثير التحضر في هيدرولوجيا الفيضانات وخطر الفيضانات كبير بشكل غير

متناسب. ويعكس هذا جزئيّاً 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 صُمّمت 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 فعَّالة 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 بالحصى	15–30
الأسطح غير المعبدة	10–30
المتنزهات 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.

الآثـــار الصحيـــة للفيضانـات

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

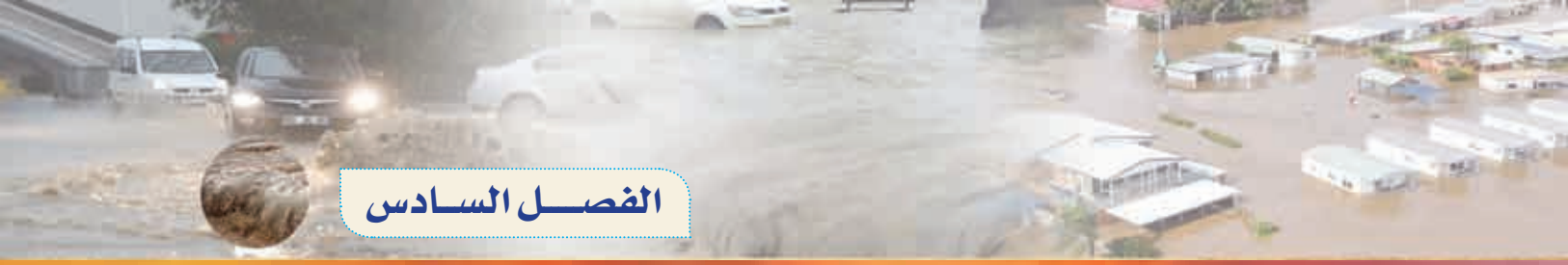
مأخوذة في الغالب من المؤلفات الحديثة التي راجعها النظراء، والأفعال القانونية، والأدبيات المنشورة منذ عام 2004.

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 الفعَّال لنصائح دائرة الصحة من قِبل 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 أيّاً منها، ومن خلال تجربة المملكة المتحدة، لم تقدم صورةً كاملةً. 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 ذاتيّاً. 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.

وبائيـــات الآثـــار الصحية للفيضانـــات

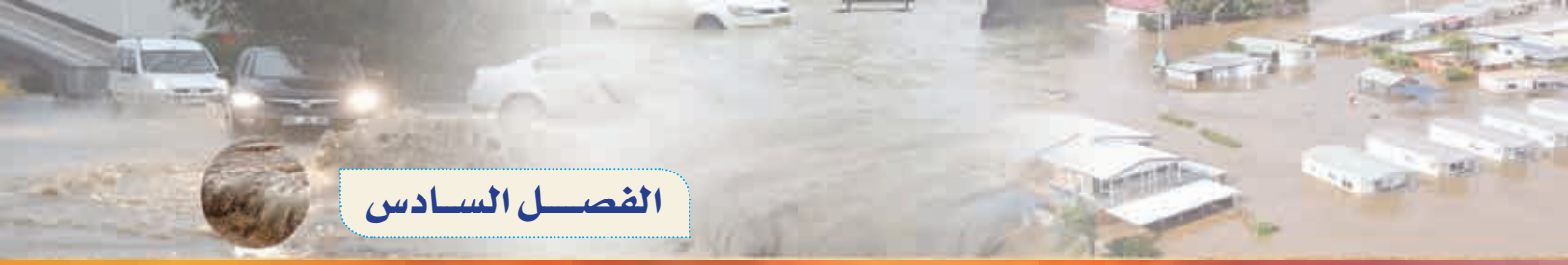
لا يمكن تقييم الآثار الصحية للفيضانات بشكل عامٍّ من خلال الدراسات الوبائية المستقبلية الخاضعة للرقابة؛ ولذلك، فإن الكثير من المؤلفات حول الآثار الصحية والمشورة المتاحة تأتي من التحليل النفعي مع أثر رجعي ودراسة الحالة (الدروس المستفادة).

تمثل الكوارث الطبيعية، التي تعتبر الفيضانات أحدها، ظروفاً صحية فريدة وقد حظيت باهتمام بحثي متزايد على مدار السنوات القليلة الماضية. هذا ينطبق بشكل خاصٍّ 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 وخلاله وبعده ذات قيمة كبيرة في زيادة فهمنا.

الضروري في الأمر هو أن يجري تضمين موضوع الصحة في الاستجابة الكاملة للفيضانات من قِبل 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 الفعَّال، أن يمكّن من الإدارة الفعَّالة للصحة والإغاثة في حالات الطوارئ في أي كارثة معينة. فيما يأتي حُدّدت الاحتياجات البحثية التي تشمل:

- **البيانات الوبائية** عن الآثار الصحية للفيضانات غير مكتملة، وسيكون المزيد من العمل على الأحداث المستقبلية التي تغطي ما قبل الفيضان وخلاله وبعده ذات قيمة كبيرة في زيادة فهمنا.
- **يوجد حاجة** إلى مزيد من العمل لفهم الوفيات الفورية وطويلة الأجل من الفيضانات، وتأكيد النتائج.
- **لا تزال المعلومات المتعلقة** بأسباب وأنواع الإصابات غير مكتملة، وهناك حاجة إلى المزيد من العمل للتحضير لهذه الأحداث والاستجابة لها ولتوثيق المخاطر بشكل كامل.
- **أجري عدد** قليل نسبيًّا من الدراسات الوبائية على السكان المعرضين للأمراض المعدية بعد الفيضانات، ولكن تلك التي أبلغ عنها حتى الوقت الحالي تبدو مطمئنة.
- **البيانات المتعلقة بالتلوث** الكيميائي غير كاملة وربما لا توفر معلومات كافية وموثوقة؛ هناك حاجة إلى مزيد من العمل، خاصة لتنبيه الزملاء الإكلينيكيين حول مخاطر أول أكسيد الكربون ومع خبراء البيئة للاتفاق على بروتوكولات أخذ العينات إذا لزم الأمر.
- **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.

- **مـن هـذه البيانـات**، يلـزم إجـراء مزيـد مـن البحـث حـول الصحـة العقليـة لتحديـد الأدوات والتدابيـر الأكثـر فاعليـة للتحقيـق في هـذه النتيجـة المعقـدة والمقلقـة لأحـداث الفيضانـات.
- **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.
- **التخطيـط لحـالات الطـوارئ** للمرافـق والخدمـات الصحيـة للفيضانـات ضعيـف، ولا يتـم دمجـه بالضـرورة في خطـط الطـوارئ الوطنيـة. يجـب أن تكـون الصحـة جـزءاً مـن جميـع خطـط الطـوارئ والاسـتجابة لهـا.

التخفيف من آثـــار مخاطـــر الفيضانـــات

إضافةً لعمليـة الإدارة الرشـيدة لمخاطـر الفيضانـات، يوجـد عـدة إجـراءات عمليـة وميدانيـة يمكنهـا أن تحدَّ أو تخفـف مـن آثـار مخاطـر الفيضانـات في النـاس. وسنتوسـع في الحديـث عنهـا هنـا لأنهـا تفيـد أصحـاب القـرار والأراضـي والقائمـين علـى إدارة مخاطـر الكـوارث الطبيعيـة.

• التصريـــف الأرضـــي

يمكـن تفـادي الفيضانـات الناجمـة عـن تراكـم الميـاه علـى أرض جافـة عـادةً عـن طريـق إزالـة الميـاه قبـل أن تتدفـق عبـر السـطح. وهـذا هـو الغـرض مـن التصريـف. نظـراً لأن الميـاه المتدفقـة تزيـل التربـة، يمكـن أن يسـاعد الصـرف أيضـاً في الحـد مـن تـآكل التربـة ومـن خـلال ذلـك، نقـل التربـة إلـى الأنهـار، فضـلاً عـن مشـكلات التلـوث وغمـر مصبـات الأنهـار والموانـئ.

تقليديّـاً، كان المزارعـون يحفـرون الخنـادق للتصريـف مـن حقولهـم، وقـد نجـد العديـد مـن الخنـادق في الريـف لـدى زيارتـه. تعمـل هـذه الخنـادق عـن طريـق منـع المـاء مـن دخـول الحقـل، لذلـك تُصنـع علـى طـول الجـزء العلـوي مـن الحقـل وبزاويـة قائمـة علـى المنحـدر.

تتدفـق الميـاه مـن الأرض فـوق الحقـل إلـى الخنـدق، ثـم علـى طولـه، وفي النهايـة إلـى نهـر أو بحيـرة. يعتمـد مقـدار المـاء الـذي يجمعـه الخنـدق علـى عمقـه. كلمـا كان الخنـدق أعمـق، تجمّـع المزيـد مـن الميـاه.

سـوف يتراكـم المـاء بشـكل طبيعـي في قـاع المنحـدر. إذا لـم تسـتطع التصريـف، فقـد تصيـر الأرض مشـبعةً بالميـاه. وهـذا يقلـل بشـكل كبيـر مـن قيمتهـا الزراعيـة وقـد يجعلهـا غيـر مجديـة للزراعـة.

لذلك فإنّ وجود سلسلة من الخنادق على فترات زمنية أسفل منحدر تكون فعَّالة جدّاً 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 تدريجيّاً 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 جدّاً، 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 خنـــــــادق؟

في بعض الحالات، يمكن استبدال الخنادق بأنابيب مثقبة، مما يسمح بتدفق المياه إليها. تؤدي هذه الأنابيب وظيفة 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 جدّاً.

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 قيِّمة لموائل الحياة البرية التي يجب الحفاظ عليها كلما أمكن ذلك.

• نباتات اســـتصلاح 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 فعَّالة بشكل خاصٍّ في المُهمَّة 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. إذْ 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، وتدريجيّاً، تمتلئ الأخاديد التي تحولت إلى (أنهار خضراء) بالتربة التي تحملها من الأرض إلى أي من الجانبين ويحتجزها العشب.

• المصـــارف الميدانيـــة

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 نظرًا 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 أفقيّاً أسفل المنحدر.

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

• مجـــــاري التصريـــــف

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

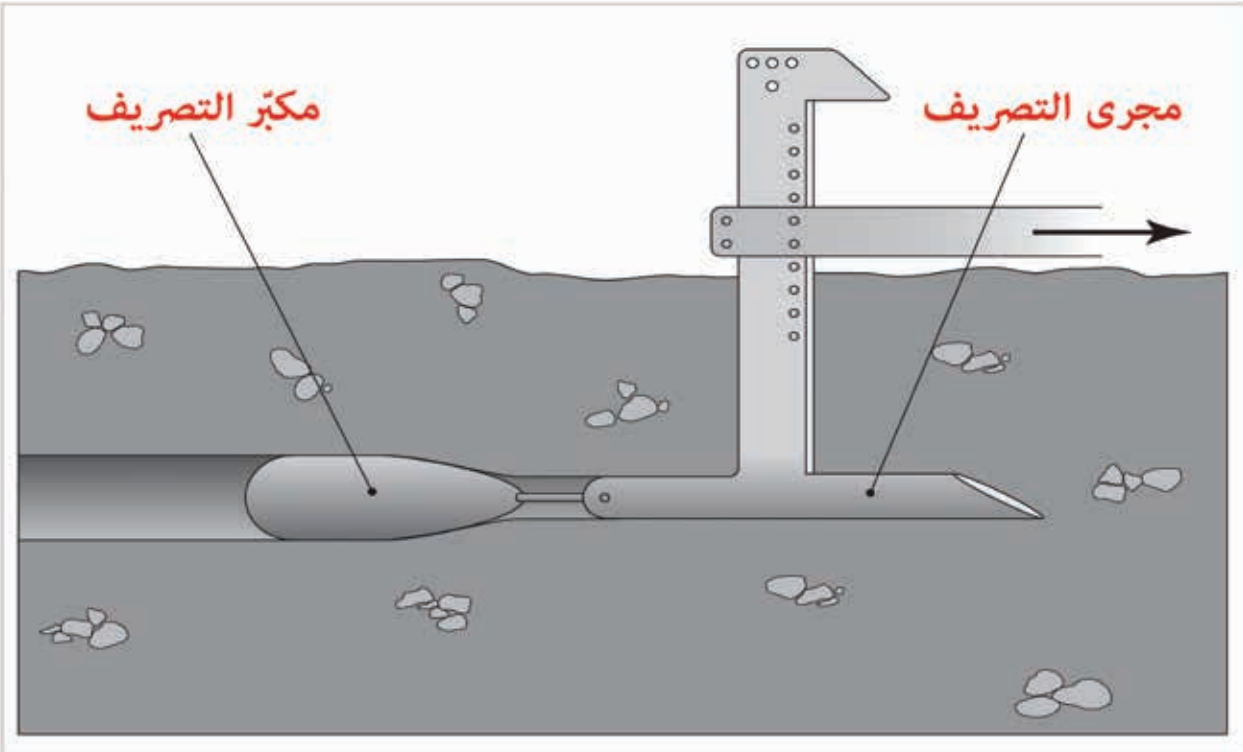
يوجد ميل في التربة الطينية الواقعة أسفل العمق الذي يمكن الوصول إليه عن طريق الحراثة إلى أن تكون شبه مشبعة بالمياه في الطقس الرطب وتحمّص بقوة في الطقس الجاف. وفي كلتا الحالتين، ينتج عن ذلك طبقةٌ كتيمة تشجع التربة العلوية على التشبع بالمياه، وعندما يحدث هذا، تتدفق مياه الأمطار عبر السطح بدلاً من امتصاصها. 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 يُحدث محراث المجاري ثلماً كما هو حال المحراث العادي، وإنما بدلاً من ذلك، يحوي على شفرة عمودية مع أسطوانة، تسمى مجرى التصريف، على شكل رصاصة ومثبتة أفقيّاً في الأسفل، وخلف مجرى التصريف، توجد أسطوانة عريضة، تسمى مكبّر 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 شقّاً 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 يغرس 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.



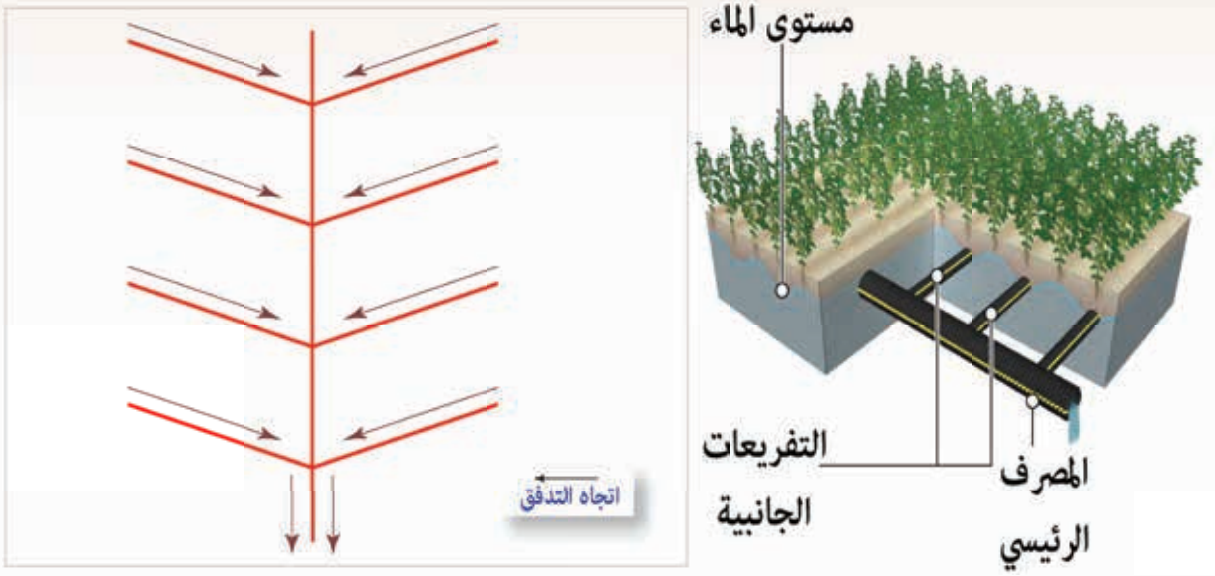
محراث مجرى التصريف. عندما يُسحب مجرى التصريف على شكل الرصاص من خلال التربة، فإنه يقطع الحفرة التي يجري توسيعها بواسطة مكبّر التصريف. يقوم الجهازان بتعبئة التربة على الجانبين، مما يؤدي إلى إنشاء نفق يعمل كمصرف ويستمر لعدة سنوات.

توفـر المصـارف المرصوفـة Tile Drains طريقـةً أكثـر ديمومـةً لإزالـة الميـاه الفائضـة ولكنهـا أكثـر تكلفـةً. أيضـاً، يمكـن اسـتخدامها في التربـة الطريـة جـدّاً مقارنـة بمجـاري التصريـف وتسـتمر لفتـرة أطـول. تصنـع المصـارف المرصوفـة مـن أقسـام قصيـرة مـن الأنابيـب موضوعـة مـن طـرف إلـى طـرف في قـاع الخنـدق.

قديمـاً، كانـت الأنابيـب تصنـع مـن الطـين المسـامي؛ أمـا حاليـاً فغالبـاً مـا تكـون مصنوعـة مـن البولـي إيثيلـين أو الخرسـانة ومثقبـة بثقـوب؛ لأن هـذه المـواد أرخـص وأكثـر متانـة.

مبـدأ المصـارف المرصوفـة هـو نفسـه المسـتخدم في مجـاري التصريـف، لكـن المصـارف المرصوفـة أكبـر بأقطـار تتـراوح بـين (7.6و30 سـم)، ومتباعـدة عـن بعضهـا كثيـراً. مـرة أخـرى، يعتمـد ذلـك علـى التربـة، ولكـن قـد توضـع المصـارف المرصوفـة علـى بُعْـد (21–30 متـراً).

يشـتمل النظـام علـى مصـارف جانبيـة، تتماشـى تقريبـاً مـع خطـوط الحقـل، التـي تغـذي المصـارف الرئيسـية، والتـي يطلـق عليهـا غالبـاً المجمعـات Collectors، والتـي تنقـل الميـاه بعيـداً إلـى حفـرة أو نهـر. تشـكل المصـارف نمطـاً يختلـف وفقـاً لشـكل الأرض وانحدارهـا. نمـط عظـم السـمكة، الموضـح في الرسـم البيانـي الآتـي، شـائع جـدّاً.

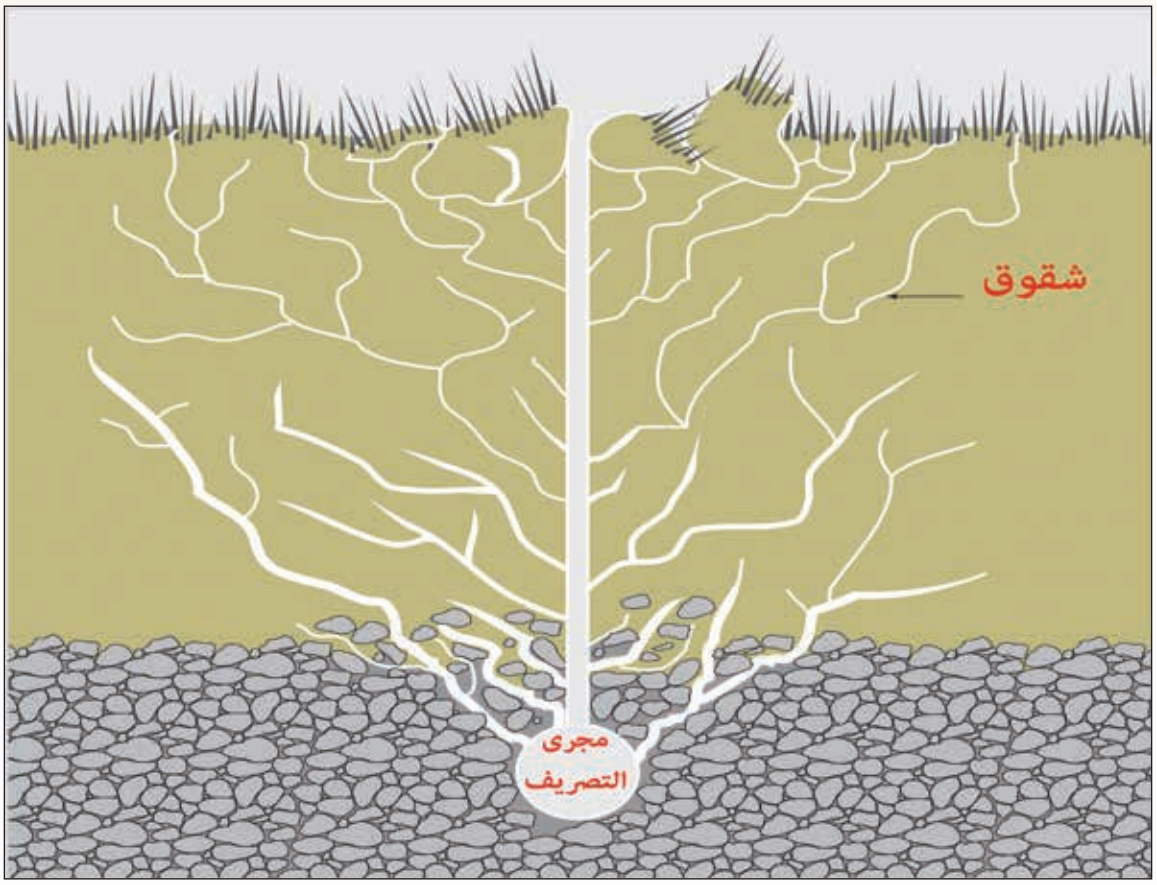


(لليمين) نمط متعدد من مصارف الحقل الجانبي التي تغذي المصرف الرئيسي. (لليسار) مخطط عملية توزيع المصارف واتجاه تدفق المياه.

• فوائـــد عمليـــة التصريـــف

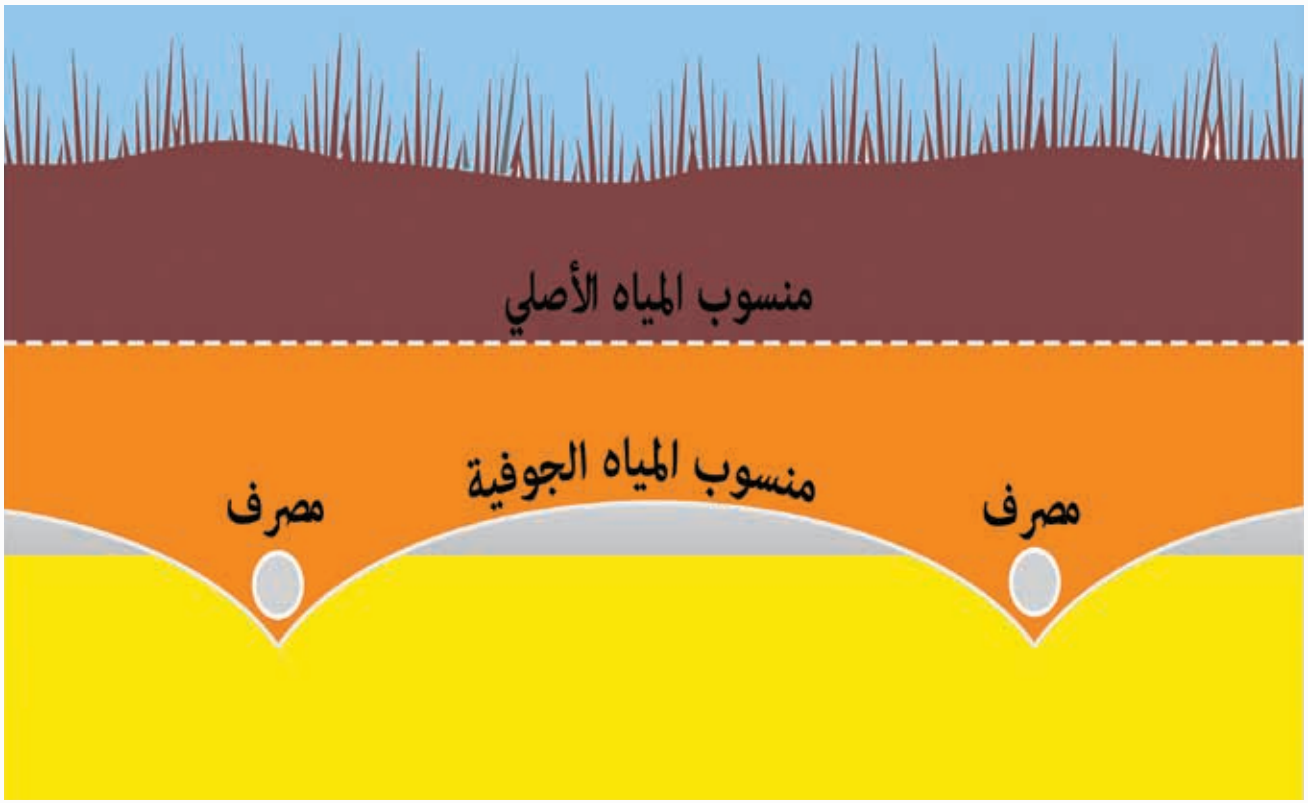
تعمل المصارف الحقلية – بجميع أنواعها– على خفض منسوب المياه الجوفية عن طريق سحب الماء إليها من كلا الجانبين. يسقط منسوب المياه الجوفية أولاً في المنطقة الأقرب للأنابيب، ثم ينتشر التأثير إلى الجوانب، وقد يستغرق الأمر عدة سنوات حتى تصل إلى سعة الصرف النهائية.

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 البِرك 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 مُدننا. 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 المُدن، 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.

• التصريـــف في الســـهول الفيضيـــة

قـد يـؤدي تصريـف الأراضـي إلـى زيـادة مخاطـر الفيضانـات بالقُـرْب مـن السـواحل وعلـى سـهول الأنهـار. الطريقـة الوحيـدة المؤكـدة لحمايـة المبانـي هـي وضعهـا بعيـداً عـن الميـاه.

غالبًا 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.

• الأراضـــي الرطبـــة

قد تبدو المستنقعات والأهوار والمستنقعات المالحة والسهول الطينية ومستنقعات المنغروف أماكن مملة 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 وتنميتها.

جـرى التوقيـع علـى الاتفاقيـة مـن قبـل 131 دولـة، والمعروفـة باسـم الأطـراف 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 ولويزيانا وأركنساس، أو المنطقة المشتركة بين فرنسا وألمانيا.

• تخزيـن الميـــاه ومنـع الفيضانـات

توجد مناطق رطبة مماثلة، أو كانت موجودة في السابق، على طول الروافد السفلية للعديد من الأنهار الكبيرة، بما في ذلك نهر المسيسيبي. هذه المياه المتصة 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 كتلٍ 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 جدًّا 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 فعَّال، ولكن في الوقت نفسه يبطّئ 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 لأغراضٍ أخرى.

• الأراضـي الرطبـــة الساحليـــة

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 يُقلل من احتمالية حدوث عواصف تجتاح الأراضي الداخلية.

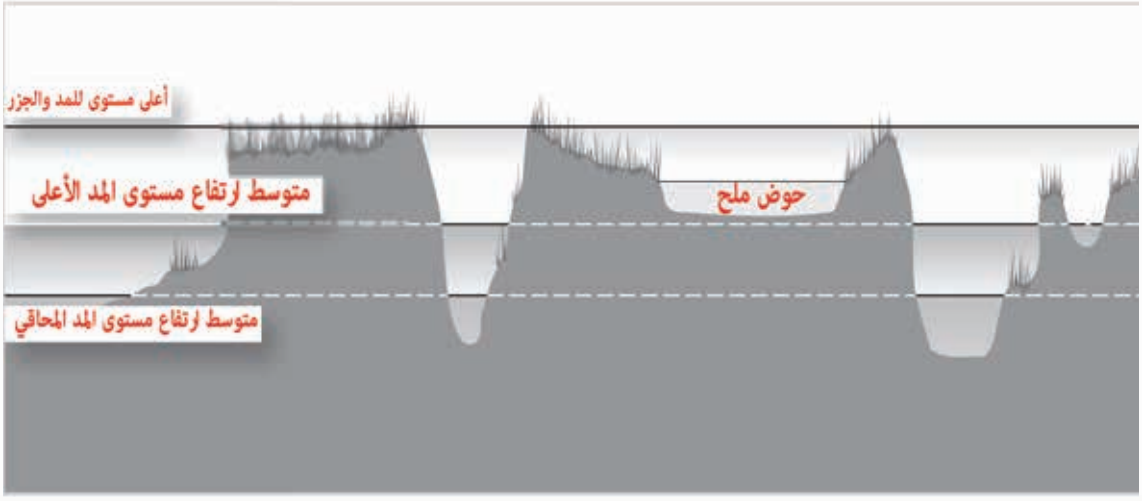
ينتقل الماء من اليابسة إلى البحر، معظمه عبر الأنهار، ولكن البعض الآخر ينتقل عن طريق التصريف مباشرة من الأراضي الساحلية أو من خلال مجاري صغيرة. تبدأ جزيئات التربة وحبيبات الرمل، المعلقة في المياه العذبة، في الاستقرار عندما تلتقي وتختلط بالمياه المالحة.

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 مُهمَّة للحفظ. تحفر الرخويات والديدان والحيوانات اللافقارية الأخرى فيها بأعداد كبيرة وتوفر الغذاء للطيور الخوض.

• المســـــتنقعات الملحيـــــة

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 للمشي 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 إيواءها خلف جدار بحري؛ لأنه لم يعد بإمكان المياه المالحة أن تغطيها وأن يغسل المطر تدريجيّاً الملح من التربة، التي تصير بعد ذلك شديدة الخصوبة. في الواقع، المستنقعات المالحة معقدة جدّاً. 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 وتحتفظ بها لفترة كافية لتبخر 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 بجِدار البحر الخاص بها، لأن المستنقعات الملحية تحمي الجِدار، مما يقلل من كمية التعزيزات التي يحتاجها وتكلفة صيانتها.

• مســـــتنقعات المنغـــــــروف

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 وثاني أكسيد الكربون بالمرور داخل وخارج النبات.

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

مثل المستنقعات الملحية والسهول الطينية في المناطق المعتدلة، جرى تطهير مستنقعات المانغروف على نطاق واسع: خشب المنغروف ذو قيمة للبناء وكوقود، يمكن تحويل الأراضي المستصلحة من المستنقعات إلى أراضٍ زراعية خصبة مناسبة بشكل خاصٍّ لزراعة قصب السكر، وموقعها في السواحل المحمية تشجع التنمية السياحية. كما أنها كانت ضحايا الحرب. خلال حرب فيتنام، جرى رش أشجار المانغروف 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 فإنّ إزالتها تزيل تلك الحماية وتترك الأرض المستصلحة عرضة للخطر.

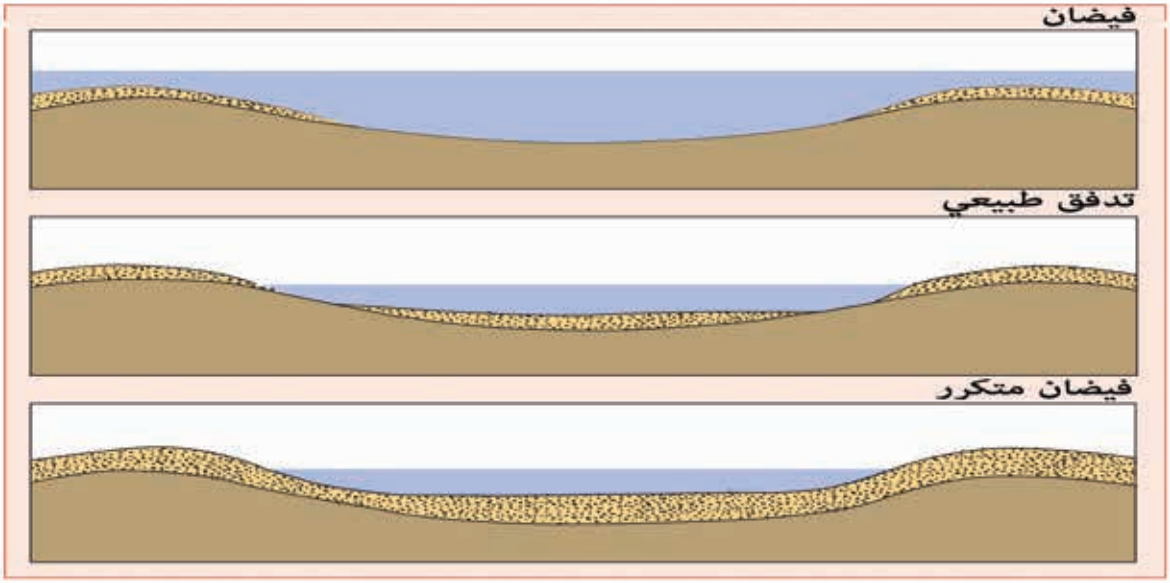
كما أنها تدعم مجموعة واسعة من الحياة البرية، بما في ذلك العديد من الأنواع التي تتكيف مع الظروف القاسية في الموائل التي تجف وتغمر بشكل متناوب، وفي حالة الأراضي الرطبة الساحلية المعرضة للمياه العذبة والمالحة بالتناوب. مع تجفيف الأراضي الرطبة، يتم تدمير الموطن وتختفي نباتاته وحيواناته. يجب الحفاظ على الأراضي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

• الحواجـــــز النهريـــــة

عندما يفيض نهر، تتباطأ المياه مع ارتفاعها فوق الضفاف. كلما تباطأ الماء، فإنه يفقد الطاقة. ومن شأن هذا أن يُقلل 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 تصير 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.



تظهـــر المقاطـــع العرضيـــة كيف يرفع النهر من سماكة ضفافه بمرور الزمن بسبب تراكـــم الرواســـب مشكـلاً حواجـــز نهريـــة.

يمكن أن تتشكل الحواجز من هذا النوع بشكل طبيعي، لذلك ليس من المستغرب أن الأشخاص الذين عاشوا بالقُرْب 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 وقتٍ 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 مترًا) 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 طُرد عدد أكبر من السكان من منازلهم، وأجبرت السلطات على إجلاء 330 ألف

شـخص يعيشـون علـى طـول مجـرى نهـر جيوجيانـغ. وقـد كان هـذا جـزءاً مـن مخططهم لخرق بعض حواجز المنبع بشكل متعمد من أجل تقليل الضغط على السدود في اتجاه مجرى النهر التي تحمي العديد من المُدن الصناعية المُهمَّة، والتي بدأت بالفعل في التسرب.

مع ذلك، بغض النظر عن الصعوبات والعواقب المروعة للفشل، فإن السدود توفر حماية جيدة جدّاً 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 عامٍّ، وأحياناً تطلق كميات كبيرة من المياه في الأنهار المحاطة بالسدود لإزالة الرواسب الزائدة منها، لكن الأنهار ليست كلها متشابهة. مع أنّ 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 وتترسب 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 المسيسيبي الكارثي عام 1927 نتيجة لسوء الحظ. في ذلك العام غمرت المياه أكثر من (64750 كم^2)، واجتاحت السدود في كثير من الأماكن، لكن الظروف كانت غير عادية.

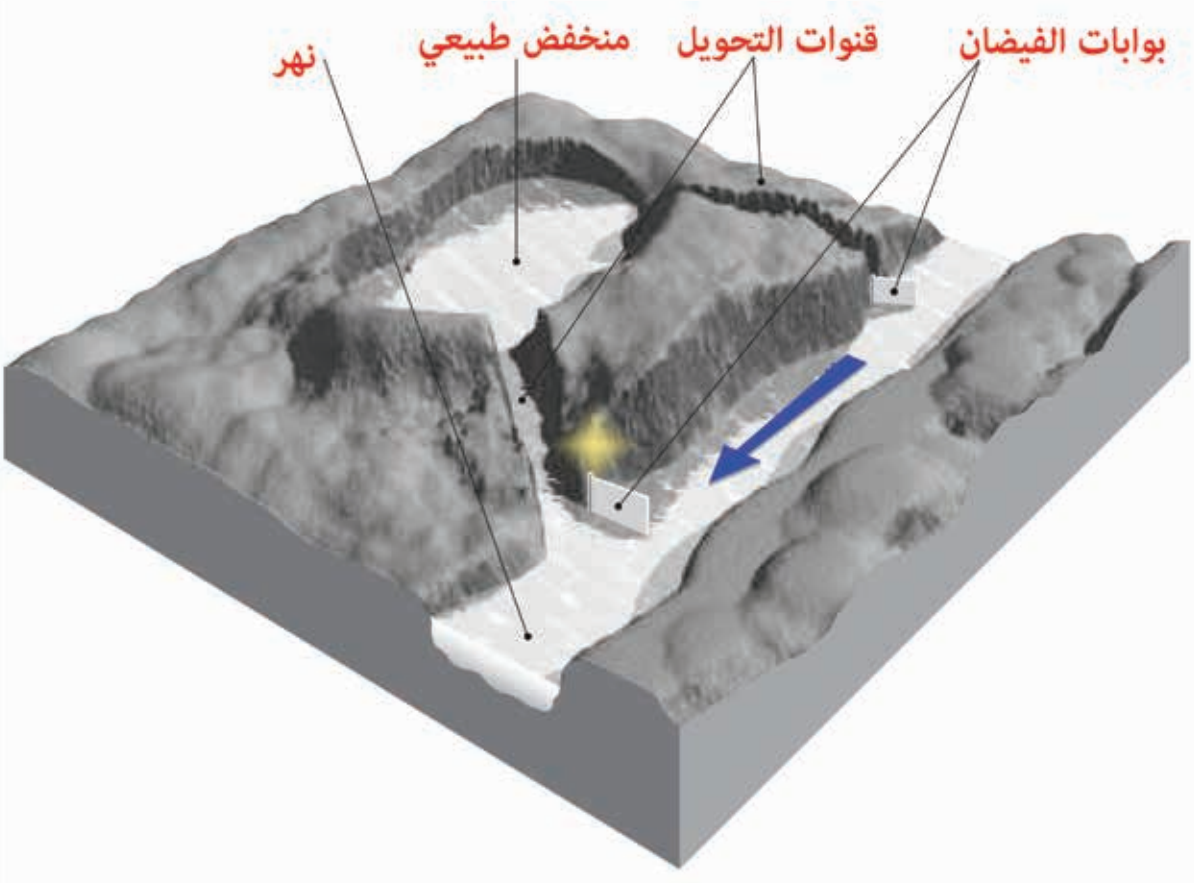
عادة ما تحمل الروافد الشرقية للنهر الرئيسي أقصى تدفق لها في أواخر الشتاء والربيع، من يناير حتى أبريل. ميسوري وروافده، التي تدخل من الغرب، تحمل ذروة تدفقها في يونيو. يسمح هذا للميسيسيبي بحمل تدفق الذروة الأول ثم بعد فاصل زمني، الآخر. ولكن بالصدفة البحتة، في عام 1927، حدثت الذرى في الوقت نفسه في جميع الروافد،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

بعد عشر سنوات، في يناير وفبراير 1937، فاضت ولاية أوهايو لتسبب أكبر فيضان في تاريخها المسجل، وفي القاهرة في ولاية إلينوي، ارتفع نهر المسيسيبي (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 المسيسيبي السفلي أفضل. وبهذه المناسبة صمدت السدود بينما كانت (56600 م^3) من المياه تتدفق على طول النهر كل ثانية. في الواقع، لم تكن هناك حوادث خطيرة في السدود في وادي المسيسيبي 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 تطغى 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، وترتبط قناة بطول 66 كم نهر دجلة مع منخفض الثرثار. غالباً ما تستخدم السدود لمنع تدفقات الذروة بالطريقة نفسها.

• جعـــل تدفـــق النهـــر أســـرع

في بعض الأحيان يكون من الممكن مساعدة النهر نفسه، من خلال زيادة قدرته الاستيعابية، مقاسة بمعدل تدفق المياه على طوله. 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 جـــــــزءٍ من مجراه أن ارتفاع قاع النهر من (30.5 م) إلى (15.25 م) فوق مستوى سطح البحر، لكن النهر يتعرج، فيبلغ طوله على ذلك الجزء من مجراه (32 كم).

مثلاً عند حفر القنوات لربط بعض التعرجات 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 خاصٍّ. 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.

موسوعة المخاطر الطبيعية
Encyclopedia of Natural Hazards

التســـــونامي

مُقَدِّمَة

إن كلمة **تسونامي** Tsu-nami هي مصطلح ياباني مكون من كلمتين : «**تسو**» ومعناها «**مينـــاء**» و«**نـــامي**» و معناها «**موجـــة**» ويعني حرفياً **موجة الميناء** Harbor Wave ربما لأنها تتسارع بصمت عبر المحيط دون أن يشعر بها أحد لتظهر فجأة أمواج عالية مدمرة. وبالتالي، فإن الكلمة اليابانية «**تسونامي**» هي المصطلح الصحيح والرسمي والشامل. لقد تم اعتماد هذا المصطلح دوليًا لأنه يغطي جميع أشكال توليد الموجات المندفعة. وقد استخدمها اليابانيون القدامى للتفرقة بين موجة المياه العاتية التي تدمر موانئ الصيد وموجات المياه العادية. إن موجات التسونامي غير مرتبطة تمامًا بالمد والجزر الفلكي التي تسببها تأثيرات الجاذبية خارج الأرض والقمر والشمس والكواكب.

احتفل المجتمع الدولي في 5 نوفمبر 2016 ولأول مرة باليوم العالمي للتوعية بأمواج التسونامي وذلك وفقا للقرار الصادر من الجمعية العامة للأمم المتحدة في 22 ديسمبر 2015م. ودعت الجمعية العامة للأمم المتحدة جميع الدول والهيئات الدولية والمجتمع المدني للاحتفال بهذا اليوم، من أجل رفع مستوى الوعي بأمواج التسونامي وتبادل الطرق المبتكرة للتقليل من مخاطره، كما طلب من مكتب الأمم المتحدة للحد من مخاطر الكوارث تسهيل الاحتفال باليوم العالمي للتوعية بأمواج التسونامي بالتعاون مع بقية منظومة الأمم المتحدة.

التسونامي Tsunami ظاهرة طبيعية تعتبر من أشد الظواهر فتكا عبر التاريخ قديما وحديثا ويرى الخبراء أن 80 % من موجات تسونامي تسجل في

المحيـط الهـادئ و 10 % في المحيـط الهنـدي وبـين 5 إلى 10 % في البحـر الأبيـض المتوسـط وهـي عبـارة عـن مجموعـة مـن الأمـواج الهائلـة والعاتيـة والكبيـرة جـداً والتـي تنتـج مـن تحـرُك كميـة هائلـة مـن ميـاه المحيطـات بفعـل بعـض الظواهـر والأحـداث المفاجئـة كالـزلازل، ولا تكـون هـذه الأمـواج مُشـابهة للأمـواج العاديـة التـي تنشـأ بفعـل حركـة الريـاح كمـا أنهـا لا علاقـة لهـا ببعـض الظواهـر التـي تنتـج عـن حركـة القمـر كالمـد والجـزر، ومـن هنـا لا يُحبـذ المتخصصـون إطـلاق مصطلـح موجـة المـد علـى التسـونامي.

ومـن أعنـف موجـات الميناء Tsunami خـلال القـرن الحالـي تسـونامي جـزر شـرق الويسـيان في أبريـل 1946م حيـث بلـغ ارتفـاع الموجـة 35م وتسـونامي نيكاراغـوا في سـبتمبر 1992م حيـث أغرقـت موجـة ارتفاعهـا 10 أمتـار 170 شـخصاً وتسـونامي أوكـو شـيري اليابانيـة في ديسـمبر 1993م حيـث وصـل ارتفـاع الموجـة إلـى 31م وكذلـك تسـونامي بابـوا غينيـا الجديـدة في يوليـو 1998م بارتفـاع بلـغ 15م و 5000 قتيـل غيـر أن التسـونامي الـذي ضـرب جزيـرة سـومطرة والهنـد وسـريلانكا في ديسـمبر 2004م يعـد الأعنـف خـلال الخمسـين سـنة الماضيـة وأودى بحيـاة أكثـر مـن 280000 شـخص.

إن الظـروف الحركيـة والبيئيـة التـي تتشـكل فيهـا التسـونامي لا تتوفـر في المنطقـة العربيـة. حيـث أن ذلـك يتطلـب أولاً أن تكـون منطقـة بحـار أو محيطـات مفتوحـة بـآلاف الكيلومتـرات بالإضافـة إلـى أن مناطـق التسـونامي النشـطة تتولـد مـن تصـادم صفيحتـين بشـكل فجائـي ورأسـي وهـذه الظـروف لا تتوفـر في البحـر الأحمـر والبحـر الأبيـض المتوسـط والخليـج العربـي نظـراً لمحدوديـة اتسـاعهم علاوة علـى أن الفوالـق في البحـر الأحمـر وخليـج العقبـة مـن النـوع الرأسـي و المضربـي ليـس لديهـا القـدرة الكافيـة علـى توليـد موجـات تسـونامية مدمـرة كمـا هـو الحـال في المحيطـين الهـادي والهنـدي. ولـم يسـبق تاريخيـاً أنـه سـجل أي موجـات تسـونامية منـذ 525 ق.م في شـبه الجزيـرة العربيـة بينمـا تم تسـجيل تسـع تسـونامات في منطقـة البحـر الأبيـض المتوسـط منـذ ذلـك التاريـخ.

ماهية موجات الميناء (التسونامي)

تجدر الإشارة أنه يجب التمييز أولاً بين ظاهرة التسونامي والأمواج المتولدة من الرياح أو من المد والجزر. فالرياح الخفيفة تؤدي إلى تجعد سطح المحيط على شكل أمواج قصيرة وقد يصل ارتفاعها إلى 30م في عرض المحيط ولكن حتى هذه الأمواج العالية ليست قادرة على تحريك المياه العميقة. أما أمواج المد والجزر فإنها تتولد من قوة الشد الناجمة عن جاذبية القمر أو الشمس التي تزحف مرتين يومياً حول الكرة الأرضية فهي تولد أيضاً تيارات مائية تصل إلى قاع المحيط كما تفعل التسوناميات.

الخاصية	التسونامي	الرياح	المد والجزر
طول الموجة	200 كم تقريبا	150 متر تقريبا	أكبر من 1000 كم
السرعة	600 كم/الساعة تقريبا	60 كم/الساعة	أكبر من 1000 كم/الساعة
الإرتفاع	نصف متر	عدة أمتار	متغير
الفتره	20 دقيقة	10 ثوان	12 ساعة

أما التسوناميات فإنها تتولد من حركة الدفع الفجائية التي يحدثها الزلزال تحت قاع المحيط نتيجة حركة تصدعية عنيفة من جراء تصادم صفيحتين. وفي بعض الحالات قد تنجم عن ثوران بركاني (جزيرة كراكاتوا الأندنوسية عام 1883م) أو سقوط نيزك أو حدوث إنزلاق أرضي تحت الماء. وتحدد حجم الأضرار لأمواج التسونامي عدة عوامل لعل أهمها:

- وقوع السواحل في محيط دائرة تحرك موجات التسونامي والتي لا تفقد الكثير من طاقتها مع التحرك نتيجة لطولها الموجي الكبير.
- الوضع الجغرافي للمنطقة الساحلية من ناحية ارتفاعها عن سطح البحر وكذلك تعامده مع اتجاه حركة الأمواج.

وعلاوة إلى ما تلحقه هذه الأمواج من خسائر في الأرواح والمنشآت إلا أن أضرار هائلة تلحق ببيئة المناطق الساحلية قد تحتاج إلى عشرات السنين لاستعادة طبيعتها.

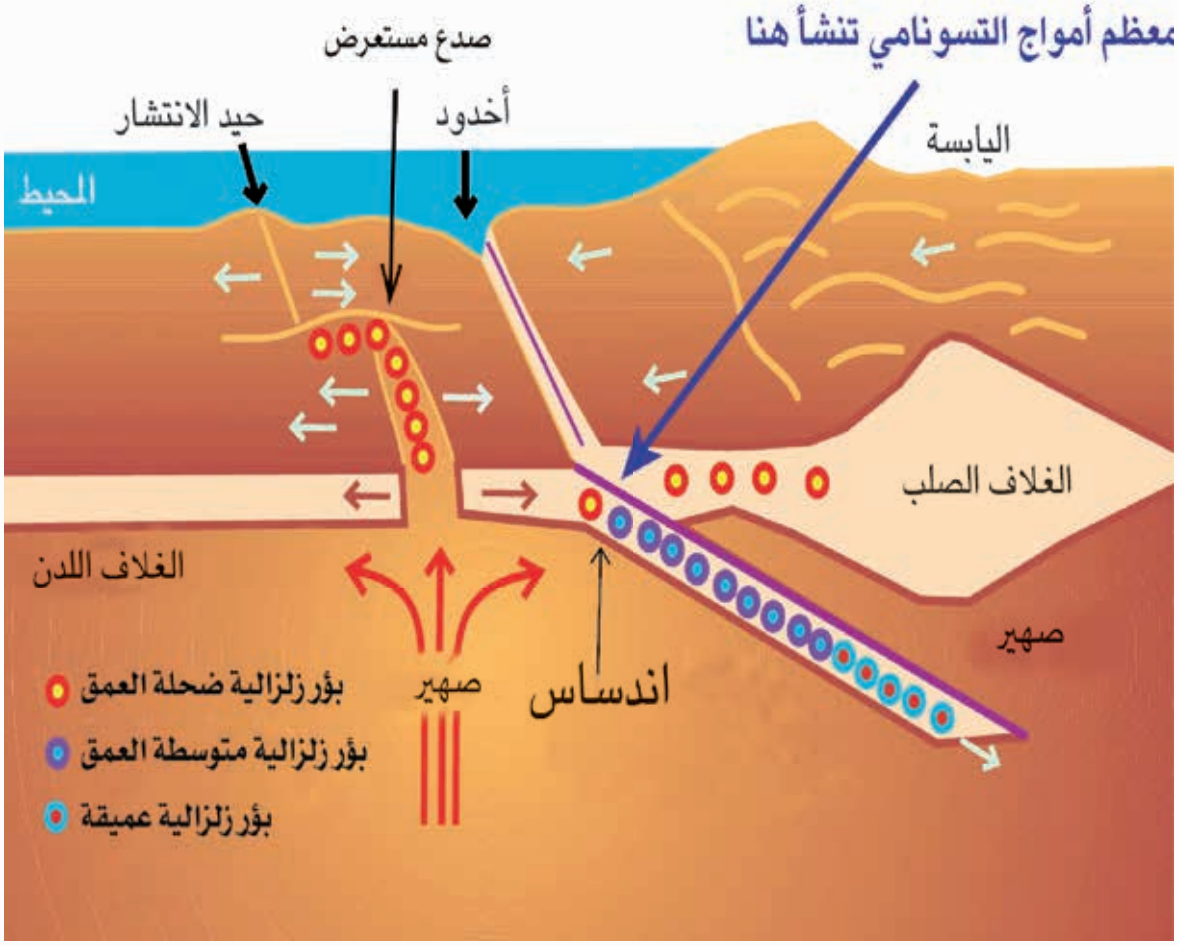
توجد العديد منَ العلامات التي تسبق حدوث موجة تسونامي:

- يتميز الماء برائحته الكريهة التي تنتشر في المكان.
- هزة أرضية خفيفة.
- انخفاض منسوب المياه أو ارتفاعه.
- سماع صوت قوي يُشبه صوت الرعد.
- مياه الشاطئ تتراجع بشكلٍ مفاجئ.
- خروج عدّة فقاعات منَ المياه.
- زيادة درجة حرارة المياه.

أسباب حدوث التسونامي

يرجع حدوث التسونامي إلى العديد من الأسباب المُختلفة؛ حيث إن هذه الأسباب تعمل على دفع كميات كبيرة من المياه في البحار والمحيطات مما يولد أمواجاً مائية ينتج عنها حدوثها، ويختلف احتمال حدوث التسونامي في المناطق المُختلفة تبعاً لطبيعة الصفائح التكتونية التي تتكون منها تلك المناطق، وتُعتبر المناطق الموجودة حول حوض المحيط الهادئ أكثر المناطق عرضةً لحدوث التسونامي فيها، وفيما يأتي الأسباب التي قد تؤدي إلى حدوث هذه الظاهرة:

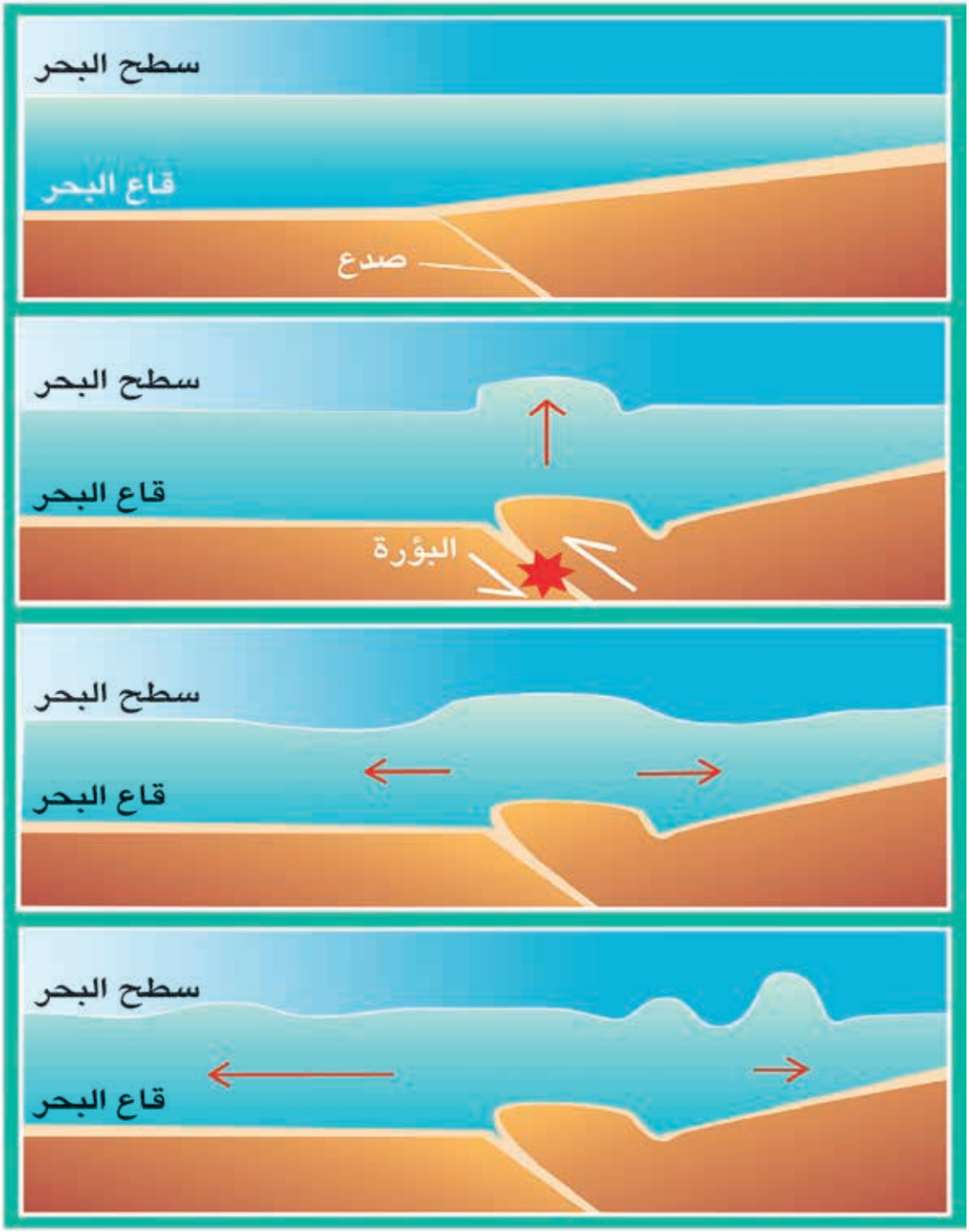
الزلازل: تُعتبر الزلازل السبب الرئيسي لنشوء معظم التسونامي حول العالم؛ إذ إنه عند حدوث الزلازل في قيعان البحار والمحيطات نتيجة لتحرك الصفائح التكتونية في القشرة الأرضية باتجاه بعضها البعض فإن كميات كبيرة من المياه ترتفع إلى الأعلى لتؤدي في بعض الأحيان إلى حدوث التسونامي؛ وتجدر الإشارة إلى أنه ليست كل الزلازل التي تحدث تؤدي إلى حدوث التسونامي، وحتى عند حدوث هذه الظاهرة فإنها لا تُعد دائما مُدمرة وذات تأثير كبير. يُشير العلماء إلى أن تسونامي واحد فقط من كل خمسة عشر يتسبب بحدوث دمار وأضرار كبيرة؛ ففي التسونامي الذي حدث في اليابان في العام 2011م نتيجة لزلزال حدث على بعد 70 كم من سواحل اليابان وبلغت قوته على مقياس ريختر تسعة درجات لقي الكثير من الأشخاص حتفهم بالإضافة إلى دمار كبير في المناطق التي وصل إليها التسونامي، حيث إنه وصل إلى مسافة عشرة كيلومترات داخل الأراضي اليابانية، وقد ارتفعت أمواج هذا التسونامي لما يُقارب 40 متراً.



تنتج معظم أمواج التسونامي عن زلازل كبيرةٍ ذات بؤرة ضحلة العمق تحدث عندما تندسّ صفيحة تكتونية تحت صفيحة مجاورة لها. كما تحدث زلازل ذات بؤرة ضحلة العمق على امتداد أحياد الانتشار، لكنها ليست كبيرة إلى درجة تكفي لكي تُحْدِث أمواج تسونامي. وتحدث أيضاً زلازل كبيرةٌ ذات بؤرة ضحلة العمق على امتداد الصدوع التحويلية، لكن لا تجري خلال التصدّع المعني إلا حركة شاقولية ضئيلة، ما يجعل الزلازل المعنية لا تُحْدِث أمواج تسونامي

تتولد موجات تسونامي الأكثر تدميراً من الزلازل الكبيرة الضحلة مع وجود مركز أو خط صدع بالقرب من قاع المحيط أو فوقه. تحدث هذه عادة في مناطق من الأرض تتميز بالاندساس التكتوني على طول حدود الصفائح التكتونية. الزلزالية العالية لهذه المناطق ناتجة عن اصطدام الصفائح التكتونية. عندما تتحرك هذه الصفائح عبر بعضها البعض، فإنها تتسبب في حدوث زلازل كبيرة تميل أو تعوض أو تزيح مساحات كبيرة من قاع المحيط من بضعة كيلومترات إلى ما يصل إلى 1000 كيلومتر أو أكثر. وتؤدي عمليات النزوح الرأسية المفاجئة فوق هذه المساحات الكبيرة إلى اضطراب سطح المحيط وتزيح المياه وتوليد موجات تسونامي مدمرة. يمكن للأمواج أن تسافر مسافات كبيرة من منطقة المصدر، وتنشر الدمار على طول مسارها. على سبيل المثال، نشأ تسونامي تشيلي العظيم عام 1960 عن زلزال بلغت قوته 9.5 درجة وكان له منطقة تمزق تزيد عن 1000 كيلومتر. كانت موجاتها مدمرة ليس فقط في تشيلي، ولكن أيضًا في أماكن بعيدة مثل هاواي واليابان وأماكن أخرى في المحيط الهادئ. وتجدر الإشارة إلى أنه ليست كل الزلازل تولد أمواج تسونامي. عادة يتطلب الأمر هزة أرضية بقدر 7.5 درجة لتنتج تسونامي مدمر.

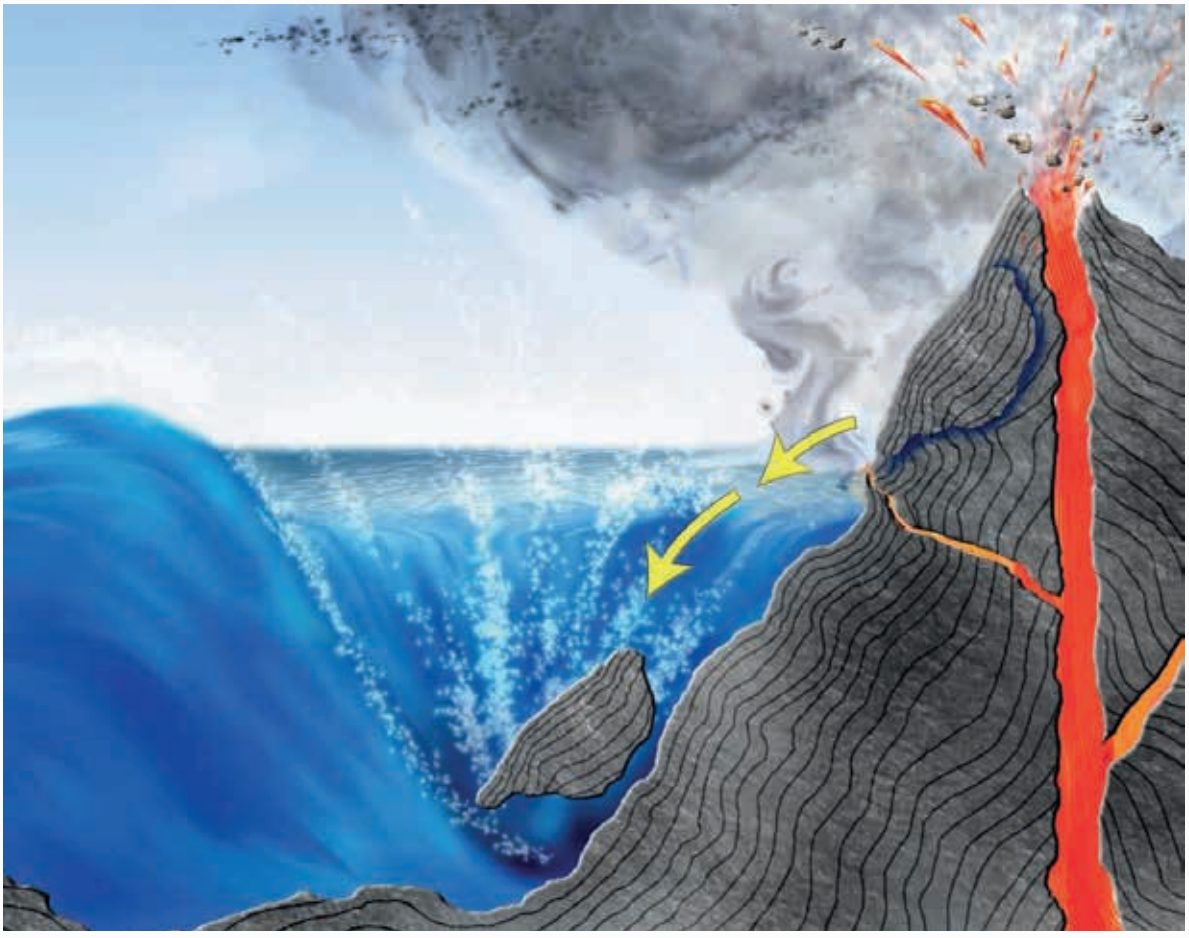
تتولد معظم موجات تسونامي عن طريق الزلازل الضحلة والعظيمة في مناطق الانغماس. تحدث أكثر من 80 % من موجات تسونامي في العالم في المحيط الهادئ على طول مناطق اندساس Ring of Fire.



غالبا ما تحدث أمواج التسونامي بسبب زلازل ذات بؤرة ضحلة العمق

البراكين: يُعـدُّ ثـوران البراكـين أحـد الأسـباب التـي قـد تـؤدي إلـى حـدوث التسـونامي، ومـن الأمثلـة علـى ذلـك بـركان كراكاتـوا الـذي ثـار في إندونيسـيا في العـام 1883م والـذي نتـج عنـه حـدوث تسـونامي أودى بحيـاة مـا يزيـد عـن 120 ألـف شـخص. التسـامي البركانـي ليس شـائعًا مثل تسـونامي الزلـزال ولكـن عندمـا يحـدث، يمكـن أن تكـون آثارهـا رهيبـة. هنـاك طريقتـان يمكـن أن تسـببهما البراكـين في حـدوث تسـونامي، أو موجـات المـد والجـزر كمـا هـي معروفـة أيضًـا.

الطريقـة الأولـى هـي مـن ثـوران بـركان علـى الأرض والثانـي مـن خـلال ثـوران بركانـي تحـت المـاء مـن بـركان «غواصـة» تحـت سـطح البحـر.



ثوران البراكين أحد الأسباب التي قد تؤدي إلى حدوث التسونامي

يحدث ثوران بركاني عندما يتراكم الضغط في الصهارة تحت سطح الأرض لبعض الوقت. في نهاية المطاف، تخترق الصهارة قشرة الأرض وتندفع إلى السطح عبر البركان. يحدث هذا في مناطق الاندساس على سطح الأرض، وهي المنطقة التي أصبحت تُعرف الآن باسم «حلقة النار» نظرًا لوجود العديد من الانفجارات البركانية هنا.

عندما يحدث الثوران، يتم فتح الجزء العلوي من البركان، المعروف أيضًا باسم فوهة البركان. يتم تفجير الغطاء حرفيًا بواسطة قوة الصهارة. يتسبب هذا في إزاحة أجزاء كبيرة من البركان. عندما يكون البركان بجوار البحر، يتساقط الحطام في الماء. غالبًا ما تتدفق الحمم البركانية أيضًا إلى البحر ويتم بعد ذلك إزاحة كميات كبيرة من المياه.

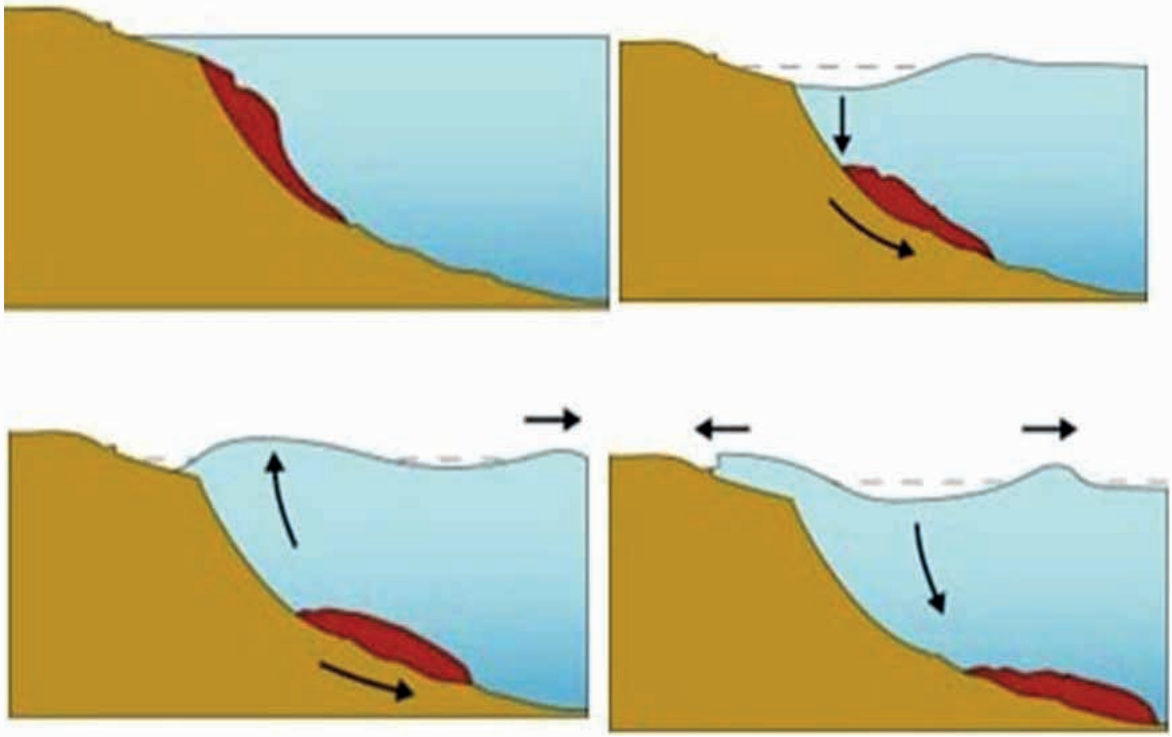
تستمر طاقة الأمواج في السفر عبر البحر. من المتعارف عليه أن الطاقة لا يمكن إنشاؤها أو تدميرها، فهي ببساطة تنتقل. وهكذا تستمر الموجة عبر البحر حتى تصل إلى الساحل. هناك المياه ضحلة والموجات الزلزالية تحت السطح تصبح كبيرة، موجات المد والجزر القوية التي تغمر الشاطئ وتصطدم بالمباني، مما يتسبب في كل الآثار الكارثية التي نربطها بأمواج تسونامي.

الطريقة الثانية التي يمكن أن تسبب بها البراكين تسونامي هي عندما تكون تحت الماء، والمعروفة أيضًا باسم البراكين «الغواصة» أو البراكين البحرية. يمكن العثور على البراكين الغواصة من خلال وجود محتوى صخري مرتفع وبخار فوق سطح الماء. تشكل هذه البراكين الغواصة أعمدة شديدة الانحدار فوق فوهاتها، وهي ميزة غالبًا ما تكون غائبة في البراكين الأرضية.

يمكن أن ينتج عن الثوران البركاني تحت سطح البحر مصاعد عالية الحجم في قاع البحر. يقترن هذا بإجبار الحمم على الخروج في الماء. تتصلب الحمم

بسـرعة وتتحـول إلـى صخـور. مثـل هـذا الاندفـاع هـو تفاعـل متفجـر بـين المـاء والصهـارة، والتـي تنتـج تفـرا حبيبـات دقيقـة مـع انبعـاث الغـازات البركانيـة والبخـار. يتسـبب الثـوران البركانـي في ثـوران البـركان في الأرض ويدفـع أعمـدة الميـاه الكبيـرة إلـى أعلـى لتوليـد تسـونامي. يـؤدي الانفجـار في البحـر أيضًـا إلـى إزاحـة كميـات كبيـرة مـن الميـاه، ممـا يتسـبب في حـدوث موجـات زلزاليـة تحـت المـاء.

الانهيارات الأرضية: تحـدث الانهيـارات الأرضيـة تحـت المـاء فقـط عندمـا يكـون الانهيـار الأرضـي بالقـرب مـن الشـاطئ، ممـا يـؤدي أيضًـا إلـى حـدوث تسـونامي. تمامًـا مثـل الـزلازل تحـت المـاء، تتسـبب الانهيـارات الأرضيـة تحـت المـاء أيضًـا في حـدوث تسـونامي بسـبب الحركـة الشـديدة تحـت المـاء.



تحدث الانهيارات الأرضية تحت الماء فقط عندما يكون الانهيار الأرضي بالقرب من الشاطئ

السبب الأكثر شيوعًا للانهيارات الأرضية تحت سطح البحر Submarine Landslide-Induced Tsunamis هو الانحدار المفرط بسبب ارتفاع معدلات الرواسب التي تترسب على المنحدرات شديدة الانحدار بالفعل. تشمل العوامل المسببة الأخرى الزلازل، ونطاقات المد والجزر الكبيرة التي يمكن أن تكشف الرواسب غير المستقرة وتضعف قبضتها على المنحدر، وأنشطة البناء في المناطق الساحلية، أو مزيج من هذه.

التسونامي الناجم عن الانهيارات الأرضية التحت جوية
Subaerial landslide-Induced Tsunamis

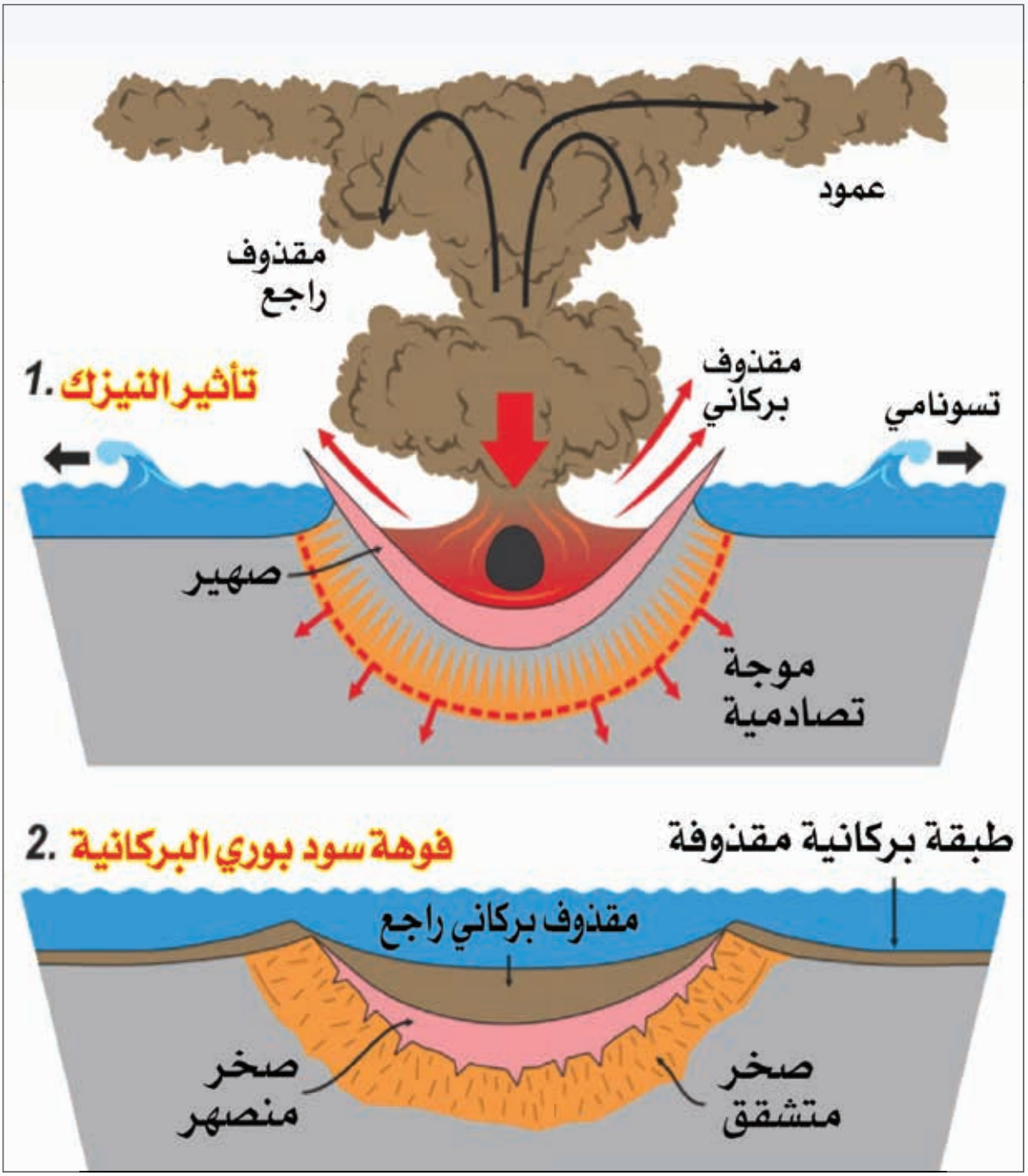
هي الأسهل في تصورها. تحدث هذه بسبب كمية هائلة من المواد التي تؤثر بشكل مباشر على سطح الماء من الأعلى. يتم إزاحة الماء، مما يجبر موجة إلى الخارج من نقطة التأثير. غالبًا ما تحدث هذه الانزلاقات الأرضية بسبب المنحدرات الشديدة التي ترتفع مباشرة خارج الماء، والتآكل السريع الناجم عن التراجع الجليدي أو الولادة، والأمطار الغزيرة في المناطق الساحلية، والزلازل المتكررة. لقد حدثت أيضًا بسبب الانفجارات البركانية. عادة ما تنتج الانهيارات الأرضية تحت الجوية أكبر موجات بسبب الحجم الإضافي للمواد التي تؤثر على السطح وتتسبب في موجة قمة رائدة. كانت أكبر ارتفاعات لموجات تسونامي التي تم تسجيلها على الإطلاق بسبب الانهيارات الأرضية تحت الجوية.

يُعتبر التسونامي الذي حدث في خليج ليتويا في ألاسكا في العام 1958م أحد الأمثلة على التسونامي الذي يحدث نتيجة لانهيارات أرضية كبيرة، ويُروى بأن ارتفاعه بلغ عند جانبي الخليج لما يزيد عن 520 متر فضلاً عن أمواج هائلة بلغ ارتفاعها 30 متراً، ولا يقتصر حدوث التسونامي على حدوث انهيارات أرضية، حيث يُمكن أن يحدث التسونامي نتيجة لانهيار أجزاء من الأنهار الجليدية في الميـاه.

النيـــازك والكويكبـــات

نظرًا لأن ثلثي الأرض مغطاة بالمياه، فمن المحتمل أنه عندما يصطدم كويكب أو نيزك بالأرض، فإنه سيهبط في المحيط. سيكون هذا مدمرًا لمعظم المناطق الساحلية بسبب تسونامي المدمر، لكن التأثير نفسه على الأرض من شأنه أن يخلق سحابة من الغبار، والتي من المحتمل أن تحجب الشمس لعدة أشهر. قد يتسبب تأثير النيزك في حدوث تسونامي ولكنه نادر جدًا. عندما يسقط نيزك في الماء، فإنه يتسبب في تأثير سرعة عالية، مما يتسبب في حدوث موجة صدمة في الماء، وبالتالي تكوين موجات.

في نهاية العصر الطباشيري، قبل 65 مليون سنة، ضرب **نيزك تشيككسولوب** بعرض 10 كيلومترات المنطقة التي تشكل الآن شبه جزيرة يوكاتان على الساحل الشمالي للمكسيك. تشكلت فوهة بركان ضخمة بعرض 180 كيلومترًا عندما تطايرت كميات هائلة من الغبار والصخور في الغلاف الجوي من جراء الاصطدام. كما تصاعدت سحب البخار الشاسعة حيث تحول الماء على الفور إلى بخار. بالإضافة إلى ذلك، فإن موجات الصدمة الناتجة عن النيزك كانت ستنتقل من موقع التأثير، مما تسبب في حدوث موجات تسونامي هائلة في المحيطات القريبة. تم تدمير أعداد هائلة من الكائنات الحية من خلال الآثار المباشرة لتأثير النيزك وموجات المد المصاحبة. في الواقع، يقدر العلماء أن أكثر من نصف الأنواع النباتية والحيوانية على الأرض (بما في ذلك الديناصورات) قد انقرضت في هذا الوقت.



ضرب نيزك بعرض 10-16 كيلومتر الأرض منذ 1.8 مليار سنة. تشكلت فوهة بركان طولها 250 كيلومترًا لتشوه القشرة إلى عمق 16 كيلومترًا. يؤدي التأثير إلى تشويه قشرة الأرض إلى أعماق تصل إلى 61 كيلومترًا، مما يسمح للنيكل والنحاس والزنك والصهارة الغنية بالحديد بالصعود من عباءة الأرض.

ضرب نيزك تشيككسولوب شبه جزيرة يوكاتان على الساحل الشمالي للمكسيك وتشكلت فوهة بركان ضخمة بعرض 180 كيلومترًا

خصائص التسونامي

تختلف شدة التسونامي وتأثيره على المناطق الساحلية تبعاً لاختلاف طبيعة المناطق الشاطئية؛ فقد يكون في بعض المناطق ذو تأثير طفيف بينما قد يكون مُدمراً بشكل كبير في مناطق أخرى، وفي حال كان قاع الموجة أول جزءٍ يصل منها إلى الساحل فإن ذلك يتسبب بانخفاض ملحوظ لمستوى المياه في سطح البحر، أما في حال وصول قمتها إلى الساحل أولاً فإن ذلك سيؤدي إلى حدوث ارتفاع كبير في مستوى سطح البحر، وتمتاز الموجات جميعها بوجود خصائص مُشتركة تجمعها فموجات التسونامي أو الموجات العادية لها ما يُعرف بالطول الموجي، وسعة الموجة، وارتفاعها، وترددها، وسرعتها، وفيما يأتي توضيح لكل من هذه المفاهيم والخصائص التي تُميز أمواج التسونامي:

الطول الموجي: يُعرّف الطول الموجي بانه المسافة التي تقع بين نقطتين متماثلتين بين موجتين متتاليتين، ففي حين يتراوح الطول الموجي للأمواج العادية في المحيطات من 100 متر إلى 200 متر، فإن موجات التسونامي ذات طول موجي أكبر بكثير حيث قد تصل إلى خمسمائة كيلومتر. ارتفاع الموجة يشير إلى المسافة بين قاع الموجة وقمتها.

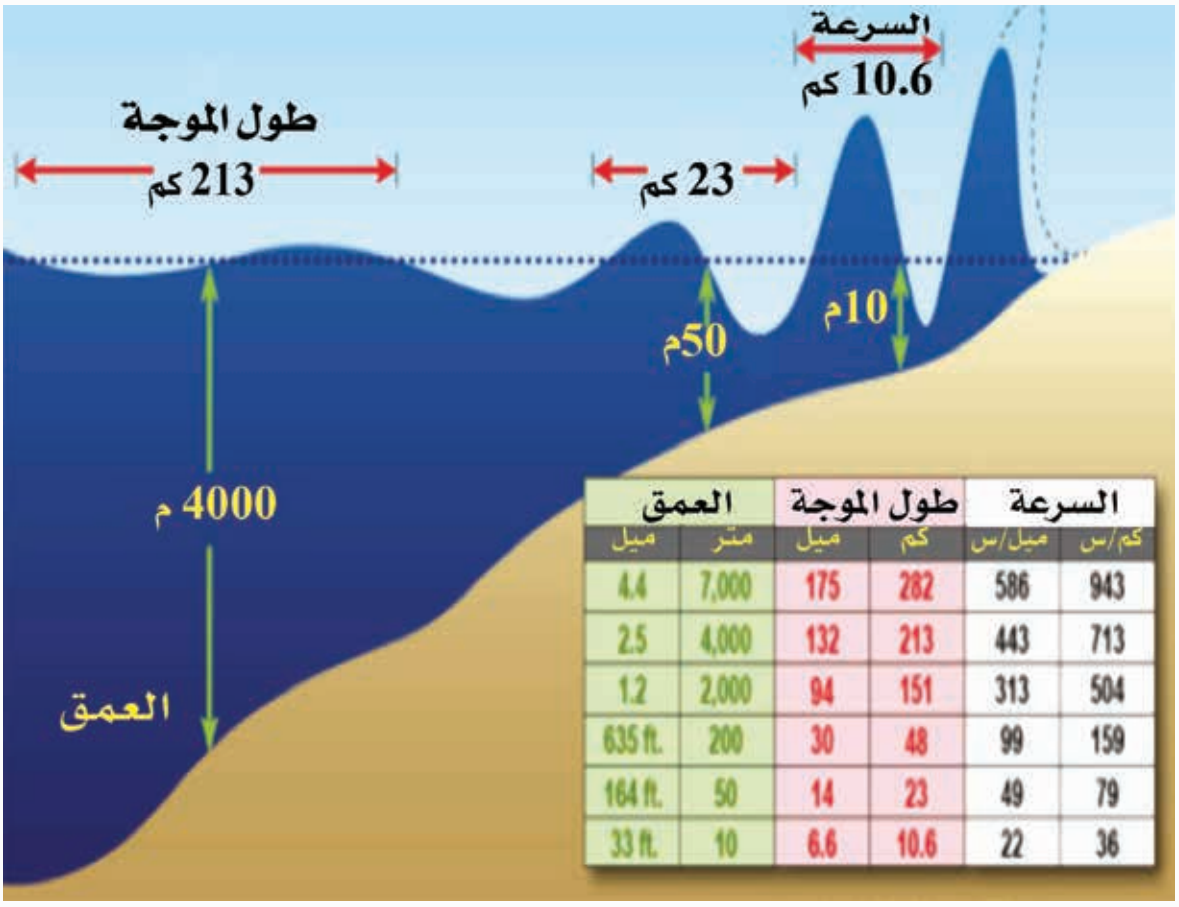
سعة الموجة: تمثّل المسافة بين قاع الموجة وخط الماء الثابت، وتختلف سعة موجات التسونامي تبعاً لاختلاف عمق المياه، وعادة ما تكون سعة الموجة مساوية لنصف ارتفاعها.

تردد الموجة: يُعرف تردد الموجة بأنها الفترة الزمنية التي تحتاجها الموجة لتكرير نفسها، ففي حين تحتاج الموجات الطبيعية التي تحدث في المحيطات إلى زمن مقداره خمسة إلى عشرين ثانية لتكرار نفسها، فإن موجات التسونامي قد تحتاج إلى فترة زمنية تتراوح بين عشرة دقائق إلى ساعتين لتكرار نفسها.

سـرعة الموجـة: وهـي السـرعة التـي تتحـرك بهـا الموجـة، وتصـل سـرعة أمـواج التسـونامي إلـى سـرعات عاليـة تصـل إلـى 950 كـم في السـاعة الواحـدة، وهـو مـا يُعـادل سـرعة طائـرة نفاثـة، بينمـا تبلـغ سـرعة الأمـواج العاديـة التـي تحـدث في المحيطـات إلـى مـا يُقـارب 90 كـم في السـاعة الواحـدة.

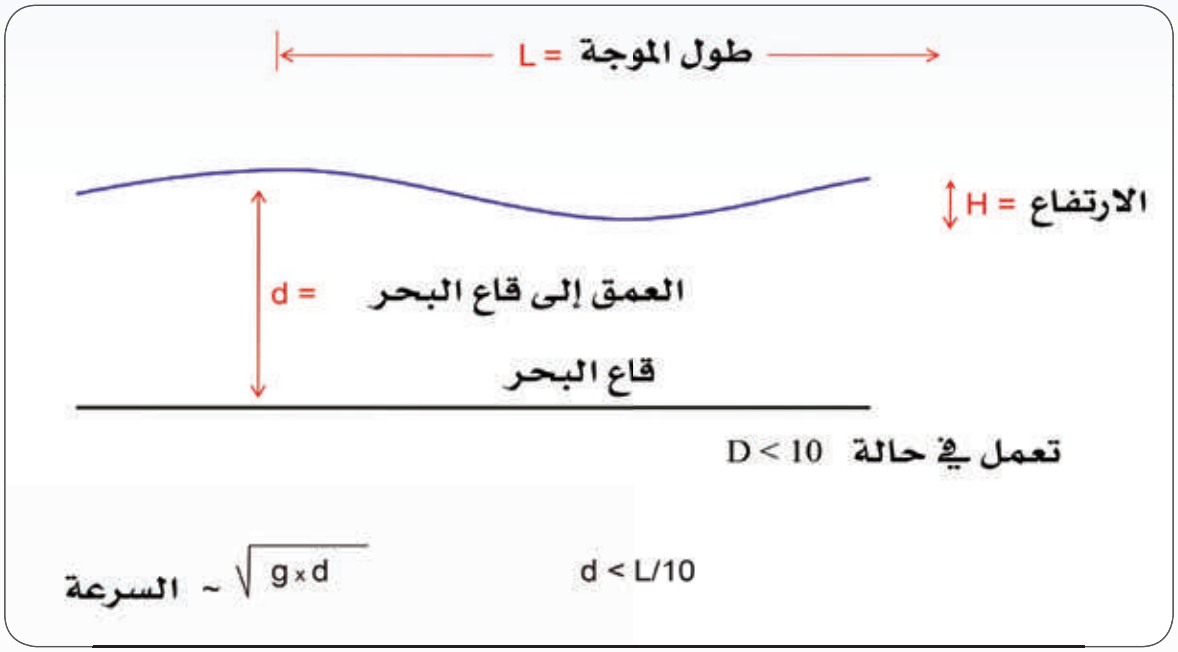
تتميـز أمـواج التسـونامي العملاقـة بمـدى طويـل جـداً فهـي قـادرة علـى نقـل الطاقـة المدمـرة مـن مصدرهـا في المحيـط إلـى مسـافة تبلـغ آلاف الكيلومتـرات. حيـث تندفـع في أعمـاق المحيطـات بسـرعة تزيـد علـى 700 كـم في السـاعة وعلـى الرغـم مـن سـرعتها فإنهـا لا تشـكل خطـراً في الميـاه العميقـة. فالموجـة الواحـدة منهـا لا يزيـد ارتفاعهـا عـادة عـن متـر واحـد في وسـط المحيـط في حـين يصـل ارتفاعهـا إلـى أكثـر مـن 10 أمتـار عنـد اصطدامهـا بالشـواطئ.

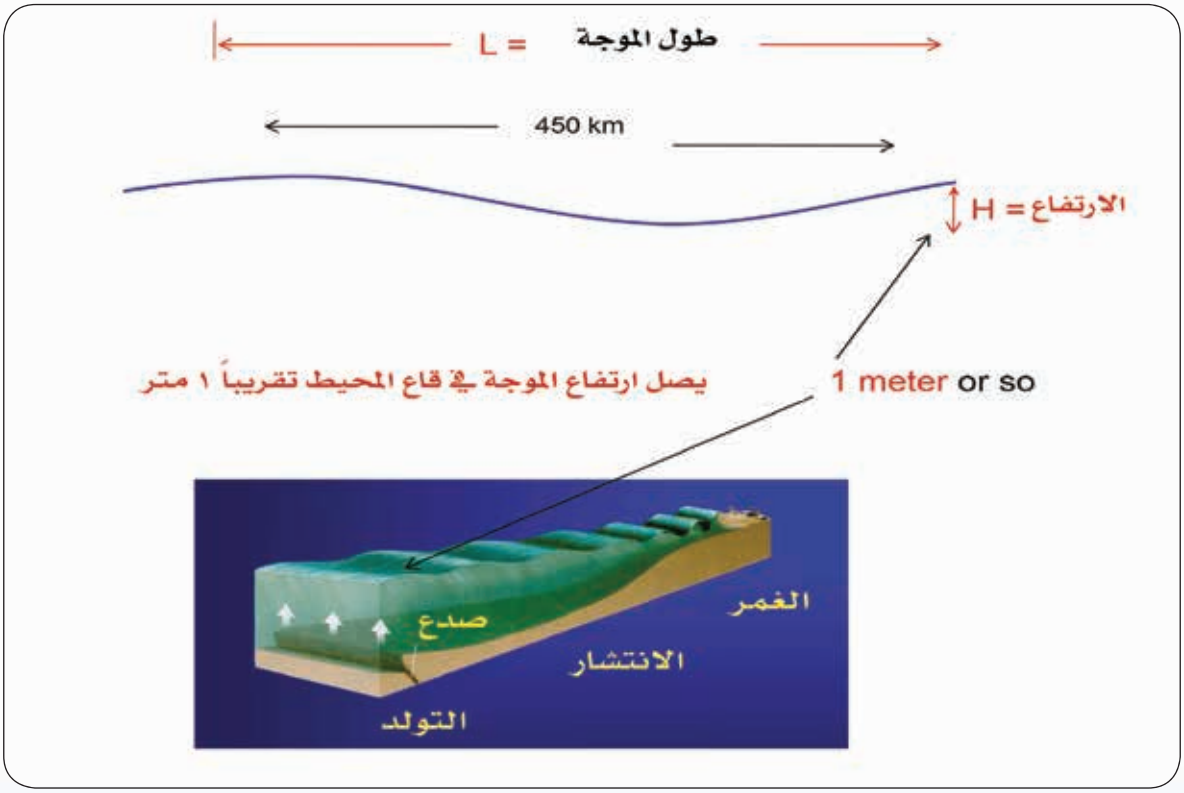
ويمكـن حسـاب سـرعة الموجـات التسـونامية مـن الجـذر التربيعـي لقيمـة العجلـة الأرضيـة مضروبـا في عمـق المـاء. فـإذا كان عمـق المـاء 5 كـم فـإن السـرعة تسـاوي 800 كـم/س. أمـا طـول موجـة التسـونامي فتبلـغ 200 كـم إذا كانـت الفتـرة الدوريـة 15 دقيقـة. أي أنـه كلمـا كانـت الميـاه أكثـر عمقـا وكانـت الموجـة أكثـر طـولا كانـت الموجـة التسـونامية ذات سـرعة أكبـر.



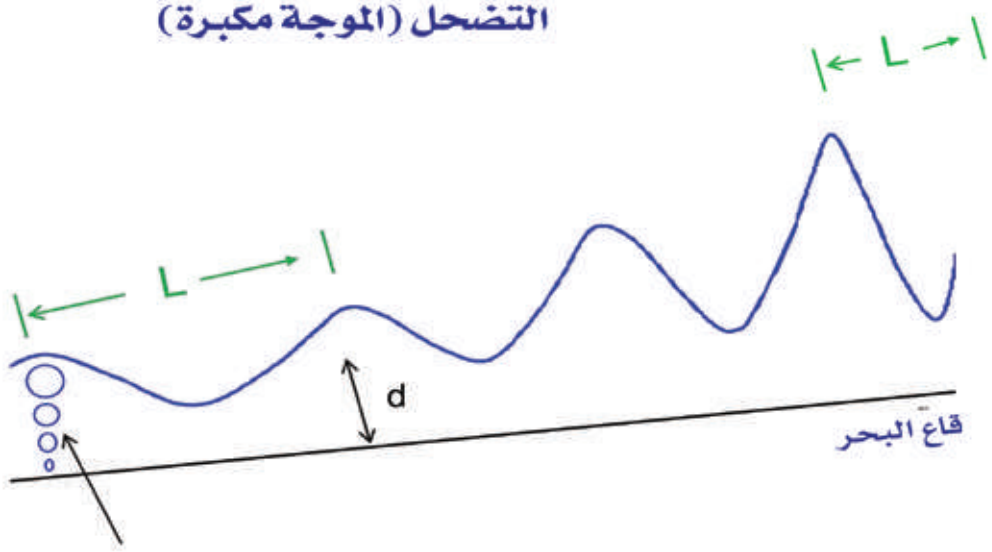
العمق		طول الموجة		السرعة	
ميل	متر	ميل	كم	ميل/س	كم/س
4.4	7,000	175	282	586	943
2.5	4,000	132	213	443	713
1.2	2,000	94	151	313	504
635 ft.	200	30	48	99	159
164 ft.	50	14	23	49	79
33 ft.	10	6.6	10.6	22	36

العلاقة بين طول الموجة والسرعة وعمق الماء عند حدوث التسونامي . تتحرك موجات التسونامي الطويلة عبر المحيط وتنضغط عند اقترابها من الساحل


طول الموجة = L
الارتفاع = H
العمق إلى قاع البحر = d
قاع البحر
تعمل في حالة D < 10
السرعة ~ √(g×d)
d < L/10


طول الموجة = L
450 km
الارتفاع = H
يصل ارتفاع الموجة في قاع المحيط تقريباً ١ متر
1 meter or so
الغمر
صدع
الانتشار
التولد

التضحل (الموجة مكبرة)

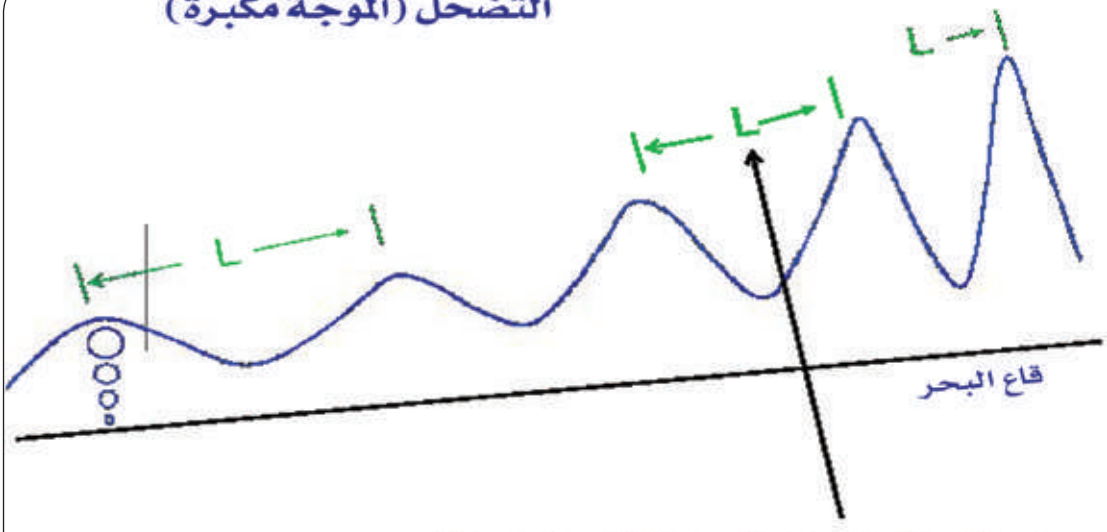


دوران الجزيئات
يبدأ في قاع المحيط عندما يكون العمق

$$d = \frac{L}{2}$$

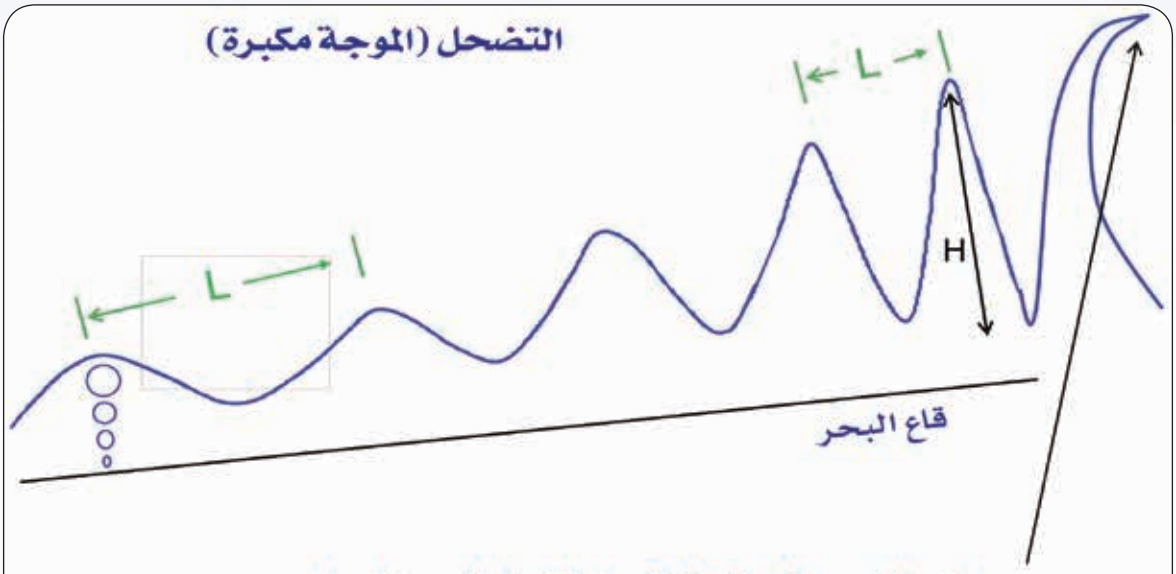
حيث L تمثل طول الموجة

التضحل (الموجة مكبرة)



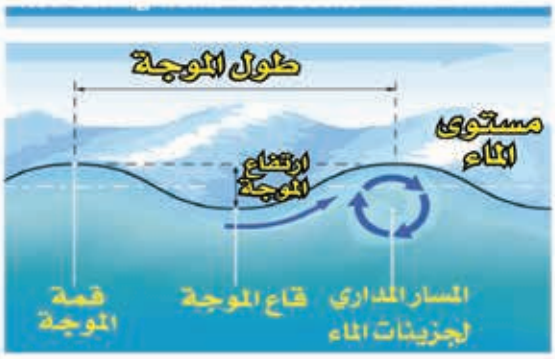
عندما تتباطئ الموجات فيكون طول الموجة يكون أكثر

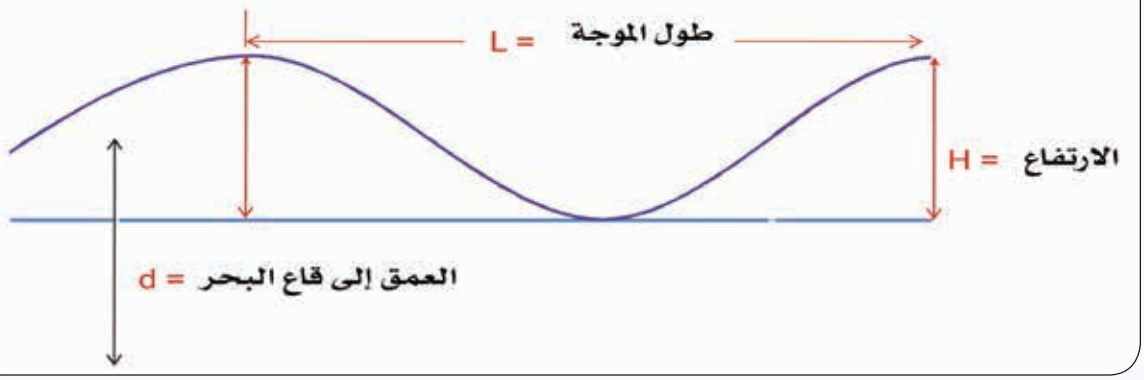
$T = \frac{L}{V}$ بينما الفترة تبقى ثابتة



عندما تصبح الموجة عالية جدا فإنها تتكسر عندما:

$$\frac{H}{L} \geq \frac{1}{7}$$





الإشـــــتقاق الرياضـــــي

يمكـن وصـف الموجـة مـن خـلال الطـول الموجـي والارتفـاع والفتـرة الزمنيـة. الطـول الموجـي هـو المسـافة بـين قمتـي موجـة، أي أعلـى نقطـة في كل موجـة. يتـم تعريـف الفتـرة الزمنيـة علـى أنهـا الوقـت بـين ممـرات قمتـين متتاليتـين مـن خـلال نقطـة معينـة.

يمكـن التمييـز بـين موجـات المحيـط بـين الميـاه العميقـة وموجـات الميـاه الضحلـة. في حـين أن الأولـى مشـتتة بمعنـى أن السـرعة تعتمـد علـى طـول الموجـة، فـإن سـرعة انتشـار موجـة الميـاه الضحلـة تعتمـد فقـط علـى عمـق المـاء. يبلـغ الطـول الموجـي لموجـة تسـونامي مئـات الكيلومتـرات. منـذ كل المحيـط الموجـات ذات الطـول الموجـي الأطـول مـن عمـق المـاء هـي موجـات مائيـة ضحلـة، سـرعة السـفر لموجـة تسـونامي تعتمـد فقـط علـى عمـق عمـود المـاء. الخطـوة الأولـى لحسـاب وقـت انتقـال الموجـة هـي إيجـاد سـرعة موجـة تسـونامي.

سرعة موجات تسونامي تعتمد على عمق الماء والجاذبية. فيما يلي معادلة المياه الضحلة التي تُستخدم غالبًا في أعماق المحيط أيضًا [Dawson and Mirabito, 2008]

$$v = \sqrt{gD} \qquad (1)$$

V هي السرعة بالأمتار في الثانية (م / ث)،

D هي العمق بالامتار (م)،

g هي تسارع الجاذبية المفترض 9.8 م / ث^2 وهكذا:

$$v = 3.13\sqrt{D} \qquad (2)$$

إذن كيف يتم اشتقاق معادلة السرعة؟

معادلة المياه الضحلة مشتقة من معـــادلات نافييه – ستوكس الكلاسيكية Navier-Stokes التـــي تعـــبر عن الحفـــاظ على الكتلـــة والزخـــم [[Dawson and Mirabito, 2008]؛Batchelor، 1967]. نظرًا لأن المعادلة (2) صحيحة ويتغير عمق المحيط اعتمادًا على الموقع، فإن ذلك يعني أن السرعة تختلف في كل موقع. يمكن أن يؤدي وقت السفر على طول مسار واحد إلى تقليل المشكلة إلى بُعد واحد.

بشكل عام، إنها مشكلة أكثر تعقيدًا، حيث يؤدي انتشار الموجة ثنائية الأبعاد إلى حدوث تداخل سوف نتجاهلها من أجل البساطة. لنفترض أن X هي المسافة من المصدر على طول المسار وليكن الوقت الذي يحدث منذ أن تسبب الزلزال في حدوث تسونامي. إذا افترضنا أن المسار الذي تسير عليه الموجة عبارة عن دائرة كبيرة (أقصر مسافة على سطح الكرة)، فيمكننا استخراج قياس الأعماق على طول المسار ثم قراءة قيمة عمق عمود الماء كدالة على المسافة من مصدر تسونامي.

إذا كانت D في المعادلة (2) دالة للموضـــع على طول المسار، فيمكن كتابة السرعة كـ

$$\nu(\chi) = 3.13\sqrt{D}\ (\chi) \qquad (3)$$

ولدينا من المعادلة (3):

$$dx/dt = v\ (x) \Rightarrow dx/dt = 3.13\sqrt{D}\ (x) \qquad (4)$$

من المعروف أن D (x) لسبب طبيعي أكبر من 0 لكل قيمة X لأن موجة تسونامي تنتقل فقط في الماء. وبالتالي، ν (x) أكبر من 0 ويمكن تقسيم طرفي المعادلة (4) على

$$1/v\ (x)\ \ dx/dt\ = 1\ \ \Rightarrow\ \ 1/v\ (x)\ dx = \ dt \qquad (5)$$

تسمح لنا المعادلة (5) بتحديد وقت السفر بين نقطتين $x = S_1$ و $x = S_2$. نظرًا لأن النقطتين على طول المسار، ستكون المعادلة على النحو التالي:

$$\int_{s_1}^{s_2} \frac{1}{v\ (x)}\ dx = \int_{t_1}^{t_2}\ dt \qquad (6)$$

في المعادلة (6): يشير متغير الوقت إلى اللحظة التي تصل فيها الموجة إلى نقطة معينة، بينما يشير المتغير S إلى المسافة من مصدر تسونامي. بعد التبسيط، يمكننا أن نفترض أنه في فترة التكامل، يكون عمق الماء ثابتًا ويساوي D_1. في هذه الحالة تكون السرعة ثابتة

و $v_1 = \sqrt{gD_1}$ وتكامل المعادلة (6) يصبح:

$$\int_{s_1}^{s_2} \frac{1}{\sqrt{gD_1}}\ dx\ = \ \frac{1}{\sqrt{gD_1}}\ \int_{s_1}^{s_2}\ dx = \ \int_{t_1}^{t_2}\ dt \qquad (7)$$

المعادلة (7) تعطي الحل

$$\frac{s_2\ -\ s_1}{\sqrt{gD_1}} = \mathrm{t}_2\ -\ \mathrm{t}_1 \qquad (8)$$

في المعادلة (8): تشير S_1 و S_2 إلى أقصى فترة تكامل لـ x، بينما تشير t_1 و t_1 إلى الفترة الزمنية.

يمكن استخدام المعادلة المتكاملة (6) والمعادلة (8) لكل جزء من الموجة لإضافتها إلى الوقت الإجمالي على مسافة معينة ستقطعها الموجة

ميكانيكية التسونامي

تتولد التسونامي من حركة الدفع الفجائية التي يحدثها الزلزال تحت قاع المحيط نتيجة حركة تصدعية عنيفة من جراء تصادم صفيحتين. وفي بعض الحالات قد تنجم عن ثوران بركاني أو سقوط نيزك أو حدوث انزلاق أرضي تحت الماء. تتميز بمدى طويل جداً قادرة على نقل الطاقة المدمرة من مصدرها في المحيط إلى مسافة تبلغ آلاف الكيلومترات. تمر التسونامي أثناء نشوئها بثلاث مراحل فيزيائية متتابعة: **التولد والانتشار ثم الغمر**.

• التولـــــد

تتمثل عملية **توليد الموجة** بأي إزاحة عمودية مفاجئة في قاع البحر نتيجة حركة تصدعية عنيفة. حيث تقوم هذه الحركة بدفع ما فوقها من مياه نحو الأعلى. الزلازل تحت الماء هي السبب الأكثر شيوعًا لموجات التسونامي. عندما تنزلق الصفائح التكتونية فوق بعضها البعض تحت الماء، يتم إطلاق كمية هائلة من الطاقة، والتي تنتقل إلى السطح وتزيح كميات هائلة من الماء. عندما يتم إزاحة هذا الحجم الضخم من الماء، مما يتسبب في ارتفاع الماء عالياً فوق السطح، تسحبه جاذبية الأرض لأسفل مرة أخرى، مما يجعل الطاقة تموج أفقيًا إلى الخارج، مما ينتج عنه موجات متعددة تتحرك في جميع أنحاء السطح.

يتسبب إزاحة المياه بكميات هائلة في حدوث موجات تسونامي

• الانتشـــــــار

تنتشر الموجة عبر مياه المحيط بسرعة عالية تصل إلى 700كم/س غير أن ميل هذه الأمواج التي يصل طولها إلى 600 ضعف ارتفاعها يكون من الصعوبة ملاحظتها في عرض البحر. أي أنه كلما كانت المياه أكثر عمقاً وكانت الموجة أكثر طولاً كانت الموجة التسونامية ذات سرعة أكبر. وعندما تصل الموجة إلى المياه الضحلة تتباطأ سرعتها حتى تصل إلى 80كم/س تقريباً. كما أن الطول الموجي لموجات تسونامي مرتفع للغاية فوق المياه العميقة. المعدل الذي يفقد به تسونامي طاقته يتناسب عكسيا مع الطول الموجي للموجات. هذه التسونامي لديها القدرة على إحداث دمار واسع النطاق، ليس فقط في المنطقة المباشرة ولكن عبر المحيط بأكمله.

معدل فقد الطاقة

$$\text{معدل فقد الطاقة} \propto \frac{1}{\text{طول الموجة}}$$

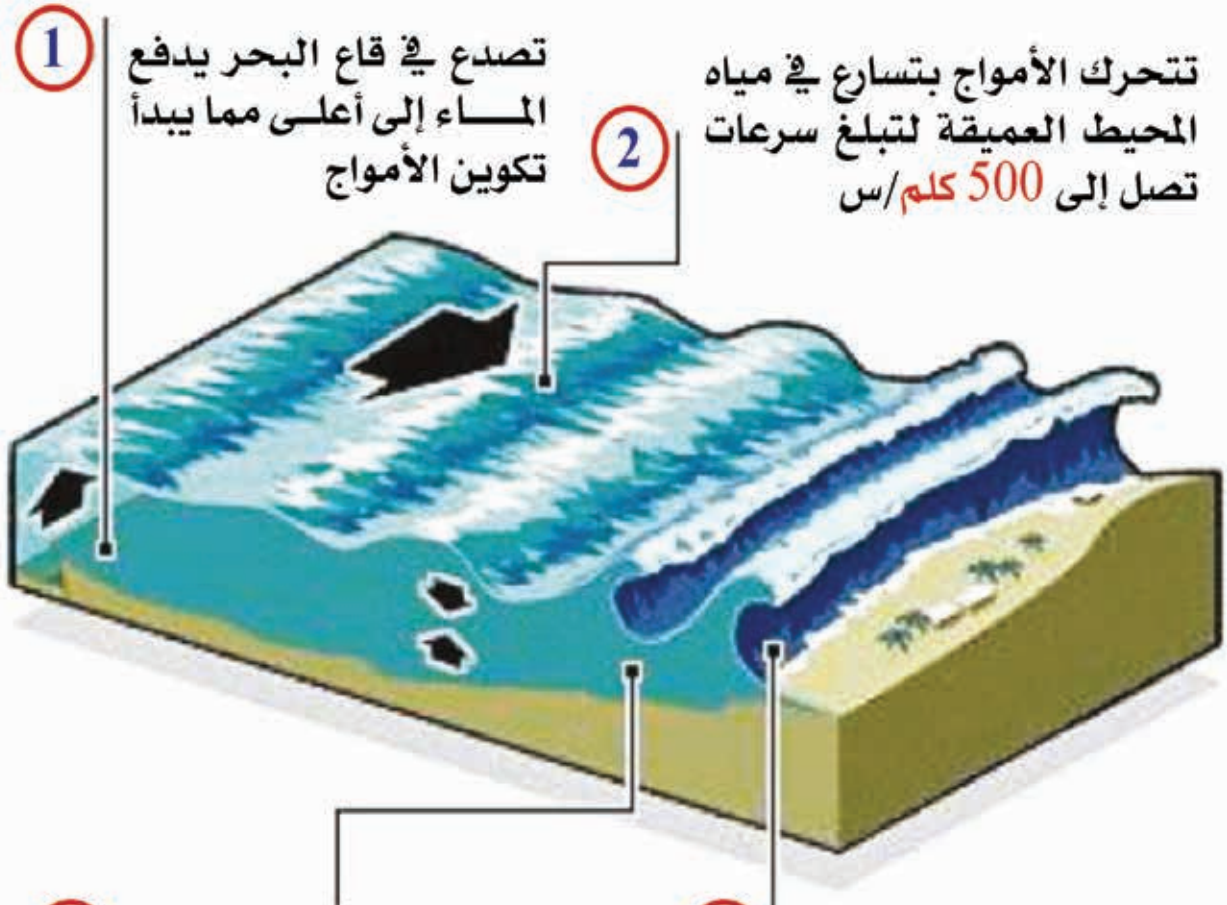
نظرًا لأن موجات تسونامي يمكن أن يكون لها أطوال موجية ضخمة (تصل إلى 500 كيلومتر)، فإن فقدان الطاقة ضئيل للغاية. هذا هو السبب في أن موجات تسونامي، فوق المياه العميقة، يمكن أن تنتقل بسرعة تزيد عن 900 كيلومتر في الساعة دون أن تُلاحظ .

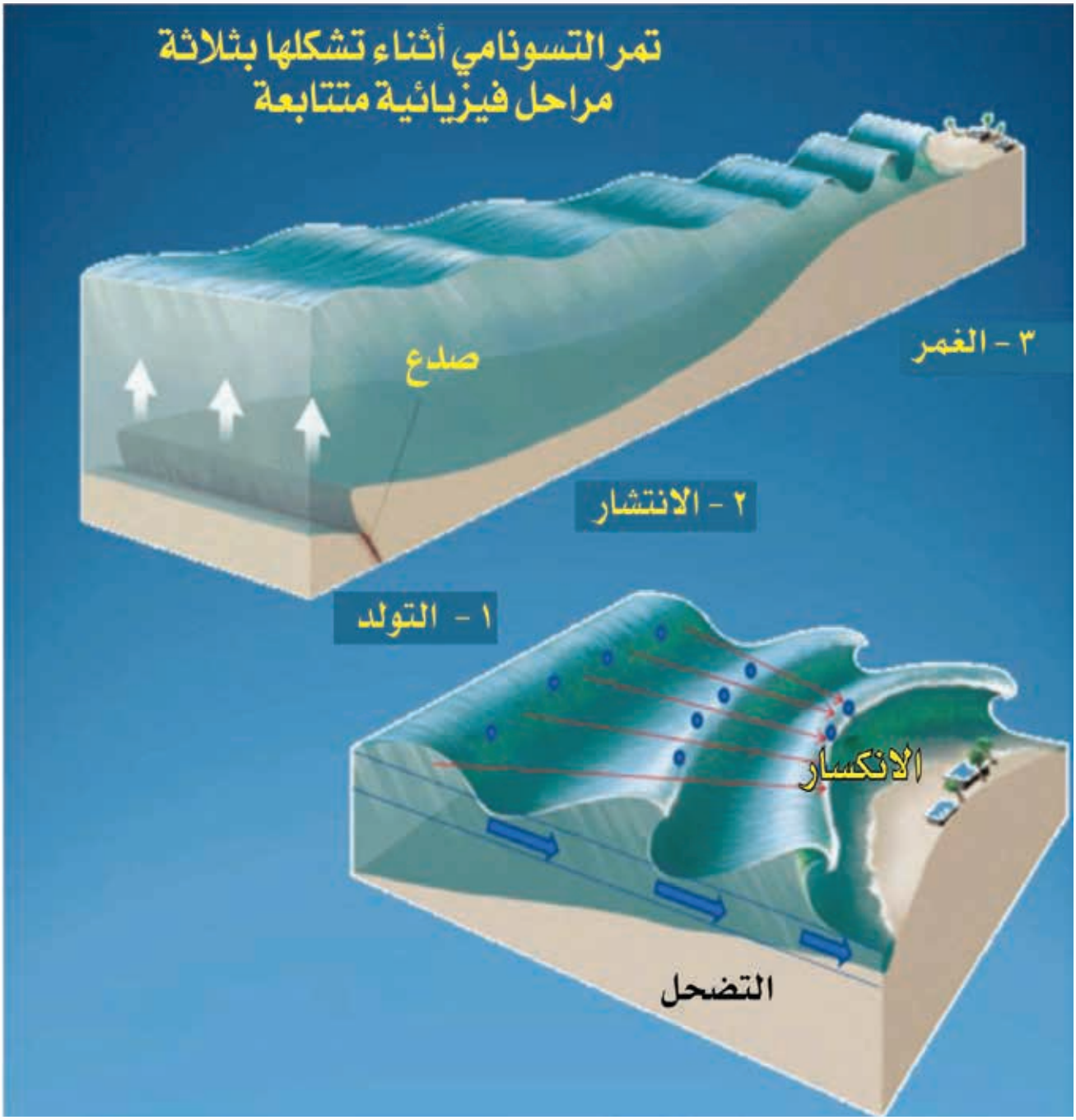
• الغمـــــــــر

تؤدي ظاهـرة انكسـار الموجـة وتضحلهـا إلـى حشـد طاقـة الموجـة وتركيزهـا ومـن ثم تبـدأ تنضغـط طاقـة الموجـة داخـل حجـم أصغـر أثنـاء دخولهـا إلـى الميـاه الضحلـة وتتباطـأ لتلحـق بهـا الموجـة التـي تليهـا أو أنهـا تلتـف حـول الشـاطئ وتـؤدي هـذه الزيـادة في كثافـة الطاقـة بدورهـا إلـى زيـادة في ارتفـاع الموجـة والتيـارات.

بمعنـى آخـر، فـإن موجـات تسـونامي تخضـع لتحـول سـريع لأنهـا تتحـرك نحـو الميـاه الضحلـة بالقـرب مـن الشـاطئ. نظـرًا لوجـود كميـة أقـل مـن الميـاه، أي أن عمـق المـاء منخفـض، وفقًـا للعلاقـة المذكـورة أعـلاه، فـإن معـدل تغيـر الطاقـة هائـل، ممـا يـؤدي إلـى زيـادة سـعة الموجـة. بمعنـى آخـر، نظـرًا لأن الطاقـة تحتـوي علـى كميـة أقـل مـن المـاء للتنقـل خلالهـا، فإنهـا تصبـح مضغوطـة، ممـا يتسـبب في إبطـاء الموجـات وزيـادة ارتفاعهـا إلـى 100 قـدم.

تسـمى هـذه الظاهـرة موجـة الميـاه الضحلـة أو مـا يعـرف بالتضحـل Shoaling والـذي يـؤدي إلـى حشـد طاقـة الموجـة وتركيزهـا، لتصبـح حائطـا عاليـا وخطيـرا مـن الميـاه (الخطـوط المنقطـة) أثنـاء دخولهـا إلـى الميـاه الضحلـة، وتتباطـأ لتلحـق بهـا الموجـة التـي تليهـا، تـؤدي هـذه الزيـادة في كثافـة الطاقـة، بدورهـا، إلـى زيـادة في ارتفـاع الموجـة والتيـارات.


1
تصدع في قاع البحر يدفع الماء إلى أعلى مما يبدأ تكوين الأمواج
2
تتحرك الأمواج بتسارع في مياه المحيط العميقة لتبلغ سرعات تصل إلى 500 كلم/س
3
مع اقتراب الأمواج من اليابسة تبطيء سرعتها إلى 45 كلم/س لكنها تزداد ارتفاعا
4
تندفع الأمواج نحو اليابسة مدمرة كل ما يعترض طريقها



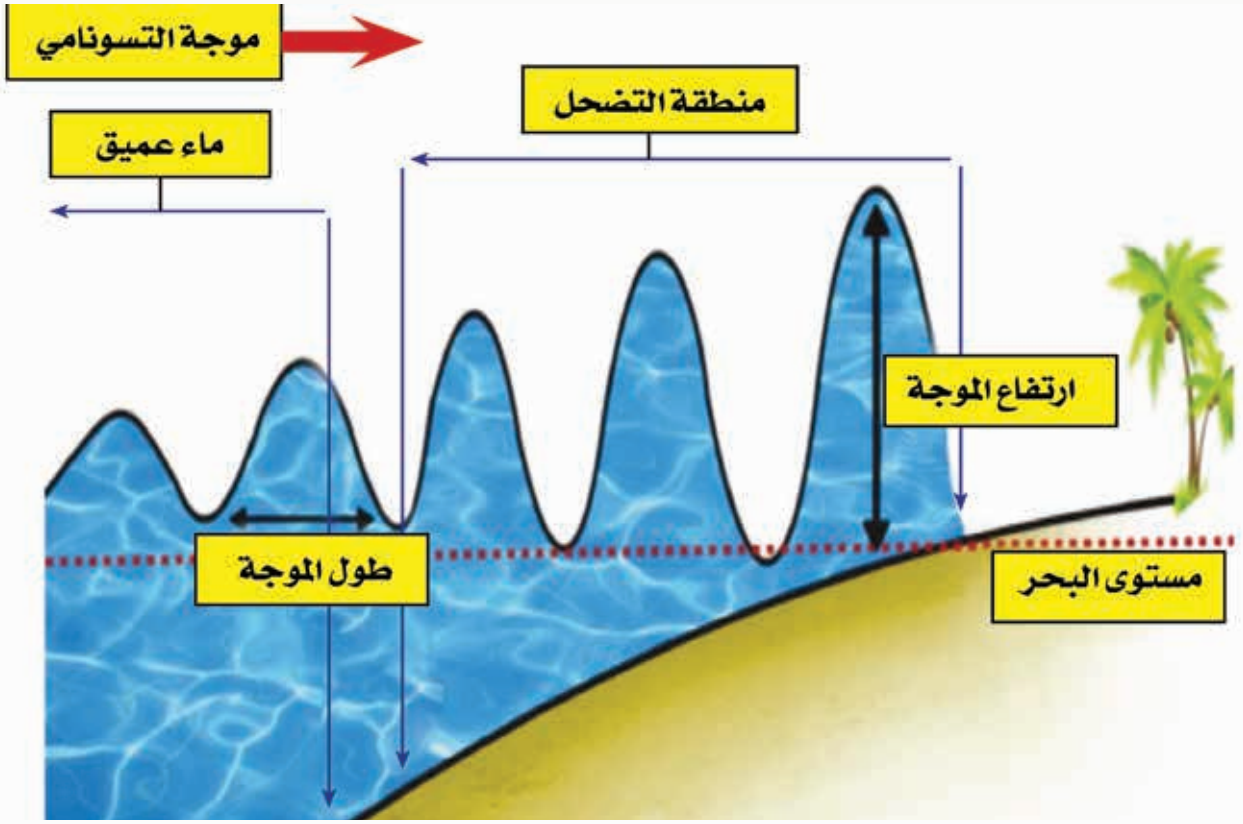
مراحل نشأة التسونامیات الثلاثة : التولد والانتشار والإغراق. يؤدي الانكسار

في أحيان أخرى يؤدي الانكسار Refraction والتضحل Shoaling إلى حشد طاقة الموجة وتركيزها، لتصبح حائطا عاليا وخطيرا من المياه. تنضغط طاقة الموجة داخل حجم أصغر (الخطوط المنقطة) أثناء دخولها إلى المياه الضحلة. وتتباطأ لتلحق بها الموجة التي تليها، أو أنها تلف حول أي لسان أو أرض متقدمة.

وتبدأ خطورة هذه الموجات عند دخولها منطقة المياه الضحلة عند الموانئ والخلجان الضيقة حيث تصطدم بمستوى عمق المياه في هذه المناطق مما ينتج عنه انخفاض مفاجئ في سرعتها، وتسبب عملية الانخفاض المفاجئ هذه إلى حدوث زيادة وفيرة في كمية المياه فيزداد معها ارتفاع الموجة بشكل ضخم ومروع، وتتسبب هذه القوة الضخمة الهدامة في إحداث دمار شديد عند ارتطامها بالشاطئ، وعادة ما تتعرض المباني الكبيرة والمنازل في هذه المناطق لانهيار عند ارتطام مثل هذه الموجات بها، وكثيراً ما تحمل هذه الموجات التسونامية البواخر الكبيرة وترفعها ثم تجرفها نحو الأرض اليابسة لتستقر بعد ذلك فوق رمال الشاطئ.

يمكن أيضًا اعتبار التضحل Shoaling على أنه تحويل لطاقة الموجة بين الأشكال المختلفة. عندما تنتشر موجة تسونامي عبر المحيط، تكون طاقتها في الغالب على شكل طاقة حركية (حركة)، ولكن مع اقترابها من الساحل، فإنها تتباطأ وترتفع وهذا يعني أن الكثير من طاقتها الحركية تتحول إلى الطاقة الكامنة، سيكون لجزيئات الماء التي تكون أعلى بكثير من مستوى الماء العادي الكثير من الطاقة الكامنة بسبب الجاذبية.

لذلك عندما يكون لديك موجة كبيرة جدًا على الساحل، مثل موجة تسونامي بارتفاع 5-10 أمتار، فهناك الكثير من الطاقة المخزنة التي تكون جاهزة لإطلاقها عند صعودها فوق الأرض.



ضحالة الأمواج: يزداد ارتفاع الأمواج كلما اقتربت من الشاطئ

بسبب المياه الضحلة، يمكن أن ترتفع أمواج تسونامي التي لم تكن محسوسة في المياه العميقة إلى ارتفاعات مرعبة بالقرب من الشاطئ. تشير حقيقة تسميتها «موجات الميناء» إلى أن موجات تسونامي لا يمكن إدراكها إلا عندما تقترب من الشاطئ، مما يجعل الإخلاء أكثر صعوبة. علاوة على ذلك، إذا ضرب قاع موجة تسونامي الشاطئ أولاً، فقد يكون أكثر تدميراً، حيث ستنسحب المياه أكثر من المعتاد ثم تعود بموجة قوية شاهقة تنكسر إلى الداخل.

مقياس حجم وشدة التسونامي

إحدى المشاكل الرئيسية في فهرسة موجات التسونامي التاريخية قياس «الحجم» الكلي أو «القوة» لحدث ما. لمقارنة أحداث تسونامية مختلفة، نحتاج إلى بعض المقاييس لقياسها. بشكل عام، هناك نوعان من المقاييس : **مقياس الحجم ومقياس الشدة**. مقياس الحجم يتعلق بمصدر الحدث، بينما مقياس الشدة يصف التأثير الناتج في مواقع التأثير. أمثلة على **مقاييس الحجم**: مقياس ريختر للزلازل (0-9) – مقياس VEI للانفجارات البركانية (1-9) – مقياس الإعصار Saffir-Sympson (1-5)

أمثلة على **مقاييس الشدة**: مقياس ميركالي المعدل (I-XII) – مقياس الرياح بوفورت (0 - 10) يمكن أن يكون كلا المقياسين وصفيًا، بناءً على الخصائص الوصفية لبعض "الدرجات"، أو الكمية، بناءً على قيمة بعض المعلمات المادية القابلة للقياس.

أفضل مقياس لتقدير حجم موجات تسونامي المختلفة ستكون طاقتها الإجمالية. تم اقتراح هذا المقياس من نوع الحجم الحقيقي بواسطة Murty and Loomis, 1980

تم تعريف قيمة القدر الزلزالي المحلي ML، حيث E هي طاقة تسونامي بال ergs).

$$ML = \log_2 (E - 19)$$

تم تحديد قيم ML لحوالي 25 أكبر تسونامي في المحيط الهادئ، منذ ذلك الوقت لم يتم إجراء أي حسابات جديدة تقريبًا لـ ML. والسبب هو أنه ليس من السهل حساب قيمة ML لأنها تتطلب معرفة الإزاحة الأولية في مصدر تسونامي أو أشكال موجات تسونامي في مواقع وسمات مختلفة، وهذا ليس ممكنًا دائمًا لأمواج تسونامي الحقيقية.

تاريخيًا، كان أول مقياس مقترح لقياس تسونامي هو مقياس Sieberg في عام 1927. لقد كان مقياسًا وصفيًا من 4 درجات، بناءً على التأثير المدمر للتسونامي، ولم يتضمن أي مقاييس كمية لارتفاع موجة تسونامي. في عام 1962 قام Ambraseys بتعديل هذا المقياس بشكل طفيف، مما جعله من 6 درجات، عن طريق تقسيم الدرجة العليا إلى ثلاث خطوات إضافية. مقياس Sieber-Ambraseys هو مثال نموذجي لمقياس الشدة، لأنه يعتمد بشكل استثنائي على تأثيرات مظاهر تسونامي على الساحل. ومع ذلك، فقد تم استخدامه منذ البداية لتوصيف الحجم الكلي لتسونامي (أي كمقياس الحجم) من خلال تخصيص الحد الأقصى من شدته الملحوظة لحدث تسونامي على الساحل. في الممارسة العملية، تم تطبيقه بشكل أساسي لتقدير أمواج تسونامي في البحر الأبيض المتوسط.

مقياس سيبرغ المعدَّل لشدة أمواج البحر

- **خفيف جدا**. موجة ضعيفة جدًا بحيث يمكن إدراكها فقط في سجلات مقياس المد والجزر.
- **الضوء**. موجة لاحظها أولئك الذين يعيشون على طول الشاطئ وعلى دراية بالبحر. على الشواطئ المسطحة جدا لاحظت بشكل عام.
- **قوي إلى حد ما**. لاحظت بشكل عام. فيضانات في السواحل المنحدرة بلطف. تم نقل السفن الشراعية الخفيفة على الشاطئ. أضرار طفيفة في الهياكل الخفيفة الواقعة بالقرب من السواحل. عكس اتجاه تدفق النهر بعض المسافة في اتجاه المنبع.
- **قوي**. فيضان الشاطئ إلى بعض العمق. تجوب خفيف على أرض من صنع الإنسان. تضرر السدود والسدود. تضرر الهياكل الخفيفة بالقرب

مـن السـواحل. إصابـة الهيـاكل الصلبـة علـى السـاحل. انجرفـت سـفن الإبحـار والسـفن الصغيـرة إلـى الداخـل أو في البحـر. تناثـرت السـواحل بالحطـام العائـم.

- **قوي جدا**. فيضـان عـام للشـاطئ إلـى بعـض العمـق. تضـرر جـدران الرصيـف والهيـاكل الصلبـة بالقـرب مـن البحـر. تدميـر الهيـاكل الخفيفـة. تجـوب شـديد للأراضـي المزروعـة وتناثـر العناصـر العائمـة والحيوانـات البحريـة على السـاحل. باسـتثناء السـفن الكبيـرة، يتـم نقـل جميـع أنـواع السـفن الأخـرى إلـى الداخـل أو في البحـر. تجاويـف كبيـرة في مصـب الأنهـار. تضـررت أعمـال المرفـأ. غـرق النـاس. موجـة مصحوبـة بزئيـر قـوي.
- **كارثيـة**. تدميـر جزئـي أو كامـل للهيـاكل التـي مـن صنـع الإنسـان لبعـض المسـافة مـن الشـاطئ. فيضانـات السـواحل إلـى أعمـاق كبيـرة. السـفن الكبيـرة تضـررت بشـدة. اقتـلاع الأشـجار أو تحطيمهـا. العديـد مـن الضحايـا.

من الناحية العملية، فإن ما يسمى بمقياس **إمامورا - إيدا** هو مقياس من ست درجات تتراوح من 1- إلى 4 بإضافة درجة إضافية واحدة (م = 1-) لتوصيف موجات التسونامي الضعيفة مما يعطي الانطباع بأنه مقياس الشدة بدلاً من مقياس الحجم. كما قاما أيضًا بربط رقم الدرجة m مباشرةً مع قيمة التشغيل القصوى الملحوظة على الساحل H_{max} بواسطة الصيغة :

$$m = \log_2 H_{max}$$

هذا ما يسمى بمقياس شدة Imamura-Iida كان مستخدمًا على نطاق واسع في فهرسة موجات المد البحري التاريخية في المحيط الهادئ.

تم إجراء تعديل هام على هذا المقياس بواسطة Soloviev، في عام 1972 الذي اقترح حساب شدة تسونامي I وفقًا للصيغة

$$I = \tfrac{1}{2} + \log_2 H_{av}$$

حيث يمثل H_{av} متوسط ارتفاع الموجة على طول الساحل الأقرب (بالمتر)

تم تقديم مقياس جديد لمقدار التسونامي MT، بواسطة Abe في عام 1979م بناءً على السعة القصوى لموجات تسونامي التي تم تسجيلها بواسطة مقاييس المد والجزر وفقًا للصيغة $MT = a \lg h + b \lg R + D$

حيث h هي أقصى سعة لموجة تسونامي (بالمتر) تقاس بمقياس المد والجزر، R هي المسافة المركزية (بالكيلومتر) و a و b و D هي ثوابت التي تم تصميمها لجعل مقياس MT وثيق الصلة بمقياس M (العزم الزلزالي). هذا مقياس حجم حقيقي لأنه يعتمد على المقاييس الكمية (ارتفاع الموجة الآلية) ويتضمن التصحيح لمسافة الانتشار. مع ملاحظة انه يجب أن تكون R أكثر من 100 كيلومتر من المصدر.

عموما فان جميع مقاييس حجم تسونامي التي تستند إلى قياسات ارتفاعات موجات تسونامي على السواحل، من المقاييس البدائية، مثل تلك الموجودة في **إمامورا - إيدا وسولوفييف**، إلى المقاييس الأحدث والأكثر تعقيدًا **لأبي وهاتوري** حساسة للغاية للتأثيرات المحلية مثل التضاريس الساحلية وقياس الأعماق بالقرب من الشاطئ والانكسار والانعراج والرنين. ومع ذلك، فإن المعايرة الأفضل للصيغ، بناءً على قدر أكبر من المد والجزر والمقاسة في ارتفاعات موجة المجال، قد تحسن بشكل كبير من قابلية تطبيق مثل هذه المقاييس لتحديد حجم التسونامي في المستقبل.

أوجه الشبه والاختلاف بين مقاييس الشدة والحجم للتسونامي والزلازل

مقيـاس التسـونامي	نـــوع المقيـــاس	ما يشابهه من مقاييس الزلازل
مقاييس الشدة		
Sieberg	مقياس الشدة البدائي من 6 درجات	مقاييس الشدة المبكرة
Ambraseys	مقياس الشدة المحسن من 6 درجات	مقاييس الشدة المحسنة
Shuto	مقياس الشدة المطور من 6 درجات	مقاييس الشدة المطورة
Papadopoulos	مقياس شدة جديد من 12 درجة	مقياس ميركالي المعدل للشدة الزلزالية من 12 درجة
مقاييس القدر (الحجم)		
Imamura –Iida	مقياس الحجم البدائي	مقياس ريختر المحلي
Soloviev	مقياس الحجم البدائي	مقياس ريختر المحلي
Abe	مقياس الحجم	مقياس الحجم المبني على الموجات السطحية
Murty –Loomis	مقياس الحجم	مقياس العزم الزلزالي

أنواع موجات تسونامي اعتمادًا على المسافة من المصدر

• التسونامي المحلـــي

التســـونامي المحلي هـو الـــذي ينشـــأ من حوالي 100 كيلومتر أو أقـــل من 1 ساعة من وقت السفر عن طريق تسونامي من الساحل المتأثر. غالبًا ما تحدث أمواج تسونامي المحلية بسبب البراكين المغمورة أو ترسبات الرواسب البحرية أو الانهيارات الأرضية الساحلية. يمكن أن تكون هذه هي الأخطر غالبًا لأنه غالبًا ما يكون هناك القليل من التحذير بين الحدث الذي أطلق العاصفة ووصول تسونامي . يمكن أن تؤدي أمواج تسونامي المحلية إلى عدد كبير من الضحايا لأن السلطات ليس لديها الوقت الكافي لتحذير / إخلاء السكان.

• التسونامي الإقليمـي

57 % من تسونامي تعتبر أحداثًا إقليمية. تتعرض اليابان وهاواي وألاسكا عادة لموجات المد الإقليمية. هاواي، على سبيل المثال، تعرضت للقصف بشكل متكرر خلال هذا القرن، كل خمس إلى عشر سنوات تقريبًا. كان أحد أسوأها تسونامي 1 أبريل 1946م الذي دمر مدينة هيلو.

التسونامي الإقليمي هو القادر على التدمير في منطقة جغرافية معينة، بشكل عام ضمن 1000 كيلومتر من مصدره. يمكن أن تصل أمواج تسونامي الإقليمية إلى السواحل المتضررة في غضون 3-1 ساعات من حدوثها، ومع ذلك، كما هو الحال مع أمواج تسونامي المحلية، نظرًا لوقت التحذير المحدود، فإنها لا تزال مدمرة للغاية ومميتة.

• التسونامي بعيد المـــــدى

يُطلق على تسونامي الناشئ من مصدر، وعمومًا أكثر من 1000 كيلومتر أو أكثر من 3 ساعات من وقت سفر تسونامي من الخط الساحلي المتأثر، تسونامي على مستوى المحيط أو بعيدًا أو تسونامي بعيد المدى. تكون موجات التسونامي هذه أقل تواترًا، ولكنها أكثر خطورة من أمواج التسونامي الإقليمية، حيث تبدأ عادةً كتسونامي محلي يتسبب في دمار واسع النطاق لشاطئ بالقرب من المصدر، وتستمر الأمواج في السفر عبر حوض المحيط بأكمله بطاقة كافية لإحداث إصابات إضافية ودمار على الشواطئ على بعد أكثر من 1000 كيلومتر من المنبع. هذه التسونامي لديها القدرة على إحداث دمار واسع النطاق، ليس فقط في المنطقة المباشرة ولكن عبر المحيط بأكمله. جميع موجات تسونامي على مستوى المحيط نتجت عن الزلازل الكبيرة.

تسونامي على مستوى المحيط الهادئ هو الأقل شيوعًا حيث إن 3.5 % فقط من أمواج تسونامي كبيرة بهذا الحجم، لكنها يمكن أن تسبب دمارًا هائلاً بسبب الحجم الهائل للأمواج. في عامي 1940م و 1960م، حدث تسونامي مدمر على مستوى المحيط الهادئ. في الآونة الأخيرة، كان هناك تسونامي على مستوى المحيط الهادئ في 4 أكتوبر 1994م، مما تسبب في أضرار كبيرة في اليابان مع 11.5 قدم (3.5 م) موجات. كانت أمريكا الشمالية محظوظة في ذلك الوقت. تم تسجيل موجات 6 بوصات (15 سم) فوق الارتفاع الطبيعي في كولومبيا البريطانية

أعنف موجات التسونامي تاريخيا

■ سومطرة، إندونيسيا - 26 ديسمبر 2004م

وتشير التقديرات إلى أن الزلزال الذي بلغت قوته 9.1 درجة قبالة سواحل سومطرة حدث على عمق 30 كم. كان طول منطقة الصدع التي تسببت في كارثة تسونامي حوالي 1300 كيلومتر، مما أدى إلى إزاحة قاع البحر عموديًا بعدة أمتار على طول هذا الطول. كان ارتفاع تسونامي الذي أعقب ذلك يصل إلى 50 مترًا، ووصل إلى 5 كيلومترات في الداخل بالقرب من موبولا، سومطرة. هذا التسونامي هو أيضًا الأكثر تسجيلًا على نطاق واسع، حيث أبلغ ما يقرب من ألف مقياس مد وجزر وشهود عيان من جميع أنحاء العالم عن ارتفاع في ارتفاع الموجة، بما في ذلك أماكن في الولايات المتحدة والمملكة المتحدة والقارة القطبية الجنوبية.

■ ساحل شمال المحيط الهادئ، اليابان - 11 مارس 2011م

اجتاحت تسونامي قوية سرعتها 800 كيلومتر في الساعة مع أمواج بارتفاع 10 أمتار فوق الساحل الشرقي لليابان. نتج عن كارثة تسونامي زلزال بقوة 9.0 درجة وصل إلى أعماق تصل إلى 24.4 كيلومترًا، مما يجعله رابع أكبر زلزال يُسجّل على الإطلاق. أدى الاهتزاز العنيف إلى حدوث حالة طوارئ نووية، حيث بدأت محطة فوكوشيما دايتشي للطاقة النووية في تسريب البخار المشع.

■ لشبونة، البرتغال - 1 نوفمبر 1755م

تسبب زلزال بقوة 8.5 درجة في سلسلة من ثلاث موجات ضخمة تضرب مدنًا مختلفة على طول الساحل الغربي للبرتغال وجنوب إسبانيا، بارتفاع يصل إلى 30 مترًا، في بعض الأماكن. أثر تسونامي على موجات بعيدة مثل خليج كارلايل، باربادوس، حيث قيل إن الأمواج ارتفعت بمقدار 1.5 متر.

■ كراكاتو، إندونيسيا - 27 أغسطس 1883م

حدث تسونامي هذا مرتبط في الواقع بانفجار بركان كراكاتو كالديرا. تم نشر موجات متعددة يصل ارتفاعها إلى 37 مترًا من خلال الانفجارات العنيفة ودمرت مدن أنجر وميراك. ورد أن البحر قد انحسر عن الشاطئ في بومباي بالهند. يمكن أن يُعزى حالات الوفاة مباشرة إلى الانفجارات البركانية، بدلاً من تسونامي الذي أعقب ذلك.

■ بحر إنشونادا، اليابان - 20 سبتمبر 1498م

تسبب زلزال قُدرت قوته 8.3 درجة على الأقل في حدوث موجات تسونامي على طول سواحل كيي وميكاوا وسوروجو وإيزو وساغامي. كانت الأمواج قوية بما يكفي لاختراق البصق، الذي كان يفصل سابقًا بحيرة حمانا عن البحر. كانت هناك تقارير عن منازل غمرت المياه وجرفت في جميع أنحاء المنطقة.

■ نانكايدو، اليابان - 28 أكتوبر 1707م

تسبب زلزال بلغت قوته 8.4 درجة في إحداث موجات بحرية يصل ارتفاعها إلى 25 مترًا في سواحل المحيط الهادئ في كيوشو وشيكوكو وهونشين. كما لحقت أضرار بأوساكا. وتضرر إجمالي ما يقرب من 30 ألف مبنى في المناطق المتضررة. أفيد أنه تم إحصاء ما يقرب من اثنتي عشرة موجة كبيرة بين الساعة 3 مساءً و 4 مساءً، يمتد بعضها عدة كيلومترات في الداخل في كوتشي.

■ سانريكو، اليابان - 15 يونيو 1896م

انتشر تسونامي هذا بعد وقوع زلزال بقوة 7.6 درجة على مقياس ريختر قبالة سواحل سانريكو باليابان. تم الإبلاغ عن تسونامي في Shirahama بلغ ارتفاعه 38.2 مترًا، مما تسبب في أضرار لأكثر من 11000 منزل. كما تم العثور على تقارير تشير إلى وقائع تسونامي مماثل ضرب الساحل الشرقي للصين.

■ شمال شيلي - 13 أغسطس 1868م

حدث تسونامي هذا بسبب سلسلة من زلزالين كبيرين، قُدرت قوتهما 8.5 على مقياس ريختر، قبالة سواحل أريكا، بيرو (تشيلي الآن). أثرت الموجات التي تلت ذلك على حافة المحيط الهادئ بأكملها، حيث تم الإبلاغ عن ارتفاع الأمواج إلى 21 مترًا، والتي استمرت ما بين يومين وثلاثة أيام. تم تسجيل كارثة تسونامي في أريكا بواسطة ستة مقاييس للمد والجزر، حتى سيدني، أستراليا.

■ جزر ريوكو، اليابان - 24 أبريل 1771م

يُعتقد أن زلزالًا بقوة 7.4 درجة قد تسبب في حدوث تسونامي دمر عددًا كبيرًا من الجزر في المنطقة ؛ ومع ذلك، اقتصرت أخطر الأضرار على جزر إيشيجاكي وميـاكو. من الشائع الاستشهاد بأن ارتفاع الموجات التي ضربت جزيرة إيشيجاكي ويُقدر ارتفاعها بدقة حوالي 11 إلى 15 مترًا.

■ Ise Bay، اليابان - 18 يناير 1586م

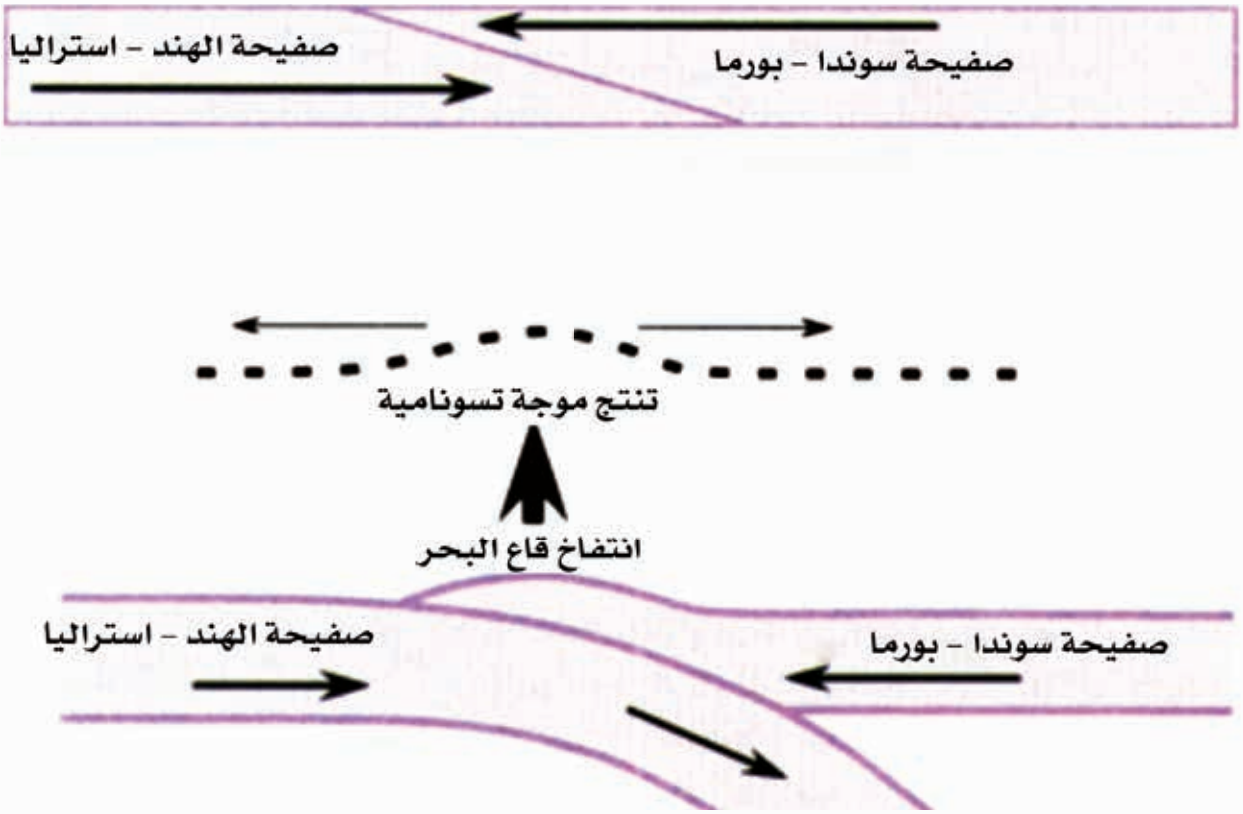
أفضل تقدير للزلزال الذي تسبب في تسونامي خليج إيسي كان بقوة 8.2. وارتفعت الأمواج إلى ارتفاع 6 أمتار محدثة أضرارا في عدد من البلدات. تعرضت بلدة نغهامه لاشتعال حريق مع وقوع الزلزال لأول مرة ودمر نصف المدينة. يُذكر أن بحيرة بيوا المجاورة انتشرت فوق المدينة، ولم تترك أي أثر باستثناء القلعة.

التسونواميات المدمرة خلال الفترة من 1990 - 2020م ، ويتضح أن تسونامي سومطرة- الذي وقع في ديسمبر 2004 م كان الأعنف والأكثر دمارا

حالة تاريخية : تسونامي سومطره

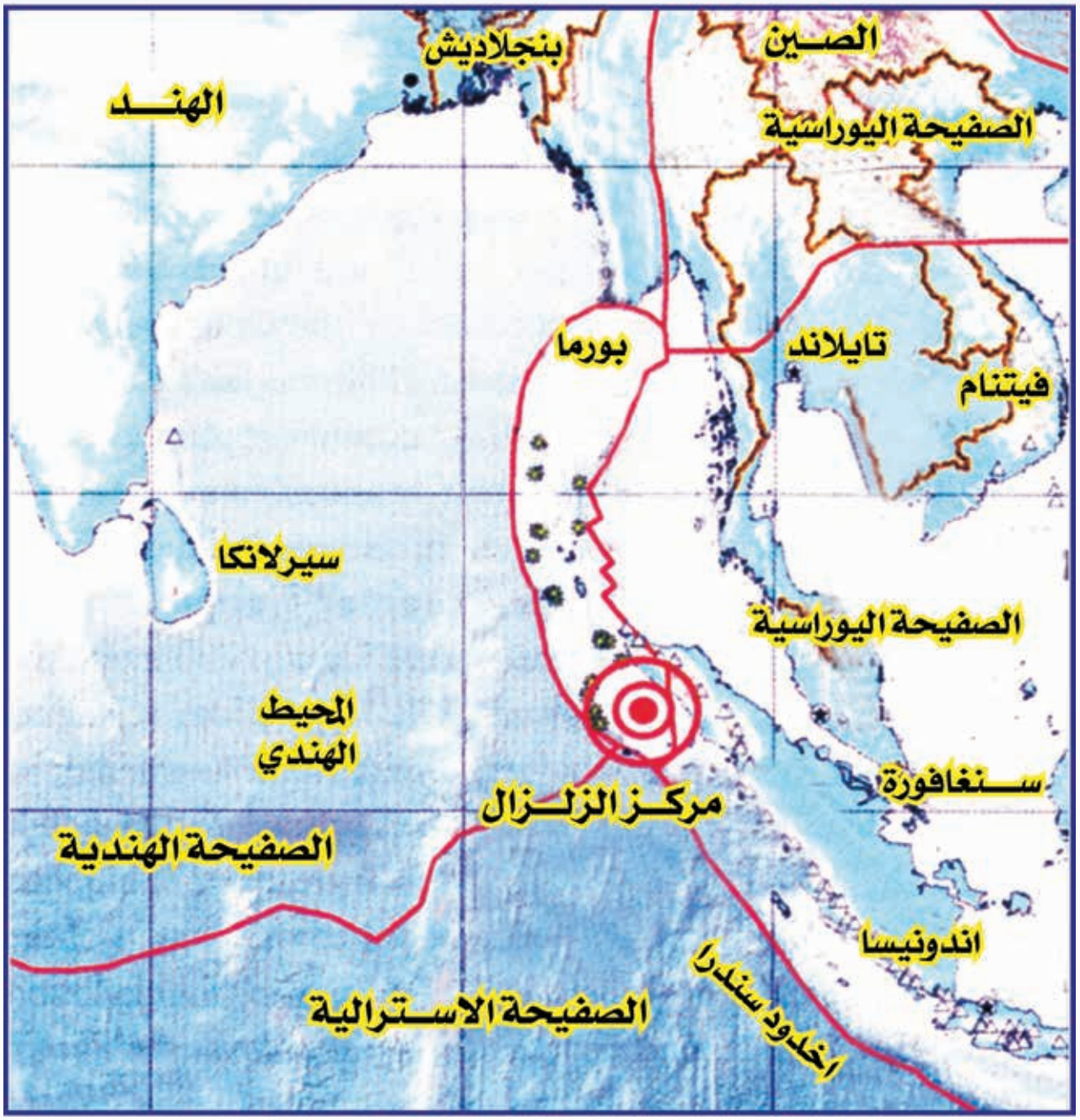
لم يشهد العالم منذ العام 1964م زلزالاً يضاهي قوة الزلزال العنيف الذي ضرب دول جنوبي شرقي آسيا وهي إندونيسيا وسريلانكا والهند وتايلاند وماليزيا وجزر المالديف وأودى بحياة 280000 شخص ويعتبر خامس أقوى زلزال منذ العام 1900م. لقد تعرضت غرب جزيرة سومطرة بتاريخ 2004/12/26م إلى زلزال مدمر نجم عن موجات بحرية عاتية تجاوز قدره 9 درجات. دلت الدراسات أن فترة هذه الهزة استمرت 10 دقائق على الأقل وتعتبر الأطول في التاريخ الحديث.

وقع مركز الزلزال السطحي عند 3.316°N, 95.854°E إلى الغرب من القسم الشمالي من جزيرة سومطرة الاندونيسية وعلى بعد 250 كيلومترا من الساحل الجنوبي الشرقي لباندا اتشيه و 320 كيلومترا إلى الغرب من مدينة ميدان عند نهاية الحافة الغربية «لحلقة النار» (Fire Belt) التي يتركز فيها 81 بالمائة من الزلازل الكبرى في العالم. حيث يمتد هناك خط الانقطاع الصخري الفاصل بين الصفيحتين الكبيرتين الغربية وهي الهندية-الأسترالية المحيطية والصفيحة الشرقية القارية اليوراسية-البورمية وهذه الصفائح في حركة دائمة بشكل بطيء. ونتيجة لحركة هاتين الصفيحتين بشكل مجار /مواز/ لبعض، فقد حدث نوع من التصادم والتضاغط الشديد بينهما نجم عن ذلك تصدعات مختلفة حيث انزلقت الصفيحة الهندية المحيطية الأكثر كثافة تحت الصفيحة اليوراسية-البورمية بسرعة 6 سم في السنة تقريبا لتولد زلزالا على عمق 10 كم تحت سطح المحيط الهندي وامتدت الحركة على فالق طوله 400 كم في اتجاه الشمال الغربي بإزاحة بلغت 20 مترا على امتداد الفالق.



انزلاق الصفيحة الهندية المحيطية الأكثر كثافة تحت الصفيحة اليوراسية - البورمية شمال غرب سومطرة بسرعة 6 سم في السنة تقريبا مما أدى إلى حدوث التسونامي

عندما اصطدمت الموجه بالشاطئ تحولت طاقتها الحركية إلى موجة عالية بلغ ارتفاعها أكثر من 10 أمتار. بلغت الطاقة الكلية التي أصدرها زلزال المحيط الهندي حوالي $2X10^{18}$ جول وهذه تعادل تقريبا طاقة قنبلة بقوة مائة جيجا طن Gigaton (1 gigaton = 10^6 ton of TNT). وقد أدى زحزحة الكتلة الصخرية والطاقة الهائلة التي أطلقها الزلزال إلى إحداث تغير طفيف في دوران الأرض. وتشير النماذج النظرية إلى أن يوم الأرض سيقصر بمقدار 2.68 أجزاء من المليون من الثانية (2.68 µs) (أو حوالي واحد Billionth من طول اليوم) وذلك نتيجة لنقصان في تفلطح (Oblateness) الأرض. كما قد يؤدى الزلزال أيضا إلى «تحلحل» (Wobble) في حدود 2.5 سنتيمتر، أو ربّما بحدود 5 أو 6 سنتيمترا. وبصورة مذهلة، تحركت بعض الجزر الصغيرة المتواجدة بسومطرة في بعض المناطق الجنوبية الغربية في حدود 20م، بل إنّ النهاية الشمالية لسومطرة التي تقع على صفيحة بورما، قد تنتقل أيضا لمسافة 36م باتجاه الجنوب الغربي.



حركية تسونامي سومطرة والتي تبين منطقة تصادم الصفيحة الهندية المحيطية من الغرب مع الصفيحة القارية /اليوراسية-البورمية من الشرق بمعدل 6 سم في السنة تقريبا. ويظهر في الشكل البؤرة السطحية لزلزال سومطرة الذي حدث في ديسمبر2004م

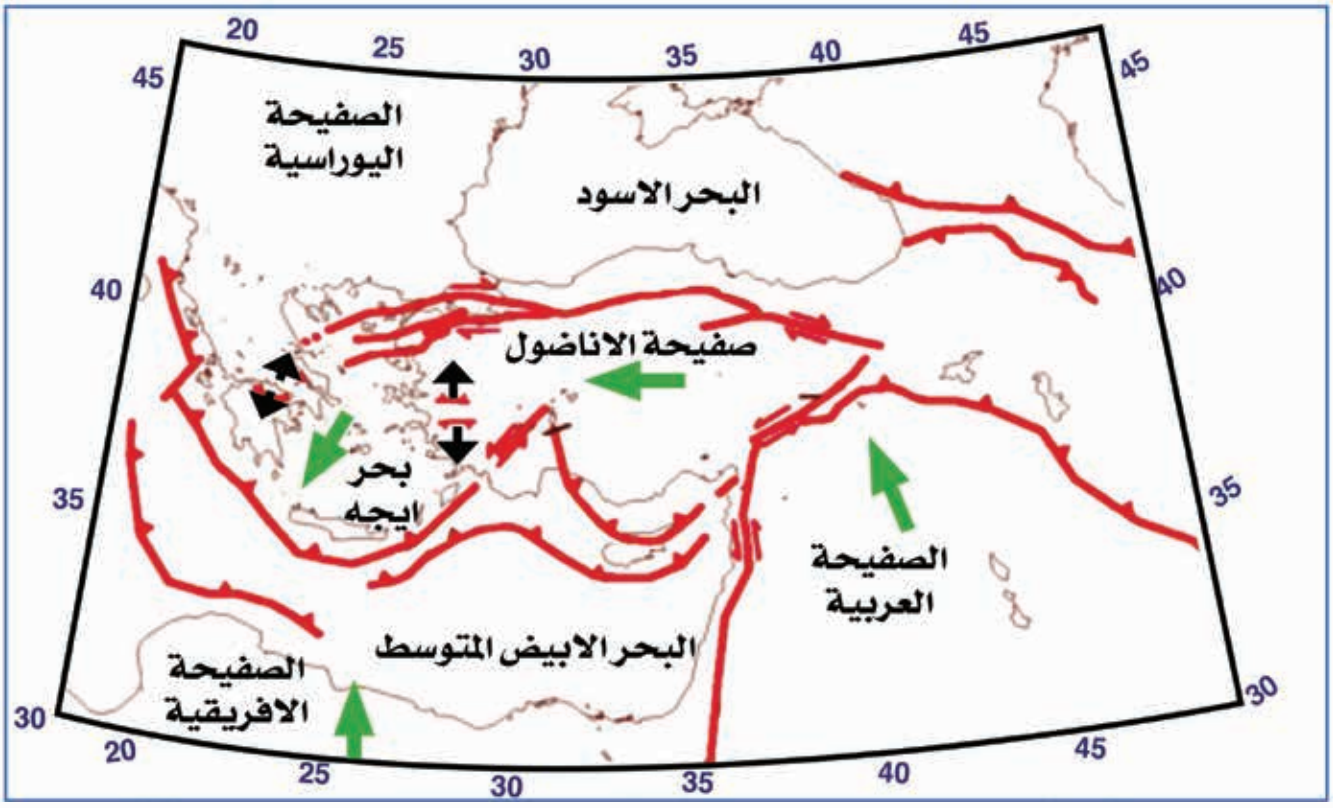
لـم تتضـرر بنجـلادش كثيـرا بزلـزال المحيـط الهنـدي بالرغـم مـن أنهـا تقـع علـى الطـرف الشـمالي لخليـج البنجـال، عـلاوة علـى كونهـا أرض منخفضـة، ويرجـع السـبب إلـى أن اتجـاه خـط الفالـق (الصـدع) يمتـد اتجـاه شـمال-جنوب، الأمـر الـذي جعـل القـوة العظمـى للموجـات التسـونامية تسـافر عموديـاً علـى اتجـاه خـط الفالـق، أي باتجـاه شـرق-غرب. دلـت الدراسـات الزلزاليـة التاريخيـة والحديثـة علـى امتـداد فالـق سـومطرة أن مثـل هـذا النـوع مـن الـزلازل وبقـدر 9 قـد يتكـرر كل 230 سـنة تقريبـا والله أعلـم .

الزلازل التسونامية التاريخية والحديثة المدمرة التي وقعت في اندونوسيا وبلغ مقدارها أكبر من 7 ويظهر تغير معدل تصادم الصفائح على امتداد صدع سومطرة.

مدى تأثير ظاهرة التسونامي على الوطن العربي

تتأثر منطقة شبه الجزيرة العربية حركيا بالانفتاح في منطقة البحر الأحمر ثم منطقة التصادم غرب إيران ممتدة حتى صدع الأناضول الذي يأخذ الاتجاه من الشرق إلى الغرب في جنوب تركيا، هذا الصدع تحدث عليه حركة أفقية. أما منطقة البحر الأبيض المتوسط نجد أن الصفيحة التركية مع الصفيحة اليوراسية والصفيحة الأفريقية تتحركان حركة جانبية بالنسبة لكل منهما الأخر ولا يوجد تصادم في هذه المنطقة أما إلى الجنوب قليلا في منطقة البحر الأبيض المتوسط يحدث تصادم وإن كان التصادم مازال في مرحلة المهد لا يقارن بالتصادم في منطقة المحيط الهادي مع المحيط الهندي حيث تصدم الصفيحة الأفريقية مع الصحيفة اليوراسية تحت القوس اليوناني والقوس القبرصي. معدل اندساس الصفيحة الأفريقية في هذا المكان حوالي 2 سم لكل عام هو نفس معدل الانفتاح في البحر الأحمر بينما يصل المعدل إلى 3 سم في منطقة تصادم الصفيحة العربية مع اليوراسية.

يتميز الخليج العربي بأنه بحر ضحل وشبه مغلق حيث يبلغ طوله 1000كم وعرضه من 200-300 كم ومساحته 250000 كم^2 ويصل أقصى عمق 100م. أما البحر الأحمر فيبلغ طوله 2000 كم ومساحته 440000 كم مربع وعرضه 350 كم ويصل أقصى عمق له حوالي 2850 مترا ومتوسط العمق 500 متر.



خارطة حركية تبين الصدوع النشطة في الوطن العربي وعلاقتها بالصفائح التكتونية العربية واليوراسية والأفريقية.

يتضـح إن الظـروف الحركيـة والبيئيـة التـي تتشـكل فيهـا التسـونامي عمومـا لا تتوفـر في المنطقـة العربيـة حيـث أن ذلـك يتطلـب أولاً أن تكـون منطقـة بحـار أو محيطـات مفتوحـة بـآلاف الكيلومتـرات بالإضافـة إلـى أن مناطـق التسـونامي النشـطة تتولـد مـن حركـة الدفـع الفجائيـة التـي يحدثهـا الزلـزال تحـت قـاع المحيـط نتيجـة حركـة تصدعيـة عنيفـة مـن جـراء تصـادم صفيحتـين. وفي بعـض الحـالات قـد تنجـم التسـونامي عـن ثـوران بركانـي أو سـقوط نيـزك أو حـدوث انـزلاق أرضي تحـت المـاء. عـلاوة علـى أن موجـات التسـونامي تتميـز بمـدى طويـل جـداً لهـا القـدرة علـى نقـل الطاقـة المدمـرة مـن مصدرهـا في المحيـط إلـى مسـافة تبلـغ آلاف الكيلومتـرات.

إن ظـروف تشـكيل التسـونامي لا تتوفـر في البحـر الأحمـر وخليـج العقبـة والخليـج العربـي نظـراً لمحدوديـة اتسـاعهم وضـحـالة أعماقهـم علاوة علـى أن الفوالـق في البحـر الأحمـر وخليـج العقبـة مـن النـوع الرأسـي و المضربـي ليـس لديهـا القـدرة الكافيـة علـى توليـد موجـات تسـونامية مدمـرة كمـا هـو الحـال في المحيـط الهـادي. ولـم يسـبق تاريخيـاً أنـه سـجل أي موجـات تسـونامية منـذ 525 ق.م في شـبه الجزيـرة العربيـة.

أمـا الوضـع في منطقـة البحـر الأبيـض المتوسـط فيعتبـر أكثـر قابليـة وعرضـة للـزلازل التسـونامية ويرجـع ذلـك إلـى عرضـه الكبيـر نسـبياً، وكذلـك إلـى نوعيـة الصـدوع في منطقـة قبـرص ومـا تحتهـا، المؤهلـة لكـي يتولـد منهـا موجـات تسـونامية. حيـث نجـد ان محـرك النشـاط الزلزالـي هـي منطقـة اندسـاس الصفيحـة الأفريقيـة تحـت الصفيحـة اليوراسـية الواقعـة تحـت منطقـة الأطلـس في شـمال أفريقيـا مـن المغـرب حتـى تونـس وتمتـد أيضـا في البحـر حتـى شـمال صقليـة . الجـدول 1 يوضـح تسـجيل تسـع تسـونامیات في منطقـة البحـر الأبيـض المتوسـط منـذ 525 ق.م وخلـو شـبه الجزيـرة العربيـة مـن هـذا النـوع مـن الـزلازل.

وحيث أن هناك العديد من المشاريع البحرية والجزر الاصطناعية على امتداد شواطئ الخليج العربي والبحر الأحمر فإنه من الضرورة إنشاء كاسرات أو مصدات الأمواج التي تعمل على تشتيت الطاقة الموجية وانكسارها قبل وصولها إلى الشواطئ بمسافة 15 ـ 20 مترا . وينصح بأن يتم التصميم الهندسي للمنشات الحيوية والعمرانية على امتداد شواطئ المنطقة العربية على اعتبار وقوعها في منطقة النشاط الزلزالي العالي Zone 2A وإعطائها معامل أمان زلزالي مرتفع نسبيا بحيث يكون لديها القدرة على تحمل زلازل ذات قدر زلزالي 6 درجات.

وعموما فانه يمكن تخفيف مخاطر الزلازل وتصميم المباني والمنشات المقاومة لها أما كوارث التسونامي فالوضع أصعب نسبيا في البحر الأبيض المتوسط والبحر الأحمر لأن زمن انتقال الموجة من المصدر إلى الشواطئ لا يكفي لبناء منظومة إنذار مبكر كما في المحيطين الهادي والهندي.

جدول يبين الزلازل التسونامية المؤثرة التي حدثت في الوطن العربي

السنة	الوصـــــف
525 ق.م	زلزال وأمواج بحرية ومد زلزالي أدى إلى تدمير مدينة صور.
140 ق.م	تعرضت صور إلى أمواج عاتية ومد زلزالي.
206 م	أمواج زلزالية أدى إلى دمار واسع على طول ساحل شرق البحر المتوسط
551 م	زلازل وأمواج بحرية دمرت بيروت تدميراً كاملاً وانحسرت مسافة ثلاثة كيلومترات وربما كان الأقوى في تاريخ المنطقة.
746 م	زلزال بقوة 7.3 أدى إلى أمواج عاتية وصلت إلى غور الأردن.
881 م	أمواج بحرية عاتية دمرت مدينة عكا.
1201 م	موجة من الزلازل والأمواج البحرية عصفت بقبرص وفلسطين وسوريا.
1404 م	أمواج بحرية عملاقة أحدثت دماراً على طول الساحل اللبناني.
1752 م	أمواج بحرية ضربت شواطئ فلسطين.

كيفية التصرف في حال حدوث تسونامي

هناك العديد من الإجراءات والتدابير التي يُمكن اتباعها للنجاة من خطر كارثة التسونامي، ومن هذه الإجراءات الآتي:

- **الانتقال إلى الأماكن العالية بدلاً من التواجد في المناطق الساحلية المُنخفضة، ويجب اتباع هذا الإجراء أيضاً عند حدوث أي زلزال قوي في تلك المناطق، فعلى الرغم من أن الزلازل لا تتسبب جميعها بحدوث تسونامي إلا أن الكثير منها إذا وقع في مناطق داخل المحيط أو بالقرب منه فقد ينتج عنها حدوث التسونامي.**
- **الحرص على البقاء بعيداً عن مناطق الخطر، وذلك لحين إصدار قرار من الجهات المُختصة بزوال خطر التسونامي الذي قد يحدث على عدة موجات متتالية.**
- **الحذر عند رؤية بعض العلامات التي قد تُشير إلى حدوث التسونامي كانخفاض منسوب المياه أو ارتفاعه بشكل ملحوظ.**
- **عدم الانخداع بمظهر التسونامي الذي قد يبدو صغيراً للوهلة الأولى، فهذه الأمواج قد تصل إلى مدى عدة كيلومترات داخل حدود الشواطئ.**
- **تجنُب التوجه إلى الشواطئ أثناء حدوث التسونامي؛ حيث إن أمواج التسونامي تستطيع العبور بشكل أكبر مما يُمكن للإنسان الهرب منها.**
- **التعاون مع السلطات المختصة التي ستعمل على إدارة الكارثة.**
- **الخروج من المباني الموجود ضمن المناطق الساحلية المنخفضة؛ حيث إن الوجود في مثل هذه المباني يُشكل خطراً على حياة الإنسان، ويُمكن الاختباء**

في أحد الطوابق العلوية للمباني القوية المُشيدة من الإسمنت في حال عدم القدرة على الخروج والذهاب إلى أماكن مرتفعة.

- يُنصح بالتوجه إلى المياه العميقة التي يزيد عمقها عن 180 متر تقريباً، في حال وجود المرء بسفينة أو قارب أثناء حدوث التسونامي فإنه وفي حال كانت عوامل الطقس لا تسمح بذلك فإنه يُنصح بترك القارب أو السفينة والتوجه إلى المناطق العالية.
- عدم إعادة المراكب أو السفن إلى الشواطئ قبل التأكُد من أنه يُمكن فعل ذلك بأمان، حيث يُمكن أن ينتج عن التسونامي العديد من الموجات والتيارات المفاجئة لفترة من الزمن.
- متابعة وسائل الإعلام وأخبار الطقس بشكل دائم لمعرفة أية أخبار قد يتم نشرها عن حدوث التسونامي.
- الابتعاد عن وسائل النقل: عليكَ الابتعاد عن السيارات أو أي وسيلة نقل أخرى كالموتور الهوائي، فهيَ لن تفيدك بشيء بل ستعرقلك وتستنفذ وقتك، ففي هذه الحالة يكون عدد وسائل النقل كبير جداً ومنَ المُمكن أن يُصادفكَ ازدحام.
- تجنب استخدام المصعد: لا تستخدم المصعد فالكثير منَ الأشخاص يعتقدون أنَ المصعد سريع جداً وسينقل بهم إلى أعلى نقطة، ولكن منَ المحتمل أن تصل المياه إلى داخل المصعد لذلك يُفضّل استخدام الدرج.
- التحضير المسبق: إذا كنتَ موجوداً في أحد الأماكن المهددة بالتسونامي، فاعمل جاهداً لإعداد حقيبة ووضع داخلها جميع الأساسيات التي تحتاجها، كالأدوية والإسعافات الأولية وبعض الأمور الشخصية التي لا يُمكنك الاستغناء عنها.

هل يمكن التنبؤ بحدوث التسونامي؟

يبذل العلماء قصارى جهودهم للوصول إلى طرق جديدة للتنبؤ بحدوث التسونامي وتحديد سلوكياته، وبالرغم من التطور التكنولوجي الذي بلغه العالم حاليًّا؛ إلا أن معظم البيانات المتوفرة تأتي بعد وقوع الضرر وليس قبله، إذ لجأ الجيولوجيون إلى الوقوف على العديد من العوامل المؤثرة منها الغمر والارتفاع؛ ويقصد بالغمر المسافة الأفقية القصوى التي ينطلق منها الموج من أعماق المحيط، بينما يستدل بالارتفاع على المسافة الرأسية القصوى التي بلغتها الأمواج فوق مستوى سطح البحر.

وقد لجأ العلماء إلى خطوات عظيمة في التنبؤ بحدوث التسونامي من خلال المراقبة المستمرة للأحداث الزلزالية ومدى التغيرات التي تطرأ على مستويات الأمواج، ومن الجدير بالذكر أن مركز التحذير من الزلازل (PTWC) يتمركز في شواطئ إيوا في هاواي المطلة على المحيط الهادئ؛ لذلك يكون قادرًا على معرفة الزلازل قبل وقوعها ورصدها، ويقدم الخدمة لكافة السواحل الغربية ومركز ألاسكا ومنطقة جزر ألوتيان وكولومبيا البريطانية وولاية واشنطن وكاليفورنيا وأوريغون.

لُجئَ لاستخدام العوامات البحرية المفتوحة ومقاييس المد الساحلي للكشف عن أمواج تسونامي، وإنّ هذه الوسائل تؤدي دورًا هامًّا في الإبلاغ عن معلومات هامة تنقلها إلى المحطات الموجودة في المناطق، وتكمن أهميتها في مراقبة ورصد مقدار التغيرات الدقيقة التي تطرأ على مستوى المد فوق سطح البحر، وترصد الزلازل ونشاطها بواسطة محطات قياس الزلازل، وفي حال اكتشاف مركز الزلزال فإن التسونامي سيحدث حتمًا في حال كانت قوة الزلزال 7.5 أو أعلى من ذلك.

تلجأ الجهات المختصة للتحذير من التسونامي والإبلاغ عنه وإخلاء المناطق المتوقع تأثرها، ولم تغب وكالة ناسا عن المشاركة في التنبؤ بحدوث التسونامي قبل وقوعها، إذ حققت نجاحًا في إطلاق نظام تنبؤ نموذجي بالتسونامي داخل مختبرات الدفع النفاث سنة 2010م، وقد تمكن النظام المبتكر من التنبؤ بحدوث تسونامي بعد زلزال تشيلي المندلع في 27 شباط سنة 2010م.

تخفيف مخاطر التسونامي

لا يستطيع العلم التنبؤ بموعد حدوث تسونامي، ولكن استنادًا إلى البيانات التاريخية والنمذجة الإحصائية، يمكن أن يساعد في تحديد المناطق المعرضة لهذه الظواهر المخيفة. بمجرد اكتشافها، يمكن أن يساعد العلم في تحديد وقت التأثير وشدته ومنطقة تأثير موجات تسونامي، والتي يمكن أن تساعد في تعبئة عمليات الإخلاء. نظرًا لكونه أحد أكثر المظاهر فتكًا لقوى الطبيعة، فلا يوجد الكثير مما يمكن فعله ضد كارثة تسونامي. أفضل رهان لك هو ببساطة أن تكون على دراية بهذه الأحداث وتبتعد عن الطريق عندما تضرب الأمواج القاتلة. أفضل فرصة للنجاة من كارثة تسونامي هي الانتقال إلى أرض مرتفعة في أسرع وقت ممكن. يعد تجنب المناطق المنخفضة أمرًا أساسيًا ؛ في الأساس، يعد وضع أكبر مسافة ممكنة بينك وبين الموجة فكرة جيدة. إنها خرافة أن أول موجة تسونامي هي الأعلى، لذلك لا تتوقف عن التسلق بعد أن تضرب الموجة الأولى.

في الدول النامية، تكون المعاناة من أثر الكوارث الطبيعية أشد وطأة، حيث أن أكثر من 95 % من إجمالي الخسائر في الأرواح الناجمة عن الكوارث تكون في الدول النامية، ويمكن أن يصل حجم الخسائر المادية التي تتكبدها هذه الدول إلى 20 مرة ضعف ما تتكبده الدول الصناعية (كنسبة من إجمالي الناتج المحلي). وعلى مدى القرن الماضي ضرب اليابان 150 تسونامياً أحدث 15 % خسائر مادية وبشرية بينما أحدث أكثر من نصف عدد التسونامات ألـ 34 التي ضربت إندونيسيا خلال القرن الماضي خسائر كبيرة في الممتلكات والأرواح.

مـن المعـروف أن أكثـر مـن ربـع مجمـوع التسـونـاميات التـي وقعـت في منطقـة المحيـط الهـادي منـذ عـام 1895م نشـأت بالقـرب مـن اليابـان نظـراً لقربهـا مـن التقـاء أربـع صفائـح حركيـة نشـطة. ومـن أجـل هـذا كـرس اليابانيـون أمـوالاً طائلـة في محاولـة للتنبـؤ بالتسـونـامي والتقليـل مـن آثارهـا.

عمومًا يشتمل برنامج تخفيف مخاطر التسونامي على أربعة مراحل:

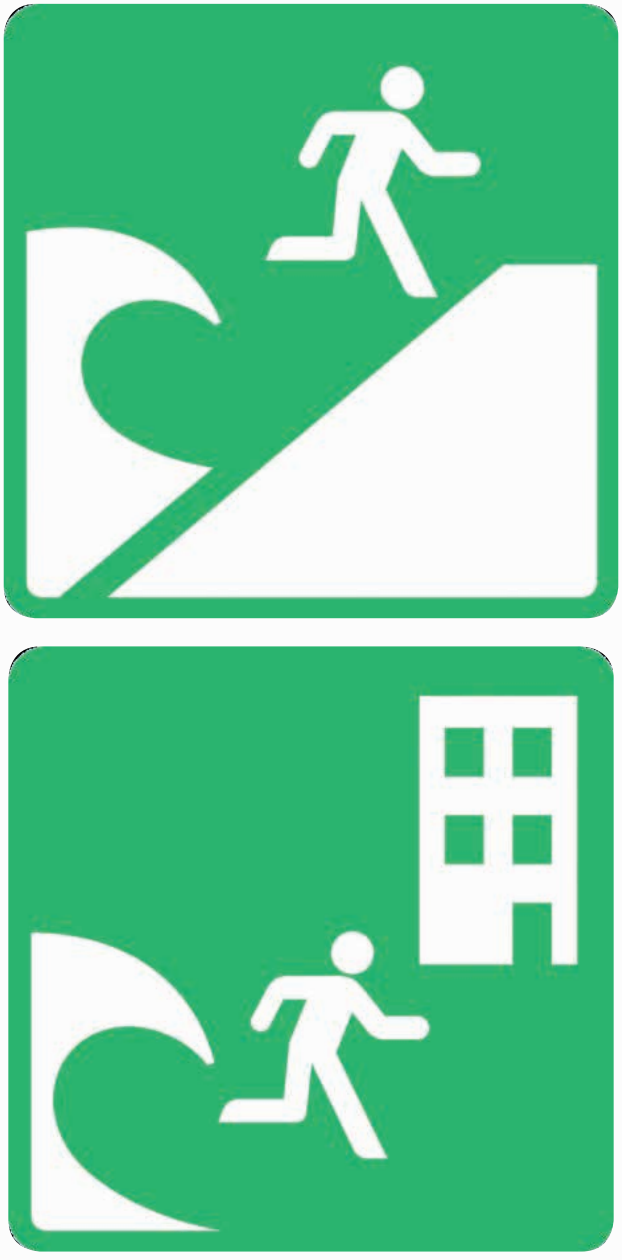
- **إعداد البرامج التعليمية والثقافية.**
- **إنشاء نظام فعال للإنذار المبكر.**
- **زراعة غابات اعتراضية شاطئية.**
- **إشادة مصدات بحرية.**

البرامج التعليمية والثقافية

«لقد بدأت الوكالات المانحة والحكومات تدرك أن التأهب للكوارث والتكيف مع التغيرات المناخية لا بد وأن يكون لهما الأولوية القصوى في مساعدات التنمية، ولا سيما في المناطق القريبة من مستوى سطح البحر والأكثر عرضة لهذه الكوارث مثل جزر المحيط الهادي».

تؤدي توعية المجتمعات المحلية دوراً حاسماً لتفادي كوارث التسونامیات في المستقبل. وحالياً تنتشر لافتات موحدة في جميع الولايات المطلة على المحيط الهادي لتحذير سكان السواحل في المناطق المعرضة لمخاطرها.

منطقة معرَّضة لمخاطر أمواج التسونامي التي اعتمدتها المنظمة الدولية للتوحيد القياسي (ISO)



علامتان تشيران إلى مبنى يُجلى منه وإلى مكان آمن يُجلى إليه بسبب أمواج التسونامي، في اليابان

علامة تشير إلى منطقة معرَّضة لمخاطر أمواج التسونامي

والحقيقة أن تثقيف المقيمين في المناطق الساحلية المنخفضة بشأن علامات التحذير التي قد تشير إلى اقتراب حدوث موجة تسونامي (مثل الاهتزازات والانحسار المفاجئ للمحيط)، وإنشاء نظام إنذار يتضمن نشرات طوارئ وتحذيرات تبث على الهواتف، وصفارات إنذار، وتحسين أنظمة الاستجابة للطوارئ، كل ذلك كان من شأنه أن ينقذ العديد ممن قتلوا بسبب موجة التسونامي التي ضربت سواحل المحيط الهندي.

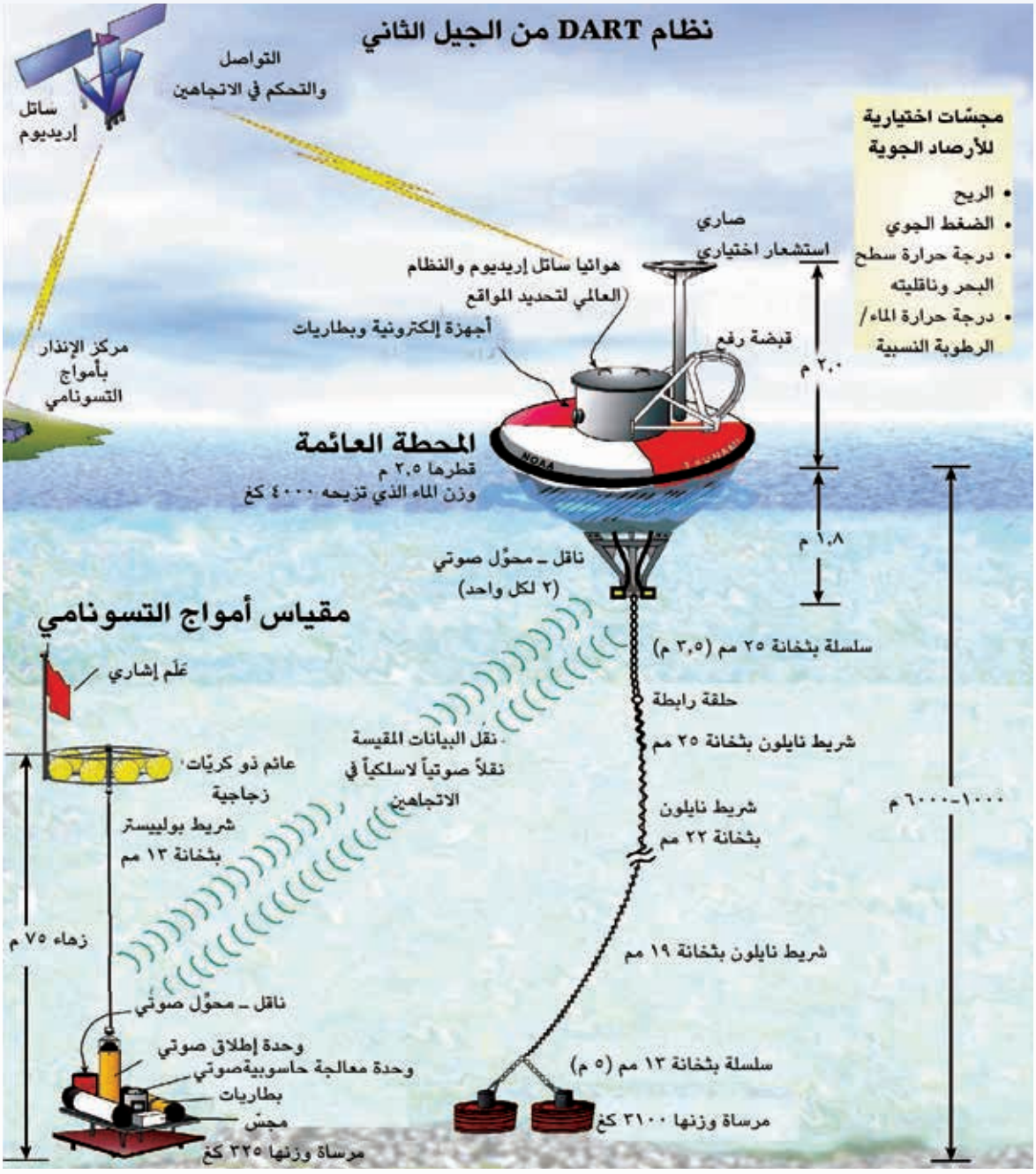
نظـــام الإنـــذار المبكر بالتســـونامي

الأقمار الصناعية

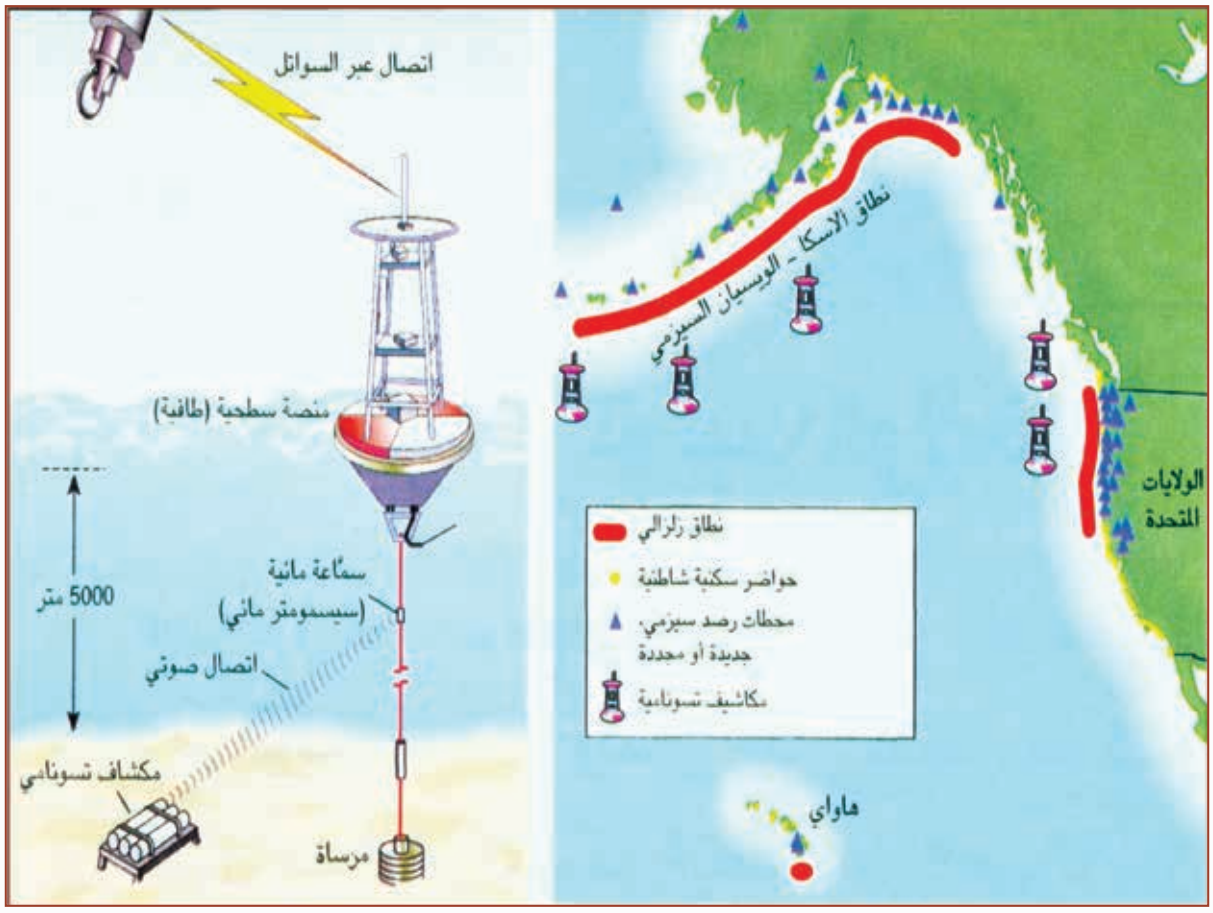
مقاييس الارتفاع للأقمار الصناعية تقيس ارتفاع سطح المحيط مباشرة عن طريق استخدام النبضات الكهرومغناطيسية. يتم إرسالها إلى سطح المحيط من القمر الصناعي ويمكن تحديد ارتفاع سطح المحيط من خلال معرفة سرعة النبضة وموقع القمر الصناعي وقياس الوقت الذي تستغرقه النبضة للعودة إلى القمر الصناعي. تتمثل إحدى مشكلات هذا النوع من بيانات الأقمار الصناعية في أنها يمكن أن تكون متفرقة للغاية – فبعض الأقمار الصناعية تمر فقط فوق موقع معين مرة واحدة في الشهر، لذلك ستكون محظوظًا لاكتشاف تسونامي نظرًا لأنها تنتقل بسرعة كبيرة. ومع ذلك، أثناء تسونامي المحيط الهندي في 26 ديسمبر 2004، تصادف أن مقياس الارتفاع عبر القمر الصناعي جايسون كان في المكان المناسب في الوقت المناسب.

نظـــام DART

في عام 1995، بدأت الإدارة الوطنية للمحيطات والغلاف الجوي (NOAA) في تطوير نظام تقييم أعماق المحيطات والإبلاغ عن موجات التسونامي (DART). يتم نشر مجموعة من المحطات حاليًا في المحيط الهادئ. تقدم هذه المحطات معلومات مفصلة عن موجات تسونامي بينما لا تزال بعيدة عن الشاطئ. تتكون كل محطة من مسجل ضغط قاع البحر الذي يكتشف مرور تسونامي. (ضغط عمود الماء مرتبط بارتفاع سطح البحر). ثم يتم نقل البيانات إلى عوامة سطحية عبر السونار. ثم ترسل العوامة السطحية المعلومات إلى مركز تحذير تسونامي في المحيط الهادئ (PTWC) عبر القمر الصناعي. يدوم مسجل الضغط السفلي لمدة عامين بينما يتم استبدال العوامة السطحية كل عام. لقد أدى النظام إلى تحسين التنبؤ والإنذار بأمواج تسونامي في المحيط الهادئ.



جهاز لقياس الضغط موضوع على قاع البحر يمكن أن يكشف أمواج تسونامي هي من الصغر بحيث تقاس بالسنتيمترات، ومن محطة عائمة راسية من أجل الاتصال الآني. ويستعان في هذا النظام برابط صوتي لنقل البيانات من قاع البحر إلى المحطة العائمة على سطح البحر. ثم ترحَّل البيانات المعنية إلى المحطات الأرضية، حيث تُستخلص الإشارات من أجل توزيعها الفوري على مراكز الإنذار بأمواج التسونامي



أجهزة للكشف عن التسونامي في المياه العميقة في المحطات الزلزالية الواقعة على امتداد نطاق الاسكا النشط زلزاليا (المثلثات الزرقاء). تعتمد هذه الأجهزة على مجسات عالية الدقة توضع في قاع البحر (OBS) وعندما يستشعر أحد هذه المجسات موجة تسونامية فوقه، يبعث إشارات صوتية إلى منصة طافية على سطح الماء لتقوم بدورها بنقل التحذير عبر الأقمار الصناعية VSAT .

زراعة الغابات الشاطئية

في الوقت الذي يتعذر فيه إيقاف أمواج التسونامي والأعاصير، ثمة فرصة كبيرة لتخفيف وطأتهما تتمثل في التأهب لمثل هذه الكوارث من خلال مشاركة المجتمعات المحلية على نحو صحيح ووضع أنظمة بناء وتصميم منشآت ساحلية أفضل وتحسين طرق إدارة الشعب المرجانية وأشجار المنغروف. تساعد أشجار المنغروف في كسر قوة الأمواج المدمرة للنباتات الصغيرة، كما انها تحمي سكان السواحل من أي فيضان ناتج عن موجة أو ارتفاع المد. كما أنها يساعد في الحماية من موجات التسونامي أو الأعاصير ذات الموجات القوية.

تمتص أشجار المانغروف طاقة موجة التسونامي

مصـــدّ الأمـــــواج

بنية على الشاطئ أو في البحر، يمكن أن تكون جداراً أو قاطع ماء أو شيئاً آخر ضمن المياه يشتّت الأمواج، يُستخدم لحماية مرفأ أو شاطئ من قوة الأمواج.

جدار بحري ذو درج يُستخدم طريقاً للإجلاء، يحمي مدينة ساحلية من الغمر الناجم عن أمواج التسونامي في اليابان

قنطرة مائية تُستخدم للحماية من أمواج التسونامي في اليابان تنغلق تلقائياً في غضون ثوان بعد أن تكون الهزة الأرضية قد حركت مجسّات الزلازل في القنطرة

النمذجة العددية والمحاكاة لأمواج التسونامي

النمذجة هي وصف رياضي لدورة حياة تسونامي بما في ذلك التوليد والانتشار والارتفاع. المحاكاة العددية هي أداة قوية لفهم تأثيرات الأحداث الماضية والمستقبلية. من الأهمية بمكان استخدام نتائج محاكاة تسونامي مثل أنماط انتشار موجات تسونامي، والسلاسل الزمنية، والسعات، والامتداد على طول السواحل للتخفيف من مخاطر تسونامي للأحداث المستقبلية المحتملة. تنتشر موجات تسونامي بسرعة تصل إلى 700 إلى 950 كم / ساعة في المحيط دون أن تفقد الكثير من الطاقة. عندما يصلون إلى المياه الضحلة، يزداد اتساعهم في عملية تآكل الأمواج. غالبًا ما تُستخدم معادلات المياه الضحلة غير الخطية لنمذجة انتشار موجات تسونامي وتصاعدها. يتم حساب الشرط الأولي لنموذج انتشار تسونامي باستخدام خوارزمية أوكادا. يستخدم نموذج كومكوت الهيدروديناميكي لمحاكاة تسونامي العددية. إن الكومكوت قادرة على حل معادلات المياه الضحلة غير الخطية في كل من الإحداثيات الكروية والديكارتي باستخدام مخططات الفروق المحدودة المتعرجة الصريحة وتكوين شبكة متداخلة.

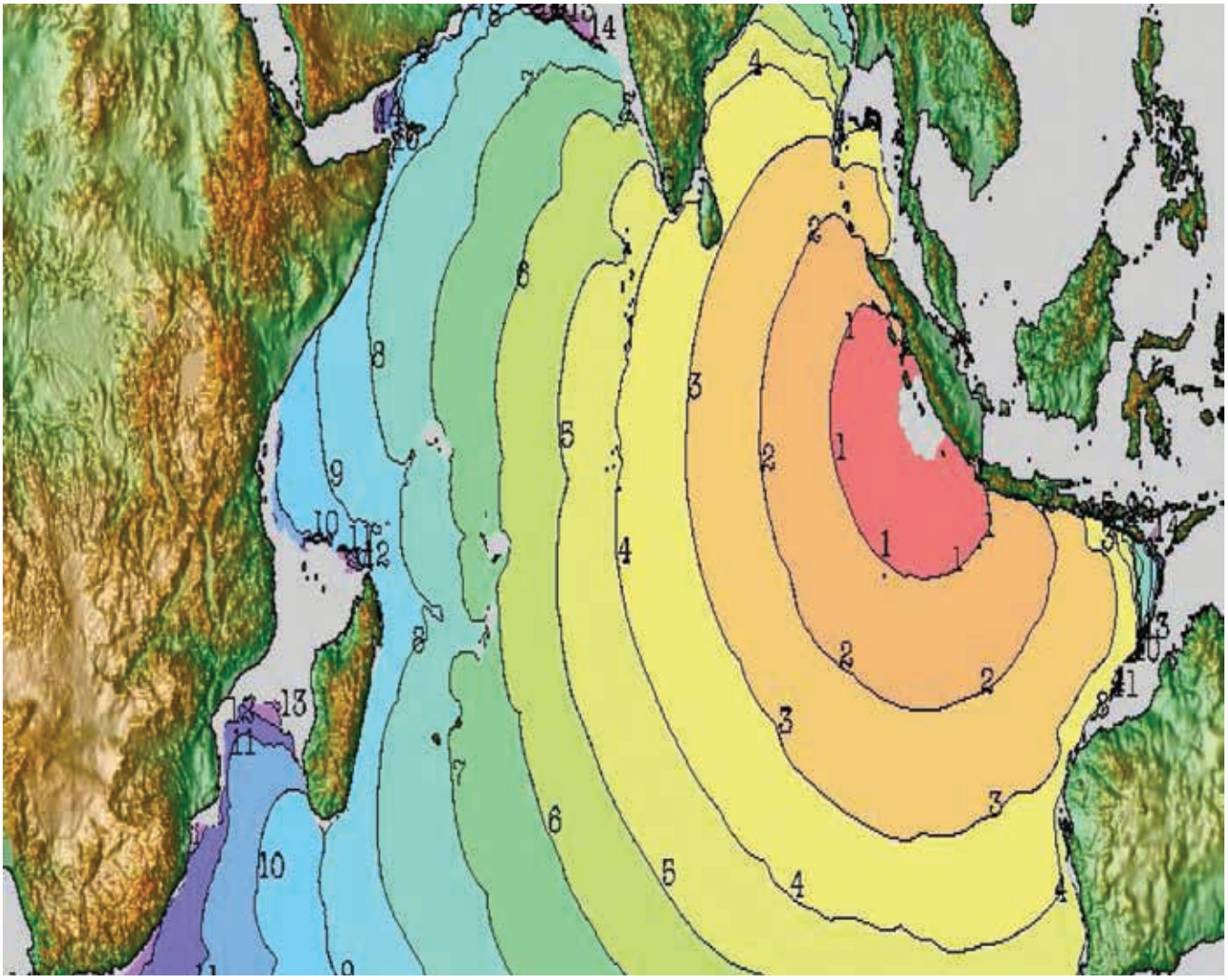
يمكن نمذجة انتشار موجات المحيط، مثل تسونامي الناتجة عن الزلازل الأرضية، بواسطة معادلات السوائل ثنائية الأبعاد (ما يسمى بمعادلات المياه الضحلة). لحل هذه النماذج عدديًا، نستخدم تقديرًا للشبكات المثلثية التكيفية. تعد القدرة على التكيف، أي تحسين الشبكة في المناطق الحرجة (خاصة على طول جبهة موجة الانتشار) ولكن أيضًا الخشونة في المناطق الأقل إثارة للاهتمام، أمرًا بالغ الأهمية لتحقيق الدقة المطلوبة في الوقت المقبول. تتطلب مثل هذه الشبكات التكيفية هياكل بيانات فعالة للذاكرة لتخزينها، ولكن أيضًا تتطلب خوارزميات وتطبيقات فعالة تعمل على هياكل البيانات هذه.

• نمذجـــة التنبـــؤ

الهدف الرئيسي من نموذج التنبؤ هو تقديم تقدير لوقت وصول الموجة وارتفاعها ومنطقة الغمر مباشرة بعد حدث تسونامي. يتم تشغيل نماذج التنبؤ بالتسونامي في الوقت الفعلي بينما ينتشر تسونامي في المحيط المفتوح، وبالتالي فهي مصممة لأداء في ظل قيود زمنية صارمة للغاية.

نظرًا للقيود الزمنية لهذا النوع من الدراسة، فقد تم تسريع عملية حساب المراحل الثلاث لنمذجة تسونامي، وهي توليد الموجات وانتشارها وغمرها من خلال إنشاء قاعدة بيانات للسيناريوهات المحسوبة مسبقًا. تحتوي قاعدة البيانات المحسوبة مسبقًا على معلومات حول انتشار تسونامي في المحيط المفتوح من العديد من المصادر المحتملة. عند وقوع حدث تسونامي، يتم تحديد مصدر أولي من قاعدة البيانات المحسوبة مسبقًا. في المراحل الأولى من تسونامي، يعتمد هذا الاختيار فقط على المعلومات الزلزالية المتاحة لحدث الزلزال. مع انتشار الموجة عبر المحيط ووصولها على التوالي إلى أنظمة DART، تقوم هذه التقارير بإبلاغ معلومات مستوى سطح البحر المسجلة إلى TWCs والتي بدورها تعالج المعلومات وتنتج تقديرًا جديدًا وأكثر دقة لمصدر تسونامي. والنتيجة هي تنبؤ متزايد الدقة بشأن تسونامي يمكن استخدامه لإصدار أو مراقبة أو تحذيرات أو عمليات إخلاء.

عند حدوث حدث مشابه لأحد السيناريوهات المحسوبة مسبقًا، تُستخدم معلومات الانتشار المتاحة لحساب المرحلة الأخيرة من الدراسة، وهي غمر الموجة.



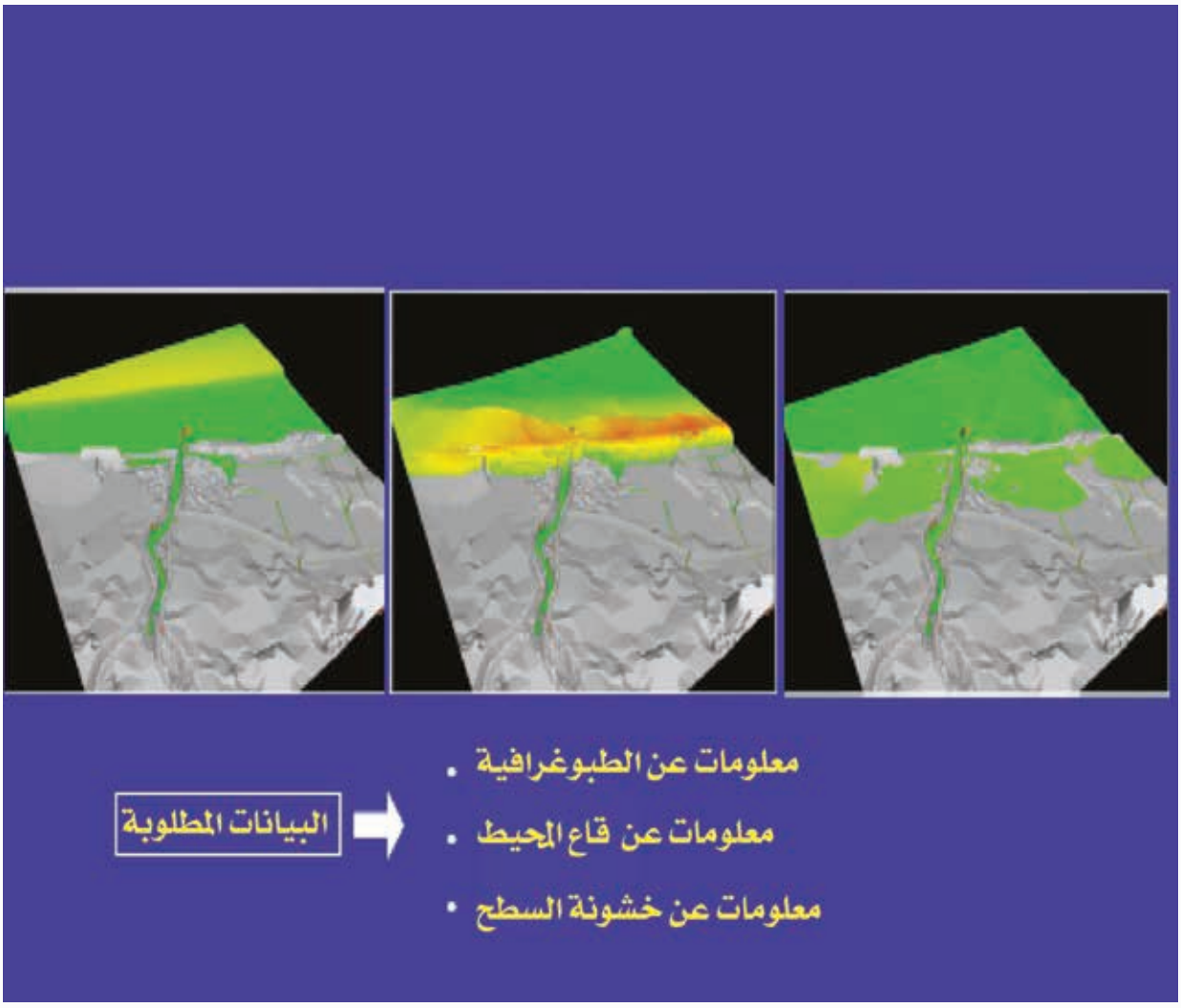
مثال لنموذج رقمي للتنبؤ بالتسونامي

• نمذجـــة الغمـــــر

تحـاول دراسـة نمذجـة الغمـر إعـادة إنشـاء جيـل تسـونامي في الميـاه العميقـة أو السـاحلية، وانتشـار الأمـواج إلـى منطقـة التأثيـر والفيضـان علـى طـول منطقـة الدراسـة. لإعـادة إنتـاج ديناميكيـات الموجـة الصحيحـة أثنـاء حسـابات الإغـراق، يتـم اسـتخدام شـبكات قيـاس الأعمـاق والطبوغرافيـة عاليـة الدقـة في هـذا النـوع مـن الدراسـة. تتطلـب مجموعـات البيانـات الطبوغرافيـة والقياسـية للأعمـاق عاليـة الجـودة اللازمـة لتطويـر خرائـط الغمـر الصيانـة والتحديـث مـع توفـر بيانـات أفضـل وحـدث تغييـرات سـاحلية.

يمكـن إجـراء دراسـات الغمـر باتبـاع نهـج احتمالـي يتـم فيـه النظـر في سـيناريوهات تسـونامي متعـددة، وتقييـم مـدى تعـرض السـاحل لمخاطـر تسـونامي، أو قـد تركـز علـى تأثيـر «سـيناريو أسـوأ حالـة» معـين وتقييـم تأثيـر مثـل هـذا الحـدث شـديد التأثيـر بشـكل خـاص علـى المناطـق قيـد التحقيـق.

يجـب أن تتضمـن نتائـج دراسـة غمـر تسـونامي معلومـات حـول أقصـى ارتفـاع للموجـة وأقصـى سـرعة للتيـار كدالـة للموقـع، والحـد الأقصـى لخـط الفيضـان، بالإضافـة إلـى سلسـلة زمنيـة لارتفـاع الموجـة في مواقـع مختلفـة تشـير إلـى وقـت وصـول الموجـة. يمكـن اسـتخدام هـذه المعلومـات مـن قبـل مديـري الطوارئ والمخططيـن الحضريـين في المقـام الأول لإنشـاء طـرق الإخـلاء وموقـع البنيـة التحتيـة الحيويـة.



نموذج محاكاة رقمية لفيضان التسونامي

الجهات الدولية والمحلية المعنية بالتسونامي

الجهة التي تتولى تنسيق الإنذار بأمواج التسونامي (TWFP). هي الجهة التي تتولى التنسيق فيما يخص أمواج التسونامي، وهي تابعة لفريق التنسيق الدولي الحكومي المعني. إنها شخص مسؤول أو جهة رسمية يمكن الاتصال بهما أو مخاطبتهما على مدار الساعة

طيلة أيام الأسبوع السبعة بغية تلقي وإصدار المعلومات المتعلقة بحالات أمواج التسونامي سريعاً (مثل التحذيرات). والجهة التي تتولى التنسيق فيما يخص الإنذار بأمواج التسونامي إما أن تكون الهيئة المعنية بالطوارئ (الدفاع المدني أو وكالة أخرى معيَّنة لتولي المسؤولية عن السلامة العامة)، أو أن تكون مسؤولة عن إبلاغ هذه الهيئة عن خصائص الحالة المعنية (الزلزال و/أو التسونامي)، وفقاً لإجراءات العمل القياسية الوطنية.

• مركز الإنذار بأمواج التسونامي TWC

هو المركز الذي يرسل في الوقت المناسب بلاغات عن أمواج التسونامي موجَّهة إلى وكالات التحرك العاجل و/أو الجمهور. والبلاغات الصادرة عن المركز الدولي للإنذار بأمواج التسونامي هي إشعارات موجَّهة إلى الجهة التي تتولى في البلد المعني تنسيق الإنذار بأمواج التسونامي.

• المركز الدولي للإعلام عن أمواج التسونامي ITIC

أنشـأت لجنـة اليونسـكو الدوليـة الحكوميـة لعلـوم المحيطـات هـذا المركـز في تشـرين الثاني/نوفمبـر 1965م لدعـم فريـق التنسـيق الدولـي الحكومـي المعنـي بنظام الإنـذار بأمـواج التسـونامي والتخفيـف مـن آثارهـا في المحيـط الهـادي. ويقـدِّم هـذا المركـز أيضـاً مسـاعدة إلـى الـدول الأعضـاء في مجـال بنـاء القـدرات لكـي تُنشـأ على النطـاق العالمـي نظـم للإنـذار بأمـواج التسـونامي والتخفيـف مـن آثارهـا

• مسؤول الاتصال الوطني فيما يتعلق بأمواج التسونامي TNC

هـو الشـخص الـذي تعينـه حكومـة الدولـة العضـو ليمثـل بلـده في فريـق التنسـيق الدولـي بغيـة تنسـيق أنشـطة الإنـذار بأمـواج التسـونامي والتخفيـف مـن آثارهـا. ويكـون هـذا الشـخص أحـد الأطـراف المعنيـة الرئيسـية في البرنامـج الوطنـي للإنـذار بأمـواج التسـونامي والتخفيـف مـن آثارهـا. ويمكـن أن يكـون هـذا الشـخص الجهـة التـي تتولـى تنسـيق الإنـذار بأمـواج التسـونامي، أو أن يكـون مـن هيئـة وطنيـة لإدارة الكـوارث، أو مـن مؤسسـة تقنيـة أو علميـة، أو مـن وكالـة أخـرى تتولـى مسـؤوليات في مجـال الإنـذار بأمـواج التسـونامي والتخفيـف مـن آثارهـا.

• النظام العالمي لرصد المحيطات GOOS

إنه نظام عالمي دائم لرصد المتغيرات المتعلقة بالبحار والمحيطات، ووضع نماذج لها، وتحليلها، دعماً للخدمات التشغيلية في مجال المحيطات في جميع أنحاء العالم

• نظام البيانات العالمي WDS والمركز الوطني للبيانات الجيوفيزيائية NGDC

النظام العالمي لرصد مستوى سطح البحر (GLOSS)

الفصل السابع

المخاطر البيولوجية [الحيوية]

البكتريـا | الفيروسـات | الفطريـات | الأوليـات

موسوعة المخاطر الطبيعية
Encyclopedia of Natural Hazards

المخاطر البيولوجية

مُقَدِّمَة

تشير المخاطر البيولوجية Biological Hazards، والمعروفة أيضًا باسم المخاطر الحيوية، إلى المواد البيولوجية التي تشكل تهديدًا لصحة الكائنات الحية، وفي المقام الأول صحة البشر.

يمكن أن يكون مصدر المخاطر البيولوجية النفايات الطبية أو عينات من الكائنات الحية الدقيقة أو الفيروسات أو السموم (من مصدر بيولوجي) التي يمكن أن تؤثر على صحة الإنسان. يُرمز للمخاطر البيولوجية بميدالية مذهلة من الصولجانات المنحنية، ويتم استحضار الطبيعة الشريرة للخطر البيولوجي من خلال الطبيعة الحادة والمدببة للرمز المستدير.

كما تشمل المخاطر البيولوجية البكتيريا والفيروسات والفطريات والسموم وغيرها مثل الأوليات. كل هذه يمكن أن تسبب ضررًا لصحة الإنسان. على الرغم من ندرة ظهور المخاطر البيولوجية، إلا أنها لا تكون مفهومة دائمًا. يمكن أن يؤدي التعرض لها إلى مشاكل صحية مفاجئة وطويلة الأمد، وفي بعض الأحيان أمراض تهدد الحياة.

توجد المخاطر البيولوجية على نطاق واسع في البيئة الطبيعية، ونتيجة لذلك فهي موجودة في العديد من قطاعات العمل والصناعات. معظم المخاطر

البيولوجية غير ضارة ولكن بسبب الآثار والمشاكل الصحية، فإنها يمكن أن تشكل خطرا في جميع أماكن العمل. يمكن أن تكون المشكلات الصحية نتيجة التعرض المباشر أو المواد المسببة للحساسية والسموم ذات الصلة.

على الرغم من أن المخاطر البيولوجية موجودة في جميع بيئات العمل، إلا أن بعض القطاعات معرضة لخطر أكبر مثل:

- **الرعاية الصحية.**
- **الخدمات البيطرية.**
- **الزراعة.**
- **إدارة مياه الصرف الصحي.**
- **المختبرات.**

سنتناول هنا تصنيفات المخاطر البيولوجية، ومستويات المخاطر البيولوجية، وكيف يتأثر الجسم البشري بالمخاطر البيولوجية، وأشكال المخاطر البيولوجية في مكان العمل، وكيفية إدارة المخاطر البيولوجية وتقييمها، وأخيرًا كيف نوفر لأنفسنا الحماية الكاملة منها.

تصنيفات المخاطر البيولوجية

يتم تحديد قضايا السلامة الحيوية من خلال تسميات محددة، علامات وفقرات وضعها المعهد الأمريكي الوطني للمعايير (ANSI).

اليوم، يتم استخدام معايير ANSI Z535 للمخاطر البيولوجية في جميع أنحاء العالم ويجب استخدامها دائمًا بشكل مناسب ضمن لافتات ANSI Z535 للاتصالات الخطرة (HazCom) ووضع العلامات والفقرات. الهدف هو مساعدة العمال على التعرف بسرعة على مدى خطورة الخطر البيولوجي من مسافة بعيدة ومن خلال توحيد الألوان والتصميم.

■ تصميم رمز الخطر البيولوجي

يتم استخدام خلفية حمراء على خلفية بيضاء أو بيضاء اللون خلف رمز خطر بيولوجي أسود عند دمجها مع علامة خطر أو تسمية أو فقرة.

يتم استخدام لون برتقالي على خلفية سوداء أو بيضاء اللون خلف رمز خطر بيولوجي أسود عند دمجه مع علامة تحذير أو تسمية أو فقرة.

يتم استخدام اللون الأصفر على خلفية سوداء أو بيضاء اللون خلف رمز الخطر البيولوجي الأسود عند دمجه مع علامة تنبيه أو تسمية أو فقرة.

من المفترض أن يكون رمز الخطر البيولوجي القياسي بمثابة إشارة إلى الخطر، وقد تم تصميمه بحيث لا يُنسى ولكن لا معنى له حتى يمكن تعليم الناس ما يعنيه.

يتم استخدام اللون الأخضر على خلفية بيضاء أو بيضاء اللون خلف رمز الخطر البيولوجي الأسود عند دمجه مع علامة إشعار أو تسمية أو فقرة.

يتم استخدام DANGER لتحديد الخطر البيولوجي الذي قد يسبب الوفاة. يتم استخدام التحذير لتحديد المخاطر البيولوجية التي قد تسبب الوفاة. يتم استخدام الحذر لتحديد الخطر البيولوجي الذي قد يسبب الإصابة، ولكن ليس الوفاة. يتم استخدام الإشعار لتحديد رسالة المخاطر البيولوجية غير المتعلقة بالإصابة (مثل سياسات النظافة أو التنظيف أو السياسات العامة للمختبر).

تتطلب إدارة السلامة والصحة المهنية استخدام ANSI HazCom المناسب حيثما ينطبق ذلك في أماكن العمل الأمريكية. تستخدم الولايات والحكومات المحلية أيضًا هذه المعايير كمدونات وقوانين ضمن ولاياتها القضائية. تتم كتابة الاستخدام السليم لعلامات ANSI Z535 والتسميات والفقرات في العديد من معايير OSHA الخاصة بـ HazCom وتم تصميمها للتكامل مع رموز ISO.

■ تصنيف العوامل البيولوجية الخطرة حسب رقم الأمم المتحدة

يتم تصنيف العوامل البيولوجية الخطرة للنقل حسب رقم الأمم المتحدة:

الفئة A، رقم الأمم المتحدة 2814 مادة معدية تؤثر على البشر: مادة معدية في شكل قادر على التسبب في إعاقة دائمة أو مرض يهدد الحياة أو مميت لدى البشر أو الحيوانات الأصحاء عند التعرض لها.

الفئة A، رقم الأمم المتحدة 2900 مادة معدية تؤثر على الحيوانات (فقط): مادة معدية ليست في شكل عام قادرة على التسبب في إعاقة دائمة أو مرض يهدد الحياة أو مميت لدى البشر والحيوانات الأصحاء عند حدوث التعرض لها.

الفئة B، رقم الأمم المتحدة 3373 المادة البيولوجية المنقولة لأغراض التشخيص أو التحقيق.

النفايات الطبية المنظمة، رقم الأمم المتحدة 3291 النفايات أو المواد القابلة لإعادة الاستخدام المستمدة من العلاج الطبي للحيوان أو الإنسان، أو من البحوث الطبية الحيوية، والتي تشمل الإنتاج والاختبار.

يعد التخلص الفوري من الإبر الطبية المستخدمة في حاوية الأدوات الحادة إجراءً قياسيًا.

مستويات المخاطر البيولوجية

تصنف مراكز مكافحة الأمراض والوقاية منها (CDC) بالولايات المتحدة الأمراض المختلفة في مستويات المخاطر البيولوجية، حيث يمثل المستوى الأول الحد الأدنى من المخاطر والمستوى الرابع يمثل خطرًا شديدًا. يتم تصنيف المختبرات والمرافق الأخرى على أنها BSL (مستوى السلامة الحيوية) 1 - 4 أو من P1 إلى P4 للاختصار (مسبب المرض أو مستوى الحماية).

■ المستوى الأول للمخاطر البيولوجية

وهو يشمل البكتيريا والفيروسات بما في ذلك العصوية الرقيقة، والتهاب الكبد الكلابي، والإشريكية القولونية، والحماق (الجدري)، بالإضافة إلى بعض مزارع الخلايا والبكتيريا غير المعدية. على هذا المستوى، تكون الاحتياطات ضد المواد الخطرة بيولوجيًا في حدها الأدنى، وعلى الأرجح تتضمن القفازات ونوعًا من حماية الوجه.

يتدرب أطباء هيئة الخدمات الصحية الوطنية على استخدام معدات الحماية المستخدمة عند علاج مرضى الإيبولا.

■ المستوى الثاني للمخاطر البيولوجية

البكتيريا والفيروسات التي تسبب مرضًا خفيفًا فقط للإنسان، أو يصعب انتقالها عبر الهباء الجوي في المختبر، مثل التهاب الكبد A وB وC، وبعض سلالات الأنفلونزا A، والفيروس المخلوي التنفسي البشري، ومرض لايم، والسالمونيلا، والنكاف، الحصبة والسكرابي وحمى الضنك وفيروس نقص المناعة البشرية.

يمكن إجراء العمل التشخيصي الروتيني مع العينات السريرية بأمان عند المستوى 2 للسلامة الحيوية، وذلك باستخدام ممارسات وإجراءات السلامة الحيوية من المستوى 2. يمكن إجراء العمل البحثي (بما في ذلك الزراعة المشتركة، ودراسات تكرار الفيروس، أو التلاعب الذي يتضمن فيروسًا مركزًا) في منشأة BSL-2 (P2)، باستخدام ممارسات وإجراءات BSL-3.

■ المستوى الثالث للمخاطر البيولوجية

البكتيريا والفيروسات التي يمكن أن تسبب مرضًا حادًا إلى مميتًا لدى البشر، ولكن توجد لقاحات أو علاجات أخرى لها، مثل الجمرة الخبيثة، وفيروس غرب النيل، والتهاب الدماغ الخيلي الفنزويلي، وفيروس كورونا السارس، وفيروس كورونا المسبب لمتلازمة الشرق الأوسط التنفسية، وفيروس سارس- كوف- 2، والأنفلونزا أ H5N1، فيروسات هانتا، والسل، والتيفوس، وحمى الوادي المتصدع، وحمى الجبال الصخرية المبقعة، والحمى الصفراء، والملاريا.

■ المستوى الرابع للمخاطر البيولوجية

الفيروسات التي تسبب مرضًا حادًا إلى مميتًا لدى البشر، والتي لا تتوفر لها لقاحات أو علاجات أخرى، مثل الحمى النزفية البوليفية، وفيروس ماربورغ، وفيروس الإيبولا، وفيروس حمى لاسا، وحمى القرم-الكونغو النزفية، وغيرها من الأمراض النزفية أيضًا. مثل فيروس نيباه.

فيروس الجدري هو عامل تم التعامل معه في مستوى BSL-4 على الرغم من وجود لقاح، حيث تم القضاء عليه وبالتالي لم يعد يتم تطعيم عامة السكان بشكل روتيني. عند التعامل مع المخاطر البيولوجية عند هذا المستوى، يكون استخدام بدلة الموظفين ذات الضغط الإيجابي مع مصدر هواء منفصل أمرًا إلزاميًا.

سيحوي مدخل ومخرج المختبر البيولوجي من المستوى الرابع على حمامات متعددة، وغرفة مفرغة، وغرفة للأشعة فوق البنفسجية، ونظام كشف مستقل، واحتياطات أمان أخرى مصممة لتدمير جميع آثار الخطر البيولوجي.

يتم استخدام غرف معادلة الضغط المتعددة ويتم تأمينها إلكترونيًا لمنع فتح الأبواب في نفس الوقت. ستخضع جميع خدمات الهواء والماء القادمة والقادمة من مختبر مستوى السلامة الحيوية 4 (P4) لإجراءات إزالة التلوث مماثلة للقضاء على احتمالية الإطلاق العرضي. حاليا لا توجد بكتيريا مصنفة على هذا المستوى.

كيف يتأثر الجسم البشري بالمخاطر البيولوجية

يمكن أن تسبب معظم المخاطر البيولوجية المرض لدى البشر، بدءًا من نزلات البرد وحتى الأمراض التي تهدد الحياة. ويمكن أن تسبب أيضًا تأثيرات أخرى، مثل التسمم أو إثارة رد فعل تحسسي.

الحالات الصحية المزمنة هي حالات وأمراض طويلة الأمد تستمر لمدة 3 أشهر أو أكثر. قد لا يكون لديهم علاج.

الحالات الحادة – التي تسمى أحيانًا حالات التسمم – هي آثار ضارة إما نتيجة جرعة واحدة من مادة ما، أو جرعات متعددة يتم إعطاؤها خلال 24 ساعة أو التعرض للاستنشاق لمدة 4 ساعات.

البكتيريـــا

وهو كائن مجهري شائع، يمكن أن يتكاثر بسرعة ويتراكم مسببًا العدوى. معظم البكتيريا غير ضارة. تنمو أنواع كثيرة بشكل طبيعي على جسم الإنسان والأغشية المخاطية.

البكتـــيريـــا	اســـم العـــدوى أو المـــرض
السالمونيلا المعوية	مرض الإسهال
ضمة الكوليرا	الكوليرا
الدوسنتاريا	الزحار
السل المتفطر	السل (TB)
الزائفة الزنجارية وبوركولديريا سيباكيا	التهاب رئوي
البكتيريا المستروحة	داء الفيالقة
الكلاميديا الببغائية	داء الببغائية
المكورات العنقودية الذهبية	الالتهابات الجلدية والتهاب الشغاف والتهاب العظم والنقي
البريميات	داء البريميات، ويسمى أيضًا مرض ويل

يمكن العثور على البكتيريا على جميع أسطح أماكن العمل، وفي التربة، وتنمو في المواد المختلفة التي يستخدمها العمال.

تحتاج البكتيريا إلى شروط معينة للتكاثر، مثل:

- **الـــــدفء**

عادة ما تزدهر البكتيريا بين 5 إلى 60 درجة مئوية

- **الرطـــوبـة**

هناك حاجة إلى شكل من أشكال الماء لتكاثر البكتيريا

- **الغـــــذاء**

العناصر الغذائية، بما في ذلك المواد الغذائية والسوائل البيولوجية لتشغيل المعادن وغير ذلك.

- **الرقـم الهيدروجينـي**

تتكاثر معظم البكتيريا بشكل أفضل عند مستوى الرقم الهيدروجيني المحايد البالغ 7

- **الـــزمـــن**

إذا توفرت الظروف المثلى للنمو، يمكن للبكتيريا أن تتكاثر إلى ملايين الخلايا المكررة خلال فترة زمنية قصيرة من خلال رؤية الانشطار الثنائي. يحدث هذا عندما تنقسم البكتيريا إلى قسمين كل 20 دقيقة.

الفيروســـــات

تختلف الفيروسات عن البكتيريا لأنها أصغر الميكروبات. الفيروس هو مادة وراثية أساسية، إما حمض الديوكسي ريبونوكلييك (DNA) أو حمض الريبونوكليك (RNA)، مغطى بطبقة واقية من البروتين. تتكاثر الفيروسات داخل الخلايا الحية الأخرى، ويمكنها الالتصاق بالخلايا المضيفة، وتتولى وظائفها. يمكن للخلية المصابة أن تصيب خلايا جديدة عند تحفيزها.

يمكن أن تسبب الفيروسات العديد من الأمراض في هياكل الخلايا الأكثر تقدمًا. الامثله تشمل:

- حُماق
- كوفيد 19
- الإيبولا
- أنفلونزا
- التهاب الكبد
- فيروس الهربس البسيط (HSV)
- مرض الحصبة
- النكاف
- شلل الأطفال
- داء الكلب
- الحصبة الألمانية
- الجدري

الفطريـــــــات

الفطريات كائنات أكثر تعقيدًا من البكتيريا أو الفيروسات، فهي تمتلك بنية خلوية مثل النباتات والحيوانات. يمكن للفطريات أن تتكاثر وتنتج الجراثيم. وتنتشر معظم الجراثيم عن طريق الهواء، وتنتقل إلى مكان مناسب لتنمو. ثم تجعل الجراثيم من الفطريات المسببة للأمراض خطرًا خاصًا حيث يمكن استنشاقها أو تنفسها.

الفطريات المسببة للأمراض	المرض الذي يسببونه
الرشاشيات، العفن الشائع	داء الرشاشيات – حالة الجهاز التنفسي
البرعمية	الفطار البرعمي – عدوى الرئة
المبيضات	داء المبيضات في الأذن والفم والمريء
الكوكسيديا	داء الكروانيات – ويسمى أيضًا حمى الوادي
باراكوكسيديويدس، فطر	الفطار نظير الكرواني، وهو مرض يصيب الرئتين ويسبب آفات في الفم والحلق
فطريات متعددة	فطريات الأظافر والتهابات العين
النوسجة	داء النوسجات

بالإضافة إلى أنها تسبب العدوى مباشرة عن طريق الاستنشاق أو الابتلاع أو الاتصال المباشر، يمكن للفطريات أيضًا أن تنتج سمومًا يمكن أن تؤثر على صحة الإنسان.

يمكن العثور على الفطريات في التربة الرطبة والمباني. يمكنهم دخول الجسم إما مباشرة أو من خلال الجراثيم التي تنتقل إلى هناك عبر الهواء. تحتاج الفطريات إلى الرطوبة لتنمو وتتكاثر، لذلك تتواجد بشكل عام في المناطق الرطبة، مثل المطابخ والحمامات وأقبية المباني.

السموم من المصادر البيولوجية

السموم هي مجموعة فرعية من السموم التي تنتجها الكائنات الحية. السموم هي أي مادة يمكن أن تسبب ضررًا للكائن الحي إذا تم امتصاص كمية كافية منها، ويمكن أن يكون ذلك إما عن طريق البلع أو الاستنشاق أو الاتصال المباشر.

تنتج العديد من الكائنات الحية السموم إما كآلية دفاع أو للافتراس، وتميل إلى إنتاجها عن طريق البكتيريا والفطريات والنباتات والحشرات والحيوانات.

السموم الخمسة الأكثر فتكاً هي:

توكسين البوتولينوم أ، من بكتيريا كلوستريديوم بوتولينوم

ذيفان الكزاز A، من بكتيريا كلوستريفيوم تيتاني

ذيفان الخناق، من البكتيريا الوتدية الخناقية

موسكارين، من فطر أمانيتا موسكاريا

البوفوتوكسين، من جنس الضفدع الشائع bufo.

يمكن أن تظهر السموم في مجموعة متنوعة من إعدادات مكان العمل. يمكن للحشرات السامة مثل النحل والدبابير أن تعشش في أي عدد من مباني أماكن العمل ويمكن أن تلدغ العمال. في العديد من البلدان، تعتبر الثعابين والعناكب شديدة السمية، لذلك يمكن أن تشكل تهديدًا للعمال.

الأوليـــــــات

الأنـواع الأخـرى مـن المخاطـر البيولوجيـة هـي الأوليـات. هـذه خلايـا وحيـدة الخليـة وصغيـرة جـدًا. معظـم النـاس لديهـم كائنـات أوليـة تعيـش في أجسـادهم أو عليهـا في وقـت مـا، ويصـاب العديـد منهـم بنـوع واحـد أو أكثـر طـوال حياتهـم. بعـض الأوليـات غيـر ضـارة، لكـن العديـد منهـا طفيليـة وتسـبب المـرض. تتـراوح حـالات العـدوى مـن عديمـة الأعـراض إلـى مهـددة للحيـاة، اعتمـادًا علـى نـوع الطفيلـي وسـلالته.

يمكـن العثـور علـى الأوليـات في العديـد مـن مصـادر الميـاه، مثـل البيئـات العذبـة والبحريـة وفي التربـة. ولذلـك، يمكـن العثـور عليهـا في شـبكات الميـاه غيـر المعالجـة، وميـاه الصـرف الصحـي وفي البيئـات الزراعيـة مثـل الحقـول والمـواد الغذائيـة. بعضهـا طفيلـي، ممـا يعنـي أنهـا تعيـش في النباتـات والحيوانـات الأخـرى بمـا في ذلـك البشـر.

أكثـر الكائنـات الأوليـة المعروفـة علـى نطـاق واسـع هـي الملاريـا، والتـي توجـد في المناطـق الاسـتوائية وشـبه الاسـتوائية في العالـم.

التأثيـــرات الصحيـــة

- **التسممات والســـموم**

الأضرار الناجمة عن التسمم والسموم يمكن أن تكون ضئيلة إلى مميتة.

- **الحساسية المفرطة**

رد فعل تحسسي شديد يمكن أن يكون مميتًا. يحدث هذا عادةً استجابةً لأي مادة غريبة تقريبًا. تشمل المحفزات الشائعة ما يلي:

السموم من لدغات الحشرات
لسعات
طعام
الأدوية.

- **الأمراض طويلة الأمد (الأمراض المزمنة) محليـــًا**

تستهدف الأمراض الموضعية جزءًا أو عضوًا واحدًا من الجسم، مثل الرئتين. مثال على المرض المحلي هو التهاب الكبد B (HBV). يمكن أن ينتقل هذا إلى الجسم من خلال ملامسة سوائل الجسم المعدية مثل الدم أو الإفرازات المهبلية أو السائل المنوي.

- **أجهزة الجسم**

تؤثر الأمراض الجهازية على أجزاء كثيرة من الجسم، أو الجسم كله. يمكن أن تبدأ كمرض محلي وتتطور إلى مرض جهازي. على سبيل المثال، قد يبدأ الالتهاب الرئوي في رئة واحدة أو في كلتا الرئتين، ثم ينتشر بعد ذلك في جميع أنحاء الجسم إلى حالة قد تهدد الحياة.

- **الطفيليات**

الأمراض الطفيلية هي أمراض معدية تسببها أو تنتقل عن طريق الطفيليات. ومن الأمثلة الشائعة على الأمراض الطفيلية داء المقوسات. تحدث العدوى عادة من:

- تناول اللحوم الملوثة غير المطبوخة جيداً
- التعرض لبراز القطط المصابة
- انتقال العدوى من الأم إلى الطفل أثناء الحمل

- **سرطان**

المواد المسرطنة هي المواد التي يمكن أن تسبب السرطان. السرطان هو نمو غير منضبط للخلايا غير الطبيعية في الجسم. يمكن أن تعزى بعض حالات السرطان الجديدة إلى عوامل مثل فيروس الورم الحليمي البشري (HPV)، وبكتيريا هيليكوباكتر بيلوري، وفيروسات التهاب الكبد C و B.

- **الظروف النفسية**

هناك علاقة محتملة بين العدوى وتطور الاضطرابات مثل الفصام والاكتئاب والاضطراب ثنائي القطب. النظرية هي أن العدوى قد تؤثر على الدماغ بعوامل معدية، مما يؤدي إلى تغيير الجهاز العصبي المركزي.

- **السموم (طويلة الأجل)**

بعض السموم يمكن أن يكون لها آثار طويلة المدى. وهي تؤثر على الناس بطرق مختلفة، من المرض الخفيف إلى الموت. على سبيل المثال، هناك عدة أنواع من السموم التي تنتجها الطحالب الضارة، والتي يمكن أن تشكل أزهارًا سامة بكميات كبيرة. يمكن أن تكون هذه مسؤولة عن التسبب في:

- تهيج وضيق في التنفس
- إسهال
- القيء
- خدر
- دوخة
- شلل
- الموت

• الحساسية

الحساسية هي حالات طويلة الأمد لا تهدد الحياة ولكنها تسبب التهابًا موضعيًا في الأنسجة. بعض المخاطر البيولوجية يمكن أن تسبب فرط الحساسية، وهو رد فعل مفرط من قبل الجهاز المناعي لمسببات الحساسية. الأمثلة تشمل:

- حبوب اللقاح من النباتات
- الفيروسات
- بكتيريا
- الحيوانات والطيور

المخاطر البيولوجية في مكان العمل

يتعرض معظم العمال لبعض المخاطر من المخاطر البيولوجية. هناك خطر أكبر في الوظائف التي تنطوي على العمل المباشر مع المخاطر البيولوجية، مثل الدم والأنسجة والسوائل.

▪ البيع بالتجزئة والطعام والشراب

يمكن أن تكون مرافق تقديم الطعام، مثل المطابخ أو المقاصف، مصدرًا للعديد من المخاطر البيولوجية. يمكن أن يكون هذا بسبب الطعام النيئ أو سوء الإعداد والطهي والتخزين.

يمكن أيضًا أن تكون المجموعات الغذائية مثل المكسرات والفواكه والمحار والبيض وحليب الأبقار مسببة للحساسية ويجب إدراجها في ملصقات المنتجات وقوائم الطعام. يمكن أن تكون المياه أيضًا مصدرًا للمخاطر البيولوجية. يمكن لموزعات مياه الشرب أن تلتقط الملوثات، لذا يجب إدارتها بعناية.

قد يجد عمال التجزئة أنفسهم يعملون في توصيل المواد الغذائية من البلدان الاستوائية وقد يكون لديهم عناكب أو مخلوقات سامة في الصناديق.

▪ خدمات الصحة والرعاية الاجتماعية والطوارئ

الاهتمامات الرئيسية عند إجراء الإسعافات الأولية هي الدم وسوائل الجسم الأخرى. ينبغي أخذ إجراءات التنظيف في الاعتبار في حالة تلوث مكان العمل بالدم أو السوائل الملوثة. يجب أن تشتمل مجموعة الإسعافات الأولية على قفازات لأغراض النظافة.

يتعرض العاملون في مجال الرعاية الصحية - بما في ذلك الأطباء والممرضات ومساعدي الرعاية الصحية والقابلات وأطباء الأسنان - للخطر من:

الاتصال المباشر بمعدات العمل الملوثة، مثل الإبر ومسببات الأمراض المعدية إمكانية النقل بين العمال.

▪ إدارة الإنشاءات والمرافق

تقع المخاطر البيولوجية في المباني. تعتبر الليجيونيلا مثالاً على تلك التي يمكن أن تلوث أنظمة وخدمات المياه في المبنى.

▪ المجالات والقطاعات الوظيفية الأخرى

تشمل مجالات العمل والمخاطر الأخرى التي يجب مراعاتها ما يلي:

الصناعات الحيوانية، مثل الخدمات البيطرية والعمل الزراعي حيث تحمل الحيوانات مثل الأبقار والأغنام الأمراض المعدية، على سبيل المثال الأمراض الحيوانية المنشأ (الأمراض التي يمكن أن تنتقل من الحيوانات إلى الإنسان).

عمال إدارة الصرف الصحي الذين قد يتلامسون مع براز البشر والحيوانات.

تعرض العاملين في الخدمة العامة مثل ضباط الشرطة والمسعفين الطبيين لمسببات الأمراض المعدية. يمكن أن يكون ذلك إما من خلال الاتصال بأفراد من الجمهور مصابين بالعدوى أو من خلال أفعال متعمدة مثل الهجمات والإصابات.

الهندسة، وذلك بسبب استخدام الآلات لسوائل تشغيل المعادن الملوثة بالبكتيريا.

المكاتب والمحلات التجارية والمصانع بسبب التعرض للبكتيريا الناتجة عن تلوث شبكات المياه غير المعالجة. كما أن أسطح العمل غير الصحية وسوء التدبير المنزلي قد يعرض العمال للبكتيريا المسببة للأمراض.

المراكز الترفيهية التي تحوي على حمامات سباحة أو أنظمة مياه بسبب شبكات المياه غير المعالجة التي من المحتمل أن تشكل خطراً على بكتيريا الليجيونيلا.

▪ المعايير والمقاييس

يتم تصنيف المخاطر البيولوجية بطرق مختلفة. في المملكة المتحدة، يقوم مسؤول الصحة والسلامة (HSE) بإنتاج قائمة معتمدة من العوامل البيولوجية. يوفر هذا تصنيفًا للعوامل البيولوجية على النحو المشار إليه في COSHH، التحكم في المواد الخطرة على اللوائح الصحية لعام 2002م.

تُستخدم مستويات السلامة البيولوجية لتوحيد الاحتياطات المطلوبة عند العمل مع العوامل البيولوجية في منشأة المختبر. هناك أربعة مستويات، تتراوح من مستوى واحد، وهو مستوى منخفض للمخاطر ذات المستوى المنخفض، إلى أربعة، وهو أعلى مستوى وأكبر خطر على البشر، ومن المحتمل أن يشكل تهديدًا للحياة.

تشريعات السلامة الصحية الأخرى في المملكة المتحدة والتي تغطي كائنات دقيقة محددة:

لوائح الكائنات المعدلة وراثيًا (الاستخدام المعزول) لعام 2000م، إخطار أنظمة أبراج التبريد ومكثفات التبخر لعام 1992م مكافحة البكتيريا الفيلقية، لوائح نقل البضائع الخطرة واستخدام معدات الضغط القابلة للنقل لعام 2004م حماية كل من يشارك في نقل البضائع الخطرة، بما في ذلك الكائنات الحية الدقيقة.

إدارة المخاطر البيولوجية

لإدارة مخاطر الصحة والسلامة بشكل فعال، تحتاج المنظمات والعاملون إلى فهمها بشكل كامل. إن وجود فهم واضح للمخاطر البيولوجية وكيفية تأثيرها على الأفراد أمر بالغ الأهمية.

نظرًا لأنه لا يمكنك رؤية هذه المخاطر بالعين المجردة، فقد يكون من الصعب جدًا تحديد المخاطر البيولوجية في مكان العمل.

▪ تحديد المخاطر البيولوجية

طرق تحديد المخاطر البيولوجية في مكان العمل هي:

- المخاطر البيولوجية التي تحدث كمنتج ثانوي أو ملوث لعمليات العمل.
- المخاطر البيولوجية البيئية، بما في ذلك انتقال الحيوانات والحشرات (الأمراض الحيوانية المنشأ).
- الأمراض المعدية الواردة من خارج المنظمة والتي تنتقل من شخص لآخر.
- العمل المتعمد مع المخاطر البيولوجية.

▪ العثور على مزيد من المعلومات

في ظل ظروف معينة، يمكن للمخاطر البيولوجية البقاء على قيد الحياة وغالبًا ما تتكاثر في المعدات أو على الأسطح كجزء من أنشطة وعمليات العمل. إذا كان هناك خطر بيولوجي معروف أو مشتبه به بهذه الطريقة، فمن المهم العثور على معلومات حول:

- الخصائص المحددة.
- المخاطر التي تشكلها.
- طرق انتقال العدوى.
- السيطرة، وإذا كانت هناك حاجة إلى أي ترتيبات الطوارئ.

تقييم المخاطر البيولوجية وضوابطها

ينبغي التعامل مع المخاطر البيولوجية كأي خطر آخر في مكان العمل. يجب تقييمها لتحديد كيفية السيطرة عليها. يعد تقييم المخاطر التقليدي القائم على المهام طريقة صالحة لتقييم المخاطر.

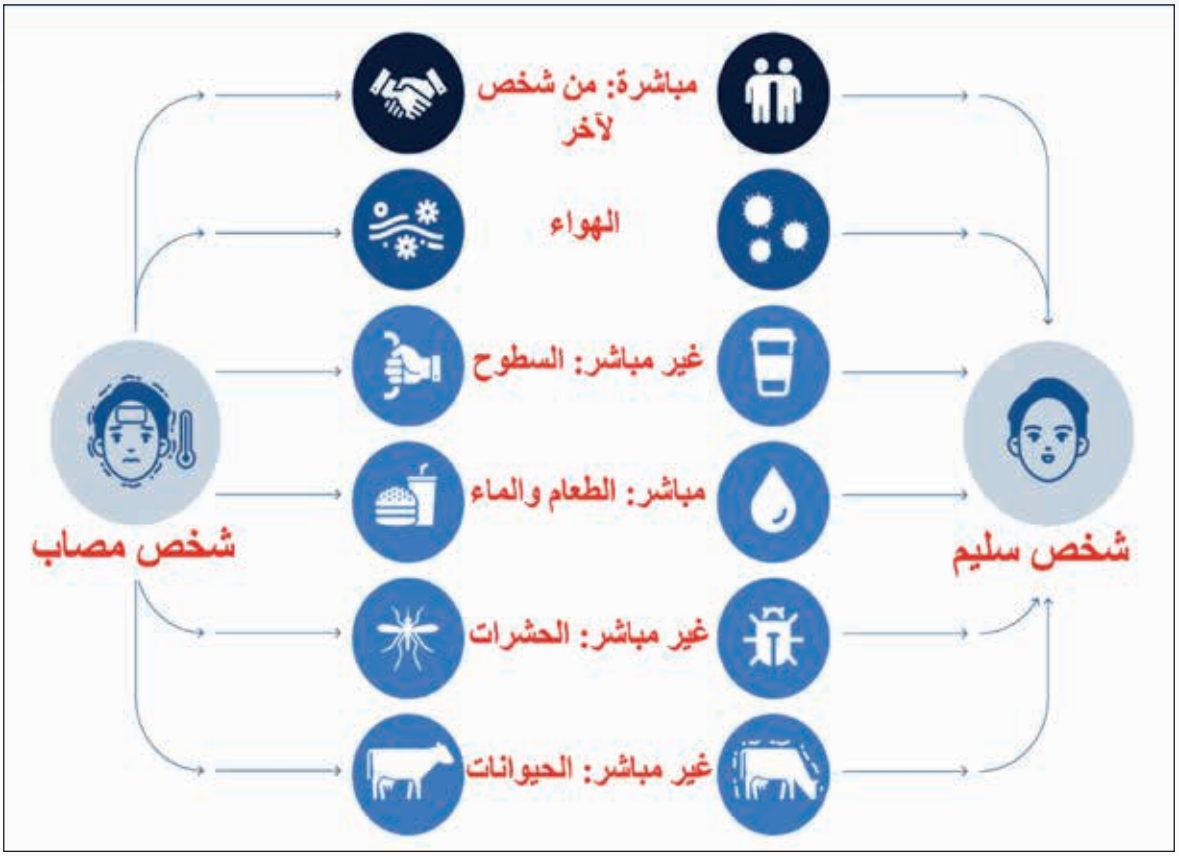
قد يكون تقييم مخاطر المخاطر البيولوجية أمرًا صعبًا بسبب خصائصها الفريدة:

تنوع العامل

وتتراوح المخاطر البيولوجية من الكائنات الحية الدقيقة مثل البكتيريا أو الفيروسات، إلى السموم إلى الإصابة بالحشرات. ويمكن أن تنتقل إلى الإنسان من البيئة، ومن الحيوانات، ومن النباتات، ومن البشر الآخرين.

طرق انتقال العدوى

وتشمل هذه الانتقال عن طريق الهواء، والابتلاع، والامتصاص (من خلال الجلد والعينين والأغشية المخاطية والجروح)، والنواقل الحيوانية (مثل البعوض أو القراد)، والسوائل الجسدية (مثل الدم، وانتقال العدوى من الأم إلى الطفل، والانتقال الجنسي).



إن معرفة طريقة انتقال المخاطر البيولوجية - وهي طريقة أخرى لتصنيف المخاطر البيولوجية في مكان العمل - أمر حيوي لكسر دورة العدوى. في حين أن بعض الأمراض يمكن أن تنتقل بطرق مختلفة (على سبيل المثال، يمكن أن ينتقل التهاب الكبد A عن طريق الطعام نتيجة لسوء النظافة أو عن طريق التعرض المهني من خلال العمل في المجاري)، فإن الأمراض الأخرى لها طرق محددة جدًا للانتقال.

▪ المرضية والفوعة

يمكن لبعض المخاطر البيولوجية أن تسبب مرضًا شديدًا بتركيزات منخفضة جدًا ويمكن أن تتكاثر بسرعة مرة واحدة داخل مضيفها. على سبيل المثال، 1–10 كائنات متطايرة من فيروس لاسا أو الإيبولا كافية للتسبب في مرض شديد لدى البشر.

▪ تحديد المخاطر

وبما أن الميكروبات غير مرئية بالعين المجردة، فإنه ليس من السهل في كثير من الأحيان التعرف عليها على أساس المعلومات الوبائية المستمدة من العلامات والأعراض السريرية. ولذلك فهي تتطلب تقنيات تشخيصية محددة، بما في ذلك تفاعل البوليميراز المتسلسل (PCR)، لتضخيم نسخة واحدة أو بضع نسخ من قطعة من الحمض النووي، والمزارع الميكروبية، وتسلسل الجينوم الكامل.

▪ الأمراض المتوطنة مع إمكانية انتقال الأوبئة

على عكس بعض المخاطر الأخرى (مثل الزلازل أو الفيضانات)، يمكن أن تكون المخاطر البيولوجية موجودة في المجتمع (أي أنها مستوطنة) وعادة ما تشكل خطرًا منخفضًا عندما يكون السكان محصنين إلى حد كبير.

وقد يتغير الخطر عندما تنشأ الأزمات أو حالات الطوارئ، مما يؤدي إلى تفاقم الظروف المواتية لانتقال المرض، أو عندما يهاجر الناس من مناطق خالية من المرض إلى مناطق موبوءة تفتقر عادة إلى المناعة، مما يجعلهم عرضة للإصابة وانتقال المرض مما يؤدي إلى حالات تتجاوز المتوقع العادي.

تشكل المخاطر البيولوجية، غير المتوطنة، خطرًا أيضًا عند إدخالها إلى مجتمع مضيف جديد دون مناعة.

إن جائحة الأنفلونزا هو تفشٍ واسع النطاق للمرض يحدث عندما يظهر فيروس أنفلونزا جديد لم يتعرض له الناس من قبل. تختلف الأوبئة عن تفشي الأنفلونزا الموسمية. يمكن أن يسبب جائحة الأنفلونزا مرضًا خطيرًا لأن الأشخاص ليس لديهم مناعة ضد الفيروس الجديد. لن تكون اللقاحات الفعالة متاحة على الفور وستكون آثارها على المجتمع كبيرة.

▪ الانفلونزا الموسمية

هو مرض تنفسي يسببه فيروس الأنفلونزا الذي يصيب العديد من الكنديين كل عام. تنتقل فيروسات الأنفلونزا بسهولة من شخص لآخر. على الرغم من أن معظم الناس سوف يتعافون تمامًا، إلا أن ما بين 2000 إلى 8000 كندي يموتون كل عام بسبب الأنفلونزا ومضاعفاتها. تنجم فاشيات الأنفلونزا الموسمية عن فيروسات سبق أن تعرض لها الناس؛ تتوفر لقاحات الأنفلونزا لمنع انتشار المرض وتكون تأثيراتها على المجتمع أقل خطورة.

▪ إنفلونزا الطيور

هي مجموعة من فيروسات الأنفلونزا التي تسبب المرض والموت للطيور. وفي بعض الأحيان، تصيب فيروسات الطيور هذه أنواعًا أخرى، مثل الخنازير والبشر. وتنتشر أنفلونزا الطيور بشكل رئيسي عن طريق الاتصال المباشر بين الطيور المصابة والطيور السليمة. ويمكن أن ينتقل أيضًا عندما تتلامس الطيور مع المعدات أو المواد (بما في ذلك الماء والأعلاف) الملوثة بالبراز أو الإفرازات من أنف أو فم الطيور المصابة. يمكن للناس أيضًا أن ينشروا المرض بشكل غير مباشر من مزرعة إلى أخرى عن طريق حملهم للفيروس على ملابسهم أو أحذيتهم أو عجلات سياراتهم.

▪ الإنفلونزا الوبائية

ستكون هذه السلالة الجديدة التي لن يكون لدى الناس مناعة ضدها ويكون المرض عادة أكثر خطورة. ينتشر المرض بسهولة من شخص لآخر مما يؤثر على نسبة كبيرة من السكان. ولن يكون اللقاح الفعال متاحا على الفور.

الحساسية للتغيرات المناخية أو البيئية أو استخدام الأراضي

قد تزيد المخاطر البيولوجية – وخاصة الأمراض الحيوانية المنشأ 5 والأمراض المنقولة بالنواقل مثل الملاريا وحمى الضنك وزيكا والإيبولا – في حالات الإصابة أو الوفاة أو تغيير التوزيع الجغرافي أو الأنماط الموسمية بشكل مباشر بسبب حساسية المناخ والطقس أو التغيرات البيئية أو استخدام الأراضي، أو من خلال التغيرات في النظم البيئية الناتجة عن الأنشطة البشرية، وبالتالي تغيير تعرض الإنسان لهذه المخاطر وقابليته لها.

ما يقدر بنحو 75 في المائة من الأمراض المعدية الناشئة التي تصيب البشر والتي تطورت من التعرض لمسببات الأمراض الحيوانية المنشأ تستدعي إجراء تقييمات للمخاطر المتعلقة بالتهديدات الصحية عند التفاعل بين الحيوان والإنسان والنظم الإيكولوجية.

هذا وتختلف طرق تقييم مخاطر المخاطر البيولوجية وفقًا لغرض التقييم:

- **يُستخدم التقييم الاستراتيجي للمخاطر في تخطيط إدارة المخاطر مع التركيز على تدابير الوقاية والتأهب، وتنمية القدرات، ورصد وتقييم المخاطر على المدى المتوسط والطويل.**
- **يتم استخدام تقييم المخاطر السريع لتحديد مستوى المخاطر المرتبطة بالأحداث المكتشفة وتحديد تدخلات الاستجابة وفقًا لذلك.**
- **يتم استخدام تقييم ما بعد الحدث لتخطيط التعافي وتحديث وتعزيز نظام إدارة المخاطر الشامل.**

▪ ما قبل الحدث: تقييمات المخاطر الاستراتيجية

تُستخدم تقييمات المخاطر الإستراتيجية لتخطيط إدارة المخاطر مع التركيز على الوقاية والتأهب وتنمية القدرات قبل وقوع الأحداث.

ويمكن استخدامها لرصد وتقييم المخاطر على المدى المتوسط والطويل، والذي يتتبع التغيرات في المخاطر مع مرور الوقت. وهي تحفز الإجراءات المستهدفة لتقليل مستوى المخاطر والعواقب على الصحة بناءً على تقييم المخاطر والتعرض ونقاط الضعف والقدرات.

فيما يتعلق بمعالجة مخاطر المخاطر البيولوجية، يشير مصطلح الضعف إلى عوامل الخطر الموجودة لدى السكان المعرضين، مثل عبء الأمراض المتوطنة، والظروف المعيشية (مثل الاكتظاظ) والبيئة (مثل البيئة المواتية لنمو مسببات الأمراض).

هذا بالإضافة إلى العوامل التي يتم تناولها في تقييمات المخاطر للمخاطر الأخرى، مثل التركيبة السكانية (مثل العمر أو الجنس)، ومدى توفر الخدمات الصحية لهؤلاء السكان ودرجة مرونة النظم الصحية.

فيما يلي بعض الأمثلة على طرق تقييم المخاطر الإستراتيجية للمخاطر البيولوجية.

يعد التقييم الكمي للمخاطر الميكروبيولوجية (QMRA) مثالاً لتقييم المخاطر الاستراتيجي للوقاية من المخاطر والتخفيف من حدتها. يتضمن تحديد المخاطر تحديد خصائص العامل الممرض/الميكروبي (أي معدلات إماتة الحالات، وطرق الانتقال، وأوقات الحضانة...) والأمراض البشرية المرتبطة بالكائنات الحية الدقيقة المحددة. يمكن العثور على هذه المعلومات في الأدبيات وقد يكون من المفيد أيضًا البحث عن حالات تفشي مماثلة كمراجع.

يقيس تقييم التعرض الخاص بـ QMRA جرعة العامل الممرض الذي يبتلعه الفرد أو يستنشقه أو يتلامس معه. كما يتطلب أيضًا بيانات عن تركيز العامل الممرض في المصدر، وطريق انتقاله، وتوقيت التعرض.

ولهذا الغرض، فإن QMRA Wiki عبارة عن بوابة مجتمعية تحوي على مستودع معرفي متطور لـ QMRA. بالإضافة إلى ذلك، فإن بعض أدوات QMRA الأخرى المتاحة والتي يمكن الوصول إليها مجانًا هي E3 Geoportal (الشبكة الأوروبية للبيئة وعلم الأوبئة) و QMRA للأمراض الغذائية والأمراض المنقولة بالمياه وموقع QMRA لمياه الشرب.

للتحضير لحدث ينطوي على مخاطر بيولوجية، يمكن استخدام أساليب مختلفة لتصنيف المخاطر، بما في ذلك تحليل القرار متعدد المعايير (MCDA) وعبء الأمراض. تسمح هذه الأساليب بتحديد أولويات المخاطر بشكل أفضل والتخطيط للاستعداد للصحة العامة.

إن نهج STAR الذي تتبعه منظمة الصحة العالمية في تقييم المخاطر الاستراتيجية يمكّن البلدان من دمج نهج قائم على الأدلة في تقييمات المخاطر الاستراتيجية.

تم تصميم هذا النهج من أجل: إشراك أصحاب المصلحة من القطاعات المتعددة حول تقييم المخاطر الذي تم تطويره للمخاطر التي تؤثر على الصحة العامة؛ توفير نهج منهجي وشفاف وقائم على الأدلة لتحديد وتصنيف المخاطر ذات الأولوية حسب مستوى المخاطر؛ ولكل خطر، تحديد مستوى التأهب والاستعداد الوطني المطلوب للتخفيف من مخاطره. الأداة متاحة من منظمة الصحة العالمية عند الطلب.

تحليل القرار متعدد المعايير (MCDA) هو نهج عشوائي/عشوائي يتم من خلاله تحديد عدة معايير بمستوياتها وفقًا لنتائج الاهتمام. قد تتضمن المعايير معلومات عن البيانات الوبائية والاقتصادية والتصورية للأمراض.

يمكن أن يكون للمعايير أوزان متساوية أو مختلفة اعتمادًا على أهميتها النسبية للنتيجة. ويمكن جمع هذه البيانات من الأدبيات، وقواعد البيانات من المصادر الرسمية، ودراسات الانتشار أو الدراسات الميدانية، ومن مشاورات الخبراء.

ومن الأمثلة على ذلك أداة طورها المركز الأوروبي للوقاية من الأمراض ومكافحتها (ECDC) لتصنيف الأمراض المعدية لدعم تخطيط التأهب في بلدان الاتحاد الأوروبي/المنطقة الاقتصادية الأوروبية بنسختين: نسخة نوعية وأقل تفصيلاً ونسخة شبه كمية ونسخة أكثر تفصيلا.

تم تطوير كلا الإصدارين بطريقة مرنة، مما يسمح للمستخدمين بتعديل عوامل الترجيح حسب بلدانهم. وقد تم تطبيق MCDA أيضًا في مخطط منظمة الصحة العالمية للبحث والتطوير للعمل على الوقاية من الأوبئة، والذي يستخدم مزيجًا من تقنية دلفي والاستبيانات وتحليل القرارات متعدد المعايير لمراجعة وتحديث قائمة الأمراض ذات الأولوية في المخطط.

توفر تقديرات العبء العالمي للمرض Global Burden of Disease (GBD) تقييماً شاملاً وقابلاً للمقارنة للوفيات وفقدان الصحة بسبب الأمراض والإصابات وعوامل الخطر، ودراسة الاتجاهات من عام 1990 إلى الوقت الحاضر وإجراء مقارنات بين السكان.

توفر التقديرات فهمًا للتحديات الصحية المتغيرة التي تواجه الناس في جميع أنحاء العالم. تتضمن أبحاث العبء العالمي للأمراض انتشار مرض معين أو

عامل خطر معين والضرر النسبي الذي يسببه. وتسمح الأدوات لصانعي القرار بمقارنة آثار الأمراض المختلفة واستخدام تلك المعلومات في صنع السياسات.

يسمح التصميم المرن لآلية العبء العالمي للأمراض بإجراء تحديثات منتظمة مع توفر بيانات جديدة ودراسات وبائية. وبهذه الطريقة، يمكن استخدام الأدوات على المستويات العالمية والوطنية والمحلية لفهم الاتجاهات الصحية مع مرور الوقت.

تقدر مجموعة أدوات عبء الأمراض المعدية في أوروبا العبء الناجم عن 32 من الأمراض المعدية وستة حالات عدوى مرتبطة بالرعاية الصحية، مع تطبيق مقاييس صحية مركبة - سنوات العمر المعدلة حسب الإعاقة - لتلخيص العبء الإجمالي في مقياس واحد ومقارنة العبء النسبي من كل مرض معدي.

▪ التسلسل الهرمي للسيطرة

عند التحكم في المخاطر، يكون التسلسل الهرمي لنهج التحكم فعالاً بالنسبة للمخاطر البيولوجية مثل المخاطر والمخاطر الأخرى في مكان العمل.

- الإزالة.
- الاستبدال.
- الضوابط الهندسية.
- الرقابة الإدارية.
- معدات الحماية الشخصية (PPE).

ومن خلال تنفيذ الضوابط في مكان العمل، يمكن تقليل مخاطر المخاطر البيولوجية إلى حد كبير، وفي بعض الحالات، يمكن القضاء عليها. الضوابط الرئيسية المستخدمة لمعالجة المخاطر البيولوجية هي الضوابط الهندسية والإدارية ومعدات الحماية الشخصية.

▪ الضـوابـــط الهندســـية

عندما لا يمكن إزالة المخاطر أو استبدالها، يمكن تصميم هذا المستوى من الضوابط لتقليل المخاطر. في حالة المخاطر البيولوجية، يمكن أن يكون ذلك على سبيل المثال إزالة خطر العدوى من المصدر أو عزل الأشخاص عن المخاطر، أو كليهما .

تشمل الضوابط الهندسية:

- الضميمة، مثل الغرف التي يمكن التحكم في الوصول إليها وخزائن السلامة البيولوجية.
- أنظمة تهوية العادم المحلية (LEV)، بما في ذلك مرشحات هواء الجسيمات عالية الكفاءة (HEPA) وأغطية الدخان.
- التهوية الميكانيكية، حيث يتم تبادل الهواء وتصفيته من خلال أنظمة الأنابيب.
- التهوية الطبيعية، مما يؤدي إلى تغيرات عديدة للهواء في الساعة.

▪ الرقابـــة الإداريـــة

تعمل هذه على تغيير طريقة إنجاز العمل، بما في ذلك توقيت العمل، ويمكن أن تكون سياسات وقواعد وممارسات عمل أخرى، مثل:

- المعايير وإجراءات التشغيل.
- التدريب.
- التدبير المنزلي.

- مكافحة العدوى.
- ممارسات النظافة الشخصية.
- تتضمن أمثلة الضوابط الإدارية ما يلي:
- سياسات التطعيم لمخاطر بيولوجية محددة.
- معالجة شبكات المياه.
- المراقبة الصحية وتقييم المخاطر الصحية.
- أنظمة العمل الآمنة للتعامل مع المخاطر البيولوجية.
- التدريب التوعوي على طرق انتقال العدوى والاحتياطات المناسبة.

▪ معدات الحماية الشخصية (PPE)

عندما يتم أخذ الضوابط الأعلى في التسلسل الهرمي للتحكم مع وجود خطر، يمكن استخدام معدات الوقاية الشخصية.

توفر معدات الوقاية الشخصية الحماية فقط لأولئك الذين يرتدونها، ولكن ليس للآخرين القريبين الذين لا يشاركون بشكل مباشر في النشاط. كما أنها توفر الحماية فقط عند ارتدائها بشكل صحيح دون ضرر أو عائق للشخص الذي يرتديها.

تشمل أمثلة معدات الوقاية الشخصية للحماية من المخاطر البيولوجية ما يلي:

مآزر حماية الجسم والمآزر والعباءات والدعك.

حماية العين والوجه والرأس، مثل النظارات الواقية والنظارات الواقية ودروع الوجه والقبعات والأغطية وأغطية الشعر.

حماية القدم، مثل الجرموق والأحذية الواقية.

حماية الجهاز التنفسي، مثل أجهزة التنفس وأجهزة التنفس التي تعمل بالطاقة وغير بالطاقة.

الجـــــــراد

هـي حشـرات مـن مسـتقيمات الأجنحـه ، يتواجـد مـا يزيـد عـن 20,000 نـوع مـن الجـراد في العالـم. والجـراد نـوع مـن الحشـرات الجنـادب (تسـتطيع القفـز لمسـافة تبلـغ أضعـاف طـول جسـمها) وتسـمي بالقفازة لانهـا تمتلك أرجـلا خلفيـة قويـة تسـاعدها علـى القفـز، ويطلـق علـى الاثنـين معًقيقـي. ويوجـد مـا يقـرب مـن 18,000 نـوع مـن الجنـدب في العالـم، وهـي حشـرات آكلـة للنبـات تسـتطيع القفـز إلـى 20 مـرة أطـول مـن جسـمها. و يغطـي جسـم الجـراد طبقـة مـن الكيتـين (هـي مـادة مـن عديـد السـكاريد وهـي تعتبـر المركـب الأساسـي لجوانـب خليـة الفطريـات وتكون الهيـكل الصلـب الـذي يغطـي أجسـام مفصليـات الأرجـل وبعـض الحيوانـات)، وفي رأسـه فـم يحتـوي علـى أسـنان حـادة ويحمـل قرنـين قصيريـن للاستشـعار.

علـى الرغـم مـن أن الجـراد يُعـد مـن الحشـرات الإقتصاديـة إلا أن الخسـائر الزراعيـة التـي تنجـم عنـه تجعلـه فريـد ولا تضاهيـه أى حشـرة أخـرى مـن حيـث حجـم الخسـائر الإقتصاديـة والبيئيـة لدرجـة يمكـن إعتبـاره أحـد الكـوارث الطبيعيـة. ورغـم أن الجـراد لا يتسـبب في إزهـاق الأرواح بصفـة مباشـرة، إلا أنـه بقضائـه علـى الأخضـر واليابـس أثنـاء إنتقالـه مـن مـكان لآخـر يعمـل علـى إنقـاص الغـذاء والقضـاء علـى الغطـاء النباتـي. وقـد تسـتطيع دولـة مـا القضـاء علـى الحشـرات التـي تغـزو محاصيلهـا الزراعيـة في حدودهـا الإقاليميـة ولكنهـا لا تسـتطيع القضـاء علـى الجـراد الـذي لـن يكتفـي بإحـداث كارثـة غذائيـة وبيئيـة في تلـك الـدول ولكنـه ينتقـل مـن دولـة لأخـرى، فهـو لا يعـرف الحـدود الإقليميـة.

الجـراد يلتهـم في 100 ألـف طـن مـن النباتـات الخضـراء في مسـافة مقطوعـه قدرهـا كيلـو متـرواحـد في اليـوم، وهـو القـدر الـذي يسـتهلكه نصـف مليـون إنسـان لمـدة سـنة . وتتغـذى علـى الأوراق والأزهـار والثمـار والبـذور وقشـور النبـات والبراعـم و ومـن الصعـب تقديـر الأضـرار التـي يسـببها هجـوم الجـراد بسـبب شراسـته ، حيـث نسـتطيع تقديـر الأضـرار بتقديـر المـدة التـي يسـتغرقها الجـراد في المنطقـة وعـن طريـق تقديـر حجـم الجـراد والمرحلـة التـي اصبـح عليهـا المحصـول.

ورغم المجهودات التي تبذلها منظمة الأغذية والزراعة العالمية بالتعاون مع الدول التي ينتقل منها وإليها الجراد، إلا أنه لم يتم القضاء عليه بطريقة فعالة ولازال يمثل أحد الكوارث الطبيعية.

وقد كُتِب الكثير عن الجراد وأضراره على مر العصور منذ أن عرف الإنسان الزراعة. كما أنه ذُكر في أكثر من سورة من سور القرآن الكريم منها قوله تعالى: ﴿ فَأَرْسَلْنَا عَلَيْهِمُ ٱلطُّوفَانَ وَٱلْجَرَادَ وَٱلْقُمَّلَ وَٱلضَّفَادِعَ وَٱلدَّمَ ءَايَٰتٍ مُّفَصَّلَٰتٍ فَٱسْتَكْبَرُوا۟ وَكَانُوا۟ قَوْمًا مُّجْرِمِينَ ﴾، [الآية 133 سورة الأعراف]، كذلك تناولته السيرة النبوية المطهرة وكتب التراث.

ومما يدل على أن الجراد ليست آفة زراعية عادية ولكنه يمكن أن يُصنف ككارثة طبيعية ما يلي:

- قدرته على الطيران لمسافات بعيدة في مجاميع كبيرة وسرعة تحركه وإنتقاله من مكان لآخر.

- له فم قارض قوى لكلا طَوريه الضارين الحشرة والحورية.
- شـراهته في الأكل وإلتهـام كل المجموعـة النباتيـة. ويتعـدى الأمـر أن الحشـرة يمكنهـا تجنـب النباتـات السـامة المنتشـرة في الصحـراء مثـل «العشـار».
- لايعـرف الحـدود الإقليميـة فهـو حشـرة دوليـة يهـدد خطرهـا دول العالـم التـي تغزوهـا دون إسـتثناء ولايمنعهـا مـن ذلـك جبـال أو بحـار.
- سـرعة تكاثره وإنتشـار مناطـق توالـده بـين أقاليـم ذات ظـروف جويـة وطبيعيـة متباينـة ممـا يهـيء لـه التوالـد والإنتشـار علـى مـدار السـنة.

• تكاثـــــر الجـــــراد

لاحـظ العلمـاء بعـد البحـث والمراقبـة أن تكاثـر الجـراد يتـم حسـب المناطـق في أغلـب فصـول السـنة، فهـو في الصيـف يكـون بغـرب الهنـد وباكسـتان واليمـن وأثيوبيـا وتشـاد والسـودان والنيجـر ونيجيريـا وموريتانيـا ومالـي والسـنغال، أمـا في الشـتاء فيكـون بالصومـال وسـواحل البحـر الأحمـر بإثيوبيـا واليمـن والسـودان والمملكـة العربيـة السـعودية ومصـر وعمـان وسـواحل إيـران علـى الخليـج العربـي، وفي الربيـع فإنـه يكـون بشـمال أفريقيـا والشـرق الأوسـط وشـمال شـرق الجزيـرة العربيـة وبعـض أقاليـم شـرق أفريقيـا والسـودان وإيـران وأفغانسـتان والهنـد والصومـال.

ويتكاثر الجراد في المملكة في ثلاثة مواسم هي:

- الموسم الخريفي : من سبتمبر حتى نوفمبر في منطقة جيزان.
- الموسـم الشـتوي : مـن أكتوبـر حتـى نهايـة ينايـر في مناطـق جيـزان، القنفـذة، جـدة، مكـة، الليـث.
- الموسـم الربيعـي : ويبـدأ في ديسـمبر ويسـتمر حتـى نهايـة مايـو وهـو الموسـم الـذي تعُم وتنتشـر فيـه الإصابـة باسـراب الجـراد في معظـم أنحـاء المملكـة وذلـك في المناطـق الشـمالية والوسـطى والشـرقية.

أنـــــواع الجـــــراد

▪ أنـــــواع الجـــــراد

يتبـع الجـراد العائلـة الجراديـة التابعـة لرتبـة الحشـرات مسـتقيمة الأجنحـة وينتشـر منـه أنـواع مختلفـة في مناطـق متفرقـة مـن العالـم. ومن هذه الأنـواع مايلي:-

- الجراد الصحراوي أو الرحال.
- الجراد المستوطن أو الروسي.
- الجراد المهاجر الأفريقي.
- الجراد المهاجر الآسيوي.
- الجراد المراكشي.
- الجراد الأحمر.
- الجراد البني.
- الجراد المصري.

▪ هجـــــرة الجـــــراد

يهاجر الجراد الصحراوي (الرحال) في أسراب يصل عدد أفراد السرب الواحد فيها أكثر من ألف مليون حشرة، تغطي مساحة تبلغ في المتوسط عشرين كيلومتراً مربعاً، يقطع السرب في هجرته مسافة يومية تُقدر بنحو 30-40 كيلومتر وقد تصل أحياناً إلى 100 كم، وغالباً ما يكون الطيران بالنهار. أما ليلاً فإن الجراد يحط على المزروعات ليلتهما ويقضي عليها.

يهاجر الجراد بسبب دوافع عدة أهمها مايلي:

▪ العـــوامـــــل البيئيـــة

يعد تغير التركيب البيئي من حرارة ورطوبة في مواطن معيشة الجراد من أهم الأسباب التي تدفع أسرابه إلى الهجرة من المناطق الأقل ملائمة إلى الأماكن الأكثر ملائمة.

▪ العـــوامـــل الفســـيولوجيـــة

لوحظ أن هناك علاقة بين الهجرة وتمام إستكمال نمو الأعضاء التناسلية الداخلية للجراد، ويمكن أن يرجع السبب في ذلك إلى أن حركة الجراد تساعد على رفع درجة حرارة الجسم فتحترق الأجسام الدهنية وغيرها من المواد المخزنة في الجسم، ومع وجود التهوية فإن ذلك يساعد على إستكمال نمو الأعضاء التناسلية بالإضافة إلى عامل آخر وهو التحكم الهرموني حيث دلت الأبحاث الحديثة أن الهرمونات الجنسية في دم الحشرة هى الأساس في حدوث الهجرة من عدمها، فإن كانت عالية فإن الحشرة لا تجد لديها ميلاً للهجرة، بينما إذا قل تركيزها في الدم عند مستوى معين فإن الحشرة تشرع في الإعداد للهجرة.

وهكذا تجوب أسراب الجراد الصحراوي مناطق الإنتشار دون أن تعترف بحدود إقليمية أو تعبأ بدول تنظر لجنسيات، وذلك لأنها تسعى لتحقيق هدف أساسي هو المحافظة على النوع، وهذه سنة وضعها الله في مخلوقاته الحية ومنها الجراد.

▪ مكافحـــة الجـــراد

تحتاج مكافحة الجراد إلى جهود كثيرة من الدول خاصة التي يغزوها، إذ أن تبادل المعلومات بين تلك الدول ومعرفة أماكن تكاثره، وأماكن تحركات الأسراب تُعد من المعلومات الهامة التي تُفيد في مكافحته بالقضاء على البيض والحوريات لمنع تكون الأسراب مع دراسة سلوك الحشرة خلال أطوارها المختلفة، إذ أن ذلك يساعد كثيراً على إتباع الأسلوب المناسب في مكافحتها، فالحشرة الكاملة مثلاً لا يمكنها الطيران إلا عندما تصل درجة حرارة جسمها إلى أكثر من 19 درجة مئوية وهذا يحتم تتبع الأسراب وتحديد أماكن الهبوط ثم المكافحة في الصباح الباكر قبل الطيران.

وتوجد عدة طرق لمكافحة حشرة الجراد منا مايأتي:

▪ المكافحـــة الكيميائيـــة

توجد عدة مبيدات كيميائية لمكافحة الجراد وقد تم غستخدام عدد منها في السنوات الحالية على الجراد الصحراوي ومن هذه المركبات مايلي:

- الدرين
- مشابه جاما سادس كلور البنزين
- الديازينون
- فينيتروثيون
- بروبوكسر
- سوميسيدين
- الديكامثرين

وتُعد الطائرات من أنسب الوسائل المستخدمة لرش المبيدات قبل وصولها إلى المساحات المزروعة بالنباتات. وقد لوحظ في المملكة العربية السعودية سنة 1985م إختفاء حشرة الجراد الصحراوي أثناء موسم نمو القمح وذلك لأن عمليات مكافحة المن بإستخدام مبيد الدسيس كانت تقضي في نفس الوقت على أى أعداد كانت موجودة من الجراد .كذلك يمكن إستخدام الطعوم السامة والتعفير بإستخدام مسحوق لبعض المبيدات الكيميائية التي تقضي على الحشرة الكاملة والحوريات.

▪ المكافحـــة الزراعيـــة

يساعد حرث وعزق الأرض التي يغزوها الجراد وتضع فيها الإناث بيضها على تلف البيض وتعرضه للشمس والأعداء الطبيعية له.

▪ المكافحـــة الحيـــويـــة

تقوم الطفيليات والمفترسات والأعداء الحيوية عموماً – بما فيها المسببات المرضية - بدور ملموس في مكافحة الجراد الصحراوي بواسطة الطفيليات والمفترسات والخنافس والفطريات.

كيف تحمي نفسك من المخاطر البيولوجية؟

المهن وأماكن العمل التي قد يتعرض فيها الأشخاص للمخاطر البيولوجية

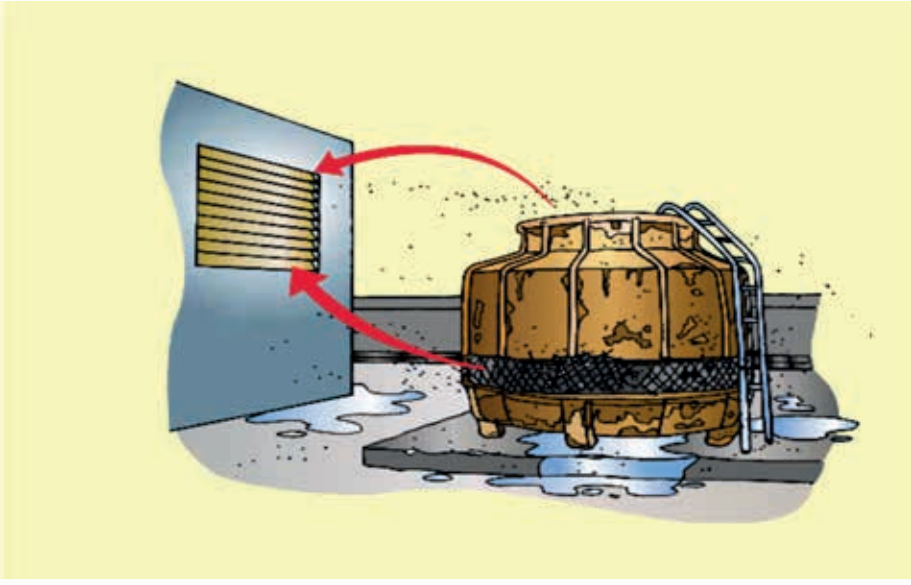
- خدمات الرعاية الصحية؛
- خدمات التنظيف وإدارة الممتلكات.
- العاملون في خدمات النظافة البيئية مثل جمع النفايات السائلة والقمامة والتخلص منها.

الطاقم الطبي وطاقم التنظيف وفنيي المختبرات في مهنة الطب يتعرضون للمخاطر البيولوجية

الزراعة وصيد الأسماك والخدمات البيطرية والصناعات التحويلية التي تستخدم المواد الخام النباتية أو الحيوانية، مثل الورق والمنتجات الورقية والمنسوجات والجلود والفراء والمنتجات ذات الصلة.

يتعرض العاملون في مجال الخدمات البيطرية للمخاطر البيولوجية

أماكن العمل الداخلية مثل أماكن الترفيه والمطاعم والفنادق، حيث يعمل الموظفون بشكل عام في مناطق مغلقة مزودة بتكييف مركزي.



أي كائنات دقيقة تتكاثر داخل نظام تكييف الهواء أو أبراج التبريد قد تنتشر في مكان العمل من خلال نظام تكييف الهواء

في مبنى المكاتب، من المرجح أن تكون مواد التأثيث مثل السجاد وورق الحائط، والنباتات والأماكن الرطبة والرطبة أو الأواني التي تحوي على الماء، أرضًا خصبة للكائنات الحية الدقيقة.

يمكن لبراد المياه أن يحوي على الكثير من البكتيريا المرضة

التدابير الوقائية والرقابية

يعد القضاء على مصدر التلوث أمرًا أساسيًا للوقاية من المخاطر البيولوجية ومكافحتها.

يمكن أن تساعد الضوابط الهندسية مثل تحسين التهوية، والعزل الجزئي لمصدر التلوث، وتركيب الضغط السلبي ونظام التهوية وتكييف الهواء المنفصل (على سبيل المثال في الأقسام الطبية للأمراض المعدية) واستخدام مصابيح الأشعة فوق البنفسجية في احتواء انتشار الملوثات.

إذا لـم يكـن مـن الممكـن منـع الاتصـال بالمخاطـر البيولوجيـة، فيجـب علـى الموظفـين اسـتخدام معـدات الحمايـة الشـخصية والالتـزام الصـارم بممارسـة النظافـة الشـخصية.

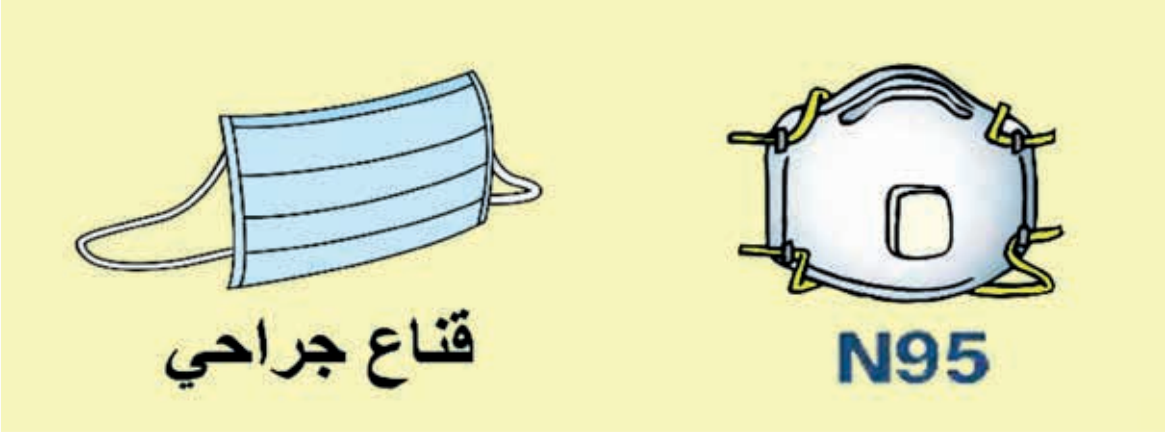
تشمل معدات الحماية الشخصية الأقنعة والقفازات والملابس الواقية ودروع العين ودروع الوجه وأغطية الأحذية

• حمايـــة الجهـــاز التنفســـي

■ **يعـد اسـتخدام معـدات حمايـة الجهـاز التنفسـي المناسـبة أمـرًا مهمًـا لتأمـين الحمايـة الكافيـة مـن المخاطـر البيولوجيـة. تشـمل معـدات الحمايـة الشـائعة مـا يلـي:**

الأقنعـة الجراحيـة: يتكـون القنـاع الجراحـي عمومًـا مـن ثـلاث طبقـات مـن الأقمشـة غيـر المنسـوجة. يوفـر حاجـز حمايـة ضـد قطـرات الجهـاز التنفسـي الكبيـرة.

أجهـزة التنفـس N95 أو أعلـى: يقـوم هـذا النـوع مـن أجهـزة التنفـس بتصفيـة الجسيمات والقطرات السائلة ذات الحجم الصغير، وبالتالي توفير الحماية من استنشـاق الهبـاء الجـوي والكائنـات الحيـة الدقيقـة المحمولـة جـواً.



يختلف القناع الجراحي عن قناع أجهزة التنفس N95

يجـب أن يأخـذ اختيـار أجهـزة التنفـس الجزيئيـة في الاعتبـار أيضًـا مـا إذا كانـت بيئـة العمـل تحـوي علـى رذاذ أو أبخـرة زيتيـة وكفـاءة الترشـيح المطلوبـة اللازمـة لمسـتوى الحمايـة.

بشـكل عـام، في حالـة عـدم وجـود رذاذ أو أبخـرة زيتيـة كمـا هـو الحال في المستشـفى، فـإن أجهـزة التنفـس مـن السلسـلة N ذات كفـاءة ترشـيح تبلـغ 95 % (النـوع N-95)، أو 99 % (النوع N-99) أو 99.97 % (النوع N -100) مناسـبة.

في بيئـة بهـا كميـات كبيـرة مـن ضبـاب النفـط، فـإن أجهـزة التنفـس مـن السلسـلة R أو R95 أو R99 أو R100 (حيـث يرمـز R إلـى مقاومـة الزيـت)، أو أجهـزة التنفـس مـن سلسـلة Pseries أو P95 أو P99 أو P100 (حيـث يرمـز P إلـى مقاومـة الزيـت) ينبغـي اسـتخدامها.

أجهزة تنفس الجسيمات مع مرشحات قابلة للاستبدال

جهاز التنفس الصناعي لتنقية الهواء، Powered Air Purifying Respirator (PAPR). يستخدم هذا النوع من أجهزة التنفس منفاخًا كهربائيًا لجلب الهواء عبر الفلتر إلى المستخدم، مما يجعله أكثر راحة في الارتداء.

ويلزم التدريب المناسب على استخدام أجهزة PAPR وأجهزة التنفس التي تزود الهواء لضمان استخدامها الصحيح والآمن. ومن الضروري أيضًا اتباع توصيات الشركة المصنعة في استخدام أجهزة التنفس هذه.

جهاز تنفس لتنقية الهواء يعمل بالطاقة (PAPR).

أجهزة التنفس التي تغذي الهواء. يتم توفير الهواء النظيف عن طريق ضاغط الهواء أو أسطوانة الضغط العالي من خلال خرطوم.

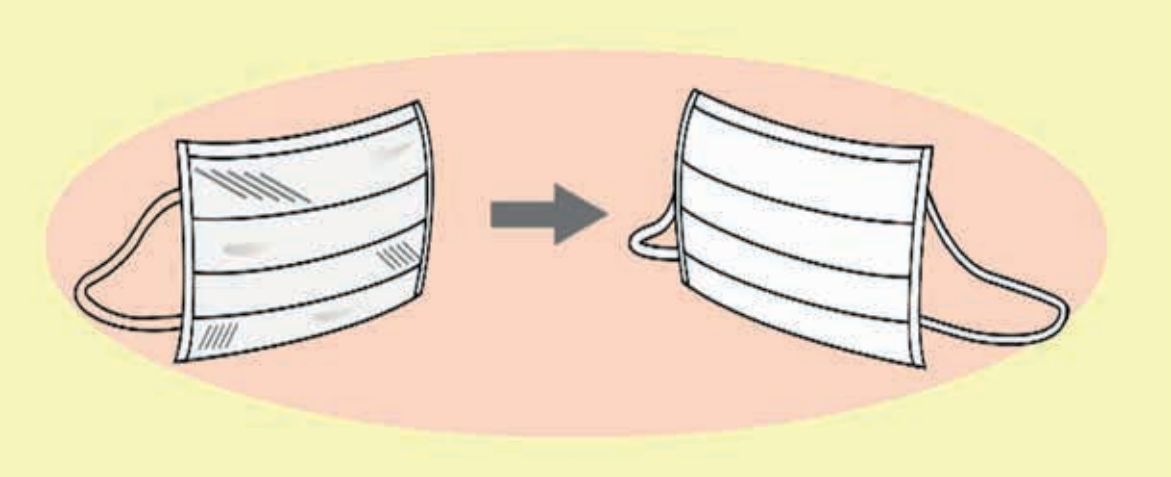
أجهزة التنفس التي تغذي الهواء

- **سيحدد نوع الخطر البيولوجي وطبيعة العمل وبيئة العمل اختيار معدات حماية الجهاز التنفسي.**

من المهم جدًا أن يتناسب جهاز التنفس مع مرتديه للحصول على ختم جيد للوجه ويجب على المستخدم إجراء فحص الختم للتأكد من ارتداء جهاز التنفس بشكل صحيح للحصول على الحماية المطلوبة.

- **كيفية استخدام الأقنعة ذات الاستعمال الواحد يوفر القناع الجراحي حماية عازلة من قطرات الجهاز التنفسي. عند استخدام الأقنعة، من المهم ارتدائها بشكل صحيح. عندما يصبح القناع رطبًا أو تالفًا أو متسخًا، استبدله.**

يمكن استخدام القناع الجراحي بشكل عام لعدة ساعات. إذا تم لمس سطح القناع أو أصيب مرتديه بالسعال، فيجب تغيير القناع بشكل متكرر.



بعد الاستخدام، يجب وضع القناع الجراحي في كيس أو لفه بالورق قبل التخلص منه. غسل اليدين جيداً بعد ذلك

■ نقاط يجب ملاحظتها حول ارتداء القناع الجراحي:

- يتناسب القناع بشكل مريح مع الوجه.
- الجانب الملون من القناع متجه نحو الخارج، مع وجود الشريط المعدني في الأعلى.
- يتم وضع الأوتار أو الأربطة المرنة بشكل صحيح للحفاظ على القناع ثابتًا في مكانه.
- يغطي القناع الأنف والفم والذقن.
- اضغط على الشريط المعدني على جانبي جسر الأنف للحفاظ على القناع بشكل مريح على الوجه.
- حاول ألا تلمس القناع بعد ارتدائه على الوجه. إذا كان من الضروري التعامل مع القناع، فيجب غسل اليدين قبل وبعد لمس القناع.
- في الظروف العادية، يجب تغيير القناع الجراحي يوميًا. استبدل القناع على الفور في حالة تلفه أو اتساخه.

■ **نقـــاط يجـــب ملاحظتها حـــول ارتـــداء قنـــاع N95:**

أقنعة N95 مخصصة للاستخدام في الأقسام الطبية عالية الخطورة مثل قسم الحوادث ووحدات العناية المركزة وأقسام الأشعة (وحدات فحص الصدر بالأشعة السينية) وأقسام العلاج الطبيعي (وحدات العلاج الطبيعي للصدر).

يمكن للعاملين الطبيين الذين يتعين عليهم رعاية المرضى المعرضين للخطر أو التعامل مع إجراءات العلاج عالية المخاطر اختيار أجهزة التنفس N95 أو أجهزة التنفس ذات مستوى الحماية الأعلى.

- إذا كان مطلوبًا ارتداء قناع N-95، فيجب أن تكون قطعة الوجه مناسبة تمامًا. قارن بين أحجام العلامات التجارية المختلفة للعثور على العلامة المناسبة.
- اتبع تعليمات الشركة المصنعة في ارتداء القناع.
- لإعادة استخدام قناع N95، يجب حفظه في كيس ورقي بشكل صحيح قبل استخدامه مرة أخرى.
- إذا كان قناع N95 متسخًا أو تالفًا، فاستبدله على الفور.
- لا ينبغي مطلقًا مشاركة قناع N95 مع أي شخص أو إحضاره خارج المستشفى.

ملحوظة: الاستخدام غير السليم للقناع قد يسبب عدم الراحة أو يقلل من مستوى الحماية.

- لا ينبغي استخدام أقنعة N95 من قبل الأشخاص:
- الذين يعانون من أمراض الجهاز التنفسي، مثل الربو وانتفاخ الرئة.
- الذين يجدون صعوبة في التنفس أو الشعور بالدوار بعد ارتدائه.

■ الملابـــس الواقيـــة

- تشمل الملابس الواقية المعطف الواقي (مع غطاء الرأس المرفق)، والرداء، والمئزر، وأغطية الرأس والأحذية.
- يجب أن تكون الملابس الواقية مقاومة للماء أو غير منفذة للسوائل لحماية الجسم من التلوث بالدم أو القطرات أو سوائل الجسم الأخرى

ومنع هذه الملوثات من الدخول إلى الجسم من خلال الجروح المفتوحة أو تلويث ملابس العامل، وبالتالي تقليل فرصة انتشار مسببات الأمراض والعدوى المتصالبة؛

- يجب اختيار الملابس الواقية القياسية (على سبيل المثال، EU EN 340).
- يجب أن تناسب الملابس الواقية مرتديها ولا تعيق حركته.
- يجب فحص الملابس الواقية قبل الاستخدام واستبدالها في حالة تلفها.

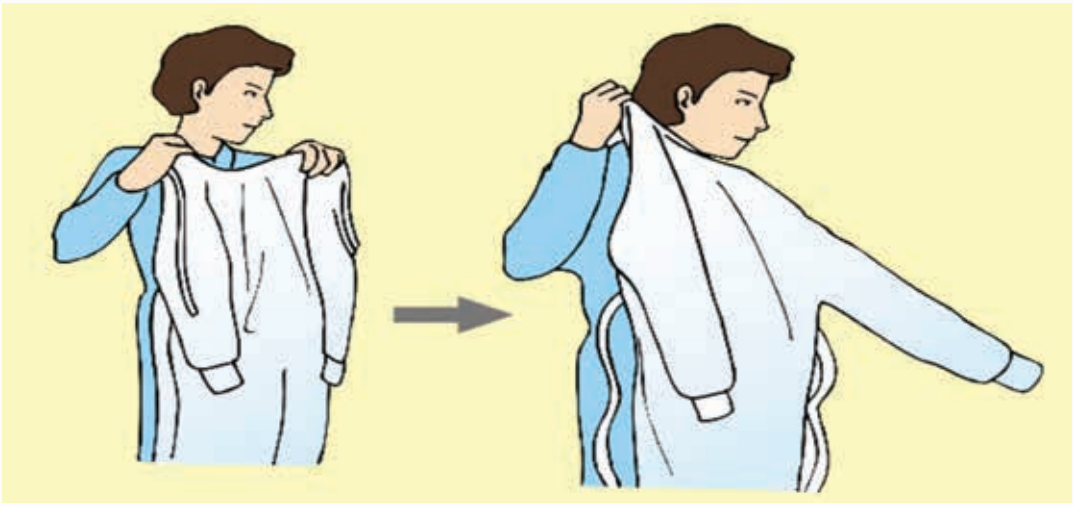
يمكن التخلص من الملابس الواقية في معظم الحالات، على الرغم من أنه يمكن إعادة استخدام بعضها بعد التعقيم

يجب التخلص من الملابس الواقية الملوثة بيولوجيًا في أكياس قمامة مصممة خصيصًا وموسومة بتحذير وملصق «خطر بيولوجي». أغلق الكيس وضعه في مكان مخصص للتخلص منه بشكل خاص.

كيس القمامة الخطر البيولوجي

كيفيـــة ارتـــداء الملابـــس الواقيـــة:

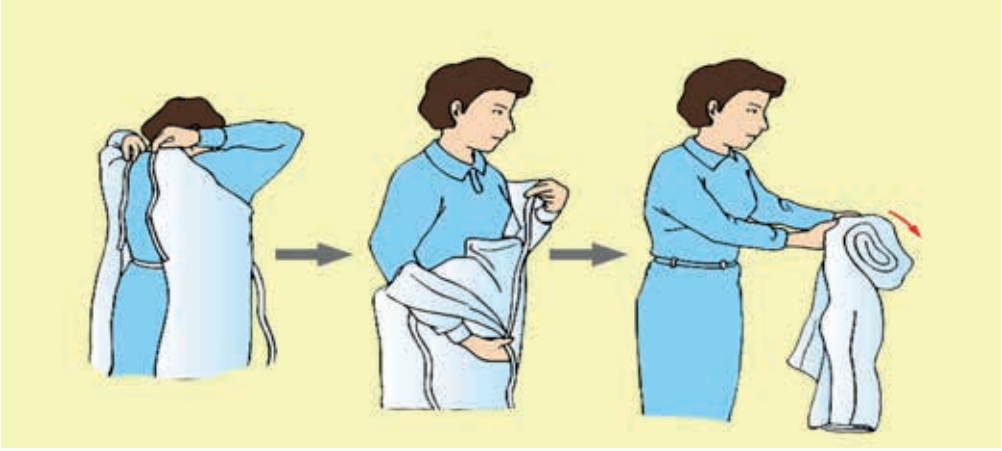
خذ الثوب مع الظهر الذي يواجه مرتديه. قم بتمرير الذراعين من خلال الأكمام أولاً واربط سلسلة الياقة خلف الرقبة. ثم اربطي الخيط حول الخصر.



طريقة ارتداء الملابس الواقية من المخاطر البيولوجية.

كيفيـــة خلـــع الملابـــس الواقيـــة:

قـم بفـك سلسـلة الياقـة. انزلـق الأكمـام علـى كلا الجانبـين والجـزء العلـوي مـن الثـوب. اقلـب الثـوب مـن الداخـل إلـى الخـارج. دحرجهـا للخـارج وتخلـص منهـا.



طريقة خلع الملابس الواقية من المخاطر البيولوجية

■ نظـــارات واقيـــة / دروع للوجـــه

يمكن لنظـارات السـلامة/النظارات ودروع الوجـه أن تحمـي العينـين مـن ملامسـة الـدم أو القطـرات أو سـوائل الجسـم الأخـرى التـي تحمـل مسـببات الأمـراض والتـي قـد تدخـل الجسـم عبـر الغشـاء المخاطـي.

يجب اختيار النظارات القياسية (على سبيل المثال، EU EN 166؛ U.S. ANSI Z87.1-1989).

يجب التحقق من النظارات بانتظام. استبدلها إذا كانت خارج الشكل أو متشققة أو مخدوشة أو ضبابية.

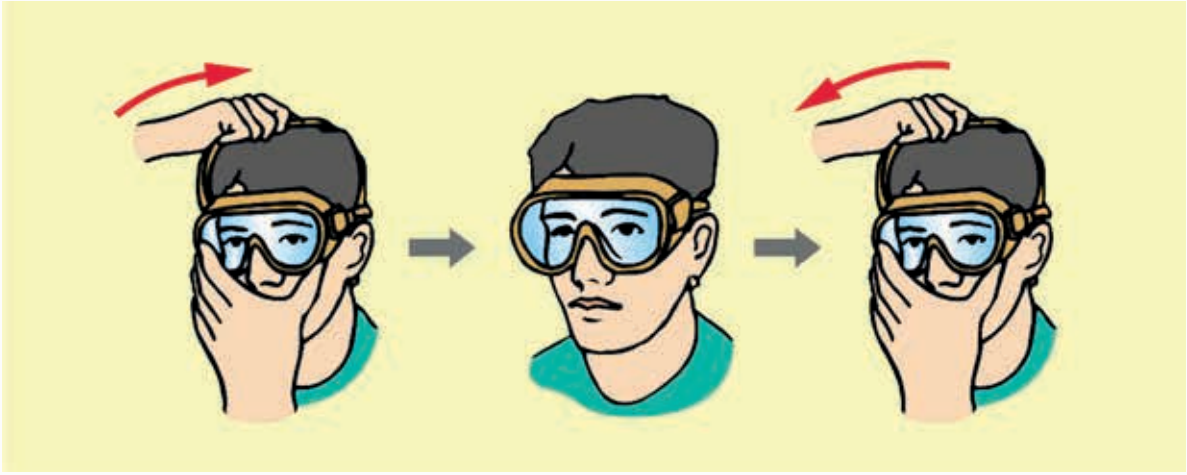
يجب تنظيف دروع الوجه والنظارات الواقية/النظارات بالصابون السائل بانتظام. إذا كانت ملوثة بالدم، فيجب نقعها في سائل مبيض مخفف بنسبة 1:49 ثم شطفها بالماء النظيف. ضعها في أكياس بلاستيكية بعد تجفيفها واحفظها في خزانة.

كيفيـــــة ارتـــداء النظـــارات

أمسك النظارات بيد واحدة وضعها أمام عينيك. ضع عصابة الرأس حول الرأس واضبطها لتناسب المقاس.

كيفيـــــة خلـــع النظـــارات

أمسك النظارات بخفة وانزلق من عصابة الرأس. احتفظ بالنظارات في مكان مناسب أو قم بتعقيمها.



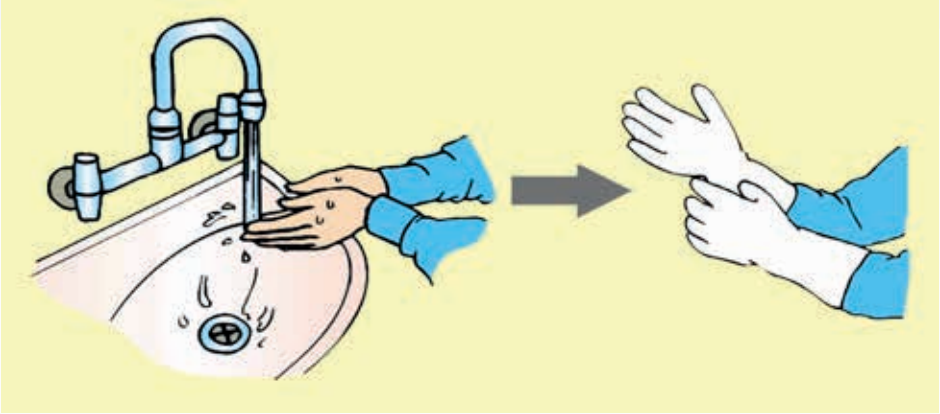
طريقة ارتداء وخلع النظارات

كيفيـــة وضـــع درع الوجـــه

قبل الاستخدام، قم بتجميع واقي الوجه وفقًا للتعليمات المقدمة من قبل الشركة المصنعة. طريقة ارتداء وخلع درع الوجه تشبه طريقة النظارات الواقية.

■ القفـــــازات

- تحمي القفازات اليدين من ملامسة الدم أو القطيرات أو سوائل الجسم أو أنسجة الجسم الأخرى للمصاب أو الأشياء الملوثة بمسببات الأمراض ويمكن أن تتجنب العدوى عند لمس العينين أو الفم أو الأنف بعد ذلك. يمكن للقفازات أيضًا حماية الجروح المفتوحة من التلوث بمسببات الأمراض.
- معظم القفازات يمكن التخلص منها بعد الاستخدام.
- يجب اختيار القفازات القياسية (على سبيل المثال، EU EN 374؛ US ASTM F1670، ASTM F1671).
- تحقق مما إذا كانت المادة المستخدمة في القفازات مقاومة للمواد الكيميائية. اطلب التفاصيل من موردي القفازات.
- يجب أن تكون القفازات ملائمة لليدين بشكل مريح ولكن لا ينبغي أن تعيق الحركة أو تؤثر على الإحساس.
- إبقاء الأظافر قصيرة لتجنب ثقب القفازات عند رؤوس الأصابع.
- يمكن ارتداء زوجين من القفازات عند التعامل مع المواد شديدة الخطورة.



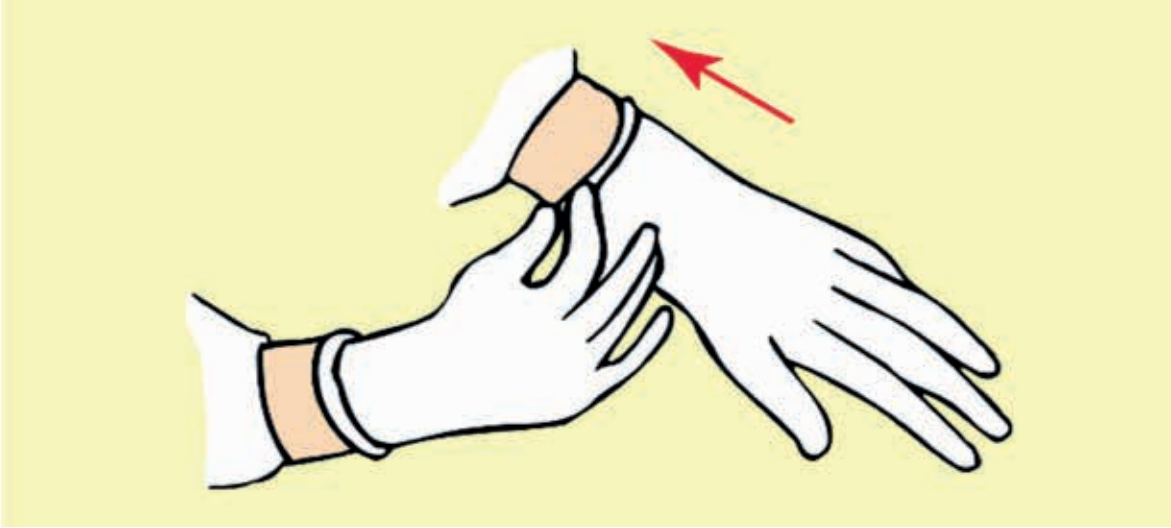
يجب غسل اليدين جيداً قبل وبعد استخدام القفازات.

- تحقق مما إذا كان هناك أي ثقب قبل الاستخدام. للقيام بذلك، قم بلف الطرف المفتوح للقفاز لمعرفة ما إذا كان يمكنه حبس الهواء بالداخل (انظر الرسوم البيانية أدناه). يجب استبدال القفاز المثقوب على الفور. (ملاحظة: لا تنفخ القفاز مباشرة لتجنب ملامسة الفم والأنف للقفاز بشكل مباشر).

يجب التخلص من القفازات الملوثة في كيس قمامة خاص يحمل علامة التحذير والملصق «خطر بيولوجي». ربط الكيس ووضعه في مكان مخصص للتخلص منه بشكل خاص.

كيفيـــــة ارتـــداء القفـــازات

ارتديها قبل التعامل مع أي دم أو أشياء تنطوي على مخاطر بيولوجية محتملة.



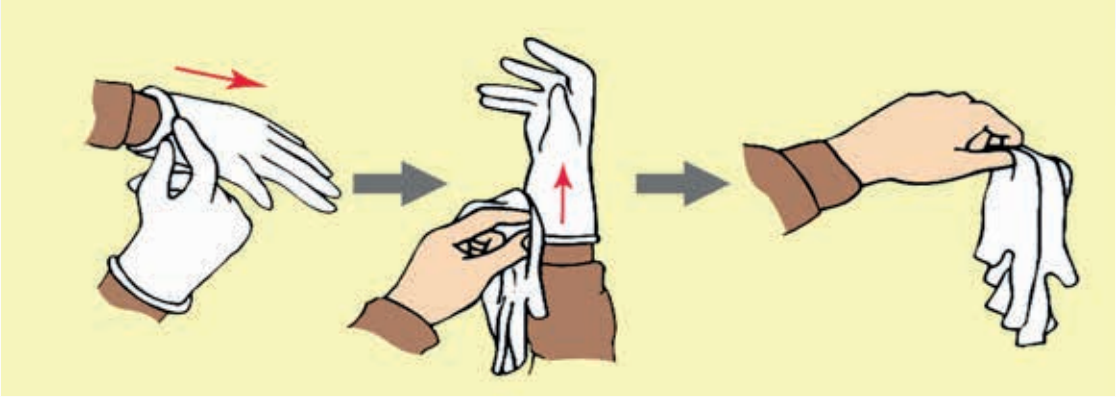
ارتدي زوجًا يناسب اليدين ومناسبًا للوظيفة.

كيفيـــــة خلـــع القفـــازات

تغيير أو خلع القفازات في كل مرة بعد الاتصال بالمريض أو التعامل مع العينات المخبرية. لا ينبغي أبدًا إعادة استخدام القفازات التي تستخدم لمرة واحدة.

لخلع القفازات، أمسك حافة القفاز الأيسر باليد اليمنى ثم اسحبه بعيدًا عن الجسم لقلبه من الداخل إلى الخارج.

ثم استخدم الجزء الداخلي من القفاز الأيسر لتغطية القفاز الأيمن وقشره بلطف. تخلص من القفازات. بهذه الطريقة، لن يكون هناك أي ملامسة للجلد للجزء الخارجي من القفازات.



طريقة خلع القفازات.

■ أغطيـــة الأحذيـــة

- تمنع أغطية الأحذية انتقال مسببات الأمراض خارج مكان العمل.
- يمكن التخلص من أغطية الأحذية عادةً بعد الاستخدام.
- توفر أغطية الحذاء مزيدًا من الحماية. تغطية الأحذية بسراويل من الملابس الواقية لمنع وصول الملوثات إلى الأحذية.
- يجب أن تكون أغطية الأحذية مقاومة للماء ومضادة للانزلاق.

يجب أن يكون مقاس أغطية الأحذية مناسباً حتى لا يعيق الحركة.

لضمان حمايتها، تتطلب جميع معدات الحماية الشخصية الاختيار والاستخدام الصحيحين، بالإضافة إلى الصيانة والتخزين المناسبين.

يجب تنظيف معدات الحماية القابلة لإعادة الاستخدام وتعقيمها جيدًا قبل استخدامها مرة أخرى. يجب استبدال العناصر التالفة على الفور.

عند استخدام المجموعة الكاملة من معدات الحماية، يجب على العاملين في المجال الطبي اتباع إرشادات المستشفى بدقة بشأن مكافحة العدوى. يجب على العاملين الآخرين في الخطوط الأمامية مثل موظفي التنظيف الرجوع إلى الترتيب التالي عند ارتداء معدات الحماية.

ومع ذلك، يجب تعديل هذا الأمر وفقًا لبيئة العمل لمنع التلوث المتبادل.

■ التعقيـــم

التعقيم هو عملية تستخدم الحرارة الفائقة أو الضغط العالي للقضاء على البكتيريا، أو استخدام المبيدات الحيوية للقضاء على الكائنات الحية الدقيقة، بما في ذلك الجراثيم الموجودة في البكتيريا.

وينبغي أن تشمل عملية التعقيم الكاملة تطهير المباني الملوثة والتنظيف الشامل لأي مواد سامة متبقية، لضمان عدم تعرض الموظفين للأذى من خلال التعرض في منطقة الخطر.

ويعتمد التعقيم الفعال على سلالة الكائنات الحية الدقيقة وكميتها، ومستوى المادة العضوية الموجودة، وخصائص الكائنات الحية المراد التخلص منها، ومدة عامل التعقيم ودرجة حرارته وتركيزه.

هناك أنواع عديدة من مواد التعقيم والمطهرات، وأكثرها شيوعًا هي مواد التبييض السائلة والكحول الأحمر. ويجب غسل اليدين جيداً بعد خلع أي معدات حماية شخصية.

■ النظافة الشخصية

غسل اليدين بالصابون السائل هو أبسط وأبسط طريقة لتجنب العدوى. ومع ذلك، غالبا ما يتم إهمالها.

المخاطر البيولوجية يمكن أن تقتل. أو أنها قد تسبب عدم الراحة وتؤثر على صحة وأداء الموظفين على أقل تقدير. علينا أن نكون يقظين في منع المخاطر البيولوجية والسيطرة عليها لجعل بيئة العمل مكانًا أكثر أمانًا وصحة.

المراجـــع

أولاً : المراجـــع العربيـــة

أبو الخيـــر، يحيى محمد. 1404هـ. زحف الرمال بمنطقة الأحساء-جامعة الكويت. رقم 64.

ابن بطوطة، أبو عبد الله، رحلة ابن بطوطة (تحفة النظار في غرائب الأمصار وعجائب الأسفار)، ج2، تحقيق وتقديم عبد الهادي التازي، أكاديمية المملكة المغربية، الرباط، 1997م.

ابن ســـينا، أبو علي، الشفاء (الطبيعيات)، تحقيق: محمد رضا مدور، إمام إبراهيم أحمد، الهيئة المصرية العامة للكتاب، القاهرة، 1980م.

آل ســـعود، مشاعل، 2001م. الملامح الطبيعية لمناطق الزلازل بالمملكة العربية السعودية. الجمعية الجغرافية المصرية. العدد 37. القاهرة.

الأحيـــدب، ابراهيم بن سليمان. 1420 هـ المخاطر الطبيعية في المملكة العربية السعودية و كيفية مواجهتها: دراسة جعرافية.288 صفحة.

الحـــــداد، محمد - الزيد، راجح - عرفه، منير - انجيلو، التان – تركلي، نيازي 1993م . أُسس ومعايير تقويم الخطر الزلزالي في المملكة العربية السعودية البحث أ ت 9-31 مدينة الملك عبد العزيز للعلوم والتقنية - الرياض.

الحديثـــي، عبد الله. الرياح والأعاصير. مجلة العلوم والتقنية. مدينة الملك عبد العزيز للعلوم والتقنية. العدد الثاني والثلاثون. شوال 1415هـ.

الدبيك جلال، «التصميم المعماري للمباني المقاومة للزلازل»، مركز علوم الأرض وهندسة الزلازل، نابلس، فلسطين،2010م.

الرشـــيد، محمد بن أحمد، الحرّات في السعودية، مجلة الفيصل العلمية، العددان 439-440، تصدر عن مركز الملك فيصل للدراسات والبحوث الإسلامية، الرياض، ديسمبر 2012م - يناير 2013م.

الســـنوي، سهل 1997م. أساسيات علم الزلازل . مركز عبادي للدراسات والنشر .صنعاء - اليمن.

الصبـــاح، أمثال وبو ربيع، فريال. هل أعددت أسرتك لمواجهة أخطار الزلازل؟ الدفاع المدني- الكويت

العمري، عبدالله محمد 2005م، النطاقات الزلزالية لشبة الجزيرة العربية والدول المجاورة. مركز الدراسات الزلزالية - جامعة الملك سعود- الرياض.

المراجـــع

الصقعبي، ابراهيم. الانخسافات الأرضية.مجلة العلوم والتقنية. مدينة الملك عبدالعزيز للعلوم والتقنية. العدد التاسع والثلاثون . رجب 1417هـ.

الصقعبي، ابراهيم / السيول والفيضانات . مجلة العلوم والتقنية. مدينة الملك عبدالعزيز للعلوم والتقنية . العدد الثاني والثلاثون - شوال 1415هـ .

العـــلاوي، جمعه عبدالرحيم 1995م. البراكين. مجلة العلوم والتقنية – العدد 32، مدينة الملك عبدالعزيز للعلوم والتقنية – الرياض.

العمـــري، عبدالله محمد .2022م .تقييم مخاطر الزلازل، 144 ص. دار أضواء المعرفة للنشر والتوزيع، الرياض.

العمـــري، عبدالله محمد .2023م .التصحر والجفاف، 208 ص. دار أضواء المعرفة للنشر والتوزيع,الرياض.

العمـــري، عبدالله محمد .2023م الأمطار والسيول والسدود، 198 ص. دار أضواء المعرفة للنشر والتوزيع، الرياض.

العمـــري، عبدالله محمد .2023م . الانزلاقات والانهيارات والفيضانات، 202 ص. دار أضواء المعرفة للنشر والتوزيع، الرياض .

العمـــري، عبدالله محمد . 2022م. البراكين وسبل مجابهتها 172 ص. دار أضواء المعرفة للنشر والتوزيع، الرياض.

العمـــري، عبدالله محمد .2022م. الزلازل والتفجيرات 208 ص. دار أضواء المعرفة للنشر والتوزيع، الرياض.

العمـــري، عبدالله محمد .2022م .موجات الميناء (التسونامي)، 112 ص. دار أضواء المعرفة للنشر والتوزيع، الرياض.

العمـــري، ياسين بن خير الله، زبدة الآثار الجلية في الحوادث الأرضية، النجف، 1974م.

العواجـــي، حسين. الانزلاقات الأرضية. مجلة العلوم والتقنية.

العينـــي، بدر الدين، عقد الجمان في تاريخ أهل الزمان، حققه ووضع حواشيه: محمد محمد أمين، ج2، الهيئة المصرية العامة للكتاب – مركز تحقيق التراث، القاهرة، 1987م.

الغامـــدي، سعيد، العمري، عبدالله 1994م، اعتماد مواصفات التصميم الإنشائي لمقاومة الزلازل في المملكة العربية السعودية – لماذا وكيف؟ ندوة الإبداع والتميز في النهضة العمرانية خلال مائة عام. وزارة الأشغال العامة والإسكان.

المراجـــع

الغنيـــم، عبد الله يوسف، أسباب الزلازل وأحداثها في التراث العربي، مجلة المجمع العلمي العراقي، ج4، مجلد 35، تشرين الأول، بغداد، 1984م.

الغنيـــم، عبد الله يوسف، البراكين والحرات في التراث العربي، الجمعية الجغرافية الكويتية، جامعة الكويت، رسائل جغرافية 117، سبتمبر، الكويت، 1988م.

الكنـــدي، أبو يعقوب، رسالة في العلة الفاعلة للمد والجزر، نسخة موجودة ضمن مجموع أياصوفيا رقم (AYASOFYA4832).

المســـند، عبدالله. 2017م. الربع الخالي مشاهد وخواطر. الشركة الوطنية الموحدة للتوزيع

الهيجـــان، عبدالرحمن. مادة إدارة الكوارث في الدورة التخصصية للحماية المدنية، معهد الدفاع المدني. الرياض.

باربـــر، نيكولا 2002م. الزلازل والبراكين. سلسلة علوم ألفا. مكتبة العبيكان.

حســـن، محمد عبد العزيز. السلامة من الكوارث الطبيعية. سلسلة إصدارات التوعية العلمية 3. المديرية العامة للدفاع المدني.

رمزي دسوقي، الجراد. مجلة العلوم . العدد الثاني والثلاثون 1415هـ.

عبد العليـــم، أنور، البحار في كتب البلدان، مجلة قافلة الزيت، العدد 7، المجلد 31، رجب 1403هـ، إبريل/ مايو، تصدر عن شركة أرامكو، الظهران، 1983م.

عبد العليـــم، أنور، الملاحة وعلوم البحار عند العرب، سلسلة عالم المعرفة، العدد13-، تصدر عن المجلس الوطني للثقافة والفنون والآداب، الكويت، 1979م.

عبـــده، طلعـــت أحمد محمد، وحورية محمد حسين جاد الله، جغرافية البحار والمحيطات، دار المعرفة الجامعية، الإسكندرية، 1997م.

محمـــد، السيد البشري. الرياح. مجلة العلوم والتقنية. مدينة الملك عبد العزيز للعلوم والتقنية، العدد التاسع والأربعون. محرم 1420هـ.

محمديـــن، محمد محمود، التراث الجغرافي العربي، ط3، دار العلوم للطباعة والنشر، الرياض، 1999م. مدينة الملك عبدالعزيز للعلوم والتقنية، العدد الثاني والثلاثون. شوال 1415هـ

مطـــر، أنيـــس، الزلازل عند ابن سينا، أبحاث الندوة العالمية السادسة لتاريخ العلوم عند العرب، رأس الخيمة، منشورات معهد التراث العلمي العربي، جامعة حلب، 1999م.

وزارة الشؤون البلدية والقروية 1420هـ. الدليل الإنشائي لحساب الأحمال الزلزالية واشتراطات الأنظمة الإنشائية للمباني بالمملكة العربية السعودية.

المراجـــع

ثانياً : المراجـــع الأجنبيـــة

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

Africa Review Report on Drought and Desertification, (2008), United Nations Economic Commission for Africa, Addis Ababa.

Agnew, Duncan, (2002), History of Seismology, Institute of Geophysics and Planetary Physics, University of California, La Jolla.

Akasofu, S.-I. (1964). The development of the auroral substorm. Planet. Space Sci. 12, 273–282.

Aki, K. and Richards, P., 1980. Methods of Quantitative Seismology, Freeman, California.

Al-Amri A. M., Fnais M. S. Kamal Abdel-Rahman, Mogren S. and Al-Dabbagh M. (2012). Geochronological dating and stratigraphic sequences of Harrat Lunayyir, NW Saudi Arabia, pp. 2791-2805. DOI: 10.5897/IJPS12.178.

Al-Zaid, R. (1988). Hazard Curves at Specific Sites and Zonation map of the Kingdom. Short course on " Earthquake Engineering ", Dept. of Civil Engineering, King Saud Univ.

Alexander, D. (2002). Principles of Emergency planning and Management. Harpended: Terra publishing. ISBN 1-903544-10-6.

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

Arlin , B. Super, & Jon G. Medina & Jack T. McPartland (1991), Design of physical cloud seeding experiments for the Arizona atmospheric modification research program, Bureau of Reclamation, Denver Office, Denver.

Arnold, C. "Building Configuration and Seismic Design". pp 113

Arnold,C, FAIA, RIBA, Bruce Bolt, Dreger D, Elsesser E, Eisner R, Holmes W, McGavin G, Theodoropoulos C, AIA, PE FAIA, FEMA 454 "Risk Management Series Designing for Earthquakes"- A Manual for Architects, December 2006 FEMA.3 C.

Bache, T. C. (1982). Estimating the yield of underground nuclear explosion. Bull. Seism. Soc. Am., 72: S131–S168.

Bankoff, G. Frerks, D. Hilhorst (eds.) (2003). Mapping Vulnerability: Disasters, Development and People. ISBN 1-85383-964-7.[page needed]

Behnke, Roy H. & Michael Mortimore Editors, (2016), the End of Desertification, Springer-Verlag Berlin Heidelberg.

المراجـــع

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

Bolt, B.(1993), '' Earthquakes '',. Freeman and Company, New York, 331P.

Bormann Peter, E. Robert Engdahl, and Rainer Kind (2012). Seismic Wave Propagation and Earth models.Version December 2012; DOI: 10.2312/GFZ.NMSOP-2_ch2)

Bormann Peter, Klaus Klinge and Siegfried Wendt (2012). Data Analysis and Seismogram Interpretation.

Bormann, P. (2002). New Manual of Seismological Observatory Practice (NMSOP), IASPEI. Geo Forschungs Zentrum, Potsdam.

Boydak, Melih & Servet Çalışkan, (2015), Afforestation of arid and semi-arid region, General Directorate of Combating Desertification and Erosion, Ankara.

Bullard, Fred. M, (1962) Volcanoes in History, University Of Texas Press, Texas.

Bullen, K.E. and Bolt, B.A., 1985. An introduction to the theory of seismology, 4th ed., Cambridge Univ. Press, U.K.

Burton, I.; Kates, R.W.; White, G.F. (1993). The environment as hazard. Guilford Press. ISBN 978-0898621594.

Cambridge Advanced Learner›s Dictionary (Third ed.). Cambridge University Press. 2008. ISBN 978-0-521-85804-5. Archived from the original on 13 August 2009.

Campbell, K.W., "Near Source Attenuation of Peak Horizontal Acceleration", Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 71, No. 6, 1981, pp. 20392070.

Campbell, R.H., et al "Landslides Classification for Identification of Mud Flow and Other Landslide Hazards" and Keefer, P.K. "Landslides Caused by Earthquakes" in Proceedings of the Geologic and Hydrologic Training Program, Open File Report 84-760 (Reston, Virginia: U.S. Geological Survey, 1984).

Cannon, Terry. (1994). Vulnerability Analysis and The Explanation Of ‹Natural› Disasters. Disasters, Development and Environment.

Carrington, R. C. (1860). Description of a singular appearance seen in the Sun on September 1, 1859. Mon. Not. Roy. Astron. Soc., 20, 13–15.

Cartwright, David Edgar, (1999), Tides A Scientific History, Cambridge University Press, Cambridge.

Cherlet, M., Hutchinson, C., Reynolds, J., Hill, J., Sommer, S., von Maltitz, G. (Eds.), (2018), World

المراجـــع

Atlas of Desertification, Publication Office of the European Union, Luxembourg.

Chesley, S. R. & Ward, S. N. (2006). A quantitative assessment of the human and economic hazard from impact-generated tsunami. Nat. Haz. 38, 355–374.

CIFFC Canadian Wildland Fire Management Glossary» (PDF). Canadian Interagency Forest Fire Centre. Retrieved 16 August 2019.

Clarke, A. C. (1945). V2 for ionosphere research? Wireless World, February, p. 58, Letter to the editor.

Coburn, Andrew W.; Spence, Robin JS; Pomonis, Antonios (1992). «Factors determining human casualty levels in earthquakes: mortality prediction in building collapse» (PDF). Proceedings of the tenth world conference on earthquake engineering. Vol. 10. pp. 5989–5994. ISBN 978-90-5410-060-7. Archived (PDF) from the original on 2020-11-12. Retrieved 2020-12-29.

Dales, Richard C., (1973), the Scientific Achievement of the Middle Ages, University of Pennsylvania Press.

Daly, Chas. P., (1890), On The History of Physical Geography, American Geographical Society, Vol. XXII, No. I, Annual Address.

Dam Safety Interest Group, (2013), HDR Engineering, Inc.

Darwin, George Howard, (1898), the Tides and Kindred Phenomena in the Solar System, Boston, Houghton.

Day, S. M., N. Rimer, and J. T. Cherry (1983). Surface waves from underground explosions with spall: Analysis of elastic and nonlinear source models. Bull. Seism. Soc. Am., 73: 247–264.

De Boer, Jelle Zeilinga, & Sanders, Donald Theodore, (2002) Volcanoes in Human History, Princeton University Press, Princeton.

Desertification: The invisible frontline, (2014), United Nations Convention to Combat Desertification, Second Edition, Bonn.

DeWeerdt, Sarah (2020-09-15). «Humans cause 96% of wildfires that threaten homes in the U.S.» Anthropocene. Archived from the original on 2020-12-10. Retrieved 2020-12-29.

Drought, Tree Mortality, and Wildfire in Forests Adapted to Frequent Fire» (PDF). UC Berkeley College of Natural Resources. Retrieved 15 March 2022.

Dugas, Rene, 1957) A History Of Mechanics, Routledge &Kegan Paul ltd. London.

Dvořák, J., & L. Novák, (1994), Soil Conservation and Silviculture, 1st Edition, Elsevier Science,

Amsterdam.

Ekman, Martin, (1993), A concise history of the theories of tides, Surveys in Geophysics, Kluwer Academic Publishers, Printed in the Netherlands.

Flannigan, M.D.; B.D. Amiro; K.A. Logan; B.J. Stocks & B.M. Wotton (2005). «Forest Fires and Climate Change in the 21st century» (PDF). Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change. 11 (4): 847–859. doi:10.1007/s11027-005-9020-7. S2CID 2757472. Archived from the original (PDF) on 25 March 2009. Retrieved 26 June 2009.

Flynn, E. C., and B. W. Stump (1987). Effects of source depth on near source seismograms. J. Geophys. Res. (to appear).

Forest fire videos – See how fire started on Earth». BBC Earth. Archived from the original on 16 October 2015. Retrieved 13 February 2016.

Francis, P. & Oppenheimer, C. (2003). Volcanoes, 2nd Edition. Oxford University Press.

Galilei, G. (1613). Istoria e Dimostrazioni Intorno Alle Macchie Solari e Loro Accidenti. Rome: Giacomo Mascardi.

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

Glick, Thomas F. (ed.). (2014), Marina Tolmacheva, Geography, Chorography. Medieval Science, Technology, and Medicine: An Encyclopedia. Routledge.

Global Land Outlook, (2017), United Nations Convention to Combat Desertification, Second Edition, Bonn.

Gold, T. (1959). Motions in the magnetosphere of the Earth. J. Geophys. Res., 64, 1219–1224.

Gould, Kevin A.; Garcia, M. Magdalena; Remes, Jacob A.C. (1 December 2016). «Beyond ‹natural-disasters-are-not-natural›: the work of state and nature after the 2010 earthquake in Chile». Journal of Political Ecology. 23 (1): 93. doi:10.2458/v23i1.20181.

Gutenberg, B. And Richter, C.F. (1944).”Frequency of Earthquakes in California”, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 34, No. 4, pp. 1985-1988.

Harrigan, Peter, (2006), Volcanic Arabia, March/April, Vol. 57 No.2, Saudi Aramco World, Houston.

Harris, Rollin Arthur, (1898), Manual of tides, Part 1, Govt. Print. Off., Washington.

Hays, W.W., ed., 1981, Facing Geologic and Hydrologic Hazards-- Earth Science Considerations:

U.S. Geological Survey Professional Paper 1240B, 108 p.

Hess, W. N., ed. (1968). The Radiation Belt and Magnetosphere. Waltham, MA: Blaisdell Publishing Company.

Howell Jr., Benjamin F., (1990), An Introduction to Seismological Research, Cambridge University Press, Cambridge.

Idris, Tomader Suliman, (2010), Impact of Drought and Desertification on Sustainable Livelihoods in Wadi Al Muggadam.

Jackson, J. A. (1997). Glossary of Geology, 4th Edition. American Geological Institute.

Jared M. Diamond, Collapse: How Societies Choose to Fail or Succeed, 2005

Jokipii, J. R. & Thomas, B. (1981). Effects of drift on the transport of cosmic rays.

Kanamori, H. (1988)."Importance of Historical Seismograms for Geophysical Research", in W.H.K. Lee, H. Meyers, and K. Shimazaki, eds. Historical Seismograms and Earthquakes of the World, Academic Press, San Diego, California, pp. 16-31.

Karoly Nemeth (2012) Updates in Volcanology - New Advances in Understanding Volcanic Systems. ISBN 978-953-51-0915-0, , 265 pages, Publisher: InTech.

Kayal, J.R. Zhao، D., Mishra, O.P., De, Reena and Singh, O.P. 2002. The 2001 Bhuj Earthquake: Tomography evidence for fluids at hypocenter and its implications for rupture nucleation, Geophys. Res. Lett., 29 (24): 5.1-5.4.

Kayal, J.R., 1986. Analysis of strong phases other than P and S from a microearthquake survey in the Wellington region, New Zealand. Bull. Seism. Soc. Am., 76: 1347-1354.

Kennett B.L.N., Engdahl E.R. and Buland R., 1995. Constraints on seismic velocities in the Earth from travel times. Geophys. J. Int., 122, 108-124.

Kennett, B.N.L. and Engdahl, E.R.,1991. Travel times for global earthquake location and phase identification, Geophys. J. Int., 106,429-465.

Kevin Blanchard #NoNaturalDisasters – Changing the discourse of natural disaster reporting (16 November 2018)

Kieft, J.; Bendell, J (2021). «The responsibility of communicating difficult truths about climate influenced societal disruption and collapse: an introduction to psychological research». Institute for Leadership and Sustainability (IFLAS) Occasional Papers. 7: 1–39. Archived from the original on 2021-03-10. Retrieved 2021-04-03.

المراجـــع

Kilburn, Christopher R. J. (1999). Lava Flows and Flow Fields. In: Encyclopedia of Volcanoes (Ed. Sigurdsson, H.). Academic Press. 291-305.

Kivelson, M. G. & Russell, C. T., eds. (1995). Introduction to Space Physics. Cambridge, UK: Cambridge University Press.

Kozák, J. & Čermák, V., (2010), The Illustrated History of Natural Disasters, Springer Science+Business Media B.V.

Lamarrae, M., and Shah, H.C., Seismic Hazard Evaluation for Sites in California: Development of an Expert System, The John A. Blume Earthquake Engineering Center, Report No. 85, Department of Civil Engineering, Stanford University, June 1988Reiter, L. (1990).Earthquake Hazard Analysis- Issues and Insights, Columbia University Press, New York, 254 pp.

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

Lay, Thorne and Wallace, Terry, C. 1995. Modern Global Seismology, Academic Press, New York, USA, 521 p.

Loomis, E. (1869). Aurora borealis or polar light. Harper's New Month. Mag., 39, 1–21.

Massé, R. P. (1981). Review of seismic source models for underground nuclear explosions. Bull. Seism. Soc. Am., 71: 1249–1268.

McEvilly, T. V., and W. A. Peppin (1972). Source characteristics of earthquakes, explosions, and afterevents. Geophys. J. R. Astr. Soc., 31: 67–82.

McGuire, Bill (2012). Waking the Giant: How a changing climate triggers earthquakes, tsunamis, and volcanoes. Oxford University Press. ISBN 978-0-19-959226-5. Archived from the original on 2022-04-18. Retrieved 2020-12-29.[page needed]

Miller, G. Tyler & Scott Spoolman, (2012), Living in the Environment, 17 ed, Brooks/Cole, Cengage Learning, Belmont.

Minster, B. J. (1985). Twenty-five years of source theory. In Ann U. Kerr, ed., The Vela Program—A Twenty-five Year Review of Basic Research. Executive Graphic Services, Defense Advanced Research Projects Agency, Rosslyn, Virginia, 67–116.

Moldwin, M. (2008), An introduction to space weather, Cambridge University Press, New York.

Murty, R.V. "Learning Earthquake Design and Construction",-Eartquake Tips 1, Indian Institute Of Technology, kanpar, India, Desember, 2003.

National Geographic Extreme Weather Survival Guide_ Understand, Prepare, Survive, Recover.

National Wildfire Coordinating Group Communicator›s Guide For Wildland Fire Management, 4–6.

المراجـــع

National Wildfire Coordinating Group Fireline Handbook, Appendix B: Fire Behavior» (PDF). National Wildfire Coordinating Group. April 2006. Archived (PDF) from the original on 17 December 2008. Retrieved 11 December 2008.

Natural Hazards | National Risk Index». hazards.fema.gov. Retrieved 2022-06-08.

Organization of American States, Department of Regional Development; Organization of American States, Natural Hazards Project; United States Agency for International Development, Office of Foreign Disaster Assistance (1990). Disaster, planning and development: managing natural hazards to reduce loss (PDF). Washington, D.C.: Organization of American States. Retrieved 21 July 2014.

Parmesan, Camille; Morecroft, Mike; Trisurat, Yongyut; et al. «Chapter 2: Terrestrial and Freshwater Ecosystems and their Services». Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Intergovernmental Panel on Climate Change.

Rambosson, Jean Pierre, (1875), Astronomy, Chapman & Hall, London.

Rao, Shivaji, (2018), Cloud Seeding for India (An effective weapon to fight drought), Centre for Environmental Studies, Gitam University.

Risch, Dan & Don A. Griffith, (1986), Operations Report on a Cloud Seeding Program for The Edwards Underground Water District. NAWC Report WM-86-6, Utah.

Roessler, D., Krueger, F., Ohrnberger, M., and Ehlert, L. (2010). Rapid characteristics of large earthquakes by m,ultiple seismic broadband arrays. Nat. Hazards Earth. Syst. Sci., 10, 923-932, www.nat-hazards-earth-syst-sci.net/10/923/2010/.

Romanowicz, Barbara, & Dziewonski, Adam, (2007), Seismology and the Structure of the Earth, Elsevier, Amsterdam.

Rost, S., and Thomas, C. (2002). Array Seismology: Methods and applications. Rev. Geophys.,40,(3), 1008, doi: 10.1029/2000RG000100.

Rost, S., and Thomas, C. (2009). Improving seismic resolution through seismic arrays. Surv. Geophys., 30, 271-299, doi: 10.1007/s10712-009-9070-6.

Rybnikova, L.S.; Rybnikov, P.A. (2017). «Hydrogeochemistry of the Abandoned Sulfide Mines of the Middle Urals (Russia)». Procedia Earth and Planetary Science. 17: 849–852. Bibcode:2017PrEPS..17..849R. doi:10.1016/j.proeps.2017.01.054. ISSN 1878-5220.

Schmincke, Hans-Ulrich (2005). Volcanism. Springer.

Schweitzer, J. (2003). NORSAR's event warning system (NEWS). NORSAR Sci. Rep., 1–2003, 27-31.79.

Schweitzer, J., and Krüger, F. (2011). Foreword (special issue "Array seismology in Europe: recent developments and applications"). J. Seismology, 15, (3), 429-430, doi: 10.1007/s10950-011-9241-z.

Schweitzer, J., and Kværna, T. (2002). Design study for the refurbishment of the SPITS array (AS72). NORSAR Sci. Rep., 2–2002, 65–77.

Scott, Joe H. & Matthew P. Thompson & David E. Calkin, (2013), A Wildfire Risk Assessment Framework for Land and Resource Management, United States Department of Agriculture / Forest Service Rocky Mountain Research Station, General Technical Report RMRS-GTR-315.

Shah, H.C., Earthquake Engineering and Seismic Risk Analysis. Lecture Notes, The John A. Blume Earthquake Engineering Center. Department of Civil Engineering, Stanford University.

Sigurdsson, Haraldur, (2000), Encyclopedia of Volcanoes, Academic Press, San Diego.

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

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

Smil, Vaclav (18 December 1999). «China›s great famine: 40 years later». BMJ. 319 (7225): 1619–1621. doi:10.1136/bmj.319.7225.1619. PMC 1127087. PMID 10600969.

Smith, Neil (2006-06-11). «There›s No Such Thing as a Natural Disaster». Items. Archived from the original on 2021-01-22. Retrieved 2020-12-29.

Smith, S.W. (1976)."Determination of Maximum Earthquake Magnitude", Geophysical Research Letters, Vol. 3, No. 6, pp. 351-354.

Spinoza, B. (1677). Ethics. Everyman's Library, No. 481, 1963, London: Dent.

Stanford Seismic Hazard Analysis (STASHA), Computer Program, The John A. Blume Earthquake Engineering Center, Technical Report No. 36, Stanford University, 1989.

Taub, Liba, (2003), Ancient Meteorology, Routledge, London.

Thenhaus, P.C., Algermission, S.T., Perkins, D.M., Hanson, S.L., and Diment, W.H., "Probabilistic Estimates of Seismic Ground Motion Hazard in the Western of Saudi Arabia", Kingdom of Saudi Arabia, U.S. Geological Survey Open File Report No. OF-06-O8, 1986.

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

المراجـــع

Trigo, Ricardo M.; Provenzale, Antonello; Llasat, Maria Carmen; AghaKouchak, Amir; Hardenberg, Jost von; Turco, Marco (6 March 2017). «On the key role of droughts in the dynamics of summer fires in Mediterranean Europe». Scientific Reports. 7 (1): 81. Bibcode: 2017NatSR...7...81T. doi:10.1038/s41598-017-00116-9. ISSN 2045-2322. PMC 5427854. PMID 28250442.

Wadati, K. 1933. On the travel time of earthquake waves, Part II, Geophys. Mag., 7: 101-111.

Wali, K. Mohan & Fatih Evrendilek, M. Siobhan Fennessy, (2010), The Environment: science, issues, and solutions, CRC Press is an imprint of Taylor & Francis.

Walker, George P. L. (1999). Basaltic Volcanoes and Volcanic Systems. In: Encyclopedia of Volcanoes (Ed. Sigurdsson, H.). Academic Press. 283-289.

Westerling, A. L.; Hidalgo, H. G.; Cayan, D. R.; Swetnam, T. W. (18 August 2006). «Warming and Earlier Spring Increase Western U.S. Forest Wildfire Activity». Science. 313 (5789): 940–943. Bibcode:2006Sci...313..940W. doi:10.1126/science.1128834. ISSN 0036-8075. PMID 16825536.

Wiedemann, E. (1921), Uber al-Kindi's Schrift uber Ebbe und Flut, Annalen der Physik, No. 67.

Wildfire Causes and Evaluations (U.S. National Park Service)». NPS.gov Homepage (U.S. National Park Service). 2018-11-27. Archived from the original on 2021-01-01. Retrieved 2020-12-29.

Williams, Edgar, (2014), Moon, Reaktion Books Ltd, London.

Wisner; B. P. Blaikie; T. Cannon & I. Davis (2004). At Risk – Natural hazards, people›s vulnerability and disasters. Wiltshire: Routledge. ISBN 0-415-25216-4.[page needed]

Woodward, John, (2008), Oceans, DK Eyewitness Books, New York.

Zorn, Matija (2018), Pelc, Stanko; Koderman, Miha (eds.), «Natural Disasters and Less Developed Countries», Nature, Tourism and Ethnicity as Drivers of (De)Marginalization: Insights to Marginality from Perspective of Sustainability and Development, Perspectives on Geographical Marginality, Cham: Springer International Publishing, vol. 3, pp. 59–78, doi:10.1007/978-3-319-59002-8_4, ISBN 978-3-319-59002-8, retrieved 2022-06-08.

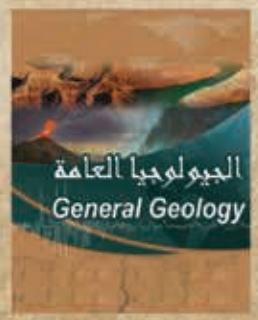
تم بحمد الله

www.alamrigeo.com

موسوعة المخاطر الطبيعية
Encyclopedia of Natural Hazards

يتمتع الأستاذ الدكتور عبدالله بن محمد العمري بمسيرة علمية حافلة امتدت لأكثر من خمسة وثلاثين عامًا، حيث شغل منصب أستاذ علم الزلازل ورئيس قسم الجيولوجيا والجيوفيزياء في جامعة الملك سعود بالرياض، ويعمل مشرفاً على مركز الدراسات الزلزالية ورئيساً للجمعية السعودية لعلوم الأرض. يعمل العمري باحثاً رئيساً في 13 مجموعة عمل أمريكية وألمانية ومستشاراً محلياً ودولياً في العديد من الجمعيات والهيئات داخل المملكة العربية السعودية وخارجها. أسس ورأس تحرير أول مجلة عربية للعلوم الجيولوجية تحت إشراف الناشر الألماني Springer وتمحورت أبحاثه العلمية حول نمذجة ومحاكاة ميكانيكية الزلازل والحد من مخاطرها، واستكشاف المياه الجوفية العميقة وتحديد مكامن الطاقة الحرارية الأرضية. إلى جانب أعماله البحثية، يبذل العمري جهوداً حثيثة على نشر المعرفة، إذ ألف موسوعات وكتبًا تعليمية تخصصية تهدف إلى إثراء المكتبة العربية بمواد تعليمية متفردة، ومن أبرز إنجازاته تأسيس أول موسوعة جيولوجية رقمية للمملكة العربية السعودية في عام 2024، حيث اشتملت على جميع الثروات الاقتصادية والظواهر الجيولوجية فيها. ونشر أكثر من 220 ورقة بحثية وأنجز أكثر من 60 مشروعاً بحثياً و 74 تقريراً علمياً، بالإضافة الى تأليفه موسوعة تعليمية من 30 كتاباً و 5 موسوعات علمية تخصصية و 3 كتب أكاديمية في علوم الأرض . حصل على العديد من الجوائز ودروع التكريم المحلية والعالمية نظير إنجازاته العلمية المتميزة

إصدارات المؤلف



العبيكان للنشر
Obeikan Publishing

ردمك: 978-603-04-7952-8

www.alamrigeo.com