

الجزء الثاني

الفصل 5

مقدمة في الأخطار الطبيعية

الفصل 6

الأنهار والفيضانات

الفصل 7

عمليات المنحدرات (السفوح)،
الانزلاقات الأرضية والهبوط

الفصل 8

الزلازل والظواهر المرافقة

الفصل 9

النشاط البركاني

الفصل 10

الأخطار الساحلية

الفصل 11

ارتطام الأجسام الكونية



الناس يشقون طريقهم وسط الطين في طريق تعرض للفيضان في تيكولوكا، السلفادور، ولقد أدى الفيضان الطيني واسع الانتشار المليء بالجلاميد إلى قتل نحو مئة شخص. (AP photo/Edgar Romero).

العمليات الأرضية الخطرة Hazardous Earth Processes

تؤدي عمليات الأرض الخطرة أو الأخطار الطبيعية إلى كوارث طبيعية بصورة دورية، وهي تلك الأحداث التي تتسبب في فقدان الأرواح البشرية والممتلكات، ويبيد أكثر الناس اهتمامًا محدودًا بتلك العمليات إلى حين حدوث الكارثة.

إن هذا الاتجاه الطارئ ينتج عن أسباب معقدة: إنها تعكس مشاعر الناس المتفائلة عن أرواحهم ومنازلهم وفهم محدود للظواهر الطبيعية، وقد صمم الجزء الثاني من هذا الكتاب ليوفر لك مفاهيم أساسية حول كيفية تسبب العمليات الداخلية والخارجية في حدوث الكوارث وكيفية تفاعل الناس مع عمليات الأرض الخطرة والكوارث الطبيعية. وبيحت الفصل السادس حتى الحادي عشر أنواعًا محدّدة من الأحداث المدمرة: الفيضانات النهرية والانزلاقات الأرضية، والهزات الأرضية، والثورات البركانية والعمليات الساحلية وارتطام الأجسام الكونية، وسوف نحدد التأثيرات الطبيعية والبشرية على مقدار (حجم الخطورة) وتكرار الكوارث، وكذلك آثار كل نوع من الأخطار على استعمال الإنسان للأرض وأنشطته.

تمتلك الأرض نظامًا ديناميكيًا متطورًا وتفاعلات معقدة من العمليات الداخلية والخارجية. العمليات الداخلية مسؤولة عن حركة الصفائح الصخرية والقارات العملاقة. إن التفاعل على حدود الصفائح يولّد جهدًا داخليًا يؤدي إلى تشوه الصخور، وينتج عنه هزات أرضية ونشاط بركاني وزحف تكتوني (وهي حركة سطحية بطيئة في نطاق صدعي)، وتولّد هذه العمليات بدورها أحداثًا خارجية متعددة، كالانزلاقات الأرضية والانسيابات الطينية والسونامي (أمواج بحرية عملاقة). وتتسبب في أحداث خارجية أخرى، كالجريان المائي وحركة الأمواج من تفاعلات خارجية في الغلاف المائي (hydrosphere) والغلاف الجوي (atmosphere) والغلاف الصخري (lithosphere) وحتى هذه الأحداث تتأثر بالعمليات الداخلية، وعلى سبيل المثال، فإن فيضانات هائلة قد تنتج بسبب نشاط الأعاصير، ولكن طبيعة الفيضان وامتداده يتأثر بالتضاريس الساحلية، التي تنتج أصلًا عن الأنشطة الأرضية، وهي أشبه بأعمال المياه الجارية أو الأمواج التي تتأثر بسطح الأرض المرتفع الذي تحته.



منازل مدمرة بفعل زلزال سومطرة العنيف في سبتمبر (2006). (Dita Alankara/Associated Press)

■ إنَّ التغيّر المناخي مرتبط بارتفاع مستوى سطح البحر، ما يزيد من عمليات حتّ السواحل، وتتنسّع الصحارى عند ارتفاع درجة حرارة الأرض، ما يزيد من حدوث عواصف الغبار الخطرة، وإنَّ ارتفاع حرارة المحيطات يسمح بتحوّل الطاقة إلى الغلاف الجوي، وذلك يؤثّر في شدة العواصف المدمرة.

1-5 الأخطار والكوارث والعمليات الطبيعية

HAZARDS, DISASTERS, AND NATURAL PROCESSES

الكوارث الطبيعية: الخسائر في الأرواح ودمار الممتلكات

Natural Disasters: Loss of Life And Property Damages

تسببت الكوارث الطبيعية، كالزلازل والفيضانات والأعاصير في العقود القليلة الماضية في خسائر كبيرة في الأرواح وفي تدمير الممتلكات، تمثلت في مقتل ملايين عدّة من الناس، وفي معدّل خسارة سنوية يصل إلى

تعدّ الكوارث الطبيعية، مثل الفيضانات والزلازل والبراكين والانزلاقات الأرضية في ازدياد على المستوى العالمي، ومن المعايير المستخدمة لتعريفها: مقتل عشرة أشخاص أو أكثر، تأثر مئة شخص أو أكثر، إعلان حالة الطوارئ أو طلب معونة دولية، ففي حالة حدوث أيّ من هذه الأدلة، فإنّ ذلك الحدث يُعدّ كارثة طبيعية⁽¹⁾، هذه الزيادة في أعداد الكوارث ناتجة عن تحسن وسائل الإعلان عنها، إلا أنّ هناك أسباباً أخرى⁽²⁾.

■ ازدياد التعداد السكاني والتمدّن يضع الناس في أماكن قد تكون عرضة للعمليات الطبيعية، التي تؤدي إلى كوارث، مثل المناطق الساحلية المعرضة لعمليات الحثّ والسونامي، ومناطق الصدوع النشطة، وبالقرب من البراكين، أو الأراضي المعرضة للفيضانات، أضف إلى ذلك أنّ الفقر يزيد من فرص حدوث الكوارث، إذ يدفع الفقراء إلى المناطق الأكثر خطورة، كالسهول الفيضية والمنحدرات الوعرة.

■ يزيد تدمير الأرض البيئي (مثل، تدمير الغابات المرتبط بالفرص الضعيفة لاستعمالات الأراضي) من المواقع القابلة لحدوث الكوارث الطبيعية، كالفيضانات والانزلاقات الأرضية، وإنّ إزالة المناطق الساحلية والنباتات الأخرى، يعرض الساحل إلى عمليات أكبر من الحثّ بفعل العواصف والسونامي.

الأهداف التعلُّمية LEARNING OBJECTIVES

تمتثل دراسة عمليّات الأخطار أحد الأنشطة المهمّة في الجيولوجيا البيئية؛ لذا فإنّ أهداف التعلّم لهذا الفصل، هي:

- معرفة أنّ زيادة السكان وتغيير استعمال الأراضي، تزيد التهديد بفقدان الأرواح والممتلكات من مستوى الكارثة الطبيعية إلى النكبة.
- تعرف الحالات التي تجعل عمليّات الأرض الطبيعية خطرًا على الناس.
- تفهّم كيف تكون العمليّات الطبيعية التي تؤدّي إلى الكوارث مفيدة للناس.
- تفهّم أنواع العمليّات الطبيعية التي تمتلّل أخطارًا على السكان والممتلكات.
- تعرف أنّ التاريخ والروابط بين العمليّات والتنبؤات وتقييم الأخطار، تكون مهمّة في تحديد تهديد الأخطار الطبيعية.
- تعرف كيف يدرك الناس الأخطار الطبيعية المحتملة، ويتكيّفون معها.
- تعرف مراحل استرداد الوضع الطبيعي بعد الكوارث والنكبات الطبيعية.

يرتبط تكرار مثل هذه الأحداث عكسيًا بالحجم (magnitude)، على سبيل المثال: يكثر حدوث الزلازل الصغيرة مقارنة بالزلازل الكبيرة، (انظر بتمعن إلى مفهوم التكرار والحجم).

فوائد الأخطار الطبيعية

Benefits of Natural Hazards

الغريب في الأمر والمدهش أن تكون الحوادث الطبيعية نفسها التي تقتل الناس، وتدمّر ممتلكاتهم مفيدة ومؤدّية إلى وظائف تخدم الطبيعة، فمثلًا فيضان نهر المسيسيبي الدوري يزوّد سهل الفيضي بموادّ غذائية، تمنح التربة خصوبة للعمليّات الزراعية، (الشكل 5-1)، والجريان والترسيب الذي يؤدّي إلى حتّ المنحدرات الجبلية يوقّر الرواسب إلى الشواطئ (الشكل 5-2)، ويفسل الملوثات من مصبّات الأنهار والبيئة الشاطئية، وتفيد الانزلاقات الأرضية الناس، حين يكونّ الفتات الصخري الناتج



للشكل (5-1) أعالي نهر المسيسيبي (Upper Mississippi River Sys-tem)، حيث الأراضي الرطبة المجدّدة والمزارع المنتجة في المنطقة النهرية، فالسهل الفيضي منطقة زراعية غنية، تتوافر فيها الرواسب والموادّ الغذائية، تتوافر بفعل الفيضان على ضفاف النهر. (Tom Bean/Getty Images).

قراية (150) ألف نسمة على مستوى العالم، وما يزيد على (50) بليون دولار سنويًا، علاوة على الآثار الاجتماعية كفقدان الوظائف، والألم الفكرية ونقصان الإنتاجية، ومن الأمثلة على ذلك: إعصار بنجلادش عام (1970م) المصحوب بفيضانات، وزلزال الصين عام (1976م)، وسونامي المحيط الهندي عام (2004م)، إذ أدّى كلّ منها إلى مقتل (250) ألف شخص تقريبًا، فقد نتجت هذه الكوارث (النكبات) الرهيبة بسبب أخطار طبيعية موجودة دائمًا (اضطراب الغلاف الجوي والحركات التكتونية)، لكنّ اتساعها تأثر بالكثافة السكانية وتغيّر نمط استعمالات الأراضي.

لماذا تكون العمليّات الطبيعية خطرة أحيانًا

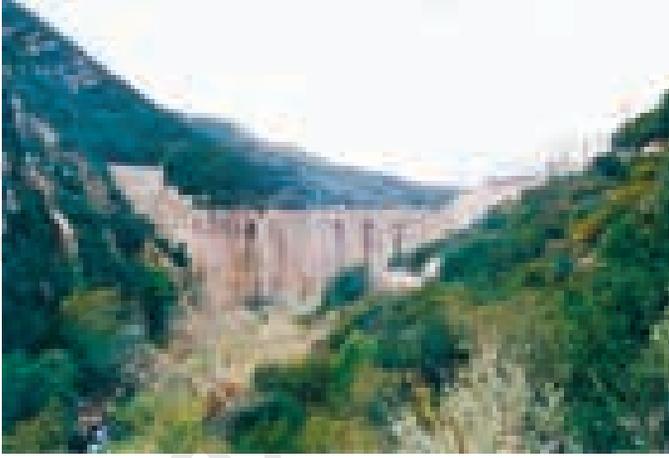
Why Natural Processes Are Sometimes Hazards

إنّ الأخطار الطبيعية هي أساسًا عمليّات طبيعية، وتعدّ خطيرة بوجود الناس وعملهم في المناطق التي تحدث بها، وعندما يؤدّي تغير استعمال الأرض (التمدن وتدمير الغابات) إلى الفيضانات والانزلاقات الأرضية. لذا، فإنّ دور الجيولوجيين البيئيين معرفة العمليّات الخطرة المحتملة، وتوفير هذه المعلومة لأصحاب القرار والتخطيط لإيجاد بدائل مناسبة، وتقادي تهديد الأرواح البشرية والممتلكات أو تقليله. وبوجه عامّ، فإنّ ارتباط هذه الأخطار بالعوامل الطبيعية يجعلنا نواجه حاجزًا نفسيًا، حين نحاول تقليل آثارها السلبية، على سبيل المثال: فإنّنا نحاول أن نعلّم الناس بأنّ النهر والسهول الفيضية الممتلّة في الأراضي المنبسطة المحاذية للنهر، تمتلّل جزءًا من النظام الطبيعي نفسه، لذلك نتوقّع فيضانات على السهول الفيضية مثلما يدلّ الاسم، وللحدّ من أخطارها، فإنّ الحلّ هو الابتعاد عن البناء فوق هذه السهول! إلا أنّ هذا الحل الذي يبدو تنفيذه منطقيًا، يكون صعبًا على أولئك الذين يرون في السهول الفيضية مناطق منبسطة ملائمة لبناء منازلهم.

جسامة الكارثة وتكرارها

Magnitude and Frequency

يعتمد أثر الكارثة على حجمها، أو مقدار الطاقة المحرّرة بسببها، والفترة الفاصلة بين تكرار حدوثها، إضافة إلى عوامل عدة، مثل: المناخ، والجيولوجيا، والنباتات، والسكان، واستعمالات الأراضي، وبوجه عامّ،



(ب)



(أ)

الشكل (2-5) السدود والشواطئ (Dams and beaches) . (أ) رواسب نهر فينتورا في جنوب كاليفورنيا تنقل الرمال إلى شواطئ المنطقة، (ب) السدّ أعلى النهر يمنع الرمال من أن تغذي الشاطئ، يوجد مخطط لإزالة السدّ. (Edward A. Keller) (Pacific Western).

من الانزلاقات الأرضية سدودًا، تنتج عنها بحيرات في المناطق الجبلية، (الشكل 3-5)، على الرغم من أنّ هذه السدود ستتهار مؤدية إلى أخطار فيضان أسفل النهر، بينما السدود التي تبقى ثابتة ستوفّر خزائنًا مائيًا مفيدًا وموردًا جماليًا مهمًا.

ويمكن للانفجارات البركانية أن تُحدث نكبات، لكنّها في المقابل توفّر فوائد عدة، فهي تؤدي إلى تكوين أراضٍ جديدة، كما هو الحال في جزر هاواي، التي هي في مجملها ذات أصل بركاني (الشكل 4-5)، فحين يسقط الرماد البركاني الغني بالموادّ الغذائية على التربة، فإنّه يختلط بها، ما يجعلها ملائمة للنباتات البرية والمحاصيل الزراعية. كذلك، فإنّ للزلازل أيضًا فوائد مهمّة، فعندما تُسحق الصخور في أثناء الزلزال، فقد يؤدي ذلك إلى تكوين نطاق طين الصدوع غير المنفّذ، الذي يعرف بـ (fault gouge) على امتداد الصدع، وفي كثير من الأماكن يكوّن طين الصدوع حاجزًا للمياه الجوفية في أعالي المنحدرات من الصدع، ما يؤدي إلى تكوين سدود طبيعية تحت سطحية وموارد مائية، على امتداد أجزاء من صدع سان أندرياس في وادي كوتشيل الجاف (Coachella Valley) قرب "بانديو، كاليفورنيا"،



الشكل (3-5) سدّ انزلاق أرضي (Landslide dam)، سدّ ناتج عن انزلاق أرضي مكوّنًا بحيرة في يوتاه. (Michael Collier).



(ب)



(أ)

الشكل (4-5) أراضٍ جديدة من الانفجار البركاني (New land from volcanic eruption)، أراضٍ جديدة أضيفت إلى جزيرة هاواي. (أ) سحابة الدخان في الجزء الأوسط من الصورة حيث الحمم الحارة تتدفّق في البحر. (ب) صورة مقربة لجهة الحمم المنهارة بالقرب من سحابة الدخان. (Edward A. Keller).



الشكل (5 أ) التغيير على المدى الإنساني (Human scale of change). يستخدم الناس التكنولوجيا العالية لتدمير أعظم الأشجار في أقدم الغابات. ونشاهد ناشر الأخشاب هنا وهو يعمل في غابة وطنية في شمال غرب الأطلسي. (William Campbell/Corbis).

المتوسط. إلا أنّ هناك احتمالات عدة، ففي الأقاليم الجافة مثلاً، معظم الرواسب تنتقل عادة في القنوات الجافة عن طريق جريان عالي القدرة، وناتج عن عواصف مطرية شديدة نادرة، وعلى امتداد حواجز الجزر الساحلية لشرق الولايات المتحدة، تقوم العواصف ذات القدرة العالية بفتح ثغرات تؤدي إلى تغييرات كبيرة في نمط الرواسب وجريانها (الشكل 5 ب).

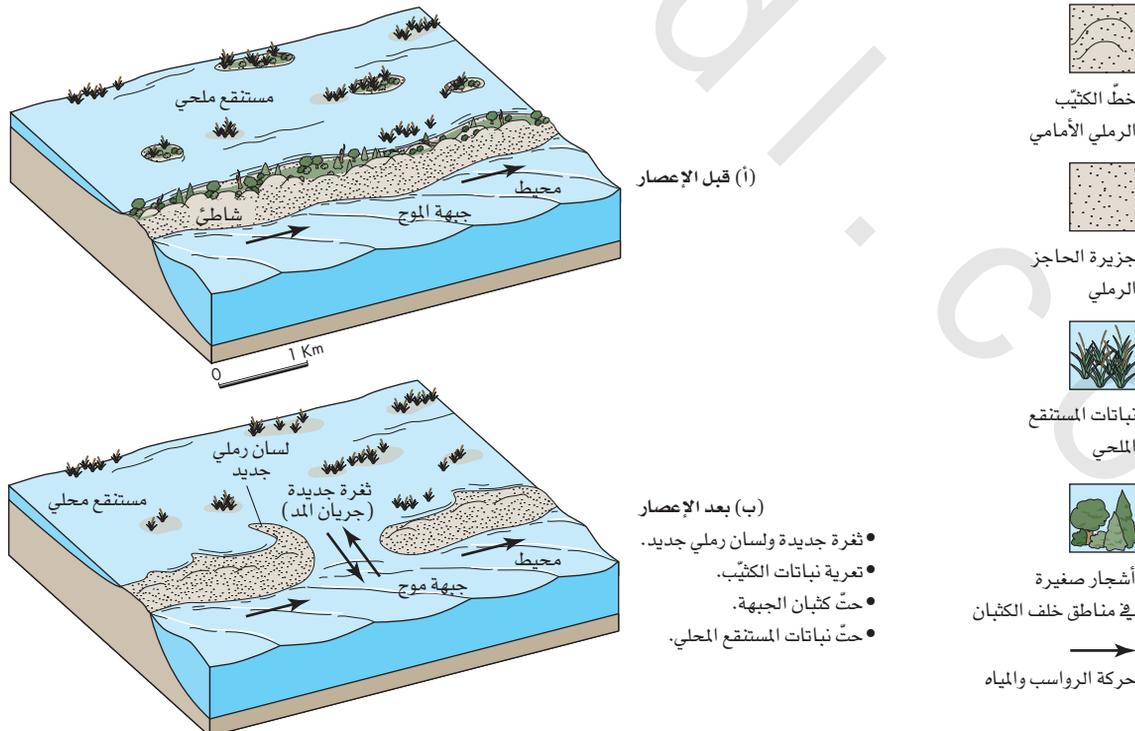
مفهوم المقدار (مقدار) والتكرار

The magnitude–frequency concept

ينصّ مفهوم المقدار والتكرار على أنّ هناك علاقة عكسية بين حجم الحدث وتكراره، فعلى سبيل المثال: كلما زاد مقدار الفيضان قلّ تكرار حدوثه، وهذا يتضمّن أنّ معظم عمليات تشكيل سطح الأرض حدثت بفعل أحداث متوسطة المقدار والتكرار، وليس بصورة عمليات طبيعية منخفضة المقدار ومتعددة التكرار، ولا بصورة أحداث كبيرة المقدار ومنخفضة التكرار.

ويمكن تشبيه مفهوم المقدار والتكرار بالعمل على تقليص امتداد غابة بفعل النمل الأبيض وقاطعي الأشجار (الخشابين) والفيلة (الشكل 5 أ)، فالنمل الأبيض كثير وصغير جداً، ويعمل ببطء، ولا يمكنه أن يدمّر الأشجار جميعها، أمّا الناس فهم أقلّ وعملهم أقلّ أيضاً، لكنهم أقوى من النمل الأبيض، ما يمكنهم من تدمير معظم الأشجار، وأمّا الفيلة فهي أقوى من الإنسان، ويمكنها تدمير كثير من الأشجار في وقت قصير، لكن أعدادها قليلة، وهي نادراً ما تزور الغابة، إذن فالفيلة على المدى الطويل تؤدي عملاً أقلّ من الإنسان، وعليه، فإنّها تحدث تغييراً أقلّ.

يبين هذا التشبيه أنّ الإنسان هو الذي يقوم بمعظم العمل، وبانفاق متوسط بتغيير صورة الغابات، وعلى وجه الشبه، فإنّ الأحداث الطبيعية وبطاقة متوسطة وتكرار متوسط هي الأهمّ في تشكيل سطح الأرض، وعلى سبيل المثال: فإنّ معظم الرواسب المحمولة بالأنهار في الأقاليم ذات المناخ الرطب (معظم شرق الولايات المتحدة) تُنقل بالجريان ذي القدرة والتكرار



(أ) قبل الإعصار

(ب) بعد الإعصار

- ثغرة جديدة ولسان رملي جديد.
- تعرية نباتات الكتيّب.
- حتّ كتبان الجبهة.
- حتّ نباتات المستنقع الملحي.

أشجار صغيرة في مناطق خلف الكتيبان

حركة الرواسب والمياه

الشكل (5 ب) الأعاصير التي تغيّر السواحل (Hurricanes change coasts). شكل نموذجي يبيّن تكوين الثغرة في جزيرة الحاجز الناتجة عن

الحتّ في أثناء الإعصار. (أ) قبل الإعصار، و(ب) بعده.



(ب)



(أ)

الشكل (5-5) الواحات والصدوع (Oases and faults). أشجار النخيل في منطقة صدع سان أندرياس، وادي كوشيك، كاليفورنيا. لقد سد الصدع المياه الأرضية التي تروي الأشجار. (ب) في بعض الحالات، تكوّن البرك السطحية وواحات. (Edward A. Keller).

وقد نتج عن هذه العملية واحات، تحاط بها البرك المائية بأشجار النخيل في بيئة صحراوية (الشكل 5-5). إضافة إلى ذلك، فإنّ الهزات الأرضية مهمة في العمليّات البنائية للجبال، وعليه، فهي مسؤولة عن كثير من المناظر الطبيعية غربي الولايات المتّحدة.

الوفيات والأضرار الناتجة عن الأخطار الطبيعية

Death and Damage Caused by Natural Hazards

عندما تقارن آثار الأخطار الطبيعية، تجد أنه من غير الضروري أن تكون تلك التي تسبّب في أعلى درجة من فقدان الأرواح، هي ذاتها التي تؤدي إلى الأضرار الكبيرة في الممتلكات، ويلخّص (الجدول 1-5) معلومات مختارة عن آثار الأخطار الطبيعية في الولايات المتّحدة، إنّ العدد الأكبر من الوفيات سنويًا يرتبط بالأعاصير (tornadoes)، وعواصف الرياح (الشكل 5-6)، على الرغم من أنّ البرق والفيضانات والأعاصير (الشكل 5-7)، لها ثمن باهظ. وتتفاوت الخسائر في الأرواح الناتجة عن الهزّات الأرضية من سنة إلى أخرى؛ لأنّ هزة واحدة قوية يمكنها التسبّب في فقدان هائل في الأرواح البشرية. فقد قدر لهزة أرضية كبيرة مدمّرة في منطقة كثيفة السكان في كاليفورنيا، أن تنزل أضرارًا تُقدّر بمئة مليون دولار، ومقتل آلاف عدّة من الناس⁽³⁾، وقد أدّى زلزال "نورثريج" عام 1994م في "لوس أنجلوس" إلى مقتل (60) نسمة تقريبًا، وتسبّب في خسائر في الممتلكات تزيد على (30) مليون دولار، وبوجه عام، تكون أضرار الممتلكات من الأخطار المختلفة كبيرة. وتتسبّب كلّ واحدة من الفيضانات والانزلاقات الأرضية والصدوع والتربة المتمدّدة في أضرار تزيد في معدلها على (1.5) بليون دولار في الولايات المتّحدة، ومن المدهش أنّ التربة المتمدّدة والتربة المشبّعة بالطين التي تتمدّد عند الابتلال والجفاف وتقلّص، من أكثر الأخطار تكلفة، حيث تلحق أضرارًا بما يزيد على ثلاثة بلايين دولار سنويًا في أساسات المباني والأرصفت والطرق الجانبية وبرك السباحة (الشكل 5-8).

تعدّ إمكانية التسبّب في كارثة من أهمّ مظاهر الأخطار الطبيعية، فالكارثة تعني الحالة التي يكون فيها الدمار عنيفًا جدًّا للناس والممتلكات والمجتمع

الجدول (1-5): آثار أخطار مختارة في الولايات المتّحدة.

إمكانية الكوارث ²	الأحداث الناتجة عن أثر الأعمال البشرية	عدد الوفيات سنويًا	الأخطار
عالٍ	نعم	85	فيضانات
عالٍ	نعم	950+	هزة أرضية ¹
متوسّط	نعم	25	انزلاق أرضي
عالٍ	لا	1 >	بركان ¹
منخفض	نعم	صفر	حّت ساحلي
منخفض	لا	صفر	تربة تمديّدة
عالٍ	جائز نعم ⁴	55	إعصار
عالٍ	جائز	220	زوبعة (عاصفة رملية)
منخفض	جائز	صفر	برق
متوسّط	جائز	صفر	جفاف
منخفض	نعم	صفر	التجمّد والصدوع
عالٍ	نعم ⁵	320	النيران المستعرة

- التقديرات مبنية على الخسائر الحديثة أو المستتجة في مدّة (150) سنة. والخسائر الحقيقية في الأرواح و/ أو الممتلكات قد تكون أكبر.
- إمكانية الكوارث: عالٍ، ومتوسّط، ومنخفض.
- قتلى رجال الإطفاء.
- تزداد شدّة الأعاصير بسبب الاحترار العالمي.
- الاحترار العالمي يزيد من تكرار الحرائق.

المصدر:

(Modified after White, G.F., and Haas, J.E., 1975, Assessment of research and natural hazards, Cambridge, MA: MIT Press)

بوجه عام، بحيث تحتاج إعادة الإصحاح والتأهيل إلى عملية طويلة⁽⁴⁾. يبيّن الجدول (1-5) إمكانية الكوارث المتوقّعة لهذه الأخطار.

ومن أكثر الأحداث التي تؤدي إلى الكوارث هي الفيضانات، والأعاصير، والزوايع الرملية، والزلزلات، والانفجارات البركانية، والحرائق العظيمة، أمّا الانزلاقات الأرضية التي تغطّي عادة مناطق محدودة، فهي ذات قابلية



(ب)

الشكل (5-6) أخطار الزوايع الرملية (Tornado hazard). (أ) زوبعة خليج "تامبا" فلوريدان في 12 يوليو 1995م. (ب) منازل متحركة دمرت في أثناء الزوبعة التي ضربت "بينتون"، لويزيانا في 4 إبريل 1999م. (Eric Gay/AP/Wide World Photo).



(أ)

الشكل (5-7) ضربة البرق

(Lightning strike). يُعدّ البرق مسؤولاً عن وفيات تزيد على (100) حالة سنوياً في الولايات المتحدة. وتبيّن الصورة ضربة البرق قرب "والتون، نبراسكا".



الشكل (5-8) أخطار التربة (Soil hazard). لقد تسببت

التربة المتمددة الغنية بالمادة العضوية في تشقق جدران المبنى في إسبانيا.



4. الأحداث الخطيرة التي نتجت عنها كوارث سابقاً تولد نكبات حالياً يتأثر حجم الأحداث الطبيعية الخطرة وتكرارها بالأنشطة البشرية، ونتيجة لزيادة التعداد السكاني وسوء استعمالات الأراضي، فإن ما يعرف بالكوارث الماضية أصبحت الآن نكبات.

5. يمكن تقليص عواقب الأخطار يتطلب تقليص إمكانية الأخطار الطبيعية وآثارها عملاً مشتركاً، يتضمن فهماً علمياً، وتخطيطاً وتنظيماً هندسياً، واستعدادات لمكافحة الكوارث.

دور التاريخ في فهم الأخطار

Role of History in Understanding Hazards

من أهم المبادئ الأساسية في فهم الأخطار الطبيعية الاعتراف بحقيقة أنها متكررة الحدوث، ولذلك فإن دراسة تاريخها يوفر الكثير من المعلومات اللازمة لأي مخطط لتقليص الأخطار، وسواء درسنا أحداث الفيضانات أو الانزلاقات الأرضية أو الثورات البركانية أو الهزات الأرضية أم لم ندرسها، فإن التاريخ الجيولوجي القديم والحديث لمنطقة ما يمثل قاعدة البيانات الأساسية، فعلى سبيل المثال: إذا أردنا تقييم تاريخ فيضان نهر ما، فإن من أول المتطلبات دراسة الفيضانات السابقة لذلك النهر، ويجب أن تتضمن الدراسة صوراً جوية وخرائط سابقة للمنطقة بقدر ما يسمح به الأرشيف، ولمعرفة أحداث ما قبل التاريخ، فإننا نستطيع دراسة البيئات الجيولوجية؛ للاستدلال على الفيضانات القديمة، من خلال تعاقب رواسب الفيضان على السهل الفيضي، إذ غالباً ما تحتوي هذه الرواسب على مواد عضوية يمكن تحديد عمرها، ما يوفر معرفة بتاريخ أحداث هذه الفيضانات، بحيث يمكن ربط هذا التاريخ بالسجل التاريخي الموثق للجريان العالي؛ لتوفير توضيح حول فيضانات النظام النهري المطلوب تقييمه. وبالمثل، فإن بحثنا في انزلاقات أرضية في ضفاف وادٍ لأحد الأنهار، يتضمن دراسة للأحداث التاريخية الموثقة، وربط هذه المعلومات بالانزلاقات الأرضية فيما قبل التاريخ؛ فتتوافر بيانات ضرورية لفهم الانزلاقات الأرضية بصورة أفضل.

يتمثل دور الهيدروجيولوجي في تحليل الفيضان، بتقييم سجلات جريان النهر المأخوذة من مواقع محددة تعرف بمحطات القياس، (الشكل 5-9)، ولسوء الطالع، فإنه فيما عدا سجلات الأنهار الكبيرة، فإن سجلات الأنهار الصغيرة شحيحة نسبياً، وتغطي فقط بضع سنوات، أضف إلى ذلك أن معظم الأنهار الصغيرة ليس لها محطات قياس نهائياً.

وللجيولوجيين مهارة في الملاحظة واستخدام الأدوات والتدريب، في قراءة معالم سطح الأرض، وبإمكانهم تقييم أحداث الأخطار الطبيعية لما قبل التاريخ، ويمكنهم ربط هذه المعلومات بالسجلات الحديثة؛ لتوفير بعد زمني لعمليات محددة، والجيولوجي البيئي قادر على تجهيز التضاريس الأرضية المرتبطة بالعمليات الخطرة، إضافة إلى ذلك، فإنهم يعرفون أن طبيعة الخطر وامتداده يتفاوت بحسب تفاوت مجموعة معالم سطح الأرض، مثلاً: الفيضان الذي يحدث في وادٍ نهرية سهل فيضي منبسط، يختلف تماماً عن فيضان في دلتا، فالنهر والسهل الفيضي يشكّلان نظاماً بسيطاً نسبياً، ومكوّناً من مجرى نهرية محدود بسهل فيضي، (الشكل 5-10)، أما الدلتا فهي تضاريس أرضية أكثر تعقيداً، تنتج عن دخول نهر البحيرة أو المحيط، (الشكل 5-11)، ولها قنوات متعددة تستقبل مياه الفيضان في أماكن وأوقات متعددة، بحسب أوضاع القنوات وطاقة الفيضان. سنتحدث عن عمليات الدلتا

للتسبب في حدوث كوارث متوسطة، وكذلك تُعد إمكانية حدوث الكوارث بسبب الجفاف متوسطة، على الرغم من أن الجفاف قد يغطي مساحات شاسعة، ويتسبب في خسائر مالية كبيرة، إلا أن هناك وقتاً كافياً للتحذير منه قبل وقوع الأضرار الأكثر سوءاً، ومن الأخطار ذات الإمكانية القليلة لحدوث الكوارث أيضاً، الحث الساحلي والصقيع والبرق والتربة المتمددة.

تتغير آثار الأخطار الطبيعية بمرور الزمن، فتتغير أنماط استعمال الأراضي الذي يؤثر في دفع الناس للتعمير فوق الأراضي الهامشية، والمدينة التي تتغير الصفات الطبيعية لمواد الأرض، وزيادة السكان، كلها تغير آثار الأخطار الطبيعية، وعلى الرغم من زيادة الأضرار الناتجة عن معظم الأخطار في الولايات المتحدة، إلا أن عدد الوفيات الناتجة عن الكثير منها في تناقص؛ بسبب تحسن التنبؤ بها، والتحذير الشعبي المسبق منها.

2-5 تقويم الأخطار: التاريخ، والروابط،

والتنبؤ بالكوارث، وتقييم الأخطار

EVALUATING HAZARDS: HISTORY, LINKAGES, DISASTER PREDICTION, AND RISK ASSESSMENT

المبادئ الأساسية المتعلقة بالأخطار الطبيعية

Fundamental Principles Concerning Natural Hazards

يتم فهم الأخطار الطبيعية وكيفية تقليص أثرها في الناس والبيئة من خلال إدراك المبادئ الخمسة الآتية:

1. تعرّف الأخطار من التقييم العالمي يمكن تمييز الأخطار الطبيعية كالزلازل، والثورات البركانية، والانزلاقات الأرضية، والفيضانات ودراساتها عن طريق الطرق العلمية، ويمكن مراقبة معظم العمليات والأحداث الخطيرة ورسم خرائط لها، وتقييم أنشطتها المستقبلية، بناءً على التكرار في الأحداث الماضية، وأنماط الأحداث السابقة وأنواعها.
2. عدّ تحليل الأخطار عنصراً مهماً في فهم الآثار الناتجة عن العمليات الخطيرة تخضع العمليات الخطيرة إلى التحليل بالاعتماد على الحدث المتوقع حدوثه والعواقب الناتجة عنه، فمثلاً يمكن تخمين إمكانية حدوث زلزال متوسط بنسبة (5%) في سنة ما في "لوس أنجلوس أو سياتل"، وإذا عرفنا عواقب ذلك الزلزال من حيث: فقدان الأرواح والأضرار، فإنه يمكننا حساب الأخطار التي ستقع على المجتمع من الزلزال الذي سيحدث فعلاً.
3. الأخطار مرتبطة ببعضها ترتبط العمليات الخطيرة بطرق عدّة، من البسيطة إلى المعقدة. فمثلاً، يمكن للزلازل أن تحدث انزلاقات أرضية وأمواجاً بحرية عظيمة، يطلق عليها سونامي (Tsunami)، وأعاصير غالباً ما تؤدي إلى فيضانات وحثّ.

الشكل (5-9) مراقبة جريان النهر

محطة (monitoring stream flow). قياس النهر على نهر "مرسد" في المتنزه الوطني "ليوزيهات"، التي تراقب باستمرار جريان المياه في النهر، إذ توفر الخلايا الشمسية الطاقة. وما تراه ليس طاحونة، وإنما هي مصممة لتعريف زوار الحديقة بكيفية قياس الجريان.

(Edward A. Keller)



الشكل (5-10) السهل الفيضي

(Floodplain) في "ميشين كريك" بكاليفورنيا (إلى اليسار). وسهل فيضي (إلى اليمين) عليه متنزه. يُعدّ موقع هذا المتنزه دليلاً على حسن استخدام السهل الفيضي. (Edward A. Keller)



الربط بين الحوادث الخطرة

Linkages between Hazardous Events

تدرج الروابط بين العمليات الطبيعية الخطرة على الناس في فئتين: الأولى: كثير من الأخطار نفسها مرتبطة، فمثلاً: ترتبط الأعاصير غالباً بالفيضانات، وهطل المطر الشديد مرتبط بالأعاصير، ويتسبب في حثّ السواحل والانزلاقات الأرضية على السفوح، فالأخطار الطبيعية وخواصّ الأرض توفر نوعاً آخر من الروابط، على سبيل المثال: الصخر الرسوبي الذي يعرف بالغضار، مكوّن من رواسب دقيقة جداً، ملتصقة ببعضها نوعاً ما، وتساعد على الانزلاقات الأرضية. ويوفر الجرانيت مثلاً آخر في الربط بين الأخطار الطبيعية وصفات المواد الأرضية، على الرغم من أنّ الجرانيت الصلب والمقاوم يساعد على الانزلاقات على مستوى الكسور في الصخور.

بالتفصيل في الفصل السادس، لكنّ المبدأ العام الذي نوّد تأكيده، هو عدم استقرار القنوات المرتبطة بأنواع مختلفة من معالم سطح الأرض.

وباختصار، قبل أن نفهم حقيقة امتداد الخطر الطبيعي وطبيعته، مثل الفيضان في موقع ما، يتعيّن أن ندرس بالتفصيل تاريخ هذا الموقع، من حيث: أحداثه، وموقعه، وآثار الفيضان السابقة عليه؛ لأنّ فهم هذا التاريخ يوفر بعداً إضافياً للأخطار، التي تسمح للصورة الكبيرة بأن تفهم بطريقة أفضل، يُضاف إلى ذلك، أنّ دمج المعلومات بحالاتها المعاصرة، وتغيّر استعمالات الأراضي في الماضي القريب، كالتخلّص من الغابات والعمران، يسمح بفهم أفضل لهذه الأخطار؛ لأنّ تغيير استعمال الأراضي يمكن أن يزيد من أثر الأخطار، كالانزلاقات الأرضية والفيضانات، إضافة إلى أنّ دراسة السجل تساعد على تنبؤ أكثر واقعية للأحداث المستقبلية.



الشكل (5-11) الدلتا (Delta). صورة بالأشعة تحت الحمراء لدلتا نهر النيل (الجزء العلوي الأيسر) والمناطق المحيطة. النباتات الوفيرة بالأحمر، والأشربة البيضاء على حافة الدلتا هي جزر رملية عانت مشكلات حث حادة منذ إنشاء سد أسوان (غير ظاهر) عام 1964م.

(Earth Satellite Corporation/SPL/Photo Researchers, Inc.)

الموقع Location الجزء المتوقع وقوع حدث من نوع ما فيه، وقد حُدِّت النطاقات الرئيسية للزلازل والثورات البركانية على المقياس العالمي، وذلك بتخطيط بؤر الزلازل ومواقع البراكين والصخور البركانية الحديثة، ورسم خرائط لها، فعلى المستوى الإقليمي، يمكننا التنبؤ بناءً على ثورات البراكين السابقة بالمناطق الأكثر تهديداً بالانجرافات الطينية، والرماد البركاني في الانفجارات البركانية المستقبلية؛ لأن هذا الخطر مرسوم لمعظم البراكين العظيمة، ومن ضمنها (Pacific Northwest's Cascade Range)، وبراكين ألaska واليابان وإيطاليا والمكسيك ووسط وجنوب أمريكا وهاواي وكثير من الجزر البركانية في محيطات العالم، أما على المستوى المحلي، فإن دراسات تفصيلية عن التربة والصخور والمياه، قد تحدد المنحدرات القابلة للانزلاق، وتتسبب في انزلاقات أرضية، أو معرفة أماكن توافر التربة التمددية، ويمكننا بالتأكد التنبؤ بالمكان المتوقع تعرُّضه للفيضان من موقعه بالنسبة إلى السهل الفيضي، ومن الأدلة على الفيضانات الحديثة، كمواقع فتات الفيضان وخطوط مياه الفيضان المرتفعة.

احتمالية الحدوث Probability of Occurrence من الأهداف الأساسية لتقييم الأخطار، تحديد احتمالية وقوع حدث معين في منطقة ما وفي مدة زمنية محددة، فلدينا سجلات لجريان كثير من الأنهار العظيمة، تكفي لإنشاء نماذج احتمالية للتنبؤ بموضوعية عن معدل الفيضانات وقدرتها، وحدوثها في فترة زمنية محددة، وكذلك الأمر بالنسبة إلى الجفاف، الذي يمكن توقع حدوثه، اعتماداً على هطل الأمطار على تلك المنطقة في الماضي، وعلى أي حال، فإن هذه الاحتمالات أشبه ما تكون بفرصة إلقاء رقم ما على طاولة النرد، أو رسم خط مستقيم في لعبة البوكر، فعنصر الطالع دائماً متوافر، وعلى سبيل المثال: فإن فيضان (10-) سنوات يمكن حدوثه بمعدل كل عشر سنوات، إلا أنه يمكن لعدد من الفيضانات بهذا المقدار أن تحدث في سنة واحدة، مثلما أنه بالإمكان إلقاء زوج من زهر الطاولة ذات أرقام ستة في النرد.

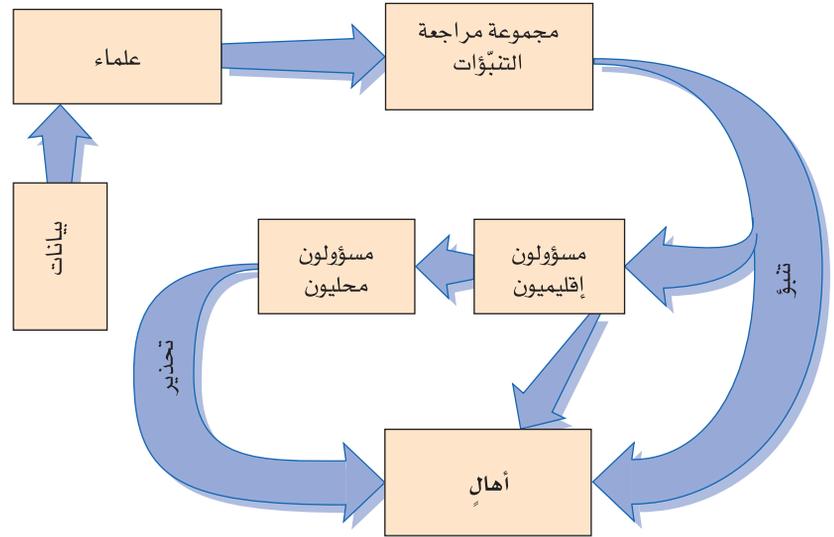
التنبؤ والتكهن بالكارثة والتحذير منها Disaster Forecast, Prediction and Warning

يستلزم التنبؤ بحدوث خطير كالزلازل مثلاً، تحديد تاريخ الحدث وزمنه وحجمه، وهذا يختلف عن التنبؤ بمكان حدوث حادث محدد وكيفيةه كالفيضان مثلاً، ومن جهة أخرى، فإن للتكهن بالحدث مدى من التأكد، فالتنبؤ بحالة الطقس ليوم واحد قد يضع احتمالاً بنسبة (40%) لسقوط زخات من المطر، إن تعلم التنبؤ أو التكهن بالكوارث؛ من أجل تقليص خسائر الأرواح والممتلكات يُعد محاولة ذات أهمية، ولدينا لكل واحدة من هذه الأخطار كمية من المعلومات، التي تمكننا في بعض الحالات من التنبؤ أو التكهن ببعض الأحداث بدقة، وعندما تكون المعلومات المتوافرة غير كافية، فأفضل طريقة يجب اتباعها لتحديد المناطق التي شهدت كوارث، واستنتاج المكان الذي يُحتمل وقوع أحداث مشابهة فيه مستقبلاً وزمانها، فإذا عرضنا احتمالية وإمكانية تبعات حدث يقع في منطقة محددة، فيمكننا تقييم الأخطار التي يسببها للناس والممتلكات، حتى لو لم نتمكن من التنبؤ بموعد حدوثها بدقة.

ويمكن تقليص آثار كارثة معينة، إذا تمكنا من التنبؤ أو التكهن بالحدث، وأصدرنا تحذيرات، وفي هذه الحالة، تكون معظم العناصر الآتية أو جميعها لازمة:

- تحديد المكان المتوقع حدوث الخطر فيه.
- تحديد احتمال وقوع الحدث بمقدار معين.
- ملاحظة الأحداث السابقة.
- التنبؤ والتكهن بالحدث.
- تحذير الأهالي.

الشكل (5-12) التنبؤ بالأخطار والتحذير منها
(Hazard prediction or warning). مخطط لإمكانية حدوث كارثة طبيعية، والتنبؤ بها، والتحذير منها.



الجيولوجيون تحذيراً عام (1982م) بإمكانية حدوث انفجار بركاني قرب بحيرة "ماموث" في كاليفورنيا، فقد تسببت هذه التوصية في ضرب السياحة وذعر بعض السكان، ولم يحدث الانفجار، وأهملت التوصية، وكذلك حدثت سلسلة من الهزات الأرضية خلال أربعة أيام في يوليو 1986م في منطقة "بيشوب" كاليفورنيا شرقي "سيرايانفاذا"، إذ كانت الهزة الأرضية الأولى بسيطة، وشعر بها السكان على مستوى محلي، ثم أعقبها هزة أرضية أكبر، أدت إلى حدوث أضرار، وقد خلص الباحثون وقتها إلى أن هناك إمكانية كبيرة لحدوث هزة أرضية أكبر في المنطقة نفسها في المستقبل القريب، وبناءً على ذلك صدر تحذير للسكان، إلا أن أصحاب الأعمال الذين خافوا على فقدان موسم السياحة الصيفية شعروا بأن هذا التحذير غير مسؤول، وقد كان شعورهم في محله، إذ لم تحدث الهزة الأرضية المتوقعة بالفعل.

دفعت مثل هذه الأحداث بعض الناس إلى الاستنتاج: أن التنبؤات العلمية عديمة الأهمية، وأن مثل هذه التحذيرات يجب ألا تصدر، وفي حقيقة الأمر، فإن جزءاً من المشكلة يكمن في ضعف الاتصالات بين العلماء الباحثين ومراسلي وسائل الإعلام (انظر إلى نظرة متفحصة: العلماء، والأخطار ووسائل الإعلام)، وقد تعجز تقارير الصحف والتلفاز والإذاعة عن شرح دليل احتمال التنبؤ بالكارثة أو طبيعته، ما يقود الناس إلى أن يتوقعوا تقارير كاملة ودقيقة لما سيحدث، وعلى الرغم من أن التنبؤات العلمية للانفجارات البركانية والهزات الأرضية ليست دائماً دقيقة، إلا أن على العلماء مسؤولية الترويج لأرائهم المعلنة، فالجمهور المتعلم أكثر قدرة على التعامل بمسؤولية من الجمهور غير المتعلم، حتى لو أن الموضوع غير مريح لبعض الناس، خذ مثلاً على ذلك قبطان السفينة، الذي يعتمد على التنبؤات بحالة الطقس والتحذيرات من تغير الأحوال، فهو يفضل ألا تكون لديه معلومة عن احتمال حدوث عاصفة، حتى لو أن العاصفة قد تتحرف عن مسارها وتخطئ السفينة. ومثلما أن تحذيرات الطقس أثبتت أهميتها لخطوط سير السفن، فإن التحذيرات الرسمية لأخطار الهزات الأرضية والانزلاقات الأرضية والفيضانات تعد مهمة أيضاً؛ لاتخاذ الناس قراراتهم حول مكان السكن والعمل والسفر.

الأحداث السابقة Precursor Events كثير من الأحداث الخطيرة سبقتها أحداث سابقة، فسطح الأرض مثلاً، قد يزحف أو يتحرك ببطء في أسفل المنحدرات مدة زمنية، أياماً أو شهوراً قبل حدوث الانزلاق الأرضي، وغالباً ما يزداد معدل هذا الزحف قبل وقوع الانزلاق الأرضي. والبراكين تنفخ أحياناً قبل أن تنفجر، وغالباً ما يصاحب انبعاث الغازات البركانية نشاط زلزالي، وبزيادة ملحوظة في المناطق المحيطة بالبركان، فالهزات الأرضية المحدودة وعملياً رفع الجبال الشاذة وغير المعتادة عادة ما تسبق الهزات الأرضية، إن الأحداث السابقة هذه تساعد على التنبؤ بزمان وقوع الحدث ومكانه، فزحف الانزلاقات الأرضية وانتفاخ البركان، قد يؤدي إلى إصدار تحذير يسمح للناس بإخلاء المناطق الخطيرة.

التكهن Forecast عندما يصدر التكهن بالحدث، فإن تأكيداً للحدث قد أعطي، أي إنه قد أعطي نسبة مئوية من خطوات الحدث، وحين نسمع عن تكهن بخطر داهم، فهذا يعني أنه يجب علينا الاستعداد لمثل هذا الحدث.

التنبؤ Prediction قد يكون من السهل أحياناً التنبؤ بدقة بوقوع أحداث طبيعية فعلية، ففيضان نهر المسيسيبي الذي يحدث في فصل الربيع نتيجة لذوبان الثلوج، أو بسبب أنظمة العواصف الإقليمية العظيمة جداً شائع إلى حد ما، وغالباً ما يمكننا التنبؤ بموعده بلوغ النهر مرحلة فيضان محدودة أو مستوى ماء محدد، وعندما تشاهد الأعاصير بعيداً عن البحر، وتقترب من الشاطئ، فيمكننا التنبؤ بمكان ضربها لليابسة وزمانه، إضافة إلى أنه يمكن التنبؤ بالسونامي تلك الأمواج الزلزالية البحرية، التي تتولد بفعل اضطراب مياه المحيط الناتجة عن الهزات الأرضية أو البراكين تحت البحرية، وقد كان نظام إنذار السونامي ناجحاً إلى حد ما في حوض المحيط الهادي، وقادراً على التنبؤ بوصول الأمواج. إن فترة التنبؤ قصير الأمد بالأحداث الخطيرة كالأعاصير، تحفزنا للعمل الآن على تقليص تبعات وقوع الحدث.

التحذير Warning يتعين تحذير الناس بعد التنبؤ أو التكهن بحدث خطير، فالمعلومات التي تقود إلى التحذير من كارثة متوقعة، هزة أرضية كبيرة أو فيضان مثلاً، يجب أن تمر ضمن مسار أشبه بما هو في الشكل (5-12). ومثل هذه التحذيرات غير مرغوب فيها على المستوى الشعبي، خصوصاً عندما لا تتحقق الأحداث المتنبأ فيها، ومثال ذلك، عندما أطلق

نظرة متفصّلة A CLOSER LOOK

العلماء، والأخطار، والإعلام Scientists, Hazards, and the Media

ومهنية عالية، إلا أنّ مشكلات الاتصالات والاختلافات في المصالح هي ما يحدث بينهم، ما يؤثّر في أهداف المجموعتين. ولأنّ على العلماء التزامات تقتضي توفير المعلومات للجمهور عن الأخطار الطبيعية، فإنّ من حسن السياسة لفريق بحث انتقاء متحدّث للتعامل مع وكالات الأنباء؛ للتأكد من أنّ المعلومة عُرضت بصورة واضحة قدر الإمكان، تخيل مثلاً: أنّ علماء يدرسون حزمة من الهزّات الأرضية قرب "لوس أنجلوس"، وقد حاروا فيما بينهم بشأن أهمية هذه الحزمة، والطريقة العملية المثالية لعلماء الأرض الذين يبحثون في مشكلة ما، هي تطوير فرضيات عدة وسيناريوهات مستقبلية، وعلى كل حال، فإذا كان العلماء يعملون مع وسائل الإعلام حول موضوع مرتبط بالأرواح والممتلكات، فيجب أن تُقيّم تقاريرهم بتحفظ، وأن تعرض بلغة مختصرة قدر الإمكان، أمّا المراسلون فسيحاولون من جانبهم تزويد القراء والمشاهدين أو المستمعين بمعلومات دقيقة مؤكّدة من طرف العملاء، لكنّ إرباك العلماء بالتشكيك في معلوماتهم سيؤدّي إلى عدم الثقة، وضعف الاتصالات بين العلماء والصحفيين.

يتعرّف الناس على أحداث العالم هذه الأيام من خلال مشاهدة التلفاز، وسماع المذياع، وتصفح الإنترنت، ومطالعة الصحف والمجلات، وبوجه عامّ، فإنّ مراسلي وكالات الأنباء أكثر اهتماماً بأثر حدث معيّن في الناس من أهمّيته العلمية، إلى درجة أنّ الانفجارات البركانية أو الهزّات الأرضية الكبيرة في المناطق غير المأهولة قد تلقى اهتماماً إعلامياً قليلاً، بينما تلقى أحداث متوسطة أو أصغر منها في مناطق مأهولة اهتماماً أكبر بكثير، فهدف وكالات الأنباء بيع قصص وأحداث مثيرة ذات تأثير في الناس والممتلكات⁽⁵⁾. وقد يكون إنشاء علاقة بين العلماء ووكالات الأنباء هدفاً من الصعب تحقيقه دائماً، فالعلماء -بوجه عام- يبدون أكثر تحفظاً، وحساسين وخائفين من الانتقاد، وقد يعدّون المراسلين عدوانيين ومياليين إلى عرض نصف الحقيقة؛ لتأكيد الخلاف في الآراء العلمية وفبركة قصة، في حين أنّ المراسلين قد يعدّون العلماء غير متعاونين، وكأنهم مجموعة معزولة، يتحدثون بلغة غير مفهومة وغير قابلة للاختراق، وغير مكترثين بالمواعيد النهائية التي يواجها المراسلون⁽⁵⁾، مثل هذه الأقوال عن العلماء ومراسلي وكالات الأنباء تُعدّ واضحة ومتكرّرة، والحقيقة أنّ كلتا المجموعتين ذوو مستويات أخلاقية

فعلينا أن نقيّم العواقب من حيث الإشعاع المنبعث، الذي سيترجم إلى خطر على الناس والكائنات الحية الأخرى، ومن المهمّ في هذه التقييمات حساب الأخطار المحتملة الناتجة عن الأحداث المتوقّعة، ففي هذا المثال، الهزّات الأرضية بالمقادير المتعدّدة، واحتمال حدوث الهزّة الأرضية الكبيرة قليل مقارنة بالهزّة الصغيرة، لكنّ عواقبها ستكون أعظم.

الخطر المقبول Acceptable Risk إنّ تحديد الخطر المقبول أكثر تعقيداً؛ لأنّ الخطر الذي سيتقبّله كلّ فرد يعتمد على الحالة. فقيادة السيارة فيها خطورة، وأغلب الناس يتقبّلون هذا الخطر بوصفه جزءاً من الحياة في عالم متحضّر، لكنّ تقبّل أيّ خطر ناتج عن مشروع طاقة نووية سيكون بنسبة منخفضة جداً؛ لأننا نعتقد أنّ أيّ خطر من التسمّم الإشعاعي مرفوض، يُضاف إلى ذلك أنّ مشروعات الطاقة النووية موضع خلاف؛ لأنّ معظم الناس يعدّونها ذات أخطار عالية، حتى لو أنّ احتمال وقوع حادث نووي بسبب أخطار جيولوجية (هزّة أرضية) منخفض جداً؛ وذلك لأنّ عواقبها قد تكون عالية، وتتسبّب في أخطار كبيرة نسبياً.

أمّا بالنسبة إلى المؤسّسات الحكومية والمصرفية، فإنّها تنظر إلى موضوع تقبّل الخطر من وجهة نظر اقتصادية أكثر منها نظرة شخصية، فالمصارف مثلاً، تنظر إلى كميّة الخطر الذي يمكنها تحمّله نتيجة الفيضان، والحكومة الفدرالية تنظر إلى المنشآت التي تتسلّم قروضاً منها، بحيث لا يحدث فيها فيضان يزيد على نسبة (1%) سنوياً، وهذا يتطلّب حماية تصل إلى فيضان المئة سنة.

لنأخذ في الحسبان التنبؤ بانفجار بركاني في منطقة بحيرة "الماموث" في كاليفورنيا، وقد أشارت البيانات الزلزالية للعلماء إلى أنّ الصخور المنصهرة تتحرّك نحو سطح الأرض، وبالنظر إلى الاحتمال الكبير لثوران البركان والخسائر المحتملة في الأرواح إن حدث ذلك، فإنّ من عدم المسؤولية ألا يصدر العلماء تحذيراً بذلك، وعلى الرغم من عدم حدوث البركان، إلا أنّ التحذير قد أوجد طرقاً للإخلاء، وأهميّة للتخضير للكوارث، وقد يبرهن هذا المخطط على فائدة مستقبلية إن حدث، وانفجر البركان فعلاً في منطقة بحيرات الماموث مستقبلاً. إن أحدث الأحداث قد وقع منذ نحو 600 سنة! وفي النهاية، فإنّ نتيجة التنبؤ أنّ الجماهير التي تكون على علم بالحدث المتوقّع، هي الأكثر قدرة على التعامل معه حين حدوثه.

قياس الأخطار Risk Assessment

يجب أن تكون لدى الناس فكرة جيّدة عن الخطر الذي يواجهونه بسيناريوهات متعدّدة قبل بحث التكيّف مع الأخطار ودراسته، فتقييم الخطر مجال لتحليل الأخطار سريع النمو، ومن الضروري نشر استخداماته.

تحديد الخطر Risk Determination يعرف الخطر الناتج عن حادث معيّن، بأنه نواتج ذلك الحدث المتوقع حدوثه مضرّوباً في عواقبه⁽⁶⁾، وتتمثّل العواقب في الأضرار التي تلحق بالناس، والممتلكات، والنشاط الاقتصادي، والخدمات العامّة، التي يعيّر عنها بمقاييس متعدّدة، فمثلاً: إذا كنا سنبحث الخطر الناتج عن ضرر هزّة أرضية يلحق بمفاعل نووي،

مستوى أعلى من تقليص الخسائر، يتطلب زيادة في الجهود المبذولة نحو توقع حدوث الكوارث وأثارها، فتخطيط استعمال الأراضي بتقاضي المواقع الخطيرة، وإقامة الإنشاءات المقاومة للأخطار، والسيطرة على الخطر وتحويل مساره، وشق القنوات للسيطرة على الفيضان مثلاً، كلها تُعدّ من الاستعدادات للتكيّف مع التوقّعات بحدوث كوارث مستقبلية، وقد تقلل من ضعفنا تجاهها⁽⁴⁾.

الاستجابة التفاعلية: أثر الأخطار والتعافي منه

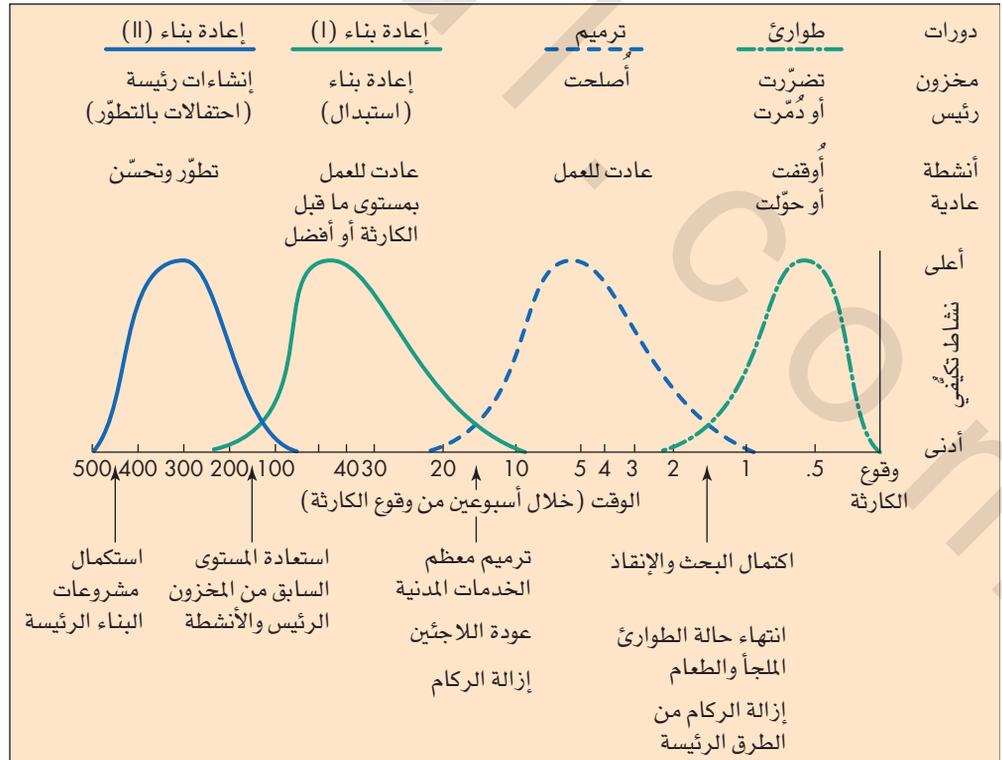
Reactive Response: Impact of and Recovery from Disasters

يكون أثر الكارثة في الناس مباشراً أو غير مباشر، وتتضمّن الآثار المباشرة الوفيات والجرحى والمعزولين والأضرار الناتجة عن حادث معين، أمّا الآثار غير المباشرة فتتضمّن - عادة - تجاوب الناس مع الكارثة من حيث الألام العاطفية، والتبرّع بالأموال والبضائع، ودفع ضرائب لتمويل التعافي من الكارثة، فالآثار المباشرة يشعر بها أولئك الذين تأثروا بالكارثة، بينما يشعر الناس جميعهم بالآثار غير المباشرة⁽⁷⁾⁽⁸⁾.

تتمثّل مراحل التعافي من الكارثة في الأعمال العاجلة، وترميم خطوط الخدمات والاتصالات، والإنشاءات. يبيّن الشكل (5-13) نموذجاً مثاليّاً للتعافي، ويمكن تطبيق هذا النموذج على أنشطة التعافي الفعلية التي تعقب أحداثاً، مثل الهزّة الأرضية التي حدثت في "نورثريج" في "لوس أنجلوس" عام 1994م، إذ بدأ الترميم بعد الهزّة مباشرة، ففي الأسابيع والأشهر القليلة الأولى بعد الهزّة تمّ إصلاح الطرقات وترميم مرافق الخدمات، بالاستعانة بتدفّق الدولارات من البرامج الفدرالية وشركات التأمين وغيرها، وقد تحوّلت المناطق المتضرّرة في "نورثريج" بسرعة

الشكل (5-13) التعافي من الكارثة

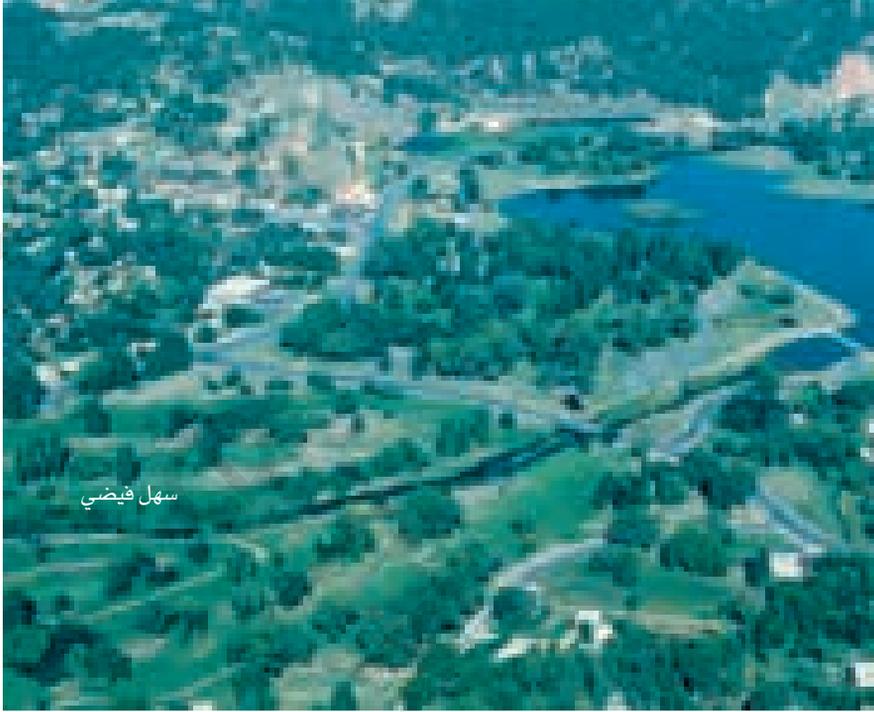
(Recovery from disaster). نموذج عام للتعافي بعد الكارثة. ينقضي الأسبوعان الأولان بعد الكارثة في حالة من الطوارئ، حيث تتوقّف الأنشطة العادية أو تتغيّر. وفي أثناء أُل (19) أسبوعاً تتمّ مرحلة الترميم، وتعود الأنشطة العادية والوظائف، إلّا أنّها ليست بالمستوى السابق. في أثناء المرحلة الأولى من البناء قرابة أربع سنوات بعد الكارثة تتمّ إعادة بناء المنطقة، وتعود الأنشطة العادية إلى ما كانت عليه سابقاً. وفي نهاية إعادة البناء في المرحلة الثانية، تتمّ إعادة البناء والتطوير واستكمالها، وتحسّن الأنشطة العادية.



3-5 استجابة الناس للأخطار

THE HUMAN RESPONSE TO HAZARDS

غالباً ما تكون الطريقة التي نتعامل بها مع الأخطار تفاعلية أساساً، فنكتاتف بعد وقوع الكارثة، للبحث عن الناجين وإنقاذهم، ومكافحة الحرائق، وتوفير الغذاء والماء والملجأ الضروري، لا شك أنّ هذه الأنشطة تقلل من فقدان الأرواح والممتلكات، وفي حاجة إلى الاستمرار إلّا أنّ الوصول إلى



سهل فيضي

الشكل (5-14) إدارة السهل الفيضي

(Floodplain management). مدينة "رابد" جنوب "داكوتا"، تسبب الفيضان عام 1972م قبل التنظيم في مقتل أكثر من (200) شخص، وتدمير كثير من المنازل في السهل الفيضي. أصبح السهل الفيضي في "رابد كريك" أسفل النهر قرب بحيرة "كانيون" (في المركز) الآن مكانًا لملاعب الجولف (في الأسفل إلى اليسار).

(Courtesy of Perry Rahn)

الاستجابة المتوقعة: مواجهة الأخطار وتفاديها والتكيف معها

Anticipatory Response: Perceiving, Avoiding, and Adjusting to Hazards

الاختيارات المتاحة للأفراد أو المؤسسات لتفادي آثار الكوارث أو الحد منها تعتمد جزئيًا على إدراكنا للأخطار، وقد أنجز عمل جيد في السنوات الأخيرة، لمحاولة فهم كيفية إدراك الناس للأخطار الطبيعية المتعددة، إذ يُعد هذا العمل مهمًا؛ لأن نجاح برامج تقليص الأخطار يعتمد على توجهات الناس المتوقع تعرضهم للأخطار، وعلى الرغم من إدراك الأخطار وفهمها على مستوى المؤسسات بين الوكالات الحكومية، مثل المسح الجيولوجي الأمريكي ووكالات السيطرة على الفيضان المحلية والإقليمية، إلا أن ذلك لا يرشح إلى السكان، وانعدام الفهم هذا حقيقي، خاصة بالنسبة إلى الأحداث قليلة الحدوث، فالتناس أكثر إدراكًا لحالات، مثل الفيضانات العظيمة وحرث الغابات، التي قد تحدث كل بضعة سنوات أو عقود (الشكل 5-15).

توجد عادة قوانين محلية للمساعدة على تفادي الأضرار الناتجة عن هذه الحوادث أو تقليصها، ففي بعض المناطق جنوب كاليفورنيا مثلًا، توجد أنظمة محلية تشترط بناء أسقف المنازل بالحصى غير القابلة للحريق، وأنظمة أخرى تتضمن الإلزام بتركيب أنظمة رش الأشجار وإزالتها، ويمكن ملاحظة احتياطات الأمان هذه في أثناء مرحلة إعادة البناء التي تعقب اشتعال الحرائق.

ومن بين أهم التكيفات مع الأخطار البيئية التخطيط لاستعمالات الأراضي (land use planning)، ويتمثل ذلك في تفادي الناس البناء فوق السهول الفيضية، وكذلك في مناطق الانزلاقات الأرضية النشطة، أو المناطق الساحلية المعرضة لعمليات الحث، لقد تمّ تخطيط السهول الفيضية في كثير من المدن من أجل استعمالات أراضٍ خاصة.

من مرحلة الترميم إلى مرحلة إعادة البناء المرحلة (I)، وتمهيدات في مرحلة إعادة البناء (II) بعد "زلزال نورثريج"، ومن المهمّ تذكر درسين من كارثتين سابقتين، هما: زلزال 1964م الذي ضرب "أركوراج في ألاسكا"، والفيضان الذي دمر مدينة "رابد" جنوب "داكوتا" عام 1972م، لقد بدأت "أنكوراج" بالترميم بعد نحو شهر تقريبًا من الزلزال، بمجرد تدفق الأموال، ونتيجة لذلك كانت عمليات البناء محمومة؛ لأن كل شخص كان حريصًا على الحصول قدر الإمكان من أرصدة الدعم المتوفرة، أما بالنسبة إلى مدينة "رابد"، فلم تزدهر عمليات الترميم إلا بعد عشرة أسابيع تقريبًا من الفيضان، فقد أخذ السكان وقتهم في التفكير بحذر حول أفضل البدائل؛ لتفادي مشكلات الفيضان المستقبلية، ونتيجة لذلك، فإن مدينة "رابد" تمتلك الآن نظام استعمال أراضٍ في السهل الفيضي مختلفة تمامًا، فالسهل الفيضي يحتل الآن حزامًا أخضر مع ملاعب الجولف والأنشطة الأخرى المشابهة، التي قلصت كثيرًا أخطار الفيضان في المنطقة، (الشكل 5-14). وعلى العكس من ذلك، فقد صاحب سرعة الترميم والبناء في "أنكوراج" القليل من التخطيط لاستعمال الأراضي، وأنشئت الشقق والمباني في المناطق التي تعرضت للتشقق الأرضية، التي ملئت ببساطة، فبتجاهل الفوائد الممكنة لتخطيط استخدام الأراضي الحذر، فإن "أنكوراج" ما زالت ضعيفة في مواجهة النوع نفسه من الضرر الذي تعرضت له عام 1964م (4)، (7)، (8).

لقد تمّ تقييم آثار زلزال "نورثريج" على الطرق السريعة والجسور والمباني وغيرها من المنشآت بصورة دقيقة؛ من أجل تحديد مدى تطوّر المعايير الهندسية، لبناء منشآت جديدة أو تقوية المنشآت السابقة، وإمكانية استخدامها في المرحلة (II) من إعادة البناء، (الشكل 5-13). ومن المؤكد أن تتعرض "لوس أنجلوس" لهزات أرضية متوسطة أو عالية الشدة مستقبلاً، لذلك علينا الاستمرار في بذل الجهود، من أجل تقليص أخطار الزلازل في المنطقة.

الشكل (5-15) حريق الغابات القاتل (Killer wildfire). الحريق الهائل في أكتوبر عام (1991م)، الذي دمر أوكلاند في كاليفورنيا، قتل هذا الحريق (25) شخصاً، ودمر ثلاثة آلاف منزل، وألحق أضراراً قُدِّرت بـ (1,7) بليون دولار تقريباً. (Tom Benoit/Getty Images Inc).



السيطرة الصناعية على العمليات الطبيعية

Artificial Control of Natural Processes

لقد واجهت المحاولات الصناعية للسيطرة على العمليات الطبيعية، مثل الانزلاقات الأرضية والفيضانات وانسيابات الحمم البركانية نجاحاً مركباً، فالجدران البحرية التي أنشئت للسيطرة على حثّ الساحل، قد تحمي الممتلكات إلى حدّ ما، لكنّها تسبّب في تضيق الشاطئ وتقليصه.

لا يُتوقّع من التصاميم الصناعية الإنشائية، ولا من أفضلها أن تحمي من حدث عظيم، على الرغم من احتفاظ الجدران وغيرها من الإنشاءات في حماية السفوح من الانزلاقات الأرضية، التي أثبتت نجاحها، خاصة عندما تكون جيّدة التصميم، (الشكل 5-16). تُعدّ هذه الإنشاءات وتنوعها على الطرق السريعة وعلى التلال في المناطق العمرانية ضرورية، مع العلم بأنّ أثرها على البيئة محدود، حيث تتطلبها الإنشاءات، خصوصاً في مناطق الحفریات الصناعية أو في المنحدرات غير المستقرّة، التي تمسّ البنیان البشري، ومن الطرق الشائعة في السيطرة على الفيضانات عمليات التقنيّة (تعديل القناة channelization)، وإنشاء السدود والجسور الطولية (levees) الموازية لمجري الأنهار، لكنّها لسوء الطالع، تزوّد سكان السهل الفيضي بإحساس خادع بالأمان؛ وذلك لعدم توافر طريقة تحمي الناس وممتلكاتهم تماماً من الفيضانات ذات القدرة العالية. سنعود لهذا الموضوع في الفصل السادس.

عادة ما يختار الناس ببساطة تحمّل الخسائر الناتجة عن الكارثة الطبيعية، وكثير من الناس متفائل بالنجاة من أيّ نوع من الكوارث، ويتخذون إجراءات بسيطة لحماية أنفسهم، خاصّة من أخطار الثوران البركاني والزلازل، التي نادراً ما تحدث في منطقة معيّنة، وبغضّ النظر عن الإستراتيجية، فإننا نختار تقليص الأخطار أو تفاديها، فمن الضروري أن نفهم الأخطار وآثارها الطبيعية والحيوية والاقتصادية والاجتماعية ونتوقّعها.

وفيما يتعلق بالانزلاقات الأرضية، فهناك متطلبات قانونية لدراسات هندسة التربة والهندسة الجيولوجية في مواقع البناء؛ من أجل تقليص الأخطار الممكنة، أضف إلى ذلك أنه يمكن تقليص أضرار الحثّ الساحلي، وفق متطلبات تتضمّن الارتداد الخارجي المناسب عن خط الشاطئ أو الجرف البحري، وعلى الرغم من أنه يمكن ضبط العمليات الطبيعية في حالات معيّنة، فيفضّل تخطيط استعمال الأراضي ليلائم العمليات الطبيعية على الحلول ذات القاعدة التكنولوجية، التي قد تفيد، وقد لا تفيد.

التأمين Insurance: يُعدّ التأمين خياراً آخر للناس، للتعامل مع الأخطار الطبيعية، وأصبحت معاملات تأمين الفيضانات والزلازل شائعة في مناطق كثيرة؛ ولأنّ خسائر شركات التأمين التي نتجت عن زلزال "نورثريج" عام 1994م كانت كبيرة، فقد أعلنت كثير منها للقائنين في تلك المناطق عن عدم استمرارها في تقديم خدمات التأمين ضدّ الزلازل.

الإخلاء Evacuation: يُعدّ الإخلاء خياراً مهماً أو تكيفاً مع أخطار الإعصار في الولايات الواقعة على خليج المكسيك، وتلك الواقعة على امتداد الساحل الشرقي للولايات المتحدة، وغالباً ما يكون هناك وقت كافٍ أمام الناس للإخلاء، إذا استجابوا للتنبؤات والتحذيرات، وإذا لم يتفاعل الناس بسرعة في منطقة عمرانية واسعة متأثرة، فإنّ طرق الإخلاء قد تغلق أمامهم، نتيجة الازدحام في دقائق الهلع الأخيرة. سيشار إلى الإخلاء الناجح من مناطق الانفجارات البركانية في الفصل التاسع.

الجاهزية للكوارث Disaster Preparedness: يمكن للأفراد والأسر والمدن والولايات وحتى الأمم بأكملها التدرّب على الاستعداد للكارثة، فتدريب الأفراد والمؤسسات على نقل أعداد كبيرة من الجرحى أو الناس الذين يحاولون إخلاء المنطقة بعد إصدار التحذير، مهمّ في الاستعداد للكارثة.



الشكل (5-16) حماية سفح (منحدر) (Protecting a slope)

الاحتفاظ بجدار أنشئ على جانب وادٍ في منطقة معروفة بالانزلاقات الأرضية، لحماية المنازل المنشأة بالقرب من حافة الوادي. ولو أنّ أصحاب هذه البيوت راعوا الارتداد الخارجي عند البناء لما كان هناك داعٍ للجدار.

(Edward A. Keller)

وتُجبر الكثيرين منهم على السكن في مناطق خطيرة، ما يخلف أخطاراً إضافية، فالأخطار الناتجة عن كلٍّ من الكثافة السكانية العالية والعيش في نطاقات خطيرة تتضح جلياً بفقدان آلاف الأرواح في "كولومبيا" عام (1985م). (انظر: نظرة متفحصة: "نيفادو دل ريز").

وتُعدّ مدينة مكسيكو مثالاً آخر على الأخطار المرتبطة بالكثافة السكانية المصحوبة بالعيش في نطاق خطر، فهذه المدينة مركز لأكثر المناطق المدنية كثافة سكانية على مستوى العالم، إذ يقطن قرابة (23) مليون نسمة في مساحة تقرب من (2,300 km²)، ومنازل تلك الأسر تقريباً مكوّنة من غرفة واحدة، لقد بُنيت المدينة على صخور بحيرة قديمة تعاني هزّات أرضية، وتغرق أجزاء من هذه المدينة بمعدّل بضع سنتيمترات كل سنة؛ بسبب سحب كمّية من المياه الجوفية أحياناً؛ ولأنّ هبوط المدينة لم يكن منتظماً، فقد أدّى ذلك إلى ميل بعض المباني، ما جعلها عرضة بصورة أكثر للتأثر في الاهتزازات الأرضية⁽⁹⁾، إذ تعرّضت عام (1985م) لهزّة أرضية مدمّرة، أدّت إلى مقتل عشرة آلاف نسمة تقريباً.

تغيّر استخدامات الأراضي والأحداث الخطرة

Land Use Change and Hazardous Events

سُجّل في عقد التسعينيات رقم قياسي في الكوارث العظيمة على المستوى العالمي، وعلى الرغم من حدوث أكثر من بضع مئات الكوارث الناتجة عن الحوادث الطبيعية الخطرة سنوياً، إلا أنّ القليل منها صنف كوارث عظيمة، وهي التي نتج عنها وفيات وخسائر عظيمة احتاجت إلى معونات خارجية⁽¹⁰⁾. ففي أثناء نصف القرن الماضي، ازدادت الكوارث الطبيعية بصورة ملحوظة، انظر الشكل (5-17). يُعدّ الفيضان هو القاتل الأكبر للناس (أكثر من تسعة آلاف قتيل/ سنوياً على مستوى العالم)؛ أعقبته الهزّات الأرضية، والثورات البركانية والعواصف الريحية، وقد قُتل منذ عام (1974م) قرابة مليوني نسمة بسبب الأخطار الطبيعية، أغلبهم من رعايا الدّول النامية، فتكبّدت آسيا الخسائر العظمى، التي بلغت ثلاثة أرباع أعداد الخسائر البشرية الكلية ونصف الخسائر الاقتصادية تقريباً، فلولاً التّطوّر في تحذير السكان والاستعداد والتقييم الصحي الذي يعقب الكوارث، لكانت الخسائر أسوأ من ذلك⁽¹⁰⁾⁽¹¹⁾، تجدر الإشارة إلى أنّ الخسائر الاقتصادية ازدادت بمعدّل أسرع من الخسائر البشرية.

4-5 المناخ العالمي والأخطار

GLOBAL CLIMATE AND HAZARDS

قد يؤثّر التغيّر المناخي الإقليمي والعالمي فعلياً في وقوع الحوادث الطبيعية الخطرة، مثل العواصف (فيضان وحتّ) والانزلاقات الأرضية والجفاف والحرائق، وقد يكون للاحتباس الحراري العالمي مصحوباً بالتغيّر المناخي أثر في الأخطار الطبيعية. (سوف نبحث الاحتباس الحراري العالمي بالتفصيل في الفصل السادس عشر).

كيف يؤثّر التغيّر المناخي في مقدار الأحداث الطبيعية الكارثية وتكرارها؟ نتيجة للاحتباس الحراري يحدث ارتفاع لمستوى سطح البحر؛ بسبب انصهار الجليد، وتمدّد مياه المحيط الدافئة، ما يؤدّي إلى زيادة الحتّ الساحلي. وتغيّر الأنماط المناخية، فإنّ المناطق المنتجة للغذاء سوف تتغيّر؛ لأنّ بعضها سيكون هطل المطر عليها أكثر، بينما بعضها الآخر فسيكون الهطل عليها أقلّ ممّا هو عليه الآن، نتيجة لذلك ستتسع رقعة الصحارى والمناطق شبه الجافة، أضف إلى ذلك أنّ خطوط العرض العليا ستصبح أكثر إنتاجية، هذه التغيّرات كلّها قد تؤدّي إلى تنقلات سكانية عالمية، وقد تؤدّي أيضاً إلى وقوع حروب أو ثورات سياسية واجتماعية كبرى.

وربّما يؤدّي الاحتباس الحراري العالمي الذي يسخن مياه المحيط إلى نقل طاقة أكثر من مياه المحيط الدافئة إلى الغلاف الجوي، فيسخن الغلاف الجوي بذلك ما يؤدّي إلى زيادة تكرار الأخطار المرتبطة بالعمليات المناخية وزيادة شدّتها، ومن ضمن ذلك العواصف الرعدية والزواج الرملية والأعاصير.

5-5 الزيادة السكانية، تغيّر استعمال الأراضي والأخطار الطبيعية

POPULATION INCREASE, LAND USE CHANGE, AND NATURAL HAZARDS

الزيادة السكانية والأحداث الخطرة Population Increase and Hazardous Events

يُعدّ النمو السكاني في العالم مشكلة بيئية كبرى، وبزيادة التعداد السكاني تزداد الحاجة إلى التخطيط؛ من أجل تقليص خسائر الكوارث الطبيعية، إذ تضح زيادة السكان أعداداً أكبر منهم في الخطر الناتج عن حادث طبيعي،



الشكل (5-17) ارتفاع عدد الكوارث الطبيعية في العالم. التعريف الفعلي للكوارث أو معاييرها هو: (10) قتلى أو أكثر، (100) متضرراً أو أكثر، إعلان حالة الطوارئ، طلب معونة دولية، فإذا انطبقت أي منها، فإن الحدث يعدّ كارثة طبيعية من طرف مركز أبحاث أوبئة الكوارث (CRED).
(Modified by CRED 2007. Hoyois, P. Below, R., Schuren, J-M., and Guha-Sapir, D., Annual Disaster Statistical Review: Numbers and Trends, 2006, University of Lonvain, Brussels, Belgium)

الشكل (5-18) كارثة إعصار (Hurricane disaster). منازل مدقّرة بفعل فيضان وانزلاقات أرضية في هندوراس؛ بسبب إعصار "ميش" عام (1998م).

(Luis Elvir /AP /Wide World Photos)



والقصة مشابهة في وسط الصين، حيث فقد حوض نهر "يانغير" قرابة (85%) من غابته؛ بسبب قطع الأشجار وتحويل الغابة إلى أراضٍ زراعية، فأصبح فيضان نهر "يانغير" أكثر شيوحاً ممّا كان عليه في الماضي⁽¹⁰⁾، وأظهر إعصار "كاترينا" الذي فاض على "نيو أورليانز" عام (2005م) تكرار سوء استعمالات الأراضي، ومن ضمنها إزالة الأراضي الرطبة التي تمثّل مصدّاً للرياح وأمواج العواصف والفيضان.

تعدّ الأحداث الخطيرة التي أدت إلى كوارث في التسعينيات وأوائل القرن الحادي والعشرين في أمريكا الوسطى والصين والولايات المتحدة ومناطق أخرى من العالم إنذاراً مبكراً لأحداث ستأتي، ويبدو جلياً أن الأنشطة البشرية تزيد من آثار الكوارث الطبيعية، واعتراقاً بأثر هذه الأنشطة، فقد منعت الصين قطع الأشجار في أعالي حوض نهر "يانغير"،

ثلاثة من الكوارث الحديثة المميّزة الناتجة عن أخطار طبيعية مرتبطة بتغيير استعمالات الأراضي، وهي إعصار "ميش" عام (1998م)، الذي دمر أمريكا الوسطى، وفيضان نهر "يانغير" في الصين عام (1998م)، وإعصار "كاترينا" عام (2005م)، إذ تسبّب إعصار "ميش" في مقتل قرابة أحد عشر ألف نسمة، وتسبّب فيضان نهر "يانغير" في مقتل أربعة آلاف نسمة تقريباً، وقد صنّفت أضرار هذه الأحداث في أمريكا الوسطى والصين بأنها شديدة بصورة خاصة؛ لأنّها ارتبطت بتغيير استعمالات الأراضي الذي حدث. فهندوراس مثلاً، فقدت قبل الإعصار قرابة نصف غاباتها بسبب قطع الأشجار، والحريق الذي قضى على منطقة تقدّر مساحتها بـ (11,000 km²) تقريباً، تعرّبت التلال من الغطاء النباتي نتيجة لذلك، وجُرفت معها المزارع والمنازل والطرق والجسور (الشكل 5-18)،

A CLOSER LOOK نظرة متفصّلة

نيفادو دل ريز: قصة شعب واستخدام الأراضي والثوران البركاني

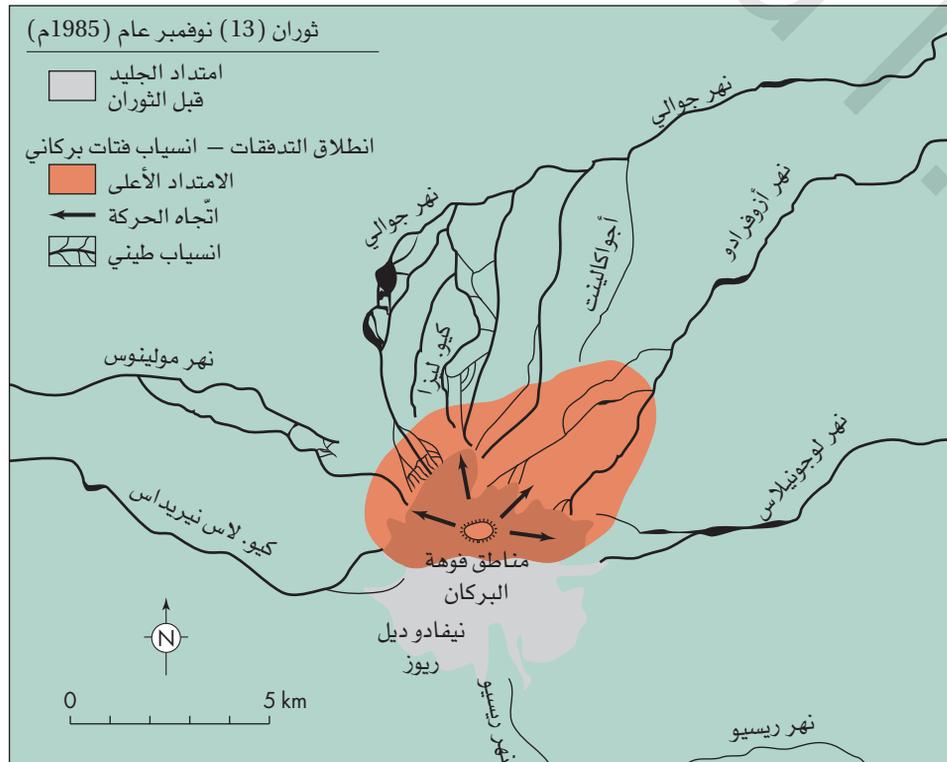
Nevado del Ruiz: A Story of People, Land Use, and Volcanic Eruption

وقوع انجرافات طينية مدمّرة، تنتج عن ثوران بركاني شبيه بالحالة التي حدثت في الثورات البركانية السابقة. وكما كانت التوقّعات، فقد بدأ حادث (13) نوفمبر بثوران بركاني انفجاري، نتج عنه تدفق الفتات البركاني وانتشار الرماد البركاني الحار، ما أدى إلى انصهار الجليد على الجبل، فنتجت المياه عن ذلك، التي ولدت انجرافات طينية تدفّقت نحو أسفل الأودية النهرية. يبيّن الشكل (5 ج) المناطق التي تأثرت بالمagma (الصهير) التي كانت في حالة تماس مع المياه والجليد، وتسببت في انبعاث بخار كثيف وانفجارات رمادية تسمّى تدفّقات قاعدية، وانجرافات فتاتية نارية، ويبيّن الشكل كذلك موقع الجليديات التي وفّرت الماء الضروري لحدوث الانسيابات الطينية، ومن الأهمية بمكان، أن نذكر ذلك الانسياب الطيني الذي تدفّق سريعاً نحو نهر "لاغونيللا" مدمراً جزءاً من مدينة "أميرو"، حيث كانت معظم الوفيات. يبيّن الشكل (5 د) البركان ومدينة "أميرو". لقد دفنت الانجرافات الطينية النصف الجنوبي من المدينة، وأزلت بنايات كاملة من أساساتها⁽¹³⁾.

ومن المحزن في هذه النكبة أن نواتجها كانت متوقّعة، وأطلقت محاولات عدة لتحذير المدينة وإخلائها، منها تعميم خرائط الأخطار في أكتوبر، إلا أنه تمّ تجاهلها بصورة كلية. يبيّن الشكل (5 هـ) خريطة الأخطار، التي توضّح الأحداث المتوقّعة قبل الثوران البركاني، والأحداث التي حصلت. ويوضّح الرسم كذلك أهمية استخدام خرائط الأخطار البركانية⁽¹⁴⁾. وعلى الرغم من هذه التحذيرات، إلا أن الاستجابة كانت محدودة، والنتيجة، فإن (21) ألف نسمة تقريباً ماتوا.

يدور المبدأ الأساسي لهذا الفصل حول زيادة السكان المصحوب بتغيير استعمالات الأراضي، التي أدت إلى تكثيف آثار الأخطار الطبيعية، التي تحوّلت فيها الكوارث إلى نكبات في بعض الحالات، على سبيل المثال: حينما ثار بركان "نيفادو دل ريز" في كولومبيا عام (1845م)، انسابت انجرافات طينية أسفل المنحدر الشرقي للجبل، فتكوّنت تربة غنية في وادي نهر "لاغونيللا"، ما أدى إلى نشوء مركز زراعي فيها، وعرفت المدينة التي نشأت بـ "أميرو"، التي صارت بحلول عام 1985م مثلاً لمجتمع مزدهر، ونموّ للسكان قرابة (23) ألف نسمة، إلا أنها تعرّضت في الثالث عشر من نوفمبر عام 1985م إلى ثوران بركاني آخر، مصحوب بانجرافات طينية، أدى إلى دفن المدينة كلّها، وقرابة (21) ألف ضحية (قتيل أو مفقود)، وتسبّب في أضرار بالممتلكات تجاوزت (200) مليون دولار. لقد كانت الزيادة السكانية في أثناء ألد 140 سنة بين الانجرافات الطينية سبباً في تضاعف القتلى بـ (20) مرّة تقريباً، وكانت الأراضي المنبسطة ذات التربة الغنية الناتجة عن الثوران البركاني السابق، هي الشرك الذي جلب الناس إلى منطقة خطيرة، ومن السخرية أن المنطقة أهلكت بالحدث نفسه الذي منحها تربة غنية في الماضي، كانت الحافز وراء التطوّر السكاني ونموّه⁽¹²⁾.

جاء ثوران بركان الثالث عشر من نوفمبر عام (1985م) بعد عام من الأنشطة السالفة، المتضمنة هزّات أرضية ونشاط لمياه الينابيع الحارة، وبدأت مراقبة البركان في يوليو من عام (1985م)، واكتملت في أكتوبر خريطة الأخطار، التي أوضحت بدقة الأحداث التي وقعت في الثالث عشر من نوفمبر، فقد أكّد التقرير والخريطة المصاحبة بنسبة (100%) احتمال



الشكل (5 ج) ثوران بركان نيفادو دل ريز
(Eruption of Nevado del Ruiz). خريطة لمنطقة بركان "نيفادو دل ريز"، تبيّن بعض المعالم المرتبطة بثوران بركان (13) نوفمبر عام (1985م).

(Modified after Herd, D.G., 1986, The Ruiz volcano disaster, EOS, Transactions of the American Geophysical Union, May 13, 457-60)



(ب)

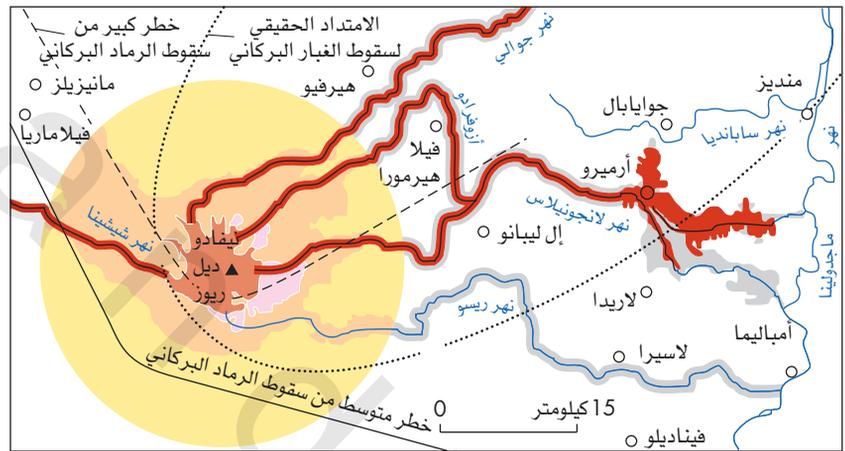


(أ)

الشكل (5 د) نيفادو دل ريز (Nevado del Ruiz). (أ) البركان قبل الثوران. (ب) انسيابات طينية كارثية: ولد الثوران انسيابًا طينيًا دفر مدينة "أميرو" تقريبًا وقتل (21) ألف نسمة تقريبًا. (J. Langevin / Corbis / Sygma)

الشكل (5 هـ) خريطة أخطار بركانية (Volcanic hazard map)

أنتجت ووزعت قبل شهر من ثوران بركان "نيفادو دل ريز" والانجرافات الطينية التي دفنت "أميرو" في كولومبيا بتاريخ (13) نوفمبر (1985م). تظهر الانجرافات الطينية الحقيقية باللون الأحمر. (Wright, T.L., and Pierson, T.C., 1992, U.S. Geological Survey Circular 1973)



شرح

خطر عالٍ من تدفق الفتات البركاني	خطر عالٍ من تدفق الحمم البركانية	خطر عالٍ من التدفق الطيني
خطر متوسط من تدفق الفتات البركانية	خطر متوسط من تدفق الحمم البركانية	تدفق طيني من ثوران بركان «نيفادو دل ريز» في نوفمبر عام (1985م)

والمدن المحلية، وكان التقدير أفضل لاحتمال الأخطار البركانية، ولو مسافة (40 km) من البركان، لكان إخلاء مدينة "أميرو" سهلاً. نأمل أن تساعد الدروس المستفادة من هذا الحدث على الحد من خسائر الأرواح المرتبطة بالثورات البركانية والكوارث الطبيعية الأخرى.

أنشئ مركز مراقبة دائم للبراكين في أوائل عام (1986م) في كولومبيا؛ لمراقبة بركان "ريز" والبراكين الأخرى في أمريكا الجنوبية، ولعل أمريكا الجنوبية أصبحت الآن أفضل استعداداً للتعامل مع الثورات البركانية، يُذكر أنّ خطوط الاتصالات لو كانت بصورة أفضل بين قيادة الدفاع المدني

تحقيق الهدف المتمثل في التنمية المستدامة المبنية على كل من ترميم الأنظمة البيئية الصحية وصيانتها⁽¹⁰⁾، إذ سيكون من الصعب تحقيق هذا الهدف؛ بسبب الضغوط الناتجة عن النمو السكاني في كثير من بقاع العالم، حيث تؤكد آثار زيادة السكان ضرورة ضبط النمو السكاني، إذا أردنا حل المشكلات البيئية، للوصول إلى الهدف المتمثل في استدامة بيئتنا.

ومنعت استعمالات أراضي السهل الفيضي الطائشة، وخصّصت بلايين عدّة من الدولارات لإعادة تشجير الغابات.

إنّ الدرس المستفاد هو: أنّنا إذا رغبتنا في الحد من الأضرار الناتجة عن الأخطار الطبيعية في المستقبل، فعلى إعادة تأهيل الأراضي، والعمل على

ملخص SUMMARY

السابقة الخبراء بهزّات أرضية وثورات بركانية وشبكة، وعندما يصدر تكهّن أو تحذير بحدوث معين، فيجب أن تصل هذه المعلومات إلى المخططين وصنّاع القرار؛ من أجل تقليص تهديد الأرواح البشرية والممتلكات، وتعدّ الطريقة التي يصدر بها التحذير وعدد العلماء المتواصلين مع وكالات الأنباء والجماهير، ذات أهمية خاصة، إذ من الصعب تحديد زمن وقوع حدث معين من بين الأخطار المتعدّدة، ولكن يمكن تحديد احتمال الحدوث اعتماداً على سجل الأحداث السابق، فالأخطار المصاحبة للحدث هي محصّلة احتمال وقوع الحدث والعواقب التي ستحدث فعلاً.

يتضمّن أثر الكوارث في السكان تأثيرات مباشرة، مثل: القتل والإجلاء والأضرار، وكذلك تأثيرات غير مباشرة، مثل المآسي العاطفية والتبرّع بالمال والبضائع ودفن ضرائب من أجل التعافي منها، حيث يتضمّن التعافي مراحل عدة، تشمل أعمال الطوارئ، وترميم الخدمات والاتصالات والإنشاءات.

تعتمد الخيارات التي يختارها الأفراد والمؤسسات لتفادي الأخطار الطبيعية أو التكيف معها جزئياً على كيفية إدراك الأخطار، حيث يميل الناس إلى أن يكونوا أكثر وعياً بالأخطار كثيرة الحدوث، مثل الأعاصير الكثيرة في المحيط الأطلسي، التي تضرب شرق أمريكا الشمالية وساحل خليجها سنوياً. وتتراوح خيارات التكيف مع الأخطار من تخطيط استعمالات الأراضي، والتأمين، والإجلاء، والاستعداد للكوارث إلى السيطرة الاصطناعية على العمليات الطبيعية، ويختار الناس تحمّل الخسائر التي تحدثها الأخطار، ولا سيما التي تكون نادرة الحدوث في منطقة معينة، وللمحاولات الاصطناعية في السيطرة على العمليات الطبيعية نجاحات مختلطة، لكنه من غير المتوقع أن تصمد أمام الأحداث العنيفة. وبغض النظر عن المنحى الذي سوف نختاره، يجب رفع درجة تفهّمنا للأخطار، والقيام بعمل أفضل لتوقعها.

ما دام التعداد السكاني على المستوى العالمي في ازدياد، ونحن مستمرّون في تحويل البيئة بإجراء تغييرات، مثل التنمية المدنية وإزالة الغابات؛ فإنّ الكثير من الناس سيعيشون في أراضٍ هامشية، وفي مواقع أكثر خطورة. ونتيجة للضغط السكاني وتغيرات استعمالات الأراضي، فإنّ ما كان يعرف بالأخطار المحلية والكوارث قد تحوّل إلى نكبات، لذلك، فمن الضروري أن يكون التخطيط أفضل وعلى المستويات جميعها؛ من أجل تقليص الخسائر الناتجة عن الأخطار الطبيعية.

يتعيّن علينا في دراستنا للعمليات الطبيعية أن نرى الطبيعة بصفتها الديناميكية والمتغيّرة، فهذا الفهم يجعلنا لا ننظر إلى بيئتنا بوصفها ثابتة في زمن ما، وستكون معالم سطح الأرض أقل تنوعاً بمعزل عن الأخطار الطبيعية؛ قد تكون أكثر أمناً، لكنها أقل إثارة وأقل متعة جمالية. إنّ الحكم حول العمل المطلوب للسيطرة على الأخطار الطبيعية، أو كم سنسمح لها بالحدوث ما زال غير قائم، وعلى أيّ حال، يجب أن نتذكّر أنّ الاضطراب طبيعي، وأنّ تنظيم المصادر الطبيعية يقتضي التنظيم بوجود الاضطرابات، مثل: الحرائق والعواصف والفيضانات.

المبدأ الأساسي للجيولوجيا البيئية وجود دائم لعمليات أرضية خطيرة على الناس، إذ تصبح خطيرة عندما يعيش الناس قريباً من أماكنها، أو عندما يحورون أحد العوامل الطبيعية أو أحد معالم سطح الأرض لتصبح أكثر خطراً، حيث تشتمل الحوادث الطبيعية التي ما زالت تسبّب في وفيات وأضرار بالممتلكات على الفيضانات، والانزلاقات الأرضية، والهزّات الأرضية، والنشاط البركاني، والرياح، والتربة المتمدّدة، والجفاف، والحرائق، والحثّ الساحلي.

يتناسب تكرار الحدث الخطير عموماً عكسياً مع مقداره؛ فأثره في الناس يعتمد على تكراره ومقداره، وكذلك على العناصر المتنوّعة، مثل المناخ، والجيولوجيا، والغطاء النباتي، واستعمال الناس للأراضي، والجدير بالذكر أنّ الأحداث الطبيعية نفسها التي تسبّب في الكوارث قد تجلب بعض الفوائد، مثلما هو الحال في الفيضانات والثورات البركانية، التي توفر الموادّ الغذائية للتربة.

من الحوادث التي تؤدي إلى العدد الأكبر من الوفيات في الولايات المتّحدة الزوايا والعواصف الريحية والبرق والفيضانات والأعاصير، على الرغم من أنّ هزة أرضية واحدة قد تحدث خسائر قياسية. يضاف إلى ذلك أنّ الفيضانات والانزلاقات الأرضية والصقيع والتربة المتمدّدة تحدث الضرر الأكبر في الممتلكات، وأنّ أكثر الحوادث سبباً في الكوارث هي الفيضانات، والأعاصير، والزوايا، والهزّات الأرضية، والثورات البركانية، والحرائق. وعلى الرغم من أنّ تغيّرات استعمال الأراضي والعمران والزيادة السكانية في الولايات المتّحدة هي الأكثر جلباً للأخطار، إلا أنّ أنظمة التنبؤ والتحذير تساعد على تقليص عدد الوفيات الناجمة عن هذه العمليات الخطرة.

يمكن التكهّن أو التنبؤ بدقة ببعض الأحداث الكارثية، ومن ضمنها بعض فيضانات الأنهار أو وصول إعصار ساحلي أو سونامي، وقد تندر الأحداث

المراجع REFERENCES

1. Hoyois, P., Below, R., Scheuren, J.-M., and Guha-Sapir, D. 2007. *Annual Disaster Statistical Review: Numbers and Trends 2006*. Center for Research on the Epidemiology of Disasters (CRED). University of Louvain, Brussels, Belgium
2. Renner, M. and Chafe, Z. 2007. *Beyond Disasters*. Washington, DC: Worldwatch Institute.
3. Advisory Committee on the International Decade for Natural Hazard Reduction. 1989. *Reducing Disaster's Toll*. Washington, DC: National Academy Press.
4. White, G. F., and Haas, J.E. 1975. *Assessment of Research on Natural Hazards*. Cambridge, MA: MIT Press.
5. Peterson, D. W. 1986. Volcanoes—tectonic setting and impact on society. *Studies in geophysics: Active tectonics*. Washington, DC: National Academy Press. 231–46.
6. Crowe, B. W. 1986. Volcanic hazard assessment for disposal of high-level radioactive waste. *Studies in Geophysics: Active Tectonics*. Washington, DC: National Academy Press. 247–60.

7. Kates, R. W., and Pijawka, D. 1977. Reconstruction following disaster. *From Rubble to Monument: The Pace of Reconstruction*. J. E. Haas, R. W. Kates, and M. J. Bowden, eds. Cambridge, MA: MIT Press.
8. Costa, J. E., and Baker, V. R. 1981. *Surficial Geology: Building with the Earth*. New York: John Wiley.
9. Magnuson, E. 1985. A noise like thunder. *Time* 126(13): 35–43.
10. Abramovitz, J. N. 2001. Averting unnatural disasters. L. R. Brown, et al. *State of the World 2001*. Worldwatch Institute. New York: W. W. Norton. 123–42.
11. Guha-Sapir, D., Hargitt, D. and Hoyois, P. 2004. *Thirty Years of Natural Disasters 1974–2003: The Numbers*. Center for Research on the Epidemiology of Disasters (CRED). University of Lonvain, Brussels, Belgium.
12. Russell, G. 1985. Colombia's mortal agony. *Time* 126(21): 46–52.
13. Herd, D. G. 1986. The 1985 Ruiz Volcano disaster. *EOS, Transactions of the American Geophysical Union*. May 13. 457–60.
14. IAVCEE Subcommittee on Decade Volcanoes. 1994. Research on decade volcanoes aimed at disaster prevention. *EOS, Transactions of the American Geophysical Union* 75(30): 340. 350.

المصطلحات المفتاحية KEY TERMS

- كارثة طبيعية، (Natural Disaster)، (ص 116)
 أحداث سابقة، (Precursor Events)، (ص 125)
 تنبؤ، (Prediction)، (ص 124)
 خطر، (Risk)، (ص 126)
 تحذير، (Warning)، (ص 125)
- نكبة، (Catastrophe)، (ص 120)
 استعداد للكارثة، (Disaster preparedness)، (ص 129)
 قياس الصدع، (Fault gouge)، (ص 118)
 تكهن، (Forecast)، (ص 124)
 تخطيط استعمالات الأراضي، (Land use Planning)، (ص 119)
 مفهوم المقدار والتكرار، (Magnitude Frequency Concept)، (ص 119)

بعض الأسئلة للتفكير SOME QUESTIONS TO THINK ABOUT

1. اذكر العمليات الطبيعية جميعها والخطيرة على الناس والممتلكات في المنطقة التي تعيش فيها. ما التكيّفات التي قمت بها أنت والسكان، من أجل تقليص آثار تلك الأخطار؟ هل يمكن عمل أكثر من ذلك؟ اذكره. أيّ البدائل مفضّلة بيئياً؟
2. افترض أننا سنتمكن في المستقبل من التنبؤ باحتمالية زمان حدوث هرّة أرضية مدمّرة ومكانها. فإذا كان احتمال حدوث الهرّة الأرضية في تاريخ معين ضعيفاً، ولنقل: إنه بنسبة (10%)، فهل يجب علينا أن نعلن هذا التكهن للناس؟ أم، هل علينا أن ننتظر إلى أن تصبح النسبة (إلى 50%) أو حتى (90%)؟ هل لطول الفترة الزمنية بين التكهن ووقوع الحدث أهمية بالنسبة إلى إجاباتك؟
3. مثل مع أحد أصدقائك دور العالم ودور مراسل إخباري. افترض أن المراسل الإخباري يجري مقابلة مع العالم حول طبيعة العمليات الخطيرة وامتدادها في مدينتك. وبعد المقابلة، دوّن باختصار شديد بعض أفكارك حول الطرق التي يتواصل بها العالم مع رجال الصحافة. هل يوجد تعارض؟
4. ضع خطة لمجتمعك لتقييم أخطار الفيضان. كيف يمكنك أن تحدّد الأخطار المقبولة؟
5. هل توافق على أن تغيّر استعمال الأراضي والزيادة السكانية تزيد من أخطار العمليّات الطبيعية؟ كوّن فرضية، وابحث كيف يمكن اختبارها؟

الأنهار والفيضانات Rivers and Flooding



إنقاذ رجل بعد أن انجرفت سيارته في نهر فائض قرب جاكسون، ميزوري في 18/3/2008م

(Aaron Eisenbauer The southeast Missourian/ Associated press).

2009م مرة أخرى مسجلاً جرياناً عالياً، وعمل الناس حينها على مدار الساعة لتقوية الدفاعات الأرضية، المتضمنة جدراناً عالية مكونة من ملايين الأكياس الرملية، وأجلى الآلاف من سكان السهول الفيضية في «فارغو» شمالي «داكوتا» وعبر النهر في «مورهد» بـ «مينيزوتا»، وألقيت مئات الأكياس الرملية الضخمة، التي يحمل الواحد منها طنّاً من الرمل من الطائرات المروحية في أماكن انهيارات الأعمدة، لقد ساعد هذا العمل العظيم في أثناء الفيضان، إلا أنّ هناك حاجة إلى إعادة التفكير في فلسفة التكيف مع أخطار الفيضان في الولايات المتحدة، ومع استمرار النمو السكاني، نحتاج إلى خفض أخطاره بطرق لا تحتاج إلى استجابة جامدة بل فعّالة، ونحتاج إلى التخطيط لخفض أخطاره المستقبلية بطرق لا تتطلب إخلاءً كلياً من مناطق الفيضان، وأنما تتفادى الأخطار من خلال استعمالات الأراضي.

تغطي المياه قرابة (70%) من سطح الأرض، وهي ضرورية للحياة على هذا الكوكب، على الرغم من أنها تتسبب في أخطار على حياة الإنسان وممتلكاته أحياناً، مثل الفيضان. انظر الشكل (1-6) الذي يبيّن أثر الفيضانات على مستوى العالم. ولاحظ أنّ لآسيا العدد الأكبر في أعداد القتلى والمتضررين إضافة إلى الخسائر الاقتصادية، وهذا يعكس الكثافة السكانية حول الأنهار المرتبطة بالفقر، والمناخ شديد الهطل⁽¹⁾. إن الفيضانات هي الأكثر شيوعاً في الولايات المتحدة، وهي الأخطار الطبيعية الأكثر تكلفة، حيث تتوارد الأخبار عنها كل عام، وقد أدى فيضان المياه إلى مقتل أكثر من عشرة آلاف إنسان في الولايات المتحدة منذ عام 1900م، وخسائر مادية تقدر بأكثر من خمسة بلايين دولار سنوياً.

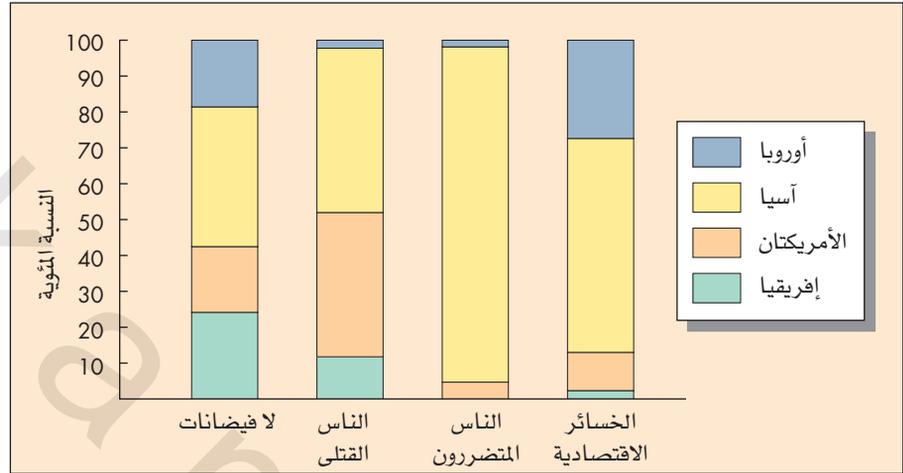
فقد فاض النهر الأحمر في شمال «داكوتا» و «مينيزوتا» في أوائل ربيع عام

الأهداف التعليمية LEARNING OBJECTIVES

- الفيزان عامل طبيعي يبقى دائماً خطراً رئيساً، إذ الناس اختاروا العيش والعمل في مسطحات المناطق الفيضية، وسنركز في هذا الفصل على الأهداف التعليمية الآتية:
- فهم العمليات النهرية الأساسية.
- فهم طبيعة أخطار الفيضان ومداها.
- فهم تأثير العمران على الفيضان في أحواض الصرف الصغيرة.
- معرفة عناصر التكيف الرئيسية مع الفيضان، وأيّها الأفضل بيئياً؟
- معرفة الآثار البيئية الممكنة التي تؤثر سلباً في حفر القنوات، وفوائد ترميم القنوات.

الشكل (6-1): نظرة عالمية على أخطار

الفيضانات. لاحظ أنّ آسيا هي الأكثر تأثراً بالفيضانات. تستند إلى بيانات من 1997م-2006م. مركز أبحاث أوبئة الكوارث (CRED) جامعة لوفين، بروكسل، بلجيكا.



2-6 الأنهار والجداول

STREAMS AND RIVERS

تعدّ السيول والأنهار جزءاً من المياه أو الدورة الهيدرولوجية (الدورة المائية)، ويمثل علم الهيدرولوجيا (hydrology) دراسة لهذه الدورة، وتتضمن الدورة الهيدرولوجية نقل مياه سطح الأرض التي أهمها المحيطات بفعل التبخر إلى الغلاف الجوي، ثم نقلها مرة أخرى من اليابسة إلى المحيطات بطرق الجريان السطحية وتحت السطحية، فبعض المياه الساقطة على اليابسة (الأمطار والتلوج) ترشح خلال التربة والصخور، فيتبخر بعضها، ويصرف الآخر أو يسيل تبعاً لمجارٍ تحددها تضاريس المنطقة، ليجد الجريان طريقه إلى السيول، التي قد تندمج معاً مكونة رافداً أكبر أو نهراً، فالسيول أنهار صغيرة، تختلف عن الأنهار في الحجم فقط، إضافة إلى أنّ الجيولوجيين يستخدمون مصطلح سيل لكل جسم مائي يجري في قناة، وتُعرف المنطقة التي يتم التصريف فيها عن طريق نهر واحد أو نظام نهري بحوض الصرف أو مسقط مياه، (الشكل 6-1أ).

إن منحدر النهر هو المسقط الرأسى للقناة نحو مسافة أفقية، وبوجه عام، يكون المنحدر شديداً في المرتفعات العليا من حوض الصرف، ويتناقص تدريجياً حين يصل السيل إلى مستوى القاعدة، وهو -نظرياً- أخفض مستوى يمكن للنهر أن ينحته، وغالباً ما يكون مساوياً لمستوى سطح البحر، على الرغم من أنه قد يكون للنهر مستوى قاعدة مؤقتة (البحيرة مثلاً)، وتساب الأنهار من التلال نحو مستوى القاعدة، إذ يسمّى منحني ارتفاع النهر الممتد مسافة نحو مصبّ النهر المقطع الطولي (الشكل 6-1ب)، ويتميّز النهر بضاف

1-6 الأنهار: الاستخدام التاريخي

RIVERS: HISTORICAL USE

عاش الأمريكيون، وعملوا في السهول الفيضية أكثر من (200) سنة؛ تجذبهم تربة الطمي (الرواسب النهرية) الغنية الناتجة عن توضع الأنهار، ووفرة المياه، وسهولة التخلص من النفايات، وازدهار التجارة التي تطوّرت على امتداد الأنهار، وبالطبع، فإنّ بناء البيوت وإنشاء الصناعات، والمباني الحكومية والمزارع على السهول الفيضية جعل من المنطقة مدعاة للكوارث، ورفض الكثير من سكان السهول الفيضية الاعتراف بأنّ طريق الفيضان الطبيعي للنهر هو جزء من النظام النهري الطبيعي، فالسهل الفيضي (floodplain) هو السطح المنبسط المحاذي لقناة النهر التي تغمر بمياه الفيضان بصورة دورية، وهي التي تنتج أساساً بسبب عمليات الفيضان (الأشكال 6-2 و 6-3)، فإذا لم تُمَيِّز العلاقة بين السهل الفيضي والنهر، فإنّ السيطرة على الفيضان وعلى صرف المناطق الرطبة والسهول الفيضية سيكون مصدر قلق بالغ. إنه ليس من باب المبالغة في التبسيط أن نقول: إنّ انتقال الرواد نحو الغرب جعلهم يضعون خطة لتحويل الأرض: تجريد الأرض بفعل قطع الأشجار وحرقها؛ ثم تحويل الصرف الطبيعي، ومنذ ذلك التاريخ برز اتجاهان: برنامج متسارع للسيطرة على الفيضان واجهه نمو أكبر لدمار الفيضانات. سنعهد الفيضان في هذا الفصل مظهرًا طبيعيًا من العمليات النهرية، وسنختبر نجاح الطرق التقليدية وفضلها في السيطرة على الفيضان، وسوف نبحت محاولات ترميم الأنهار التي تعمل إلى جانب العمليات النهرية الطبيعية، وليس عكسها.

الشكل (2-6): السهل الفيضي (أ) شكل يبيّن موقع السهل الفيضي للنهر. (ب) السهل الفيضي لنهر «ريوجرانند» في «كلورادو» (Edward A. Keller).



(أ)



(ب)



(ب)



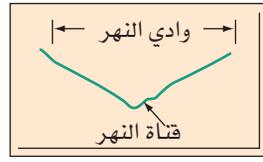
(أ)

الشكل (3-6): سهل فيضي مغمور بسبب ذوبان الثلوج في «جايلور كريك»، متنزه يوسيميث ناشيونال، في أثناء ذوبان الثلوج في فصل الربيع. (أ) تكون المياه في القناة صباحاً. (ب) وفي المساء وفي أثناء أوج ذوبان الثلوج تغمر المياه السهل الفيضي. (Edward A. Keller)

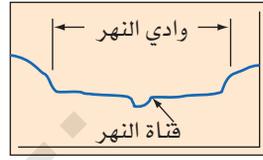
شدة انحدار النهر في المناطق المرتفعة إلى نحت أكثر عمقاً في الوادي؛ بسبب سرعة جريان النهر الناتجة عن شدة انحدار القناة.

منحدرة ووادي عميق في المناطق المرتفعة قرب المنبع مقارنة بتلك القريبة من مستوى القاعدة، حيث يوجد سهل فيضي واسع (الشكل 4-6 ج، د)، وتؤدي

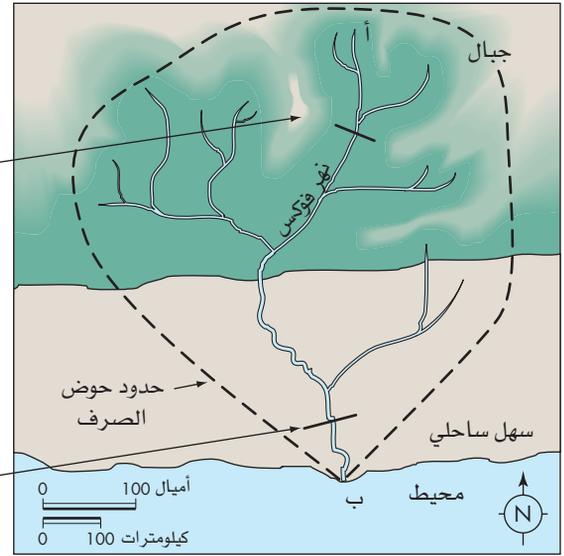
الشكل (6-4): شكل مثالي
لحوض الصرف ومقطع النهر، يبيّن
(أ) حوض الصرف، (ب) مقطع طولي
لنهر فوكس، (ج) مقطع عرضي لوادي
النهر قرب المنبع، (د) مقطع عرضي
لواذي النهر قرب مستوى القاعدة.



عرض النهر
(ج) مقطع عرضي لواذي النهر
قرب المنبع



عرض النهر
(د) مقطع عرضي لواذي النهر
قرب مستوى القاعدة



(أ) خريطة (منظر سطحي)



(ب) مقطع طولي
← المسافة (في اتجاه المصبّ)

4-6 سرعة النهر، والتفريغ، والحث والترسيب

RIVER VELOCITY, DISCHARGE, EROSION, AND SEDIMENT DEPOSITION

تعدّ الأنهار نظام النقل الأساسي في دورة الصخور التي تشتمل على حثّ الرسوبيّات وتوضّعها، وهي العامل الأساسي لحثّ سطح الأرض، وتتفاوت سرعة المياه فيها، ما يؤثر في حثّ الرواسب وتوضّعها.

التفريغ (**Discharge-Q**): كمّية المياه التي تمرّ بمكان محدّد في النهر لكلّ وحدة زمنية، وتسجل بالأمتار المكعبة في الثانية (m^3/s)، أو بالقدم المكعب في الثانية (ft^3/s)، حيث يحسب التفريغ كالتالي:

$$Q = W \times D \times V$$

حيث تعني (**Q**) التفريغ (أمتار مكعبة في الثانية)، و (**W**) عرض الجريان بالأمتار، و (**D**) عمق الجريان بالأمتار، و (**V**) متوسط سرعة الجريان (أمتار بالثانية)، وتعريف المعادلة $Q = W \times D \times V$ بمعادلة الاستمرارية (**Continuity equation**)، وهي من أهمّ العلاقات في فهم جريان المياه في الأنهار، ومن المتوقع أن يكون التفريغ ثابتاً، إن لم تكن زيادة في الجريان

3-6 رواسب الأنهار Sediment In Rivers

تُعرف الكميّة الكليّة للرواسب التي ينقلها النهر بالحمولة الكليّة (**total load**)، وتشمل حمولة القاع، والحمولة العالقة، والحمولة الذائبة، حيث تتنقل حمولة القاع بارتداد الحبّات ودحرجتها وقفزها على مجرى القناة، وتشكّل أقلّ نسبة من الحمولة العالقة والرمل، إذ لا تتجاوز (10%) من الحمولة الكليّة، أمّا الحمولة العالقة فتتكوّن من الغرين والطين، وتشكّل أكثر من (90%) من حمولة النهر الكليّة، وتُحمل في مياه النهر غير الملامسة لقاع القناة، وهي التي تجعل النهر يبدو طينياً، بينما الحمولة الذائبة فهي الناتجة عن التجوية الكيميائية للصخور في حوض الصّرف، وتحمل على هيئة محاليل كيميائية، وتتسبّب في ملوحة مياه النهر، إذا احتوت على كمّيات عالية من الصوديوم والكلور، أو جعلت مياه النهر عسرة (**hard**)، إذا احتوت على تراكيز عالية من الكالسيوم والماغنسيوم، أمّا أكثر مكوناتها شيوعاً فهي: أيونات البيكربونات (HCO_3^-)، وأيونات الكبريتات (SO_4^{2-})، وأيونات الكالسيوم (Ca^{2+})، وأيونات الصوديوم (Na^+)، وأيونات الماغنسيوم (Mg^+)، (الأيون هو ذرّة أو جزيء ذو شحنة موجبة أو سالبة ناتجة عن ربح إلكترونات أو خسارتها) (انظر الملحق أ)، ومن المعلوم أن الأيونات الخمسة سابقة الذكر تشكّل أكثر من (90%) من حمولة النهر الذائبة، تجدر الإشارة إلى أنّ الحمولة العالقة وحمولة القاع النهرية حين تترسب في مناطق غير مرغوبة تتسبّب في تلوث التربة بالرسوبيّات، التي سبق الحديث عنها في الفصل الثالث.

الشكل (6-5): مروحة طمية محاذية لأسفل الجبال السوداء، وادي الموت. لاحظ الطريقة التي تمرّ في قاعدة المروحة، المواد البيضاء هي ترسبات ملحية في الوادي (Michael Collier).



أنّ الموقف يقع فوق دلتا، حين رسموا الخرائط التي تبين إمكانية خطر الفيضان عليه، تؤكد هذه القصة أهمية دراسة تاريخ فيضان النهر بوصفه جزءاً أساسياً لتقييم خطورة الفيضان، (انظر بتمعن إلى تاريخ النهر). والسبب هو أنّ عمليات الحتّ والتوضّع التي تحدث في منطقة محدّدة من مجرى النهر أو على المراوح الطميّة أو الدلتا معقّدة، ولكن يمكن ربطها بصفات النهر الفيزيائية:

- التغيّر في عرض القناة وعمقها وانحدارها.
- مكّونات مجرى النهر وخصائصه (صخر، حصى، رمل، غرين أو طين).
- نوع الغطاء النباتي وكميّته.
- استخدامات الأراضي، مثل: إزالة الغابات من أجل الزراعة (ستبحث في الجزأين الخامس والسادس).

فعلى سبيل المثال: يحدث التوضّع على المراوح الطميّة جزئياً بسبب تغيّر صورة قناة الرافد النهري وانحدارها، إذ تزداد عرضاً، وتقلّ عمقاً عندما يتناقص الانحدار، فتتخفّض سرعة الجريان، ما يؤدي إلى التوضّع. وبوجه عام، كلّما زادت سرعة جريان النهر، زادت أحجام حبّات حمولة القاع المنقولة، وكمية الحمولة العالقة المكوّنة من حبّات بحجم الغرين والطين. (العلاقات الخاصة بين سرعة الجريان والصّرف ونقل الرواسب خارج نطاق موضوعنا هذا).

تُدعى أكبر الحبّات التي ينقلها النهر (يقاس الحجم هنا بالمليمترات والسنتيمترات) بقوة النهر (*competency*)، أمّا كمية الحمولة الكلية لحجم الرواسب التي يحملها النهر في فترة زمنية محدّدة أو وزنها، فتسمّى قدرة النهر (*capacity*).

أو نقصان على مدى مسافة محدّدة من النهر، وعليه، فإنّ نقصان المقطع العرضي للنهر يؤدي إلى زيادة سرعة المياه، ويمكنك أن تجرّب ذلك على خرطوم مياه الحديقة، افتح الصنوبر، ولاحظ سرعة المياه عند خروجها من الخرطوم، ثم ضع إبهامك على طرف الخرطوم لتغلق جزئياً، وتضيّق منطقة خروج المياه ستلاحظ زيادة سرعة المياه، توضّح هذه التجربة، كيف تزداد سرعة جريان المياه حين تكون قناة النهر ضيقة، كما هو الحال في الأودية العميقة (*canyon*)، وبوجه عام، فإنّ النهر سريع الجريان أكثر قدرة على حتّ ضفافه من النهر بطيء الجريان.

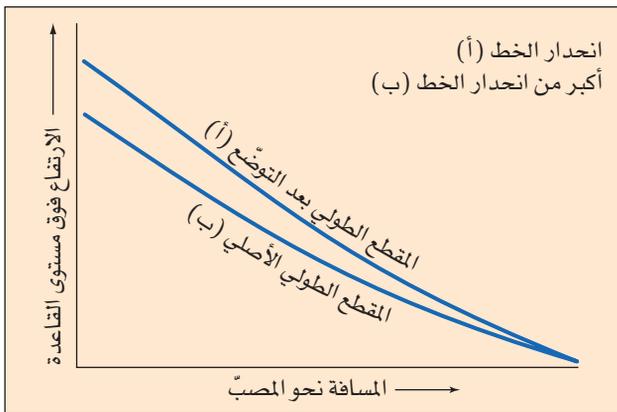
يؤدي جريان السيول من الجبال نحو المناطق السهلية إلى تكوين توضّعات على شكل مروحة تعرف بالمراوح الطميّة (*alluvial fans*)، (الشكل 5-6)، ويؤدي جريان الأنهار نحو المحيطات أو غيرها من الأجسام المائية الثابتة إلى توضّع الرسوبيّات على شكل دلتا، وهي قطعة أرضية تمتد إلى البحر أو البحيرة (الشكل 6-6).

تختلف أخطار الفيضان المصاحبة للمراوح الطميّة والدلتا عن أخطار وادي النهر وبيئة السهل الفيضي؛ لأنّ النهر يتفرع حين يدخل بيئة المروحة الطميّة أو الدلتا مشكلاً بذلك قنوات متفرّعة، أي إنّ النهر لم يعد مكّوناً من قناة رئيسية، وإنّما من قنوات عدّة، تحمل مياه الفيضان إلى أجزاء مختلفة من المروحة أو الدلتا، إضافة إلى ذلك، فإنّ هذه القنوات تتميز بالقدرة على تغيير أماكنها بسرعة في أثناء الفيضانات، محدثة أخطاراً يصعب التكهّن بها⁽²⁾، على سبيل المثال: تعرّض موقف كبير للسيارات على دلتا نهر فنّتورا في جنوب كاليفورنيا للفيضان أربع مرات في التسعينيات، إذ أنشئ الموقف على أحد روافد نهر فنّتورا النشطة تاريخياً، ولم يعلم المهندسون



الشكل (6-6): دلتا نهر المسيسيبي. يظهر الغطاء النباتي في هذه الصورة ذات الألوان الخادعة بلون أحمر، وتظهر المياه المحملة بالرواسب باللون الأبيض أو الأزرق الفاتح، أما المياه العميقة المحملة بنسبة قليلة من الرواسب العالقة فتبدو باللون الأزرق الداكن. وتظهر مجموعة قنوات روافد الدلتا على يمين الصورة أشبه بقدم الطائر، وفي الحقيقة، فإن دلتا نهر المسيسيبي تُعدّ مثالاً على «دلتا قدم الطائر». وتحمل قنوات الروافد الرواسب إلى خليج المكسيك، ونظرًا لضعف حركة الأمواج في الخليج، فإنّ النهر يؤدي إلى إنشاء نظام الدلتا. ويبلغ عرض الصورة قرابة (180 km). وبعض الأنهار الأخرى تصب في بيئة ساحلية غير نشطة. وتكون مثل هذه الدلتا على هيئة ساحل مستقيم بخلاف شكل رجل الطائر، وتُعدّ ذات نشأة موجية. وهناك دلتا من نوع يقع بين الدلتا الناتجة عن سيطرة النهر والأخرى الناتجة عن سيطرة الأمواج، كدلتا نهر النيل التي تتميز بصورة مثلث جميل، مع خط شاطئ محدّب بارز في البحر الأبيض المتوسط. (صورة أقمار صناعية مأخوذة عن طريق المسح الجيولوجي الأمريكي).

مستوى القاعدة، فسيزداد الانحدار وتزداد السرعة أيضًا؛ بسبب التوضّع في المجرى، إلى أن تصبح سرعة المياه كافية لنقل الحمولة الجديدة، يوضّع (الشكل 6-7) هذا المبدأ.



الشكل (6-7): أثر التوضّع في انحدار النهر. يبيّن الشكل أنّ زيادة التوضّع في مجرى النهر تؤدي إلى زيادة انحدار قناة النهر.

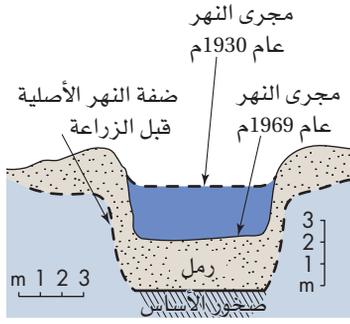
5-6 تأثير تغيّرات استعمال الأراضي

EFFECTS OF LAND USE CHANGES

تُعدّ السيول والأنهار أنظمة مفتوحة تتميز بتوازن ديناميكي بين عملها المتمثّل في نقل الرواسب والحمولة الناتجة، أو الرواسب التي تنقلها الروافد وسطوح المنحدرات إلى النهر، إذ تحتاج الأنهار إلى انحدار ومقطع عرضي، حتى تتوفّر سرعة الجريان المطلوبة لنقل حمولة الرواسب⁽⁵⁾، أضف إلى ذلك أنّ أيّ زيادة أو نقصان في كمية المياه أو الرواسب التي تصل النهر تؤدي إلى تغيّرات في انحدار القناة أو في صورة المقطع العرضي للنهر، ما يؤثر في تغيير سرعة المياه، التي تؤثر بدورها في كمية الرواسب التي يحملها النهر، وقد تُحدث تغيّرات استعمال الأراضي هذه سلسلة من الأحداث، تؤدي إلى توازن ديناميكي جديد.

فعلى سبيل المثال: تغيّر استعمال الأراضي من غابة إلى منطقة زراعة المحاصيل، يتسبّب في زيادة حثّ التربة وحجم الرواسب التي سيجملها النهر؛ لأنّ تربة المناطق الزراعية أكثر تأثراً بعمليات الحثّ من أراضي الغابات، حيث يصبح النهر غير قادر على حمل حمولته جميعها، ما يؤدي إلى توضّع الرسوبيات، فيزداد بذلك انحدار مجرى النهر، وعليه، تزداد سرعة المياه في أثناء الجريان، ما يسمح للنهر بفعل المزيد من الرواسب، وإذا ثبت

وبهذه الزيادة في مستوى الرواسب وانحدار مجرى النهر، فقد يصل النهر إلى حالة التوازن الديناميكي، وقد يعدّل صورته قبل حدوث تغيير آخر في استعمالات الأراضي.



الشكل (6-8): تغيير مجرى النهر تبعاً لتغيير استعمالات الأراضي. يحدث تسارع الترسيب، وما يتبعه من حث؛ بسبب تغيير استعمالات الأراضي (تحوّل غابة أصلية إلى زراعة، ثم إلى غابة مرة أخرى). في منطقة «مولدن ميلسايت» على أقدم الجبال في وسط جورجيا (بعد «تريمبل» 1969م، تسارع الترسيب في أواسط جورجيا. رسالة ماجستير، أثينا، جامعة جورجينا. أعيد إنتاجها بإذن).

افتراض أنّ حالة عكسية حدثت، أي أن تتحوّل مزرعة إلى غابة، في هذه الحالة، ستقلّ حمولة الرواسب القادمة إلى النهر من اليابسة، وبذلك تقلّ كمية الرواسب المتوضّعة في مجراه، وحتّى المجرى سيؤدّي إلى خفض الانحدار، وعليه، تنخفض سرعة جريان المياه، وسيبقى الحثّ مسيطراً على التوضّع إلى أن يحدث توازن في الحمولة الكلية الناتجة والعمل النهري، سلسلة التغيّرات التي تم وصفها آنفاً حدثت في أجزاء من جنوب شرق الولايات المتّحدة، ففي القرن الثامن عشر حوّلت الغابات الواقعة بين السهل الساحلي وأقدام جبال الأبالاش إلى أراضٍ زراعية، وذلك أدّى إلى تسارع حثّ التربة والتوضّع اللاحق للرواسب في النهر (الشكل 6-8)، ما تسبّب في ملء المجرى السابق للزراعة بالرواسب (الشكل 6-8)، وبعودة الأرض إلى غابة من الصنوبر بعد عام 1930م مع المحافظة على التربة، فقد حدّت من كمية الرواسب الواردة إلى الأنهار، وعادت الأنهار الطينية السابقة التي كانت مسدودة بالرواسب لتحتّ المجرى من جديد عام 1969م (الشكل 6-8).

نظرة متفصّلة A CLOSER LOOK

قصة نهر History of a River

من الواضح أنّ السلوك التاريخي للنهر لم يُقيّم من حيث خطر الفيضان، فلو حدثت مثل هذه الدراسة لعدّ الموقع غير مقبول للتطوير بإعلان أنّ قناة الرافد نشطة تاريخياً، وعلى الرغم من ذلك، فقد أصدرت التصاريح اللازمة لإنشاء المتنزّه ذلك، وأعيد بناء المتنزّه بعد الفيضان، لقد حمل النهر مياه الصرف قبل عام 1992م في الأعوام (1969م، و1978م، و1982م)، وبعد حادث الفيضان عام 1992م حمل النهر مياه الفيضان في شتاء الأعوام (1993م، و1995م، و1998م) ليفيض النهر من جديد على الموقف، وقد زادت كمية الصرف في أثناء فيضان عام 1992م من 25 m^3 في الثانية إلى $1,322 \text{ m}^3$ في الثانية في أثناء أربع ساعات فقط، وهذا يعادل ضعف الصرف العالي اليومي لنهر كلورادو في الخانق العظيم (Grand Canyon) في أثناء الصيف عندما يكون في أوجه. وهذا صرف لا يصدق لنهر يُعدّ صغيراً نسبياً، وذو حوض صرف مساحته (585 km^2) (226 mi^2) ، لقد حدث الفيضان نهائياً وقتل شخص واحد، فلو حدث الفيضان في أثناء الليل لسجّل عدد كبير من القتلى، لقد كانت إمكانية تدمير الموقف واضحة في العامين (1995م و1998م)، حين تدفقت مياه الفيضان الشتوية إليه، فعلى الرغم من أنّ نظام الإنذار المطور في المتنزّه كان فعّالاً، وتمّت عملية الإخلاء بنجاح، إلا أنّ المنشآت دُمّرت بشدة.

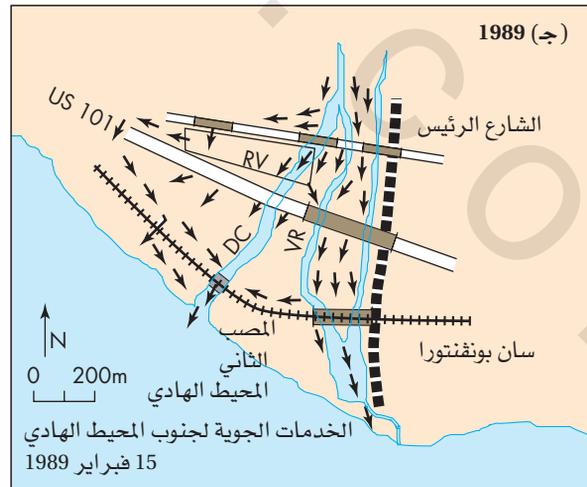
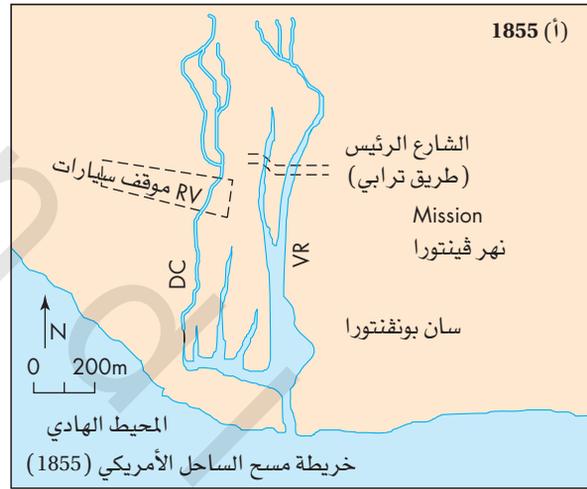
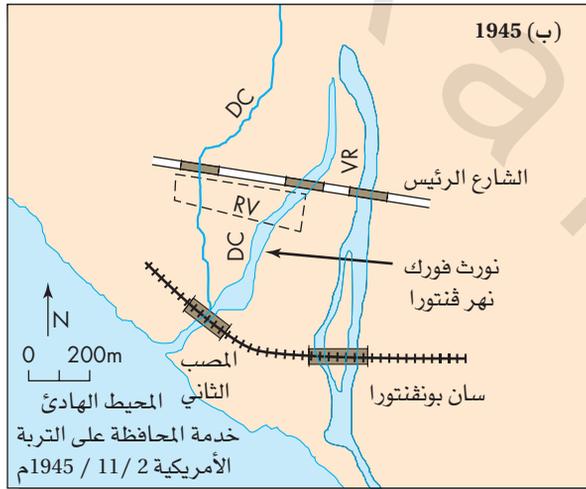
قال الفيلسوف جورج سانتيانا عام 1905م: «إنّ الذين لا يتذكرون الماضي مضطرونّ لإعادته وتكراره». والحوار بين الدارسين حول السؤال المرتبط بالعمر القديم، فيما إذا كانت الدورات في تاريخ البشرية تكرر نفسها، لكن التكرار الطبيعي للأخطار الطبيعية (الفيضانات مثلاً) لا جدال حولها. فالفهم الأفضل لسلوك نهر على مدى التاريخ، يُعدّ ثميناً في تقدير أخطار فيضانه في الحاضر والمستقبل، تذكّر فيضان نهر فينتورا عام 1992م في جنوب كاليفورنيا، فقد دمر الفيضان بشدّة شاطئ الاستجمام في فينتورا، الذي أقيم قبل ذلك ببضع سنوات على أحد روافد دلتا فينتورا النهرية. وعلى الرغم من أنّ فترة تكرار الحدث بلغت (22) عاماً تقريباً (الشكل 6 أ)، إلا أنّ الدراسات الهندسية السابقة بيّنت أنّ الموقع المذكور لن يُغمر بمياه الفيضان، معتقدين فترة التكرار قرابة (100) عام. أين الخطأ⁽⁴⁾؟

- لم يعلم المخططون أنّ هذا الموقع أقيم على أحد الروافد النشطة لدلتا نهر فينتورا، وحتى التقارير السابقة لم تُشر إلى الدلتا مطلقاً.
- النماذج الهندسية التي تتبأت بالفيضان، لم تكن دقيقة في تقييم قنوات دلتا النهر الغنية بعمليات الحفر والملء؛ إضافة إلى الحركة الجانبية التي تحدث في مجرى النهر.
- لم تُقيّم الوثائق التاريخية، مثل الخرائط التي تعود إلى عام 1855م، والصور الجوية الأكثر حداثة منها، التي أظهرت القنوات النهرية. بيّن الشكل (6 ب) أنّ الخرائط الناتجة عن تلك الوثائق بيّنت أنّ قناة الرافد وجدت عام 1855م⁽⁴⁾.

الشكل (6أ): فيضان شاطئ فينتورا

في كاليفورنيا في فبراير 1992م. أُقيم موقف فينتورا على مجرى رافد معروف تاريخيًا بنشاطه على دلتا نهر فينتورا. قدّرت فترة تكرار الفيضان بـ (22) عامًا تقريبًا، وقد حدث فيضان مشابه عام 1995م. لاحظ أنّ الطريق الأمريكي السريع (101) الممتد على ساحل المحيط الهادي قد أُغلق تمامًا بسبب الفيضان.

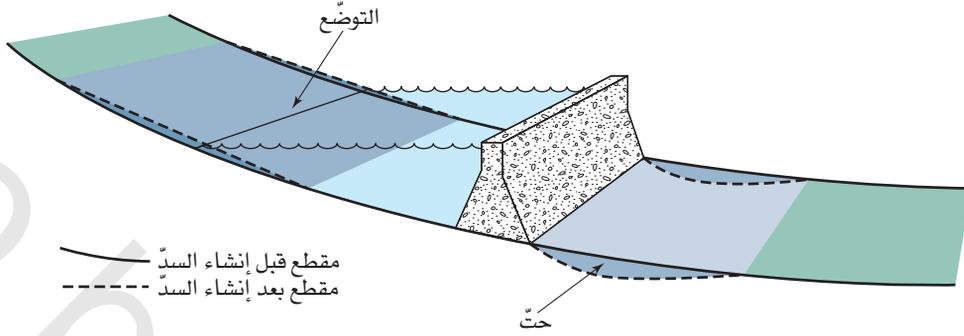
(Mark J. Terrell/AP/Wide World Photos)



الشكل (6 ب): خرائط تاريخية لدلتا نهر فينتورا، تبين قناة الرافد وموقع المتنزه.

From Keller, E. A., and Capelli, M. H., 1992, Ventura River flood of February, 1992: a lesson ignored? Water Resources Bulletin 28(5): 813-31

الشكل (6-9): أثر السد في الحث،
يتسبب بناء سد وخزان في توضع الرواسب
نحو المنبع، وحث نحو المصب.



تنقسم حولها قنوات المياه وتتفرع، ويتكوّن نمط النهر المجدول مثل غيره من أنماط الأنهار من تفاعل المياه الجارية والرواسب المتحركة، فإذا كان مقطع النهر الطولي منحدرًا والرواسب الخشنة من حمولة القاع وفيرة، فإن نمط النهر المجدول هو الذي يتكوّن. أضف إلى ذلك أنّ الأنهار المجدولة عريضة وضعلة مقارنة بالأنهار المتعرجة، وتتوافر عادة في مجاري الأنهار شديدة الانحدار، التي ترتفع بسرعة بسبب العمليات التكتونية، إضافة إلى أنّها شائعة في المناطق التي تستقبل المياه من الجليديات المنصهرة، التي تزودها بكمية كبيرة من الرواسب الخشنة.

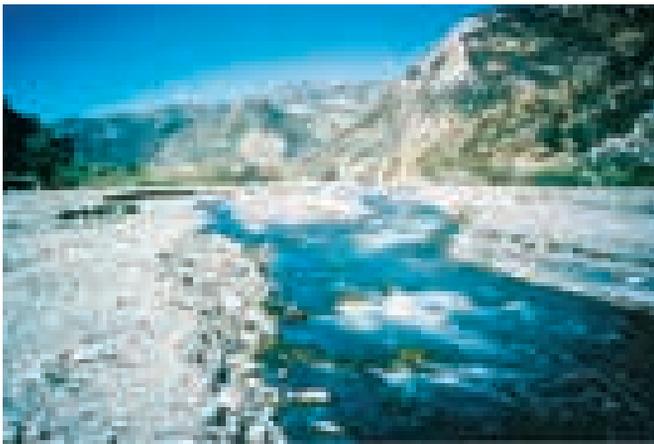
تحتوي بعض الأنهار على تعرجات، وهي منعطفات لمجرى النهر تنتقل إلى الأمام والخلف على امتداد السهل الفيضي (الشكل 6-11)، وعلى الرغم من معرفتنا بماهية المنعطفات، وكيف تعمل بها المياه والرواسب، إلا أننا لا نعلم بالتأكيد لماذا تتعرج الأنهار، تنتقل المياه على الجانب الخارجي للثنية، التي تسمى أحياناً الضفة المقطوعة (*cut bank*)، بسرعة أكبر في حالة الجريان العالية محدثة مزيداً من حث الضفة، أما على الجانب الداخلي من الثنية، فتنحرك المياه ببطء، وتتوضع الرواسب مكونة الحاجز المركزي (*point bar*)، وباستمرار هذا التمايز في الحث والتوضع، نجد أنّ المنعطفات تنتقل جانبياً بالحث على الضفة المقطوعة والترسيب على الحاجز المركزي، وهي العملية البارزة في إنشاء بعض السهول الفيضية وحفظها يتسبب في توضع الرواسب على ضفاف النهر أو أبعد من ذلك في أثناء الفيضان في تراكم الرواسب الناعمة، مثل الرمل والغرين التي تسهم في بناء السهل الفيضي،

تخيل أثر إنشاء سد على نهر، ستحدث تغييرات كبيرة في اتجاه المنبع وفي اتجاه المصب خلف الخزان، حيث ستقل سرعة المياه على طرف خزان السد من جهة المنبع، ما يؤدي إلى توضع الرواسب، أما نحو المصب، فإن المياه المتدفقة أسفل السد ستكون محملة بالقليل من الرواسب بعد ترسب معظمها في الخزان، ونتيجة لذلك، فإن النهر قادر على نقل المزيد من الرسوبيات، وإذا حدث هذا، فستكون عملية حث مجرى النهر أكثر من عملية التوضع في اتجاه المصب أسفل النهر، وفي هذه الحالة، سيقبل انحدار النهر حتى يصل إلى حالة التوازن الجديدة (الشكل 6-9). (سنعود إلى موضع السدود على الأنهار في الفصل الثاني عشر).

6-6 نمط القناة وتكوين السهل الفيضي

CHANNEL PATTERNS AND FLOODPLAIN FORMATION

صورة المجرى النهري الذي يظهر في المنظر السطحي تُسمى نمط النهر (*channel pattern*)، وأنماط الأنهار هي: مجدولة، أو متعرجة، أو أن تتوافر الصفتان في النهر الواحد، تتميز الأنهار المجدولة بكثير من الحواجز الحصوية والجزر، التي يتفرع النهر حولها، ثم يلتقي مرة أخرى وهكذا، ويساعد الانحدار الشديد والرواسب الخشنة على نقل الحمولة من الرواسب الخشنة الضرورية لبناء الحواجز الحصوية، التي تكوّن الجزر التي

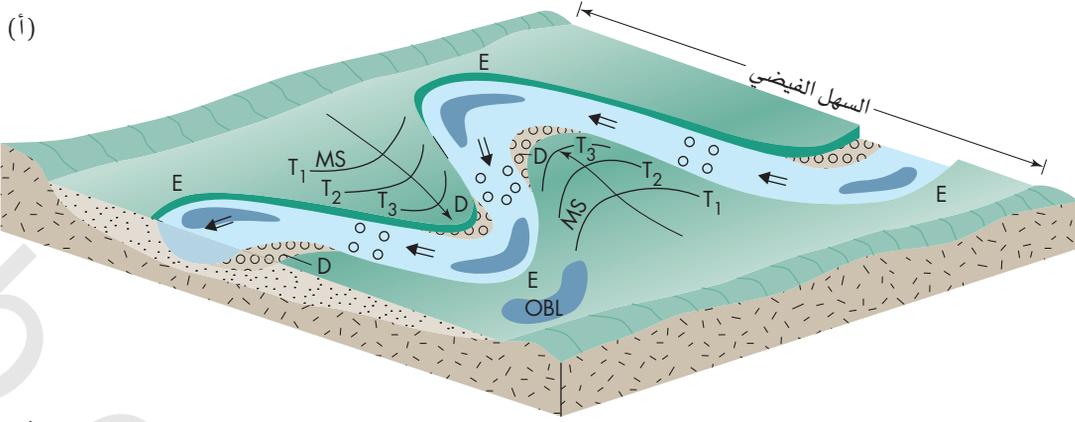


(ب)



(أ)

الشكل (6-10): القنوات المجدولة، (أ) شمال نهر ساسكاتشوان ذي النمط المجدول. لاحظ كثيرًا من حواجز القنوات والجزر التي توّجع الجريان. (ب) منظر أرضي يبيّن أحد الأنهار المجدولة في غرناطة جنوبي إسبانيا بقنواته المتعددة، وانحدار شديد وحصى خشن، وتبلغ المسافة العرضية للقناة قرابة سبعة أمتار. (Edward A. Keller)



شرح

الصخر الأصلي

بركة

منخفض مائي

حاجز مركزي

E نطاق حتّ

D نطاق ترسيب

→ اتجاه انتقال النهر

MS خط التعرج

وضع القناة علمًا بأنّ (T₁) الأقدم T₁, T₂, T₃

⇒ اتجاه جريان المياه

OBL بحيرة قرن الثور (قناة قوسية مهجورة مملوءة بالمياه)



(ب)

الشكل (6-11): نهر متعرج. (أ) شكل مثالي لنهر متعرج والأشكال المهمة والعمليات، تكون أحزمة التعرجات منخفضة، وذات حواف بارزة مقوسة مكوّنة من الرواسب الموازية لثنية المنعطف، وتتكوّن على حافة ضفة النهر، حيث تتراكم الرواسب مع النباتات، تدلّ علامات أحزمة التعرجات على تطوّر المنعطفات، (ب) نهر كاياكو في الأسكا، يبيّن أحد منعطفات النهر وحاجزًا مركزيًا و الضفة منطوّعة، تتكوّن بحيرة قرن الثور عندما يحثّ النهر السهل الفيضي جانبيًا وقاطعًا أحد المنعطفات النهرية، وتاركًا جزءًا من المنعطف مهجورًا مثل بحيرة. (©Andy Deering/Omni-Photo Communications, Inc).

ضحلة سريعة الحركة في أثناء الجريان المنخفض، وللبرك والمنخفضات (pools & riffles) دلالات بيئية مهمة، منها: تعاقب حركة المياه البطيئة العميقة وحركة المياه السريعة الضحلة في البرك والمنخفضات ينتج بيئة فيزيائية ومائية متنوّعة وزيادة في التنوّع الحيوي، فالأسماك مثلاً، تتغذى في المنخفضات وتلجأ إلى البرك، وتحتوي البرك على أنواع من الحشرات تختلف عن تلك الموجودة في المنخفضات.

بعد أن بيّنا بعض صفات جريان مياه ورواسب الأنهار وعملياتها، سنناقش عملية الفيضان بصورة مفصّلة.

وتُجز بصورة دورية معظم الرواسب التي تنقلها الأنهار بفعل التوضّع في مجرى النهر والسهول الفيضية المجاورة، حيث تُسمّى هذه المناطق عمومًا البيئة النهرية، وهي الميادين الطبيعية للنهر.

تحتوي قنوات الأنهار على سلسلة من البرك والحوافّ منتظمة المسافات (الشكل 6-12). فالبرك مناطق منخفضة ناتجة عن الحفر أو الحثّ في أثناء الجريان العالي، وتتميز في أثناء الجريان المنخفض بمياه عميقة بطيئة الحركة، وهي أماكن مناسبة للسباحة صيفًا، وتوجد مناطق منخفضة (riffles) ناتجة عن عمليات التوضّع في أثناء الجريان العالي، تتميز بمياه



الشكل (6-12): البركة والمنخفض (pool and riffle). تتابع واضح من البرك والمنخفضات في (Sims Creek) قرب (Blowing Rock) شمال كارولينا. وتظهر بركة عميقة في منتصف المسافة، ومنخفضات ضحلة في الناحية الخلفية والأمامية من الصورة.
(Edward A. Keller)

انهيار السدود، إضافة إلى أن استعمال الأراضي يمكن أن يؤثر في حدوث الفيضانات، خصوصاً في أحواض الصرف الصغيرة. يسمّى صرف المياه في المجرى الذي يصل إلى حدّ غمر المياه للمجرى صرف الفيضان، ويستخدم دليلاً على حجم الفيضان (انظر إلى نظرة متفحّصة: مقدار الفيضان وتكراره). يصل ارتفاع النهر لمياه النهر في أي زمن تدعى مرحلة (stage).

7-6 فيضان النهر RIVER FLOODING

تسمى العمليات الطبيعية المتعلقة بالجريان فوق الضفاف النهرية الفيضان (انظر الشكل 6-3)، تعتمد معظم فيضانات الأنهار على كمّية الأمطار الكلية وتوزيعها في حوض الصرف، ومعدّل تسرّب مياه الأمطار في الصخور والترربة، وطبيعة التضاريس، إلا أن بعض الفيضانات تحدث نتيجة لانصهار الجليد والثلوج السريع في أثناء فصل الربيع، وفي حالات نادرة تنتج عن

نظرة متفحّصة A CLOSER LOOK

مقدار الفيضان وتكراره Magnitude and Frequency of Floods



طاقة شمسية
لبثّ البيانات

جهاز محطة
القياس

مجرى عمق
المياه

يرتبط الفيضان أساساً بكمّية الأمطار والجريان وشدّتهما، فكوارت الفيضانات التي تنقل على شاشات التلفاز وصفحات الجرائد تحدث غالباً بسبب عواصف عاتية، أما الفيضانات الأصغر فتحدث بسبب عواصف أقلّ شدة، وهي كثيرة الحدوث، وحوادث الجريان جميعها، التي يمكن تقديرها أو قياسها عن طريق محطات قياس العواصف (Storm-gauging station) يمكن تنظيمها مرتبطة بحسب مقدار الصّرف، وتُقاس عادة بالأمطار المكعبة في الثانية (الشكل 6 د)، وقائمة أعلى جريان سنوياً، التي تمثل الجريان الأكبر كلّ عام، أو السلسلة السنوية المرّتبة (انظر البيانات لنهر باتريك في الجدول المجاور للشكل 6 هـ) يمكن إسقاطها على منحني تكرار الصرف بالحصول على فترة التكرار (R) لكلّ جريان من المعادلة:

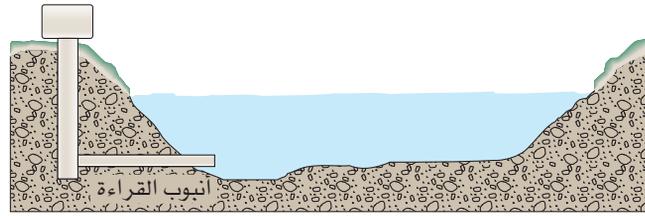
$$R = \frac{(N+1)}{M}$$

حيث إنّ (R) تعني فترة التكرار في السنوات، و(N) عدد السنوات المسجّلة، و (M) الرتبة لكلّ جريان بصورة منفصلة من بين السنوات المسجّلة (الشكل 6 هـ)⁽⁸⁾. في الشكل (6 هـ) مثلاً، فإنّ الجريان الأعلى في تسع سنوات من البيانات (280 m³) لكلّ ثانية تقريباً (9,888 ft³/s)، وله رتبة (M) تساوي (1). وفترة التكرار لهذا الفيضان هي:

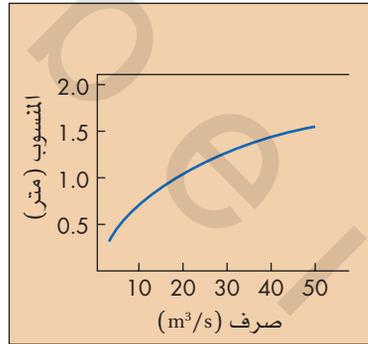
$$R = \frac{N + 1}{M} = \frac{9 + 1}{1} = 10$$

الشكل (6 ج): محطة قياس العواصف في سان جوزكريك، جوليتا، كاليفورنيا.
(Edward A. Keller)

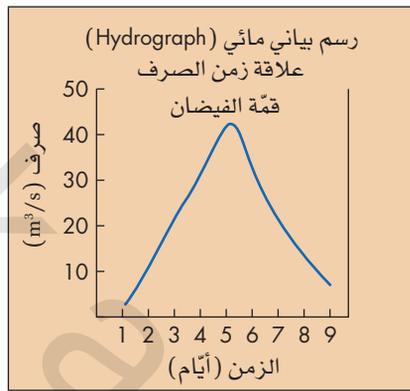
قياس ميداني للصرف (m^3/s) في مراحل عدة. يحسب الصرف (Q) بوصفه ناتج متوسط سرعة المياه (V) مقيسة للتيار والمقطع العرضي لمنطقة الجريان
(A): $Q = VA$



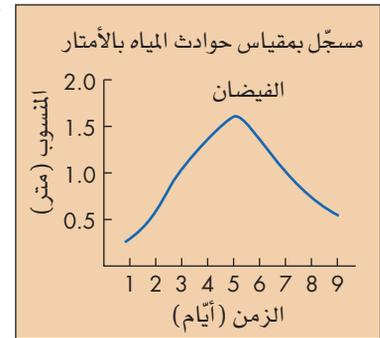
قياس مستمر لارتفاع المياه بالأمتار



(ج)

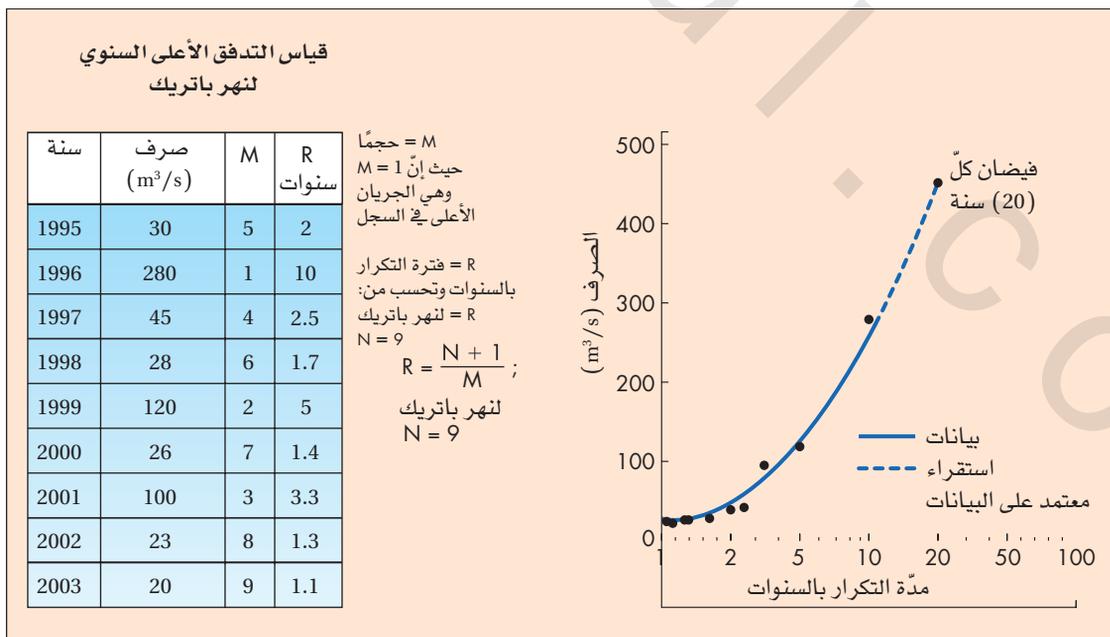


(د)



(ب)

الشكل (6 د): كيف ينتج الرسم البياني المائي. البيانات الميدانية (أ) تتكوّن من تسجيل مستمر لمستوى المياه، أو المرحلة، التي تستخدم لإنتاج رسم بياني لكل مرحلة زمنية. (ب) وتنتج القياسات الميدانية لعدد من حالات الجريان رسمًا بيانيًا للصرف في كل مرحلة. (ج) أمّا الرسم البياني (ب) و (ج) فيدمجان لإنتاج رسم بياني نهائي للمياه (د).



الشكل (6 هـ): مثال لمنحنى تكرار الصرف لنهر باتريك على الجدول المجاور، المنحنى ممتد لتقدير (20) فيضانًا بنحو (450) (m^3/s).

(7.5) سنة (27 m^3 في الشكل 6 هـ)، والضفاف المغمورة تمثل أدنى حدّ يملأ القناة؛ ولذلك نتوقع أن يفيض النهر، ويغمر أجزاءً من السهل الفيضي بالمياه والرواسب مرّة كل سنة.

عندما تُجمع القراءات يمكننا التنبؤ بالفيضانات بصورة دقيقة، وعلى أيّ حال فإن تصميم البنية لفيضان «10-سنوات»، و«25-سنة»، و«50-سنة» أو حتى «100-سنة»، أو في الحقيقة أي جريان هو حساب أخطار؛ وذلك لأنّ التنبؤ بمثل هذه الفيضانات يعتمد على احتمالية إحصائية، وعلى المدى الطويل فإنّ فيضان «25-سنة» يحدث بمعدّل مرّة واحدة كل «25-سنة»، لكن فيضانيّن «25-سنة» يمكن أن يحدث في أيّ عام، كما يصنع فيضان «100-سنة»، وما دنا مستمرين في بناء سدود وطرق سريعة وجسور ومنازل وغيرها، دون إعارة الآثار على مناطق الفيضان أي اهتمام، فعلينا أن نتوقع فقدان الأرواح والممتلكات⁽¹⁰⁾.

$$R = \frac{N+1}{M} = \frac{9+1}{1} = 10$$

وهذا يعني أنّ فيضاناً بحجم يعادل أو يزيد على ($280 \text{ m}^3/\text{s}$) يمكن توقّعه كلّ (10) سنوات، ونسمّيه فيضاناً ذا (10) سنوات. واحتمال حدوث الفيضان ذي (10) سنوات في أيّ سنة، هو ($1/10$)، أو (10%)، واحتمال حدوث فيضان ذي (100) سنة في أيّ سنة، هو ($1/100$)، أو (1%) 0.01 .

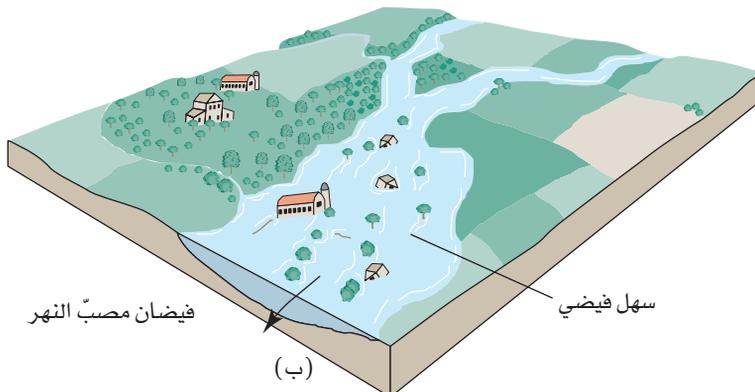
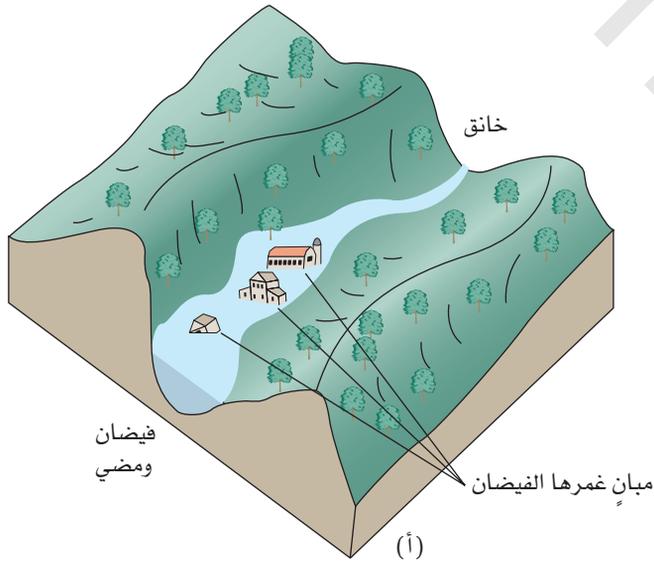
ويمكن مدّ (extrapolation) المنحنى في الشكل (6 هـ) لتقدير الصرف لفيضان (20) سنة إلى ($450 \text{ m}^3/\text{s}$)، حيث يشكّل المدّ خطراً، ويجب ألاّ يمتدّ أكثر من ضعفي القيم المسجلة للصرف. وقد بينت دراسات كثير من السيول والأنهار أنّ القنوات تتكوّن، وتحفظ عن طريق صرف الضفاف المغمورة (bankfull)، وتعرف بأنّها جريان ذو فترة تكرار تصل إلى قرابة

الفيضانات المفاجئة وفيضانات مصبات الأنهار

Flash floods and downstream floods

من المفيد التمييز بين الفيضانات المفاجئة وفيضانات مصبات الأنهار (الشكل 6-13)، فالفيضانات الوهميّة تحدث في الأجزاء العليا من أحواض الصرف؛ بسبب هطل الأمطار الشديد مدّة زمنية قصيرة في منطقة صغيرة نسبياً، وبوجه عام، فإنّ الفيضانات المفاجئة لا تتسبّب في فيضان الجداول الكبيرة التي تلتقي في اتجاه المصب، على الرغم من أنّها

يعني مصطلح مرحلة الفيضان (flood stage) ضمناً أنّ سطح الماء قد بلغ حدّ المياه العالي، الذي يؤدي إلى تدمير الممتلكات، ويعتمد هذا التعريف على الإحساس الإنساني بالحدث، فالارتفاع الذي يُعدّ مرحلة فيضان يعتمد على استخدام الإنسان للسهل الفيضي؛ لذلك فإنّ حجم الفيضان يتناسب مع مدى تدمير الممتلكات.



الشكل (6-13): الفيضانات المفاجئة وفيضانات مصبات الأنهار. شكل مثالي يقارن بين فيضان مفاجئ (أ)، وفيضان مصب النهر (ب). الفيضانات المفاجئة تغطي مساحات محدودة، وتنتج عن عواصف مطرية محلية شديدة، تحدث في مناطق ذات تضاريس منحدرّة، وغالبًا ما تكون في خوانق، وقد لا يتوافر سهل فيضي واضح، بينما تغطي فيضانات مصبات الأنهار مساحات كبيرة من السهل الفيضي، وتنتج عن عواصف إقليمية أو في أثناء جريان المياه في فصل الربيع على السهل الفيضي. (محوّر من قسم الرسم الزراعي الأمريكي).

خسائر تقدّر بخمسة ملايين دولار تقريباً. حُوّل «فلمنجو واش» بعد الفيضان إلى نفق أسفل «سيزربالاس». وحيثما يظهر النفق، فإنّ المياه تجري على السطح وأحياناً أسفل شوارع المدينة! لقد تكرر حدوث الفيضان ثانية عامي 1983م و 1984م في أثناء شهري يوليو وأغسطس، وبصورة أكثر تحديداً، فقد وقعت ثماني عواصف شديدة في الفترة من يوليو إلى سبتمبر عام 1984م، نتج عنها دمار يقدر بعشرات الملايين من الدولارات في مقاطعة «كلارك، نيفادا»، أما أسوأ الفيضانات المفاجئة في السنين الأخيرة، فهو ما حدث عام 1999م، حين ضربت مدينة «لاس فيجاس»، إذ فاقت خسائر دمار الممتلكات حينذاك قرابة (20) مليون دولار، ودُمّر ما يزيد على (350) منزلاً، ونُسبت حالتنا وفاة لهذا الفيضان: إحداها غرقاً، ومن أحدث الفيضانات المفاجئة ما حدث في أغسطس عام 2003م، ويناير عام 2005م، حيث نتج عن فيضان عام 2003م دمار يقدر بملايين الدولارات.

تقع «لاس فيجاس» في حوض أسفل سطوح مروحة طميّة، وفي كثير من الحالات تكون المراوح الطميّة عالية المسامية؛ ما يسمح للمياه السطحية بسرعة الرشح، إلا أنّ منطقة «لاس فيجاس» ذات طبقات التربة الغنية بكاربونات الكالسيوم (أفق K) (في الفصل الثالث) كثيراً ما تلتهم الرواسب ببعضها، ما يعطل عملية رشح المياه السطحية؛ ونتيجة لذلك فإنّها أكثر عرضة لأخطار الفيضان، وبصورة أكثر من المتوقع؛ لذا يجب أن نتوقّع المشكلات في منطقة التنمية المدنية على الأنهار الفاسلة.

طوّرت مقاطعة «كلارك» في «نيفادا» خطة لمواجهة أخطار الفيضان في «لاس فيجاس»، فصمّموا خطة تُنفذ خلال الخمس وعشرين سنة القادمة (أنجز جزء منها) وبكلفة تصل قرابة بليون دولار، لحماية المنطقة من الجريان العالي من نوع «100-سنة»، الذي يحدث نتيجة ثلاث ساعات من العواصف الرعدية، وتشمل ما يأتي:

- إنشاء قنوات وأنابيب ومجارٍ؛ لنقل مياه الفيضان بعيداً عن مناطق التنمية.
- إنشاء أحواض؛ لحبس مياه العواصف، ثم إطلاقها في أثناء فترة زمنية أطول.

الشكل (6-14): صورة جوية لمنطقة «لاس فيجاس» بولاية «نيفادا». المدينة هي حوض طبيعي، وكثير من الإنشاءات بُنيت على قنوات صرف طبيعية (غسّالات). تبين الأسهم اتّجاه الجريان نحو المنطقة المدنية وخروجها إلى بحيرة «ميد». (مفوضية نيفادا للسياحة).



قد تكون شديدة محلياً، على سبيل المثال: الفيضان المفاجئ عالي القوّة (high-magnitude)، الذي حدث في يوليو عام 1976م في «فرونر رينج» من «كلورادو»، ونتج عنه فيضانات مفاجئة عنيفة، تمتدّت في ارتفاع سريع في مستوى مياه الفيضان بفعل الأمطار. إضافة إلى ذلك، فقد عُرّزت الفيضانات المفاجئة وعُدّيت بمجموعة معقّدة من العواصف الرعدية، التي سرت في كثير من الأودية العميقة غربي «لفلاند»، التي جلبت قرابة (25 cm) من مياه الأمطار، وتسبّب الفيضان في مقتل 139 شخصاً تقريباً، ودمار الطرق السريعة والجسور والمنازل والمشاغل، إذ وقع معظم الدمار والخسائر في خانق «بيغ تومسون»، وحوصرت المئات من السكان والمخيّمات والسياح دون أيّ تحذير، فعلى الرغم من أنّ حوادث العواصف والفيضانات نادرة في خوانق «فرونر رينج»، إلا أنّها حدثت في الماضي، ويُتوقّع أن تحدث في المستقبل.

لقد عانت «لاس فيجاس» في «نيفادا» مشكلات الفيضانات المفاجئة في القرن التاسع عشر (1900م)، حين شرع الناس ينمّون المنطقة، فالمدينة محاطة بجبال تتساب مياهها لتشكل مراوح طميّة بقنوات تسمّى الغسّالة (washes) (الشكل 6-14)، وأعظمها «لاس فيجاس واش»، الذي ينبع من الشمال الغربي عبر «لاس فيجاس» إلى «بحيرة ميد» على نهر «كلورادو»، وتوجد أنهار غاسلة أخرى تلتقي مع «لاس فيجاس واش» في المدينة، مثل «فلمنجو واش» ذي تاريخ الفيضان سيئ السمعة. تجدر الإشارة إلى أنّ فيضانات «لاس فيجاس» تحدث عادة في شهري يوليو وأغسطس؛ بسبب نشاط العواصف الرعدية العظيمة، حيث يكون الدمار الناتج عن الفيضان شديداً، خاصة في مناطق التنمية والمنشآت؛ لأنّها تعيق الأنهار الفاسلة الطبيعية.

ولسوء الطالع، فقد صادفت التنمية السريعة زيادة في نشاط العواصف الرعدية منذ عام 1975م إلى أواسط الثمانينيات، ولاقى الفيضان الناتج عن «فلمنجو واش» في يوليو عام 1975م اهتماماً خاصاً، إذ دُمّرت مئات السيارات في مواقفها في كازينو «سيزربالاس» المميّز، حين غمرها «فلمنجو واش»، والكثير منها جرفته مياه الفيضان نحو مصبّ النهر، وذلك أدّى إلى

الصرف وانخفاضه في منطقة ما. يبيّن الشكل (6-16 أ) خريطة المنطقة، ويبيّن الشكل (6-16 ب) مسافة (257 km)، التي انتقلت فيها فمة الفيضان في نظام نهر «تشاتوكا-سافانا»، وهذا يوضّح أنّ الزيادة الزمنية التدريجية ضرورية لرفع المياه وخفضها في أثناء تقدّم موجة الفيضان نحو مصبّ النهر، ويبيّن كذلك الزيادة الهائلة في الصرف من حالة الجريان المنخفض إلى حالة الفيضان التي تزيد على (1,700 m³) في أثناء خمسة أيام، ويبيّن الشكل (6-16 ج) الفيضان والصرف نفسها لوحدة المساحة، وقد تخلّص من تأثير زيادة الصرف نحو مصبّ النهر، وهذا يوضّح جيّداً حياة موجة الفيضان في أثناء انتقالها نحو مصبّ النهر.

8-6 العمران والفيضان

URBANIZATION AND FLOODING

زادت استعمالات الناس للأراضي في البيئات المدنية من مقدار الفيضانات وتكرارها في أحواض الصرف الصغيرة، التي تحصر مساحتها في بضعة كيلومترات مربّعة، إذ يتوقّف معدّل الزيادة على نسبة الأراضي المغطاة بالأسطح والأرصفة والمادة اللاحمة، التي يشار إليها بالغطاء عديم النفاذية (*impervious cover*). (الشكل 6-17)، ونسبة المناطق المخدومة ببوالبع العواصف (*storm sewers*)، التي تعدّ مهمة؛ لأنها تسمح بوصول المياه الجارية من الأسطح عديمة النفاذية في المدينة إلى النهر بسرعة أكبر مقارنة بالوضع الطبيعي، لذلك فإنّ الغطاء عديم النفاذية وبوالبع العواصف مجتمعة تحدّد درجة العمران. يبيّن الرسم البياني في الشكل (6-18) منطقة مدنية، تشكّل فيها نسبة السطح عديم النفاذية (40%)، ويمكن أن تتعرّض للفيضان بمقدار ثلاثة أضعاف ما كانت تتعرّض له قبل العمران، تنطبق هذه النسبة على الفيضانات قليلة ومتوسطة التكرار، وعلى أيّ حال، فإنّ الفيضانات عالية القوة (*high-magnitude floods*) ذات التكرار «50-سنة» تقريباً، لن تتأثّر كثيراً بالعمران، بزيادة حجم أحواض الصرف (الشكل 6-19) (9)·(10).

تتوقّف الفيضانات على العلاقة بين سقوط الأمطار والجريان، أمّا العمران فيتسبّب في عدد كبير جداً من التغيّرات في هذه العلاقات، وقد بيّنت إحدى

ونظراً لأنّ معظم التنمية قد أُقيمت على غسّالات (*washes*) «لاس فيجاس»، فإنّ من غير المحتمل أن يؤدّي أيّ مخطّط إلى إنهاء مشكلة الفيضان بصورة كئيّة، فذلك يقتضي توجيه مياه الفيضان حول المنشآت أو من خلال مسار آمن، ومع هذا الاحتياط فلن تسلم «لاس فيجاس» تماماً من أخطار الفيضان الناتجة عن العواصف الشديدة التي تحدث أحياناً، فتتفدّ خطة لتنظيم الفيضان مصحّوياً بتخطيط لمنع التنمية على الغسّالات النهرية الطبيعية، سيساعد بالتأكيد على تخفيف مشكلات الفيضان، إلّا أنّه من غير المعلوم مدى السيطرة على الفيضانات في ظل التنمية السريعة التي تحدث في «لاس فيجاس».

وقد أفادت تقارير المسح الجيولوجي الأمريكي، بأنّ نصف الوفيات تقريباً التي حدثت في أثناء الفيضانات المفاجئة كانت مرتبطة بالسيارات (انظر الصورة في بداية هذا الفصل)، فحين يقود بعض الأشخاص سياراتهم في مياه الفيضان الضحلة سريعة الحركة، فإنّ تيارات المياه القوية الجانبية كثيراً ما تحرفها عن الطريق نحو المياه الأكثر عمقاً، ما يؤدّي إلى حصر الأشخاص في سياراتهم الغارقة أو المقلوبة.

فيضانات مصبّات الأنهار مثل فيضانات نهر «الميسيسيبي» عام 1993م، والنهر الأحمر عام 1997م شمالي «داكوتا»، هي التي تكوّن عناوين أخبار التلفاز والصحف. (ناقشنا فيضان نهر المسيسيبي عام 1993م).

غمرت مياه فيضان النهر الأحمر التي تجري شمالاً نحو كندا، مدينة «جراند فوركس» شمال «داكوتا» متسببة في إخلاء خمسين ألف شخص، بعد أن تسببت في اشتعال النيران التي حرقت جزءاً من وسط المدينة، وأدّت إلى دمار يزيد على بليون دولار (الشكل 6-15)، إذ غالباً ما يفيض النهر الأحمر في أثناء فصل الربيع، مثل فيضان ربيع عام 2001م، حين تسببت الأمطار الشديدة في إذابة تلوج الأراضي المتجمّدة وجليدها، اللذين منعا رشح المياه في أرض الغابة.

تغمر فيضانات مصبّات الأنهار مناطق شاسعة، وتنتج عادة عن العواصف التي تمتدّ إلى فترات زمنية طويلة، حيث تشبّع فيها التربة، وتزداد سرعة جريان المياه. يُعدّ فيضان الروافد الصغيرة محدوداً، إلّا أنّ مساهمة الجريان العالي لآلاف الروافد يؤدّي إلى فيضان كبير قريب من مصبّ النهر، ويتميّز هذا النوع بانتقال مياه الفيضان نحو مصبّ النهر، نتيجة ارتفاع

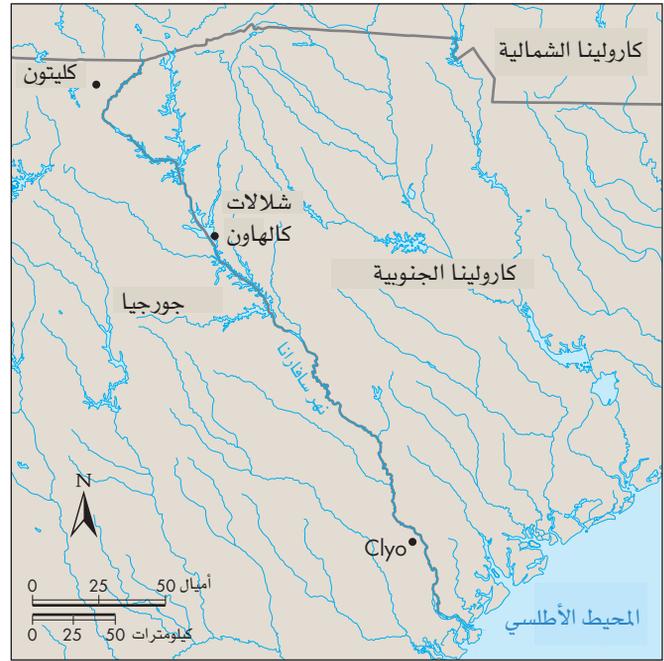


الشكل (6-15): مدينة تحت الفيضان. تسبّب فيضان النهر الأحمر في جراند فورك بولاية داكوتا الشمالية في إشعال حرائق أتت على جزء من المدينة.

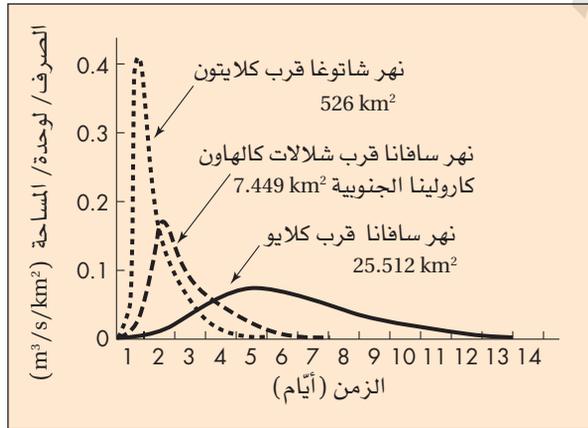
(Eric Hylden/Grand Forks Herald)

الشكل (6-16): انتقال موجة الفيضان نحو مصب النهر. انتقال موجة الفيضان نحو مصب نهر سافانا، بولاية كارولينا الجنوبية وجورجيا تبلغ المسافة بين كلايتون وكلايون (257 km). (أ) خريطة للمنطقة. (ب) حجم المياه الجارية في كلايتون، شلالات كالهون في كارولينا الجنوبية. (ج) حجم المياه لوحدة المساحة في النقطة نفسها. عن:

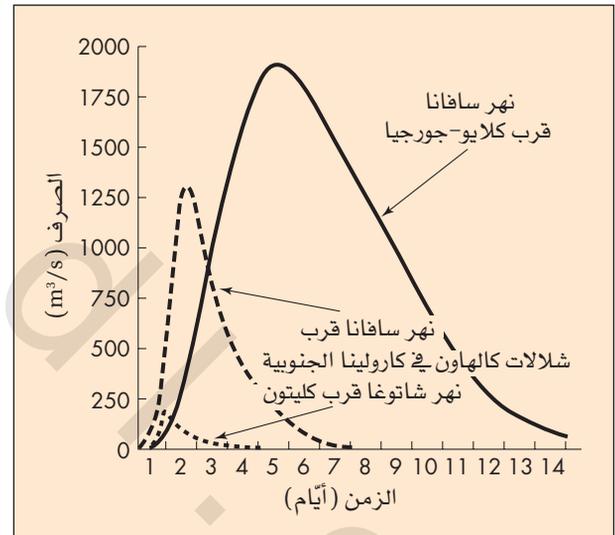
Hoyt, W. G., and Langbein, W. B, Floods, © Copyright 1955 by Princeton University Press, figure 8, 39. Reprinted by permission (of Princeton University Press



(i)

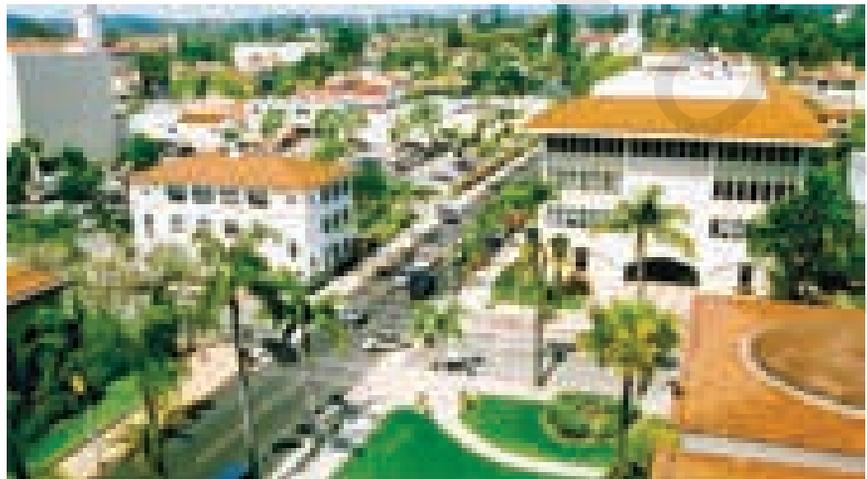


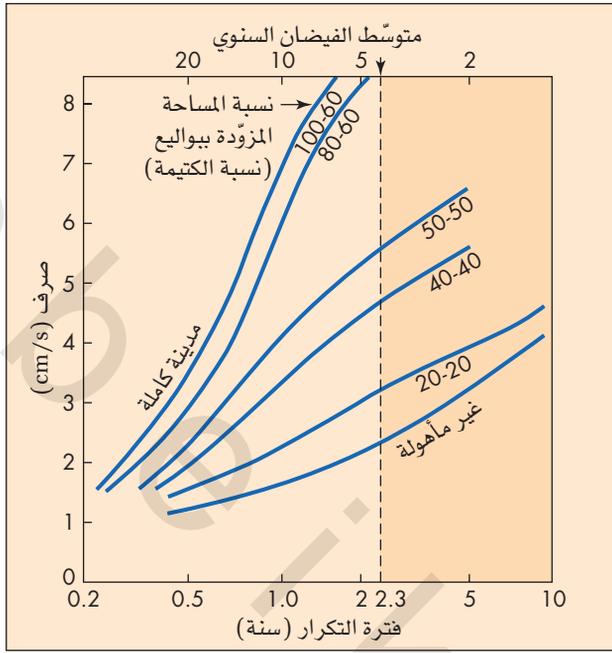
(ج)



(ب)

الشكل (6-17): العمران يزيد الجريان. كثير من مدن الولايات المتحدة مثل سانتا برابرا، كاليفورنيا التي تظهر هنا تغطي معظم أراضيها أسقف وطرق وساحات، وهذه الأسطح تحول دون رشح المياه إلى الأرض، ما يزيد من الجريان بنسبة كبيرة. (Edward A. Keller)



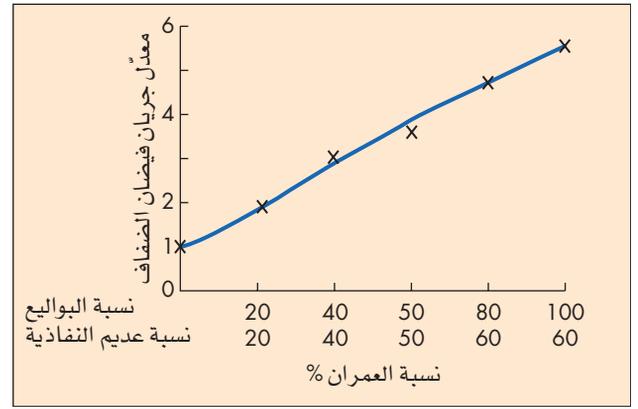


الشكل (6-20): العمران يزيد الفيضان. فترة تكرار حدوث الفيضان مبيّنة في منحنى تكرار لحوض في ولايات متعددة (60-100) تعني أنّ الحوض (100%) مزوّد ببواليع، و (60%) مساحة السطح الكتيمة. ويبين الخط المتقطع الزيادة في متوسط الفيضان السنوي بزيادة العمران. (بعد ليبولد، ل. ب. 1968م نشرة (559) المسح الجيولوجي الأمريكي).

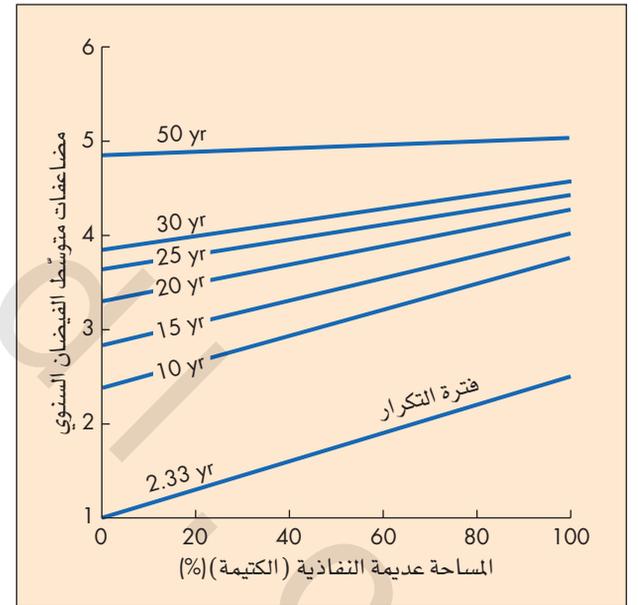
تدّل التقديرات بوضوح على زيادة الجريان المذهلة، بزيادة المساحات عديمة النفاذية وعديمة الغطاء المزوّد ببواليع العواصف، وعلى أيّ حال، فإنّ الصرف العالي ليس هو فقط السبب في فيضان المدن، فالعواصف المستمرة فترة زمنية طويلة، والنتيجة عن هطل متوسط يمكن أن تؤدي إلى فيضان، خصوصاً إذا أغلق صرف مياه العواصف بسبب الرواسب والفتات الناتج عن العاصفة، إذ تبدأ المياه -في هذه الحالة- بتكوين برك تتسبب في فيضان في المناطق المنخفضة، وهذا شبيه بارتفاع المياه في حوض الحمام، عندما يغلّق المصرف جزئياً بالصابون.

يزداد الجريان في المدن بسبب قلّة رشح المياه في الأرض، يبيّن الشكل (6-21 أ) رسماً بيانياً مائياً عامّاً قبل العمران، وهناك أهمية خاصة لما يعرف بالوقت الذي يفصل بين هطل الأمطار وحدوث الفيضان (*Lag time*)، يبيّن الشكل (6-21 ب) رسمين بيانيين مائيين قبل العمران وبعده، لاحظ انخفاض الوقت الواضح الذي يفصل بين الهطل والفيضان بعد العمران، وتتميّز الفترات القصيرة التي تفصل بين الهطل والفيضان، التي تعرف «بالصرف المفاجئ» (*flashy discharge*) بارتفاع مياه الأمطار وانخفاضها السريعين؛ ونظراً لأنّ المياه التي ترشح في التربة قليلة، فإنّ المياه المنخفضة أو الجريان الموسمي الجاف في أنهار المدن المدعومة بتسرّب المياه الجوفية في القناة ستخفّض كثيراً، وانخفاض الجريان يؤثّر في تركيز الملوثات، ويقلّ عادة من جمال النهر وأناقته⁽⁹⁾.

ليس العمران فقط هو نوع التطوير الذي يزيد الفيضان، فقد حدثت بعض الفيضانات المفاجئة؛ بسبب بناء جسور على أنهار صغيرة، أدت إلى انسداد مجاري الفتات الطافي، ما أدى إلى اندفاع موجة مائية نحو المصبّ عند تراكم الفتات (انظر تاريخ حالة: فيضان مفاجئ شرق أوهايو).



الشكل (6-18): الفيضانات قبل العمران وبعده. العلاقة بين معدّل الجريان فوق الضفاف (بعد العمران إلى قبل العمران) وقياس العمران. مثلاً، معدّل (3 إلى 1)، أو ببساطة (3) تعني أنه بعد العمران حدثت ثلاثة فيضانات لكلّ فيضان حدث قبل العمران. مثال: الفيضان ثلاثة أضعاف ما هو معروف بعد العمران، ويبيّن هذا الشكل أنه بزيادة درجة العمران، يزداد عدد الجريان فوق الضفاف سنوياً. (بعد ليبولد، ل. ب. 1986م نشرة (559) للمسح الجيولوجي الأمريكي).



الشكل (6-19): تزداد أخطار فيضان المدن بزيادة المساحة الكتيمة. رسم بياني يبيّن التفاوت في تكرار الفيضان بزيادة نسبة المساحة الكتيمة، إنّ متوسط الفيضان السنوي (الضفاف مملوءة تقريباً)، وهو معدّل (لدورة من السنوات) الجريان الأعلى الذي يحدث سنوياً، تكون فترة التكرار في معدّل الفيضان السنوي في حوض نهر طبعي يخلو من المدينة (2,33) سنة، لاحظ أنّ الفيضانات الصغيرة ذات فترة التكرار لسنوات قليلة تكون أكثر تأثراً بالعمران من الفيضانات الكبيرة، وفيضان (50- سنة) أقلّ تأثراً بكمية المساحة التي تُعدّ كتيمة.

الدراسات أنّ الجريان في العمران لفيضان «10- سنوات» يمكن أن يكون ثلاثة أضعاف الجريان قبل العمران (Urban). يبيّن الشكل (6-20) تقديرات للصرف في فترات تكرار مختلفة بدرجات تمدّن متفاوتة، حيث

العشرين، حيث تسببت الفيضانات في فقدان قرابة (100) شخص سنوياً (أو نحو عشرة آلاف في القرن العشرين)، ومن المؤسف أن هذا الرقم يُعدّ منخفضاً مقارنة بما تعانیه دول العالم الثالث في فقدان الأرواح؛ بسبب انعدام وسائل المراقبة وأنظمة الإنذار وسبل الإنقاذ الفعّالة عند حدوث الكوارث^{(7) (16)}. يبيّن الجدول (6-1) قائمة لبعض الفيضانات النهريّة الشديدة التي حدثت في الولايات المتّحدة في الفترة من 1937م إلى 2008م.

العوامل التي تؤدي إلى أضرار الفيضان

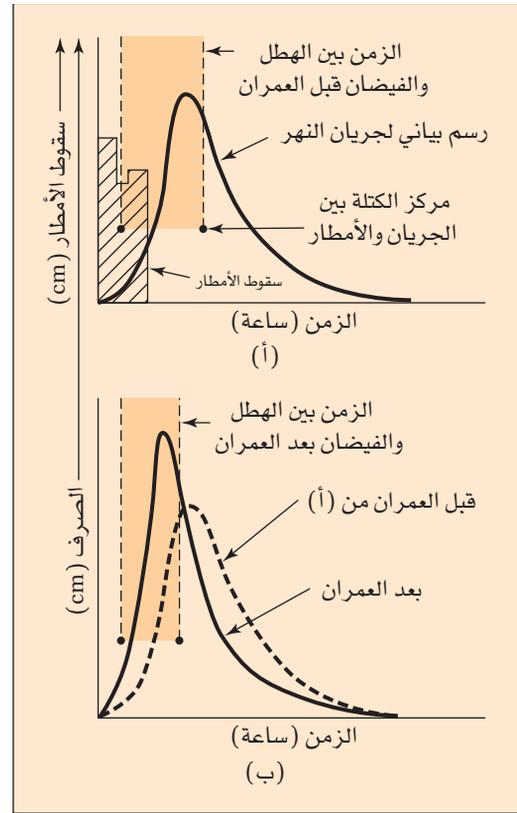
Factors that cause flood damage

تتضمّن العوامل التي تؤثر في الضرر الناتج عن الفيضان ما يأتي:

- استعمال الأراضي في السهل الفيضي.
- حجم المياه أو عمقها وسرعتها وتكرار الفيضان.
- معدّل ارتفاع المياه وفترة الفيضان.
- الموسم؛ مثلاً موسم النمو الزراعي على السهل الفيضي.
- كمّية الرواسب المتوضّعة.
- أثر التنبؤ والتحذير وأنظمة الطوارئ.

آثار الفيضان Effects of flooding

هناك آثار أساسية للفيضان تتمثّل في تلك الناتجة عن الفيضان مباشرة، وأخرى ثانوية ناتجة عن تقصير الخدمات والأنظمة وعجزها بسبب الفيضان. وتشتمل الآثار الأساسية على الجروح وفقدان الأرواح والدمار الناتج عن التيارات المفاجئة، والفتات الصخري، والرواسب، التي تنقل إلى المزارع والمنازل والمباني والخطوط الحديدية والجسور والطرق وأنظمة الاتصالات، وقد تؤدي عمليات حثّ الرواسب وتوضّعها في أراضي المدن والأرياف إلى فقدان كبير للتربة والنباتات. أمّا الآثار الثانوية فتشتمل على التلوّث قصير الأمد للأنهار، والمجاعة والأمراض والتشردّ للناس الذين يفقدون منازلهم، يضاف إلى ذلك الحرائق التي تنتج عن تماسّ كهربائي، أو تكسير مصادر الغاز بفعل الفيضان والحثّ المصاحب له⁽¹⁶⁾.



الشكل (6-21): العمران يقصر الزمن بين الهطل والفيضان. رسم بياني مائي عام. (1) رسم بياني مائي يبيّن الزمن المثالي بين سقوط معظم الأمطار وبين فيضان النهر. (2) رسم بياني يبيّن انخفاض الزمن بين الهطل والفيضان بسبب العمران.

9-6 طبيعة أخطار الفيضان ومداهها

THE NATURE AND EXTENT OF FLOOD HAZARDS

تعدّ الفيضانات من أكثر الأخطار الطبيعية التي يعانيتها العالم، وقد كانت الأولى في الكوارث التي تعرّضت لها الولايات المتّحدة في القرن

CASE HISTORY تاريخ حالة

فيضانات مفاجئة شرقي أوهايو Flash Floods in Eastern Ohio

عن المنحدرات الجانبية، مصحوباً بأغصان الأشجار والموادّ الأخرى لتتجمّع عند الجسور؛ ما أدى إلى تكوين سدود فتاتية، وذلك أدى إلى تحطّم الجسور؛ بسبب ثقل الفتات، فتدفقت المياه نحو مصب النهر. يحدث هذا السيناريو كثيراً في كثير من الفيضانات المفاجئة حول العالم، إذ تكون دعائمات الجسور قريبة من بعضها، لدرجة أنّها لا تسمح للقطع الصخرية الكبيرة بالمرور، لذلك فإنّ الفتات يتراكم في جهة أعالي النهر من الجسر لتسدّ النهر محدثة الفيضان.

هطلت الأمطار مدة أربع ساعات في شرقي أوهايو، في يوم الجمعة الخامس عشر من يونيو عام 1990م، وبمعدل يزيد على (14 cm). وقد نتج عن ذلك فيضان اثنين من روافد نهر أوهايو، هما: «ويجي وبايب» قرب مدينة «شادي سايد» مخلفةً واحداً وعشرين قتيلاً وثلاثة عشر مفقوداً، يعتقد أنهم في عداد الأموات، وقدّر ارتفاع مياه الفيضان قرابة خمسة أمتار اندفعت نحو الوادي، ما أدى إلى تدمير سبعين منزلاً، وتضرّر أربعين منزلاً آخر تقريباً.

يبدو أنّ اندفاع المياه قد نتج عن انهيار فتات الصخور، التي تراكمت في أعالي النهر نحو الجسور، فجريان المياه الناتج عن الأمطار جرف الفتات

جدول (6-1): فيضانات مختارة لأنهار في الولايات المتحدة.

الامتلاكات المتضررة (ملايين الدولارات)	عدد المفقودين	الموقع	الشهر	السنة
418	137	ولاية أوهايو وأسطح حوض نهر المسيسيبي	يناير-فبراير	1937
25	79	جنوبي كاليفورنيا	مارس	1938
12	40	جنوبي فيرجينيا وكارولينا شرق تينيسي	أغسطس	1940
235	29	أسفل ولاية ميسوري وأوسط حوض نهر المسيسيبي	مايو-يوليو	1947
932	28	كنساس وميزوري	يونيو-يوليو	1951
155	61	الساحل الغربي	ديسمبر	1955
98	26	حوض نهر أوهايو	مارس	1963
54	31	مونتانا	يونيو	1964
416	40	كاليفورنيا وأوريجون	ديسمبر	1964
3	26	فيضانات مفاجئ في ساندرسون تكساس	يونيو	1965
399	60	كاليفورنيا	يناير-فبراير	1969
116	154	حوض نهر جيمس، فرجينيا	أغسطس	1969
139	3	نيوجرسي	أغسطس	1971
163	242	فيضانات مفاجئ في بلاك هيلز، داكوتا الجنوبية	يونيو	1972
3000	113	شرقي الولايات المتحدة	يونيو	1972
1200	لا أحد	نهر المسيسيبي	مارس-يونيو	1973
35	139	فيضانات مفاجئ نهر بيغ ثومسون / كلورادو	يوليو	1976
330	76	جونز تاون، بنسلفانيا	يوليو	1977
80	25	مدينة كنساس في ولايتي، ميزوري وكنساس	سبتمبر	1977
500	10	ميسيبي وألاباما	إبريل	1979
416	13	أريزونا	سبتمبر	1983
270	17	الولايات الغربية، خاصة كاليفورنيا	شتاء	1986
1000	لا أحد	نهر ترينيتي، تكساس	يناير-مايو	1990
عدّة	21	شرق أوهايو (فيضانات مفاجئ)	يونيو	1990
20,000	38	نهر المسيسيبي وروافده	يونيو-أغسطس	1993
مئات عدّة	23	سيرانيفادا، الوادي الأوسط، كاليفورنيا	يناير	1997
2000	22	هيوستون، تكساس، بافالو بايو (نهر ساحلي)	يونيو	2001
100+	16	ولايات أوسط الأطلسي، نيويورك إلى كارولينا الشمالية	يونيو-يوليو	2006
على الأول 9000، غالباً محاصيل زراعية.	24	نهر المسيسيبي وروافده	مارس	2008

النهر، وتمثل ذلك في بناء حواجز، مثل السدود والجسور الطويلة لتعميقه وتوسعته وجعله أكثر استقامة؛ ليسهل تصريف المياه بصورة كلية، وفي كل مشروع جديد يُنفذ للسيطرة على الفيضان يتم إيهام الناس بأن أخطار الفيضان قد انتهت، إلا أننا مضطرون لبناء السدود أو حفر القنوات أملاً في السيطرة على الجريان، وعندما تفوق المياه قدرة البنية، فإن الفيضان يكون عظيمًا.

10-6 التكيف مع أخطار الفيضان

ADJUSTMENTS TO FLOOD HAZARDS

لقد تجاوب الإنسان تاريخياً مع الفيضان، وخصوصاً في القرن التاسع عشر، محاولاً منع وقوع المشكلة، فأجرى بعض التعديلات الطبيعية على مجرى

الطرق البنيوية The Structural Approach

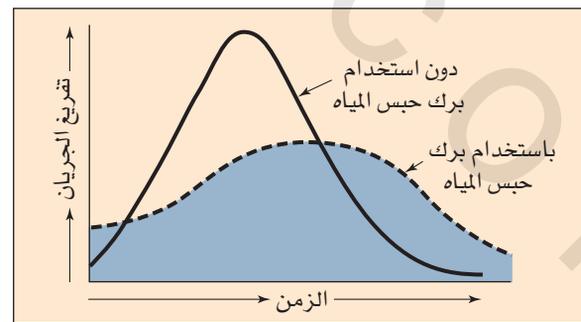
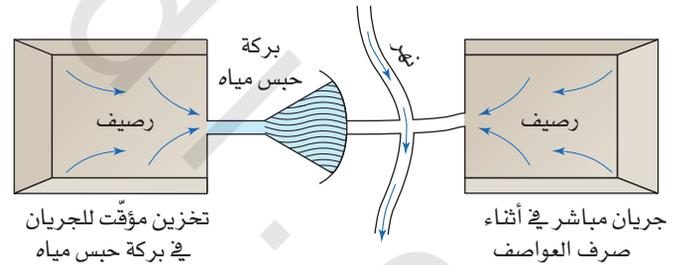
الحواجز الطبيعية Physical Barriers من الأعمال المستخدمة في منع الفيضان بناء حواجز طبيعية، مثل الجسور الجانبية (Levees) (الشكل 6-22)، وجدران الفيضان (flood walls) التي تُبنى من الأسمنت المسلح في الجهة المضادة للجسور الطبيعية الأرضية، وسدود تخزين المياه لضخها في أوقات أخرى وبمعدلات آمنة، وأحواض حبس مياه العواصف (الشكل 6-23)، إنه لمن سوء الطالع أن تضع عادة الفوائد المتوقعة من

بدأنا في السنوات الأخيرة بتقدير فوائد التعديلات البديلة لمحاولة السيطرة على منع حدوث الفيضان فيزيائياً، وهذا يتضمن ضمان السيطرة على استعمالات الأراضي في السهول الفيضية، سوف نبحت كل واحدة من التعديلات الرئيسية مع علمنا أن ليس أي منها الأفضل في الحالات جميعها، وبالأحرى، من الأفضل أن يتم الجهد المشترك لتقليل أخطار الفيضان، وذلك بدمج التعديلات المناسبة للسيطرة على كل حالة خاصة.

الشكل (6-22): جسر جانبي (levee) مع طريق على قمته؛ من أجل حفظ ضفة النهر، (يسار الصورة) أسفل نهر المسيسيبي في لوزيانا. (Comstock Images)



(ب)



(أ)

الشكل (6-23): بركة لحبس المياه. (أ) مقارنة بين الجريان من منطقة مرصوفة في أثناء العاصفة، وأخرى في منطقة أنشئت فيها بركة مؤقتة لحبس المياه في الموقع. لاحظ أن المنطقة المرصوفة ببركة الحبس تنتج قمة منحنى الصرف المنخفضة، ما تقلل من فيضان النهر. (Modified after U.S. Geological Survey Professional Paper 950). (ب) صورة لبركة حبس مياه بالقرب من سانتا برابرا، كاليفورنيا. (Edward A. Keller)

تدقق الفيضان إلى مستويات أعلى، وبعد ملاحظة أسباب كثير من الفيضانات وآثارها، تعلمنا أن الضوابط الإنشائية يجب أن تسيطر جنباً إلى جنب مع أنظمة السهول الفيضية، إذا كنا نسعى إلى الحد من الأخطار (17)، (18)، (25)، (26).

وأحد الدروس المستفادة من فيضانات عام 1993م، أن بناء الحواجز يوفر إحساساً خادعاً بالأمن، فمن الصعب أن تُصمَّم جسور طويلة لتصمد في وجه فيضانات قوية مدّة زمنية طويلة، إضافة إلى ذلك، فإن فقدان الأراضي الرطبة يسمح بنقصان مساحة السهول الفيضية القادرة على امتصاص مياه الفيضان⁽²³⁾، لقد أدت فيضانات عام 1993م إلى دمار وفقدان كبيرين في الممتلكات. وعام 1995 غمرت مياه فيضان نظام نهر المسيسيبي منشآت السهل الفيضي مرّة أخرى، فلجأ معظم قاطني النهر إلى التفكير في إستراتيجية تتعلق بأخطار الفيضان تمثّلت في الانتقال إلى أماكن أكثر ارتفاعاً، بالطبع، هذا هو التكيف الحقيقي المناسب، وبيع عام 2008م وقعت حالة فيضان عظيمة لنهر المسيسيبي أدت إلى مقتل (24) ضحية، إضافة إلى فقدان بلايين الدولارات، وهذا يدلّ على أننا لم نتعلّم الكثير من فيضان عام 1993م.

التقنية (أعمال القنوات) Channelization تشمل على العمليات التي تجعل القنوات أكثر استقامة، وتعمّقها، وتوسّعها، وتنظّمها، وتبطنها، وهي أساساً عمليات هندسية، تهدف إلى السيطرة على الفيضان، وتصريف مياه الأراضي الرطبة، والسيطرة على عمليات الحثّ، وتطوير عمليات الملاحة، ومن بين هذه الأهداف، تُعدّ السيطرة على الفيضان وتطوير عمليات التصريف، هي الأكثر أهميّة في مشروعات التقنية، لقد تمّ تحويل آلاف الكيلومترات من أنهار الولايات المتّحدة، وهناك آلاف الكيلومترات من أعمال التقنية قيد التخطيط أو التنفيذ، فقد قامت الوكالات الفدرالية وحدها بأعمال تحويل القنوات آلافاً عدّة من الكيلومترات.

الحواجز الطبيعية؛ بسبب زيادة الإنشاءات على السهول الفيضية التي من المفترض أنها محمية بهذه المنشآت، على سبيل المثال: جلب شتاء عامي 1986م و 1977م فيضانات وعواصف هائلة في الولايات الغربية، وخصوصاً في كاليفورنيا ونيفادا ويوتا، حيث فاقت الأضرار ملايين عدّة من الدولارات، وعدداً من القتلى، وفي أثناء إحدى العواصف والفيضانات التي حدثت عام 1986م تحطّم أحد الحواجز على نهر يوبا في كاليفورنيا، ما أدى إلى فرار أكثر من (20,000) شخص تقريباً من منازلهم، يُستفاد من ذلك، أن الحواجز المنشأة على الأنهار منذ سنوات عدة، أصبحت في حالة سيئة، وهي عرضة للانهار في أثناء الفيضانات.

أما فيضانات عام 1997م، فقد دمّرت مواقع مخيّمات، وغيرها من المنشآت في منتزه «يوسايت» الوطني، ونتيجة لذلك فقد أعاد المنتزه مراجعة إدارة السهل الفيضي وتنظيمه، إذ هُجرت بعض المخيمات والمنشآت الخدمية الأخرى، وسمح للنهر الآخر بالتحرك بحرية.

جدير بالذكر أن بعض الإنشاءات الهندسية التي صمّمت لمنع الفيضانات، زادت في حقيقة الأمر أخطار الفيضان على المدى البعيد، فقد تسببت -مثلاً- جدران الفيضان (flood walls) في إنتاج عنق الزجاجة في «سينت لويس»، ما أدى إلى زيادة الفيضانات في أعالي نهر المسيسيبي عام 1993م (انظر إلى: نظرة متفصّلة: فيضان نهر المسيسيبي).

وقد أدّى تكرار حدوث الفيضانات، وخصوصاً على نهر المسيسيبي إلى تضارب الآراء حول مساهمة الأنشطة البشرية في زيادة الفيضان، فالتصريف المساوي للفيضان ينتج مراحل فيضية عليا، أضف إلى ذلك أن أنظمة الحواجز والجدران الفيضية ومنشآت تطوير الملاحة النهرية، المتمثلة في المراكب التي تنقل البضائع أسفل النهر، تسيطر على الفيضانات الصغيرة فقط، بينما تحدّ من سرعة المياه في أثناء الفيضانات الكبيرة، وينتج عن ذلك ارتفاع

نظرة متفصّلة A CLOSER LOOK

فيضان نهر المسيسيبي Mississippi River Flooding

تغيّرات مناخية رئيسة، غطّت مناطق أعالي غرب وسط (Midwest) وشمال وسط (north-central) السهول العظمى، وخصوصاً المناطق التي تساب مياهها في نهر المسيسيبي ونهر ميسوري⁽²²⁾. بدأت المشكلات بخريف رطب وذوبان شديد للثلوج في الربيع، ما أدى إلى تشبّع الأرض في أعالي حوض نهر المسيسيبي، وفي بداية يونيو تمحور مركز للضغط العالي على الساحل الشرقي، ساحباً الرطوبة والكتل الهوائية غير المستقرّة إلى أعالي حوض صرف المسيسيبي، فمنعت هذه الحالة أنظمة العواصف في الوسط الغربي من التحرك نحو الشرق، وفي الوقت نفسه، كوّن الهواء المتحرك فوق جبال «روكي» وبصورة غير معتادة عواصف مطرية كثيفة⁽²²⁾، وكان صيف عام 1993م الأكثر رطوبة في «النيوز وأيو ومينسوتا»، فعلى سبيل المثال، استقبلت «سيدارايدينز» و«أيو» قرابة (90 cm) من الأمطار في الفترة من إبريل إلى يوليو، وهو ما يكافئ معدل الأمطار السنوية في مدّة أربعة أشهر فقط⁽²¹⁾، وأدى الهطل الشديد الساقط على أراضي مشبّعة إلى حدوث جريان بكميّات هائلة، أدت بدورها إلى فيضانات عظيمة غير معتادة في أثناء الصيف. لقد كانت

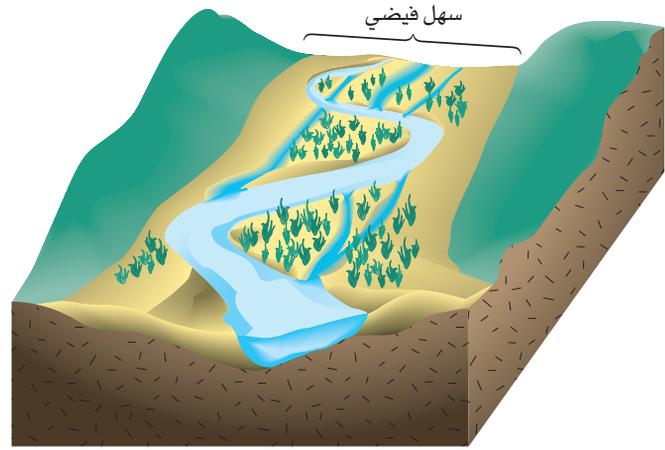
أدّى فيضان نهر المسيسيبي ربيع عام 1973م إلى إخلاء عشرات الآلاف من السكان، بعد أن غمر عشرات آلاف الكيلومترات المربعة من المزارع في وادي نهر المسيسيبي، ولحسن الطالع، كانت الوفيات محدودة، إلا أن خسائر الممتلكات بلغت قرابة (1,2) بليون دولار⁽¹⁸⁾، فقد حدثت الفيضانات عام 1973، على الرغم من الاستثمارات الهائلة للسيطرة عليها، ببناء السدود في أعالي نهر ميسوري، وفاضت الخزانات خلف السدود، وغمرت معظم المزارع المهمّة في «داكوتا»، وكان الفيضان قرب «سانت لويس» محطماً للأرقام القياسية⁽¹⁹⁾، من المدهش أن هذا الفيضان لا يقارن من حيث القوّة والمعاناة بالفيضان الذي حدث بعد عشرين سنة لاحقة.

ففي أثناء صيف عام 1993م تعرّض نهر المسيسيبي وفروعه إلى أعظم فيضانات القرن، إذ زادت المياه عن تلك في فيضان 1973م، وفاقت فترة التكرار أُل «100-سنة»، حيث استمرّت الفيضانات من أواخر يونيو إلى أوائل أغسطس، وتسببت في مقتل (38) شخصاً، ودمار للممتلكات قدر بـ (20) بليون دولار تقريباً، فقد غمرت المياه قرابة (55.000 km²) من بينها كثير من المدن والمزارع⁽²⁰⁾، (21). إذ نتجت هذه الفيضانات بسبب



- | | | | |
|---|---------------------|---|------------|
|  | سهل فيضي |  | حواجز |
|  | قناة رئيسة |  | مزارع |
|  | قنوات التدفق العالي |  | أراضٍ رطبة |

(ب) بعد تقصير القناة وبناء الحواجز



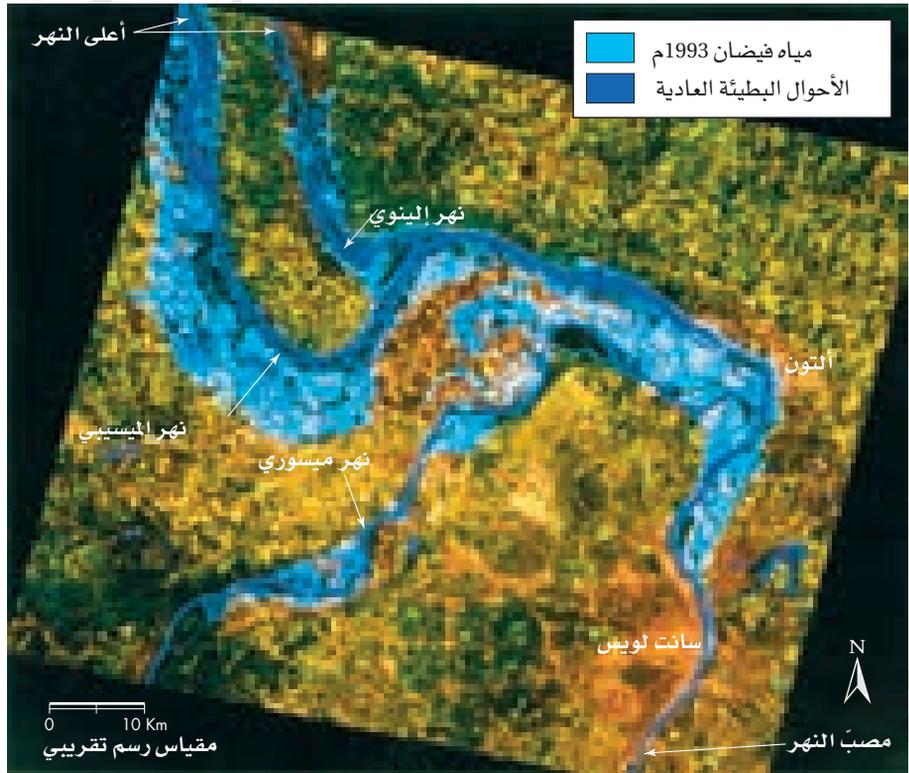
- | | |
|---|---------------------|
|  | سهل فيضي |
|  | قناة رئيسة |
|  | قنوات التدفق العالي |
|  | أراضٍ رطبة |

(أ) طبيعي

الشكل (6 و): سهل فيضي بحواجز أو دونها. شكل مثالي لـ: (أ) سهل فيضي طبيعي (أرض منبسطة محاذية للنهر ونتيجة عنه) وأراضٍ رطبة. (ب) سهل فيضي بعد أن جرى تقصير النهر وبناء حواجز الأراضي خلف الحواجز تحوَّلت إلى مزارع، أما الأراضي الرطبة فأصبحت محصورة بين الجسور الطبيعية.

الشكل (6ز): فيضان نهر المسيسيبي عام

١٩٩٣م. تبيّن هذه الصورة امتداد فيضان نهر المسيسيبي عام 1993م. ويصبح النهر ضيقاً في الركن الأيمن الأسفل، حيث يجري قرب مدينة «سانت لويس»، المنطقة البرتقالية في الركن الأسفل الأيمن)، وقد أصبح المجرى هنا ضيقاً؛ بسبب تقلص مجرى النهر نتيجة لسلسلة جدران الفيضان، التي أنشئت من أجل حماية المدينة. لاحظ اتساع الفيضان أعالي النهر قرب «سنت لويس، ميسوري». لقد أصبحت المدينة بفعل أعمال مقاومة الفيضان أشبه بعنق زجاجة حقيقي لجريان المياه. مدينة «التون في النبوز» هي المنطقة البرتقالية الأولى في اتجاه أعلى النهر من سانت لويس، وتعدّ ذات تاريخ شهير بالفيضانات. Cindy Brown/Corbis



قبل بناء الحواجز، كان السهل الفيضي الذي يمثل الأرض المنبسطة المحاذية للنهر، التي تتعرّض للفيضان بصورة دورية أكثر اتساعاً، ويشتمل على أراضٍ رطبة شاسعة، ومنذ بناء أول الحواجز عام 1718م، فقد قرابة (60%) من الأراضي الرطبة في «ويسكونسين وألينوز وأيووا وميسوري ومينيزوتا، التي ضربتها الفيضانات بشدّة عام⁽²³⁾ 1993 وفي بعض

مياه الفيضان عالية مدّة زمنية طويلة، ما أدّى إلى توليد ضغط هائل على دفاعات الفيضانات لنهر المسيسيبي وخصوصاً الحواجز، التي هي أرسفة أرضية بُنيت موازية لامتداد النهر؛ لاحتواء مياه الفيضانات، وخفض حدّة الفيضان (الشكل 6 و). وقد بُنيت الحواجز على الأراضي المنبسطة المحاذية للنهر، التي تعرف بالسهل الفيضي.



الشكل 6 ج): انهيار حاجز (levee failure). تسبب انهيار هذا الحاجز في «الينويز» في أثناء فيضانات نهر المسيسيبي عام 1993م في فيضان مدينة «فالماير» (Comstock Images.)

الأماكن مثل «سينت لويس وميسوري» تركت الحواجز الساحة لعمل تصاميم جدران الفيضان؛ لحماية المدينة من الفيضانات عالية القوة. باختبار (الشكل 6 ي)، الذي تبين فيه صورة الأقمار الصناعية منذ منتصف شهر يوليو عام 1993م، النهر، وهو ضيق في سينت لويس، حيث يكون محاطاً بجدران الفيضان، بينما يكون عريضاً في اتجاه المنبع قرب مدينة «ألتون»، حيث حدثت الفيضانات الواسعة. لقد تسببت جدران الفيضان في تكوين ما يشبه عنق الزجاجة؛ لأن المياه تُجبر على المرور في قناة ضيقة بين الجدران، وهذا يؤدي إلى ضغوط شديدة للمياه في انتظار العبور، فأسهمت مياه الفيضان هذه في فيضان عام 1993م في اتجاه المنبع عند «سينت لويس» (الشكل 6 ي).

وعلى الرغم من الجدران العالية التي بُنيت لمنع الفيضان، إلا أن ارتفاع قمة الفيضان علتها بقرابة (0.6 m) (قدمين) في «سينت لويس». وحذر انهيار الحواجز في اتجاه المصب من «سنت لويس» الضغط جزئياً، وذلك أنقذ المدينة من الفيضان. لقد كان انهيار الحواجز - (الشكل ح 6) - شائعاً في أثناء حدوث الفيضان⁽²¹⁾، وفي حقيقة الأمر، فإن قرابة (80%) من الحواجز الخاصة (بناها المزارعون وملاك المنازل على نهر المسيسيبي وروافده) قد انهارت⁽²¹⁾، وصمدت معظم الحواجز التي أنشأتها الحكومة الفدرالية في وجه الفيضان، ما أنقذ الأرواح والممتلكات بلا شك. ولسوء الطالع، فإنه لا يتوافر مقياس منتظم وموحد لبناء الحواجز، فبعض المناطق تكون الجسور فيها أعلى أو أخفض من الأخرى، ولذلك تحدث الانهيارات نتيجة غمرها بالمياه أو تصدعها، ما يؤدي إلى حدوث فيضانات شديدة تغمر المناطق البعيدة والمدن (الشكل 6 ط)⁽²¹⁾.



الشكل 6 ط): مناطق زراعية مدمرة (Damaged farmland). دمار المزارع في أثناء أوج فيضان نهر المسيسيبي عام 1993م. (Comstock Images.)

تعدّ عمليات ترميم نهر «كسمي» في «فلوريدا» أكثر مشروعات الترميم غموضاً على الإطلاق في الولايات المتحدة (انظر الفصل الرابع)⁽²⁹⁾، وقد اقترحت مجموعة تدعى أصدقاء النهر في «لوس أنجلوس في كاليفورنيا» ترميم نهر «لوس أنجلوس»، وهذا مطلب صعب التنفيذ؛ لأنّ معظم أرضية القناة وظيفتها مرصوفة بالأسمت الملسح (الشكل 6-27)، وفي الأحوال كلّها، فقد حُطّط ميدان نهر له على أحد المقاطع، حيث ظهرت من جديد ملامح قناة طبيعية منذ عمليات التحوير التي حدثت (الشكل 6-28).

تأمين ضد الفيضان Flood Insurance

عندما أصبحت شركات التأمين الخاصة عام 1968م غير راغبة في تقديم عروض تأمين ضدّ الفيضان، قامت الحكومة الفدرالية بضبط الأمور، وقام «برنامج تأمين الفيضان الوطني الأمريكي» بعمل ذلك مع تحفظات تتضمّن فترة انتظار مقدارها ثلاثون يوماً، بحيث أصبح تأمين الفيضان متوافراً وبأسعار مخفضة. وحُدّدت مناطق الفيضان الخطرة الخاصة (تلك التي تغمر بفيضان «100-سنة»)، وعلى ملاك الثروات شراء التأمين بأسعار تحدّد بحسب خطورة المنطقة، إذ يهدف برنامج التأمين إلى توفير معونة مادية قصيرة الأمد لضحايا الفيضانات، ولبدء أنظمة لاستعمال الأراضي على المدى البعيد للسهول الفيضية على مستوى الأمة، حيث ركّز تقييم الخطر الأساسي على تعرّف مناطق السهول الفيضية، التي تغمرها المياه في أثناء فيضانات «100-سنة»، حيث يُسمح فيها فقط للمباني المقاومة للفيضان (الشكل 6-29)، ولم يسمح بالإنشاءات على مناطق السهل الفيضي التي تتعرّض لفيضان «20-سنة»، وعلى الجهة التي ترغب في الانضمام إلى «برنامج تأمين الفيضان الوطني» أن تتبنّى المقاييس الدنيا من أنظمة استعمالات الأراضي ضمن سهول الفيضان «100-سنة»، التي رُسمت خرائطها عن طريق وكالة إدارة الطوارئ الفدرالية.

تمتلك معظم الجهات المتأثرة بأخطار الفيضان في الولايات المتحدة خرائط أخطار فيضان أساسية، وأوجدت بعض صور القوانين المتعلقة بالسهول الفيضية، يُضاف إلى ذلك أنّها منحت الآن ملايين عدّة من بوليصات التأمين لأصحاب الممتلكات⁽³⁰⁾.

لقد أصبح من المعترف به في أوائل التسعينيات، أنّ برنامج التأمين في حاجة إلى إصلاح، وذلك أدّى إلى ظهور «قانون إصلاح تأمين الفيضان الوطني» عام 1994م؛ من أجل تشجيع الفرص لتخفيف أخطار الفيضان، ومن ضمنها مقاومة الفيضان، والترحيل، وشراء الممتلكات الأكثر عرضة للفيضان⁽³⁰⁾.

مقاومة الفيضان Flood-proofing

هناك كثير من طرق مقاومة الفيضان، ومن أكثرها أهميّة ما يأتي:

- رفع أساسات المباني فوق مستوى خطر الفيضان، باستخدام دعائم أو أعمدة أو مدّ جدر استنادية أو طمم ترابي.
- إنشاء جدر فيضان أو أرضفة ترابية طبقية حول المباني، ليحكم إغلاقها، ويمنع تسرّب مياه الفيضان.
- استخدام إنشاءات صامدة للماء (water proof)، مثل الأبواب، وجدران الأساسات، والنوافذ الصامدة للماء.
- تركيب مصارف مزوّدة بمضخات؛ لتبقي مياه الفيضان خارجاً.

وفي الأحوال كلّها، لم تؤخذ الآثار البيئية المضادة لعمليات التقنية في الحسبان في الماضي، وأكّد المعارضون لأعمال القنوات في الأنهار الطبيعية أنّها أعمال غير أخلاقية، فيما يخصّ إنتاج الأسماك والحياة البرية في الأراضي الرطبة، والأبعد من ذلك هو انحدار مستوى النهر الجمالي. وتمتّلت حجة المعارضين في الآتي:

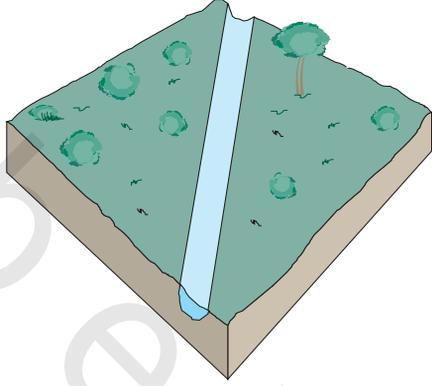
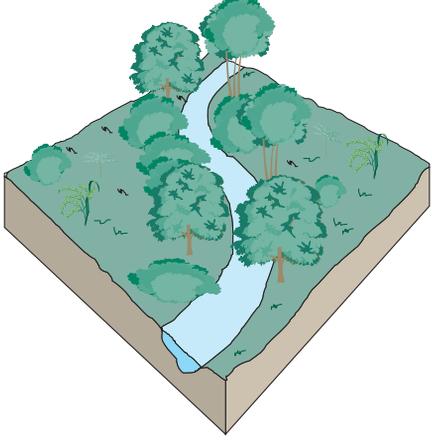
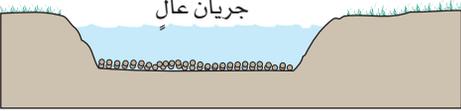
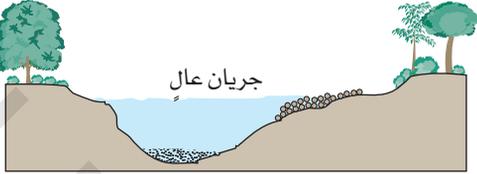
- تصريف الأراضي الرطبة يؤثّر في النباتات والحيوانات، حيث يقلّص البيئات الضرورية لبقاء بعض الأنواع الحيوية.
- قطع الأشجار عبر النهر يقلّص الظل والغطاء للأسماك، ويعرّض النهر للشمس، وذلك يؤدّي إلى تدمير الحياة النباتية، وتسخين الكائنات المائية الحساسة.
- قطع الأشجار ذات الأخشاب الصلبة في منطقة السهل الفيضي يقلّص من بيئات كثير من الحيوانات والطيور، في حين أنّها تسهّل عملية الحتّ، وتجميع الرواسب الغرينية في مجرى النهر.
- عمليات تحويل مجاري الأنهار وتحويلها إلى أنهار مستقيمة، يدمّر تنوّع أنماط الجريان ومناطق تغذية الأحياء المائية وتكاثرها، خاصة عند زيادة أوج الجريان.
- تحويل الأراضي الرطبة من أنهار متعرّجة إلى مستقيمة بحفر القنوات، يفسد القيمة الجمالية لطبيعة المنطقة⁽²⁷⁾. يلخّص الشكل (6-24) بعض الفروق بين الأنهار الطبيعية والقنوات المحوّرة.

ليست أعمال التقنية جميعها شديدة الإفساد للبيئة، ففي كثير من الحالات تكون مشروعات التصريف مفيدة، ويمكن ملاحظة الفوائد في المناطق العمرانية المعرّضة للفيضان، وفي المناطق الريفية التي أدّى استعمال الأراضي فيها إلى مشكلات في التصريف، وإضافة إلى ذلك هناك أمثلة أخرى تدل على أنّ تحويل القناة طوّر عمليات الملاحة، وقلل من الفيضان، أضف إلى ذلك أنّها لم تدمّر البيئة.

ترميم القناة: بديل أعمال القنوات

Channel Restoration Alternative to channelization

الكثير من الأنهار في المناطق المدنية لا تشبه القنوات الطبيعية، فعمليات بناء الطرق ومرافق الخدمات والمباني، وما يصاحبها من إنتاج للرواسب كافية لإفساد معظم الأنهار الصغيرة، وتستخدم أنواع من التقنيات عدّة في ترميم القنوات، مثل: تنظيف مخلفات العمران من القناة، ما يسمح للنهر بالجريان بحريّة، والمحافظة على ضفاف النهر بعدم قطع الأشجار، أو بغرس أشجار ونباتات إضافية، حيثما اقتضت الحاجة، فالأشجار توفّر الظلال للنهر، وتحمي شبكة جذورها الضفاف من الحتّ (الشكل 6-25)، والهدف من ذلك كلّه، إيجاد قناة طبيعية تسمح للنهر بالتعرّج، وتوفير ظروف لحركة جريان بطيئة، حيثما أمكن ذلك، مثل الحركة السريعة الضحلة في الجوانب المتبادلة مع حركة جريان بطيئة وعميقة في البرك، ومن الضروري السيطرة على عمليات حت الضفاف جانبياً، وذلك بحماية التمرّجات الخارجية بحجارة كبيرة تسمّى الدكّة (riprap). يبيّن الشكل (6-26) معالم تصميم ترميم القناة (restoration).

<p>نهر مقنّى</p> 	<p>نهر طبيعي</p> 
<p>درجات حرارة زائدة عديم الظل و عديم الغطاء للمياه السمكية تغيّرات سريعة في درجات الحرارة اليومية والموسمية. ونقصان في ورود أوراق النباتات.</p>	<p>ظروف القناة</p> <p>درجات حرارة مناسبة ظل مناسب غطاء جيد للمياه السمكية تفاوت قليل في درجات الحرارة ورود أوراق نباتات بوفرة</p>
<p>غالبًا</p>  <p>منحدرات نهريّة حصوية حصى غير مفروز، نقصان في البيئات، كائنات حية قليلة.</p>	<p>تتابعات البرك والمنحدرات النهريّة</p> <p>بركة (Pool): غرين، رمل وحصى صغير منحدر نهري (riffle): حصى خشن، حصى مفروز يوفر بيئات متنوعة للأحياء النهريّة.</p> 
<p>جريان عال</p>  <p>قد تكون سرعة النهر أقوى من قدرة بعض الأحياء المائية على الصمود. أماكن استقرار قليلة أو معدومة.</p>	<p>بيئة البركة</p>  <p>سرعات مائية متنوّعة عالية في البرك، منخفضة على المنحدرات مناطق استقرار وفيرة تحت الضفاف، خلف الصخور، وغيرها.</p>
<p>جريان منخفض</p>  <p>عمق المياه كافي في أثناء موسم الجفاف مساعدة حياة الأسماك وغيرها من الأحياء المائية. عدد قليل من البرك إن وجدت (جميعها منحدرات نهريّة).</p>	<p>بيئة منحدر النهر</p>  <p>عمق المياه كافي لتوفير بيئة مناسبة لحياة الأسماك وغيرها من الأحياء المائية في أثناء الموسم الجاف.</p>

الشكل (6-24): الأنهار الطبيعية مقابل الأنهار المقنّاة. مقارنة بين نهر طبيعي ونهر مقنّى من حيث: الصفات العامة وبيئات البرك.

محرور عن: (Corning, Virginia Wildlife, February 1975).

نظام السهل الفيضي

Floodplain Regulation

سبق أن عرّفنا السهل الفيضي بأنّه معلم أرضي نتج عن فعل النهر. وعندما نحاول وضع قوانين لتنظيم التنمية الإنشائية على منطقة فيضان خطيرة، فإننا غالبًا ما نعرّف السهل الفيضي من وجهة نظر هيدرولوجية (مائية):

وهناك تحويرات أخرى على المباني المصمّمة لتقليل أخطار الفيضان، عند سماحها لمياه الفيضان بدخول المبنى، فمثلاً: تكون الطوابق الأرضية في الممتلكات غالبية الثمن الواقعة على الجبهات النهريّة في بعض الجهات في ألمانيا مصمّمة، بحيث لا يحدث لها تدمير كبير بمياه الفيضان، ويمكن تنظيفها وتجهيزها بسهولة لإعادة استخدامها بعد الفيضان⁽³⁰⁾.

الشكل (6-25): جذور الأشجار تحمي ضفة النهر من الحث
(Edward A. Keller)

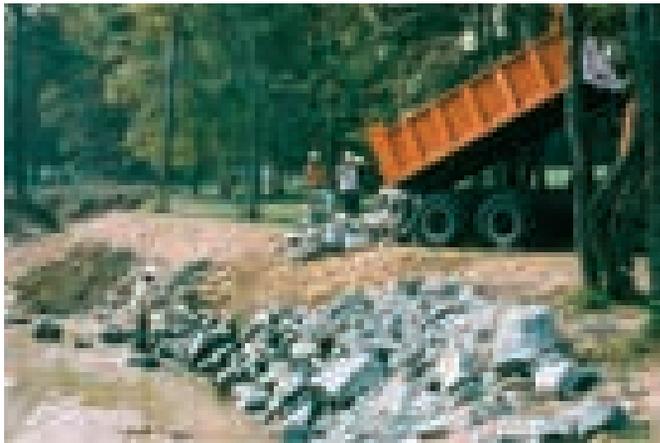


الفيضية، وفي ظل لأخطار فيضان معروفة. يهدف نظام السهل الفيضي إلى الحصول على أفضل الاستخدامات للسهول الفيضية، عندما تُخفّض أضرار الفيضان، وتُخفّض تكاليف الحماية منه⁽³¹⁾، ويُعدّ تنظيم السهل الفيضي تسوية بين من لا يميّز بين استخدام السهول الفيضية، وما ينتج عنه من فقدان الأرواح والدمار الهائل للممتلكات، وبين التجاهل الكامل للسهول الفيضية التي تُعدّ مصدرًا طبيعيًا ثمينًا.

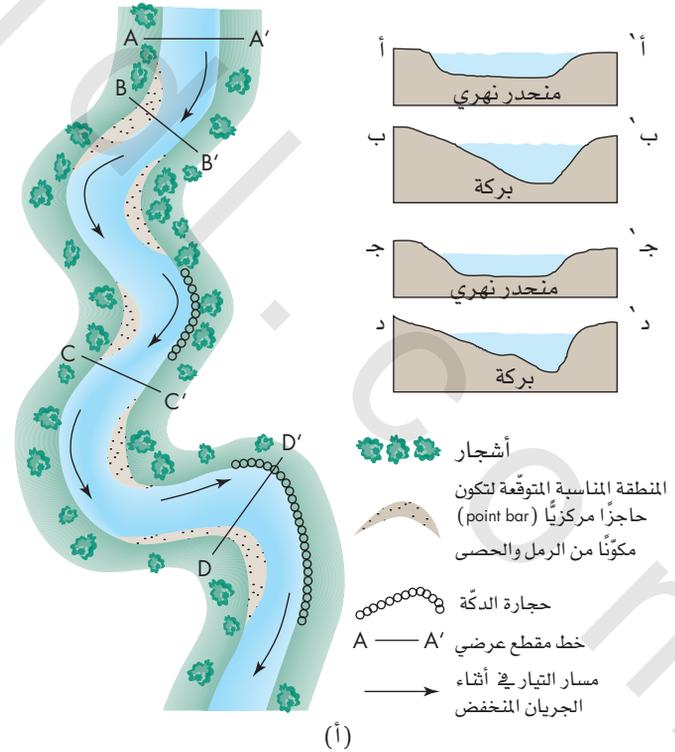
وهذا لا يعني أنّ الحواجز الطبيعية والخزّانات وأعمال التقنية ليست مطلوبة، فالمناطق المنشأة على السهول الفيضية في حاجة ماسّة إلى حماية الأرواح والممتلكات، ويتعيّن علينا أن نعلم: أنّ السهل الفيضي جزء من النظام النهري، وأنّ أيّ انتهاك لتقليص منطقة عرض السهل الفيضي

لهذا، فإنّ السهل الفيضي «100-سنة» هو ذلك الجزء من وادي النهر، الذي تغمره مياه فيضان «100-سنة»، ويكون لنهر ما في أيّ موقع يفيض فيه مقدار من التصريف (discharge) (حجم الجريان في الوحدة الزمنية، مثل الأمتار المكعبة أو الأقدام المكعبة في الثانية)، فنحن غالبًا من يحدّد ذلك التصريف عن طريق تحليل سجلات الجريان السابقة (انظر إلى: نظرة متفحّصة: مقدار الفيضان وتكراره، وبعض التطبيقات الرقمية على تحاليل أخطار الفيضان).

ومن وجهة نظر بيئية، فإنّ أفضل وسيلة لخفض أضرار الفيضان في المناطق العمرانية، هي نظام السهل الفيضي، إلّا أنّ المشكلة الكبرى أنّ ملايين عدّة من الناس في قرابة (4000) قرية ومدينة أمريكية، يعيشون على السهول



(ب)

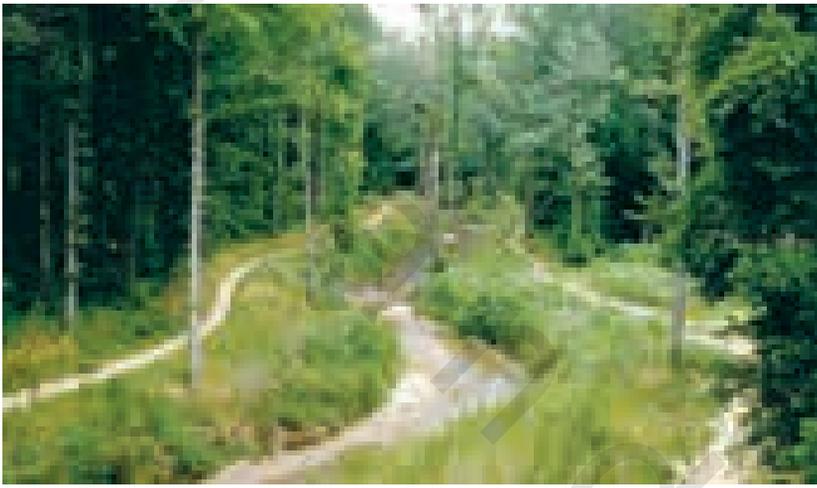


الشكل (6-26): ترميم النهر في المناطق العمرانية للمدينة. (أ) تصميم لترميم القناة لأنهار المدينة باستخدام أشكال قنوات متنوّعة لإحداث حفر وترسيب (برك ومنحدرات نهرية) في المناطق المطلوبة. محوّر عن: (Modified after Keller, E. A., and Hoffman, E. K., 1977, Journal of Soil and Water Conservation 32(5):237-40) (ب) وضع دكّة حجارة في الأماكن الضرورية لحماية الضفة. لاحظ زراعة النباتات والأشجار على الضفاف.
(Edward A. Keller)



(أ)

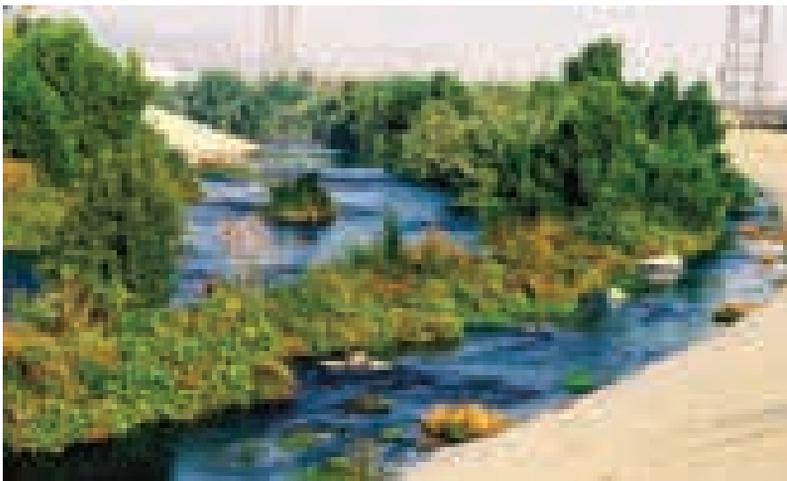
الشكل (6-27): التقنية مقابل الترميم. قناة بالأسمنت المسلح في نهر لوس أنجلوس مقارنة بـ (ب) ترميم القناة في شمال كارولينا.
(Edward A. Keller)



(ب)

وتتظلم السهل الفيضي الذي ينتج عنه تحويلات طبيعية محدودة لنظام النهر، على سبيل المثال: عمل نطاقات سهل فيضي معقولة في تقاطعات وتفرعات مشروع القناة، أو تكوين خزّان في اتجاه منبع النهر عند تفرّع صغير للنهر، أو خزّان أكثر ممّا يجب دون أنظمة السهل الفيضي.

للنهر يزيد الفيضان، انظر الشكلين (6-30) و (6-29)، والحلّ المثالي هو عدم إكمال تطوير السهل الفيضي، الذي يتطلّب بناء حواجز طبيعية جديدة، وبمعنى آخر، فالأفضل هو عمل «التصميم الموافق للطبيعة»، وفي الواقع، فإنّ الحلّ العملي الأكثر تأثيراً في معظم الحالات، هو دمج الحواجز الطبيعية،



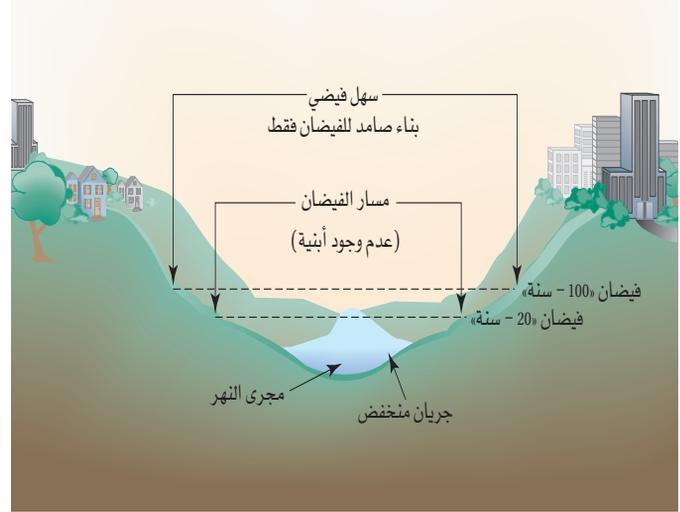
الشكل (6-28): نهر لوس أنجلوس. جزء من نهر لوس أنجلوس، حيث نشأت قناة طبيعية منذ حدوث التقنية.
(Deirdra Walpole Photography)

رسم خرائط أخطار الفيضان

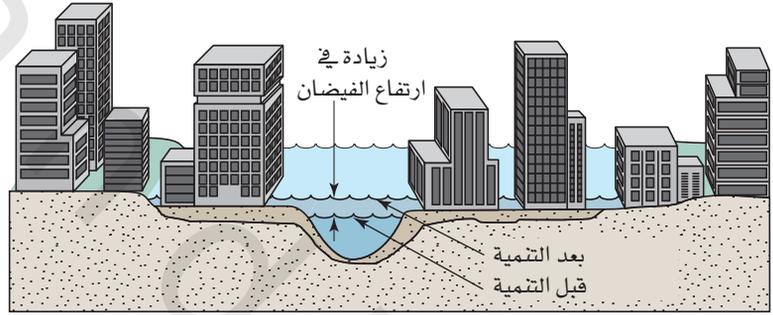
Flood-Hazard Mapping

الخطوة الأولى في تنظيم السهل الفيضي وضع خرائط لأخطار الفيضان، وهي وسائل توفير المعلومات عن السهل الفيضي، من أجل التخطيط لاستعمال الأراضي⁽³³⁾، وتبيّن خرائط أخطار الفيضان تلك الفيضانات التي حدثت في الماضي أو فيضانات ذات تكرار من نوع خاص، مثلاً فيضان «100 سنة»، (الشكل 6-29)، وهي مفيدة لتنظيم تطوير خاص؛ لشراء أراضٍ للاستخدامات العامّة، مثل المتنزّهات وخدمات الاستجمام، ولإيجاد خطوط عريضة لاستخدامات الأراضي مستقبلاً على السهول الفيضية. ومن الممكن أن يُنجز تقييم أخطار الفيضان بطريقة عامّة، تتمثل في مراقبة المعايير الطبيعية وقياسها، فعلى سبيل المثال: تظهر الفيضانات العامرة لنهر المسيسيبي في أثناء صيف عام 1993م بوضوح على صور الأقمار الصناعية (الشكل 6 ز)، ويمكن رسم خرائط الفيضان عن طريق الصور الجوية الملتقطة في أثناء حدوث الفيضانات؛ ويمكن أيضاً تقديرها من خطوط المياه العليا، وتوضّعات الفيضان، وعلامات الحفر، والقطع الصخرية المحتجزة على السهل الفيضي الذي انحسرت عنه المياه⁽³⁴⁾. وفي هذه الأيام فإنّ الطريقة الأمثل لإنتاج خرائط أخطار الفيضان، تتمثل في استخدام نماذج رياضية تبيّن الأراضي المغمورة بالفيضان الناتج عن جريان ما، وغالباً ما يكون فيضان «100 سنة».

الشكل (6-30): زيادة أخطار الفيضان. يمكن للتنمية التي تقام على السهل الفيضي أن تزيد ارتفاعات الفيضانات اللاحقة. (من جمعية مصادر المياه، 1971م) تنظيم مناطق أخطار الفيضان. المجلد 1.



الشكل (6-29): تنظيم السهل الفيضي. شكل نموذجي يبيّن المناطق التي تغمرها فيضانات «100 سنة» و«20 سنة» في برنامج تأمين فيضان الولايات المتحدة الوطني.



PUTTING SOME NUMBERS ON بعض التطبيقات الرقمية

تحليل أخطار الفيضان Flood Hazard Analysis

- تحليل بيانات جريان النهر؛ لتقدير قوّة الجريان وتكراره، وفي حالة أخطار الفيضان، يجب تقدير التصريف من فيضان «100 سنة» « Q_{100} »، أو أيّ تصريف آخر مهمّ لمشروع محدّد.
- استخدام نموذج رياضي / حاسوب مناسب للتنبؤ بالمرحلة (ارتفاع سطح الماء) المتوقّعة من Q_{100} على مقاطع طوبوغرافية عرضية متنوّعة، من أجل رسم خريطة أخطار فيضان تبيّن المساحة التي تغمرها مياه الفيضان.
- ولعل أفضل طريقة لفهم كيفية تقدير أخطار الفيضان هي استعراض المثال الآتي: إن «ميشين كريك» قرب «سانتا بربارا» كاليفورنيا ذو تاريخ سيئ للفيضان، ويتضمّن الفيضانات المدمّرة عام 1995م، حيث نتجت الفيضانات عن عاصفة استمرّت مدّة طويلة من الزمن، تجاوزت ثمانين ساعات، وجلبت أمطاراً منخفضة إلى متوسطة الشدّة بلغت قرابة (14 cm)، فغمر «ميشين كريك» (500) منشأة تقريباً، وألحق أضراراً بالممتلكات تقدّر بـ (50) مليون دولار تقريباً، فقد بُنيت مدينة «سانتا بربارا» على مروحة

عرفنا سابقاً في أثناء اطلّاعنا على «النظرة المتفحّصة» قوّة الفيضان وتكراره؛ أنّه يمكن استنتاج فترة التكرار (R) لكلّ فيضان، التي توفر لنا المعدّل المحتمل للفترة الزمنية بين الفيضانات ذات القوة المحدّدة، وما نحن نعود من جديد إلى ذلك المحور؛ بهدف فهم أفضل لكيفية تقييم أخطار الفيضان، ورسم خرائط أخطار الفيضان، التي تحدّد مساحة الأرض المتوقّعة غمرها بمياه الفيضان بفترة تكرار (R) محدّدة، مثلاً، فيضان «100 سنة». إذ يمكن أن يُمثل فيضان «100 سنة» بـ « Q_{100} » التي تعني تصريف «100 سنة». ووحدات التصريف المستخدمة علمياً عادة، هي الأمتار المكعبة في الثانية (m^3/s)، أمّا في الولايات المتحدة، فإنّ الوحدات المستخدمة هي القدم المكعب في الثانية (ft^3/s)؛ لذلك، تكون البيانات المستخدمة هنا بالأقدام في الثانية.

خطوات تحليل أخطار الفيضان

- جمع بيانات جريان النهر من محطّات القياس أو مجموعة محطّات قياس على نهر محدّد.

في سلسلة تستند إلى قوتها (M)، حيث إن $M = 1$ ، وتبين الجريان الأعلى الذي حدث عام 1995م، وتحسب (R) من المعادلة $R = (1 + N)/M$. حيث إن (N) هي عدد سنوات السجل. هذا التحليل مبين في الجدول (6 ب)، وباستخدام هذه التقنية نسقط مدة التصريف والتكرار لكل جريان على ورقة احتمالية، مثلما هو في الشكل (6 ي)، وحيث إننا نمتلك سجلات (25) سنة فقط، فإننا في حاجة إلى تقدير استقرائي للمنحنى، لتقدير (extrapolate) أحداث ذات قوة أكبر، مثل «Q₅₀» و «Q₁₀₀»، ومن الأفضل ألا يتمّ التقدير الاستقرائي لأكثر من ضعفي طول السجل، وهذا يعني أنه يمكننا التقدير الاستقرائي لغاية فيضان «50-سنة»، وفي الأحوال كلها، فإننا عادة ما نقدر فيضان «100-سنة»؛ لأن هذا ما يسمّى «مشروع فيضان»، وعادة ما يستخدم في تحليل أخطار الفيضان.

لقد أوصى «مجلس مصادر المياه في الستينيات باعتماد استخدام توزيع سجل بيرسون نوع (Log-Pearson type 111 distribution) (3)، لتحليل تكرار الفيضان في تحليل أخطار الفيضان⁽³²⁾، إذ يعتقد أنّ هذه الطريقة تؤدي إلى تنبؤات أفضل لتصريف الفيضان مقارنة بالتطبيقات

طميّة، وكانت الفيضانات على نحو الفيضانات النموذجية، التي تحدث على المراوح الطميّة⁽²⁾، المكوّنة من المياه المتحرّرة من قيد القناة الواحدة العميقة، لتنتشر على صورة كثير من القنوات الضحلة سريعة الحركة نحو الأسفل، لتغمر سطح المروحة، وتتجمّع على صورة برك قرب المحيط. وقد قدّرت السلطات المحلية أعلى تصريف سجلته إحدى محطات قياس الأنهار (gauging Station) بـ (5000 cf³/s) تقريباً، وبلغت أدنى التقديرات قرابة (3800 cf³/s)، إذ يستخدم التقدير الأدنى هنا في تحليل أخطار الفيضان؛ لأنّه يستند إلى حساب قياسات ميدانية، وليس بوصفها مجرد قراءات من محطة قياس، حيث حصل تراكم القطع الصخرية في مرحلة معروفة بالارتفاع الشاذ. وبغض النظر عن نوع قياس التصريف المستخدم، فقد كان الفيضان عظيماً، وتسبّب في دمار كبير. وقد بدأنا تحليلنا «لميشين كريك» بفحص البيانات في جدول (6 أ)، التي تبين أعلى جريان سنوي في الفترة من 1971م إلى 1995م، وهذا ما يعرف بالسلسلة السنوية، وتجدر الملاحظة أنّ سنوات التصريف العالي في أثناء الثمانينيات والتسعينيات قد ارتبطت بأحداث النينو (انظر مناقشة النينو في الفصل السادس عشر).

إن إحدى الطرق لتحليل تكرار الفيضان تتمثل في تنظيم أعلى جريان سنوي

الجدول (6 ب): بيانات ذروة الجريان السنوي «لميشين كريك» في «سانتا برابرا» كاليفورنيا 1971م-1995م (مرتبة بحسب القوة (M)، حيث $M = 1$ وهي الحدث الأكبر. ويبيّن كذلك معدّل فترة التكرار بالسنوات

السنة	ذروة التصريف السنوي (سم)	القوة (M)	(N + 1) / M (R ₁ / r s)
1995	3800 تقريباً	1	26,00
1973	2580	2	13,00
1978	2500	3	8,67
1983	2300	4	6,50
1972	1420	5	5,20
1980	1300	6	4,33
1975	1130	7,5 ^(أ)	3,47
1992	1130	7,5	3,47
1993	838	9	2,89
1984	681	10	2,60
1979	667	11	2,36
1986	626	12,5	2,08
1987	626	12,5	2,08
1977	569	14	1,86
1974	519	15	1,73
1991	468	16	1,62
1971	360	17	1,53
1976	353	18	1,44
1981	302	19	1,37
1994	207	20	1,30
1982	186	21	1,24
1989	168	22	1,18
1988	139	23	1,13
1985	128	24	1,08
1990	115	25	1,04

(أ) المعدّل a.Ties are averaged
المصدر: المساحة الجيولوجية الأمريكية

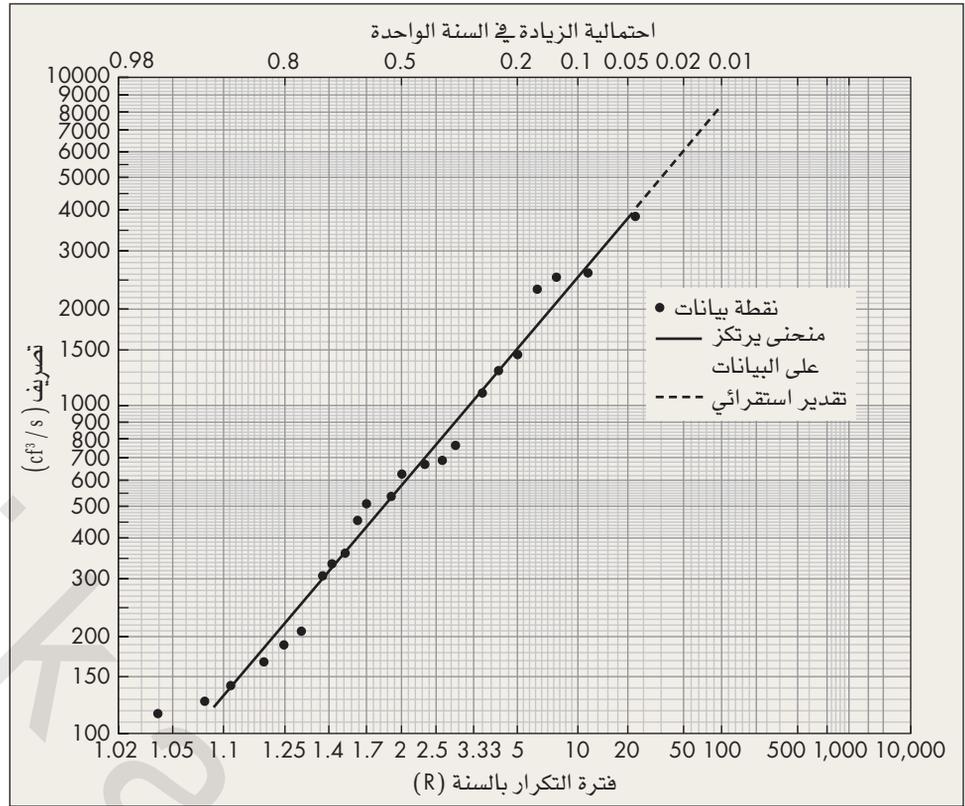
الجدول (6 أ): ذروة الجريان السنوي 1971م-1995م «لميشين كريك» في «سانتا برابرا» كاليفورنيا.

السنة	ذروة الجريان (cf ³ s)	ملاحظة
1971	360	
1972	1420	
1973	2580	
1974	519	
1975	1130	
1976	353	
1977	569	
1978	2500	حدث النينو ^(أ)
1979	667	
1980	1300	
1981	302	
1982	186	
1983	2300	سنة النينو
1984	681	
1985	128	
1986	626	سنة النينو
1987	626	سنة النينو
1988	139	سنة جفاف
1989	168	سنة جفاف
1990	115	سنة جفاف
1991	468	سنة النينو
1992	1130	سنة النينو
1993	838	سنة النينو
1994	207	سنة النينو
1995	3800 (تقريباً)	الأعلى في السجل

(أ) عادة ما تجلب النينو زيادة في الهطل على جنوب كاليفورنيا.

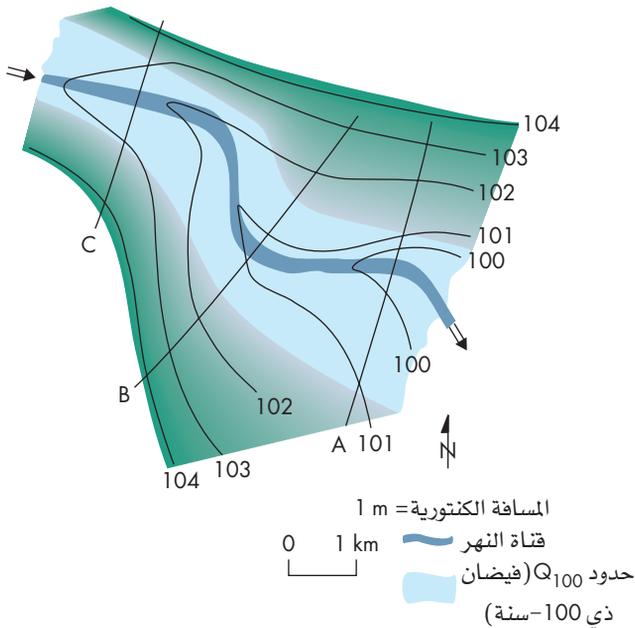
المصدر: المساحة الجيولوجية الأمريكية

الشكل (6 ي): تكرار الفيضان «لميشين كريك» في «سانتا بربارا»، كاليفورنيا. البيانات من الجدول (6 ب).



الأخيرة لتحليل (الشكل 6 ي). يمكنك التمرن على حساب القيم مثل (Q_{10}) و (Q_{25})، ثم المقارنة بين هذه القيم وتلك التي يمكنك تقديرها من الرسم البياني الممثل للبيانات في الشكل (6 ي).

\times ل Q_{100} (فيضان 100 سنة) أخطار الفيضان، هي إنتاج خرائط تبين



الشكل (6 ك): خريطة أخطار الفيضان. شكل نموذجي يوضح كيفية إنتاج خرائط أخطار الفيضان. انظر النص في الشرح.

البيسطة للمعادلة المستخدمة سابقاً الذكر، والمبيّنة في الجدول (6 ب). والمعادلة الأساسية التي تربط ذروة الفيضان وفترة التكرار بتوزيع سجل بيرسون نوع (3)، هي:

إن (X) تساوي (\bar{X})، بينما تمثل (X) ذروة التصريف عند تكرار جريان محدود وذو أهمية (مثلاً Q_{100})، (\bar{X}) هو متوسط التصريف المأخوذ من ذروة جريانات سنوية، (K) هي عامل تكرار يزداد بزيادة (R)، و (Q) هي الانحراف المعياري للجريانات السنوية⁽³²⁾. وتستخدم اللوغاريتمات (القاعدة 10) بحسب ما يتطلبه رسم التوزيع. يبين الشكل (6-2) الطريقة المستخدمة لبيانات «ميشين كريك». نعوّض بحسب معادلتنا السابقة، كما يأتي: (X) هي (\bar{X})، ($\log Q_{100}$) هي متوسط القيم اللوغاريتمية لذروات الجريانات السنوية، (k) تحدّد من الجدول (6 د) بتقدير استقرائي، أمّا (Q) فهي الانحراف المعياري للقيم اللوغاريتمية لذروة جريانات سنوية، ومثلها هو مبيّن في (2)، فإن الخطوة الأخيرة في حساب (Q_{100}) هي أخذ عكس اللوغاريتم من القيم، للحصول على التصريف المطلوب، وفي هذه الحالة، فإن Q_{100} (6393 cfs). لاحظ أنّ هناك قيمة (K) مختلفة لكل فترة تكرار، ولكي تحسب (K) من الجدول، فيجب أن تحسب أولاً قيمة (G) من المعادلة المعطاة، حيث تعتمد قيمة (G) على التوزيع الحقيقي لذروة الجريانات السنوية، وإنه تحديد لالتواء المنحنى (وهي قياس بعد التوزيع عن التماثل على جانبي المتوسط، أي البعد عن التوزيع العادي، الذي تكون صورته أشبه بالجرس). حسبنا في مثالنا (Q_{100}). لاحظ أنّ قيمة (Q_{100}) بحسب طريقة «لوغ-بيرسون نوع 111» أقل من التقديرات الاستقرائية في الرسم البياني المبيّن في الشكل (6 ي)، حيث تبلغ قرابة 8000 cfs (227 cms). أمّا بالنسبة إلى قيمة (Q_{50}) فإن نتائج الطريقتين متقاربتان 4796 cfs (136 cms) لطريقة «لوغ بيرسون نوع 111»، وقرابة 6000 cfs (170 cms) في حالة التقدير الاستقرائي للرسم البياني والخطوة

الجدول (6 ج): ذروة الجريانات السنوية في ميشين كريك، سانتا برابرا، كاليفورنيا، 1971م-1995م. طريقة توزيع بيانات «لوغ بيرسون نوع III». الحسابات بلوغاريتمات القاعدة (10).

السنة	M الذروة السنوية	Q (cfs)	ذروة السجل = Q	Q - Q	(Q - Q) ²	(Q - Q) ³
1995	1	3800 (تقريباً)	3.5798	0.8116	0.6587	0.5346
1973	2	2580	3.4116	0.6434	0.4140	0.2664
1978	3	2500	3.3979	0.6297	0.3966	0.2497
1983	4	2300	3.3617	0.5935	0.3523	0.2091
1972	5	1420	3.1523	0.3841	0.1475	0.0567
1980	6	1300 ^ا	3.1139	0.3457	0.1195	0.0413
1992	7	1300	3.1139	0.3457	0.1195	0.0413
1975	8	1130	3.0531	0.2849	0.0812	0.0231
1993	9	838	2.9232	0.1550	0.0240	0.0037
1984	10	681	2.8331	0.0649	0.0042	0.0003
1979	11	667	2.8241	0.0559	0.0031	0.0002
1986	12.5	626	2.7966	0.0284	0.0008	0.0000
1987	12.5	626	2.7966	0.0284	0.0008	0.0000
1977	14	569	2.7551	-0.0131	0.0002	0.0000
1974	15	519	2.7152	-0.0530	0.0028	-0.0001
1991	16	468	2.6702	-0.0980	0.0096	-0.0009
1971	17	360	2.5563	-0.2119	0.0449	-0.0095
1976	18	353	2.5478	-0.2204	0.0486	-0.0107
1981	19	302	2.4800	-0.2882	0.0831	-0.0239
1994	20	207	2.3160	-0.4522	0.2045	-0.0925
1982	21	186	2.2695	-0.4987	0.2487	-0.1240
1989	22	168	2.2253	-0.5429	0.2947	-0.1600
1988	23	139	2.1430	-0.6252	0.3909	-0.2444
1985	24	128	2.1072	-0.6610	0.4369	-0.2888
1990	25	115	2.0607	-0.7075	0.5006	-0.3541
المجموع			69.2043		4.5876	0.1174

• M = مقدار $N = 25$ (عدد السنوات المسجلة)

$$\bullet \bar{Q} = \frac{69.2043}{25} = 2.76821 \text{ (متوسط قيم اللوغاريتمات لقيم Q)}$$

$$\bullet \sigma = \text{الانحراف المعياري} = \sqrt{\frac{\sum(Q - \bar{Q})^2}{N - 1}} = \sqrt{\frac{4.586}{24}} = 0.4372$$

$$\bullet G = a \frac{n}{(N-1)(N-2)} b a \frac{g(Q - \bar{Q})^3}{s^3} b = a \frac{25}{(24)(23)} b a \frac{0.1174}{0.4372^3} b = 0.064$$

• k ل Q_{100} ، من الجدول 6 د (بالتقدير الاستقرائي) $(G = 0.064) = 2.373$

• ل Q_{100} (فيضان 100 - سنة)

$$\bullet \log Q_{100} = \bar{Q} + Ks = 2.7682 + 12.373210.43722 = 3.8057$$

$$Q_{100} = 6393 \text{ cfs } 1181 \text{ cms}^2$$

خطوة المياه الراجعة "Step-backwater" الذي طوره مركز الهندسة الهيدرولوجية، ديفيس، كاليفورنيا عام 1990م، حيث تتضمن متطلبات البيانات لهذا البرنامج مقاطع مسح عرضية عبر القناة والسهل الفيضي، والمرحلة الأولية وتصريف المياه (مثلاً إلى Q_{100})، والمعاملات المناسبة، المتضمنة الخشونة، وفيما إذا كانت القناة تتسع أو تنكمش بين المقاطع العرضية النموذجية. يبين الشكل (6 ك) رسمًا مثاليًا يبين منطقة مغمورة

المناطق التي يغمرها جريان فيضان ما، (مثلاً Q_{100}). ولأني نظام، حيث توجد قناة وسهل فيضي، يمكننا إنشاء سلسلة من المقاطع العرضية، التي تقطع السهل الفيضي والقناة، ثم نقدر لكل منها المرحلة (ارتفاع المياه) التي ستحدث من (Q_{100}) ، إذ يمكن إجراء ذلك عادة باستخدام نموذج حاسوب رياضي، يحل المعادلات الهيدرولوجية الأساسية لجريان المياه في القناة وعلى السهل الفيضي، أما النموذج المستخدم عادة فهو "HEC-RAZ" نموذج

الجدول (6 د): قيم (K) لتوزيع لوغ-بيرسون نوع III.							
فترة التكرار، سنوياً							
200	100	50	25	10	5	2	G
4.970	4.051	3.152	2.278	1.180	0.420	-0.396	3.0
4.847	3.973	3.114	2.275	1.210	0.460	-0.384	2.8
4.718	3.889	3.071	2.267	1.238	0.499	-0.368	2.6
4.584	3.800	3.023	2.256	1.262	0.537	-0.351	2.4
4.444	3.705	2.970	2.240	1.284	0.574	-0.330	2.2
4.298	3.605	2.912	2.219	1.302	0.609	-0.307	2.0
4.147	3.499	2.848	2.193	1.318	0.643	-0.282	1.8
3.990	3.388	2.780	2.163	1.329	0.675	-0.254	1.6
3.828	3.271	2.706	2.128	1.337	0.705	-0.225	1.4
3.661	3.149	2.626	2.087	1.340	0.732	-0.195	1.2
3.489	3.022	2.542	2.043	1.340	0.758	-0.164	1.0
3.312	2.891	2.453	1.993	1.336	0.780	-0.132	0.8
3.132	2.755	2.359	1.939	1.328	0.800	-0.099	0.6
2.949	2.615	2.261	1.880	1.317	0.816	-0.066	0.4
2.763	2.472	2.159	1.818	1.301	0.830	-0.033	0.2
2.576	2.326	2.054	1.751	1.282	0.842	0.0	0.0
2.388	2.178	1.945	1.680	1.258	0.850	0.033	-0.2
2.201	2.029	1.834	1.606	1.231	0.855	0.066	-0.4
2.016	1.880	1.720	1.528	1.200	0.857	0.099	-0.6
1.837	1.733	1.606	1.448	1.166	0.856	0.132	-0.8
1.664	1.588	1.492	1.366	1.128	0.852	0.164	-1.0
1.501	1.449	1.379	1.282	1.086	0.844	0.195	-1.2
1.351	1.318	1.270	1.198	1.041	0.832	0.225	-1.4
1.216	1.197	1.166	1.116	0.994	0.817	0.254	-1.6
1.097	1.087	1.069	1.035	0.945	0.799	0.282	-1.8
0.995	0.990	0.980	0.959	0.895	0.777	0.307	-2.0
0.907	0.905	0.900	0.888	0.844	0.752	0.330	-2.2
0.833	0.832	0.830	0.823	0.795	0.725	0.351	-2.4
0.769	0.769	0.768	0.764	0.747	0.696	0.368	-2.6
0.714	0.714	0.714	0.712	0.702	0.666	0.384	-2.8
0.667	0.667	0.666	0.666	0.660	0.636	0.396	-3.0

Source: U.S. Soil Conservation Service

أخطار الفيضان ونطاقات السهول الفيضية، علماً بأن هذه الطريقة فيوذاً، فمثلاً لم تكن فعالة في حالة «الميشين كريك السفلي»؛ لأنّ الفيضان على المروحة الطمّية حدث في قنوات عدّة للروافد، بخلاف ما يحدث في نهر ذي سهل فيضي معلوم، مثل الذي يتوقّعه نموذج (HEC-RAZ).

بفيضان «100 سنة» لامتداد افتراضي لنهر ذي مقاطع عرضية ثلاث، إذ يبدأ نموذج الحاسوب بحساب وتقدير مرحلة الفيضان للمقاطع العرضية نحو مصبّ النهر أولاً، ثمّ تعمل نحو منبع النهر. ويمكن تخريط وتقدير المنطقة التي يغمرها فيضان ما يتكرر مجدّد. وقد نفّذ ذلك لآلاف من الروافد والأنهار في أرجاء الولايات المتحدة، ووفّرت البيانات الأساسية الضرورية لتقييم

المزاد العلني لـ «شيرش فيري» بوضوح أنّ العملية كانت عاطفية؛ فقد كان من الصعب على البعض أن يتركوا منازلهم، على الرغم من أنهم يعلمون أنّها ستعرض لأضرار مياه الفيضان في المستقبل القريب.

التكيف الشخصي: ماذا تفعل، وماذا لا تفعل.

Personal Adjustment: What to Do and What Not to Do

تعدّ الفيضانات من أكثر الأخطار الطبيعية المألوفة، وعلى الرغم من أنّنا لا نستطيع منعها، إلا أنّ بعض الأفراد يمكنهم أن يكونوا أكثر استعداداً لها. يلخّص الجدول (6-2) الاستعدادات التي يمكن للأفراد أن يقوموا بها لمواجهة الفيضان، وتلك التي لا يتعيّن عليهم القيام بها.



الشكل (6-31): نطاقات السهل الفيضي. خريطة نطاقات نموذجية قبل إضافة أنظمة الفيضان وبعدها. (من مجلس مصادر المياه، 1971م، تنظيم مناطق أخطار الفيضان، الجزء الأول).

11-6 إدراك الفيضان

PERCEPTION OF FLOODING

يُعدّ إدراك الفيضان وفهمه على المستوى التأسيسي وعلى مستوى وكالة السيطرة الحكومية على الفيضان مناسباً لأغراض التخطيط، أمّا على المستوى الفردي فالوضع لا يكون واضحاً؛ لأنّ هناك تفاوتاً كبيراً في معرفة الناس للفيضان، وتوقعهم له مستقبلاً، والرغبة في تقبلهم التكيف مع الأخطار الناتجة عنه.

وقد اشتمل التقدم على المستوى التأسيسي على وضع خرائط للمناطق المعرضة للفيضان (تم تحضير آلاف من الخرائط)، والمناطق المعرضة لحدوث الفيضان المفاجئ في اتجاه مصبات الأنهار من السدود، وكذلك المناطق المتوقع أن يتسبب العمران في حدوث مشكلات في المستقبل القريب، إضافة إلى ذلك، شجعت الحكومة الفدرالية الولايات والهيئات المحلية على تبني مخططات تنظيم السهول الفيضية⁽³⁾، وما زال التخطيط لتفادي أخطار الفيضان عن طريق وقف التنمية فوق السهول الفيضية، أو نقل مواقعها الحالية إلى مواقع أخرى، بعيدة عن السهول الفيضية في حاجة إلى اهتمام وثقافة أكبر ليتقبلها السكان بوجه عام، قد ظهر هذا واضحاً وبصورة مفجعة في فيضانات عام 2006م في الولايات المتحدة في وسط الأطلسي، حين ضرب الفيضان النهري العنيف المقاطعة من «فيرجينيا» إلى «نيويورك» (الشكل 6-32)، حيث تم إخلاء قرابة (200,000) نسمة من قاطني السهل الفيضي في «بنسلفانيا» وحدها، وقد أحدثت أضراراً تجاوزت (100) مليون دولار، وفقد (16) شخصاً تقريباً أرواحهم إثر انجراف سياراتهم بمياه الفيضان، حيث غرق الناس في الجداول والأنهار الفائضة، وأنقذ (70) شخصاً تقريباً عن أسقف المنازل. إذن، علينا أن نقول: «لا» لأيّ تنمية على السهول الفيضية، وهذه هي الطريقة الأقل تكلفة، للتقليل من حدة الفيضانات المزمّة.

تشكّل الأنهار والسيول وسيلة نقل أساسي في دورة الصخور، وهي عامل حتّ أساسي في تشكيل سطح الأرض، وتسمّى المنطقة التي تجري فيها مياه الأنظمة النهرية حوض الصرف.

ترحيل السكان من السهول الفيضية: أمثلة من كارولينا الشمالية وداكوتا الشمالية

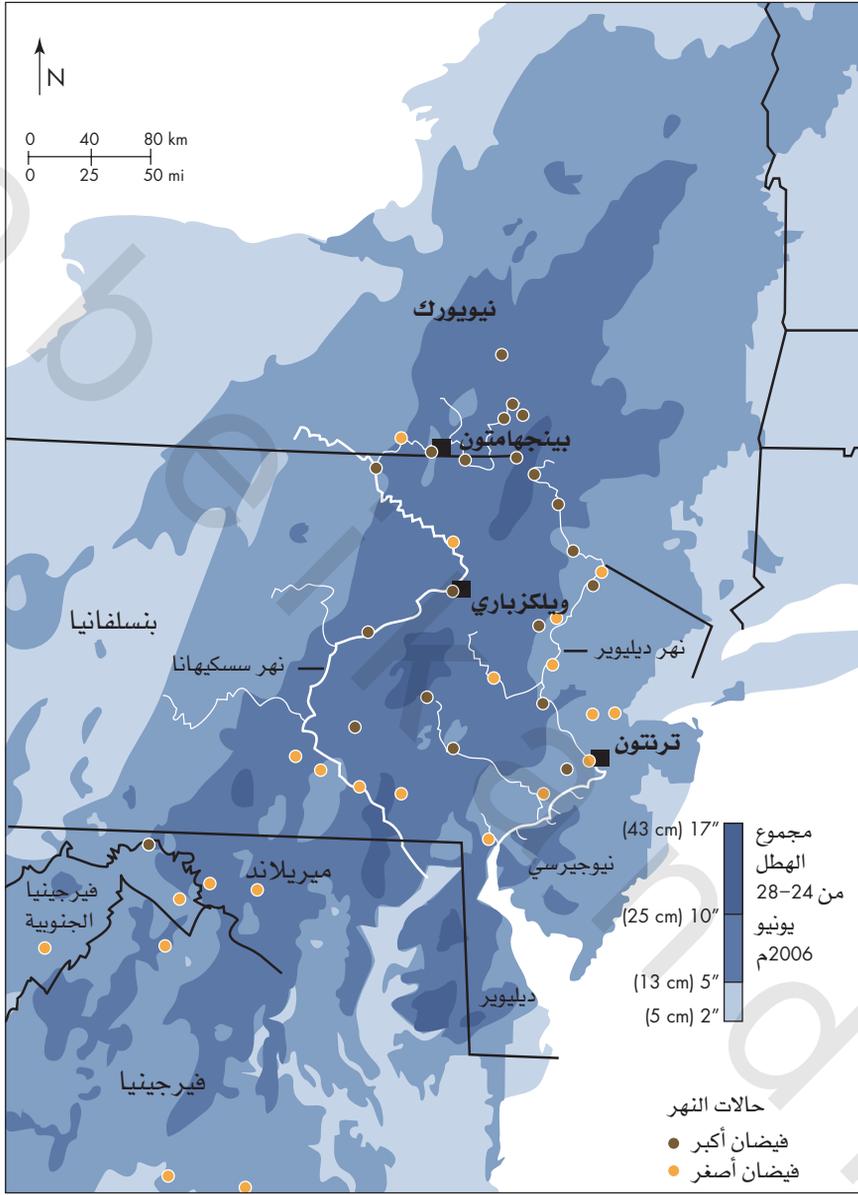
Relocating People from Floodplains: Examples from North Carolina and North Dakota

دأبت الحكومات الولائية والفدرالية على مدار كثير من السنين على شراء المنازل المتضررة بالفيضانات، بهدف إزالة المنازل من المناطق الخطرة للتقليل من الخسائر مستقبلاً، ففي سبتمبر عام 1999م جلب إعصار «فلويد» قرابة (50 cm) من الأمطار إلى إقليم «كارولينا الشمالية»، محدثاً فيضانات في مناطق عدة. وقررت الحكومات الولائية والفدرالية حينئذٍ صرف (50) مليون دولار تقريباً، لإزالة قرابة (430) منزلاً من جبل «ماونت» في «كارولينا الشمالية».

أصاب «شيرش فيري» في «داكوتا الشمالية» دورة مطرية منذ عام 1992م، أدت إلى ارتفاع مستوى بحيرة «ديفيس» المجاورة ثمانية أمتار تقريباً، ولم يكن لهذه البحيرة منفذ خارجي، وكانت سهول المنطقة الشمالية شديدة الانبساط، ونتيجة لذلك فقد غطت البحيرة أكثر من ضعفي مساحتها، ما أدى إلى غمر أراضي «شيرش فيري»، وفي أواخر يونيو عام 2000م عانت المدينة التصحر، ما أدى إلى انخفاض عدد السكان من (100) إلى 7 أشخاص تقريباً، واستفاد معظم سكان المدينة من خطة المزاد العلني الفدرالية التطوعية، حيث انتقلوا إلى مناطق أكثر ارتفاعاً، ورحل كثير منهم إلى «ليدن» التي تبعد قرابة (24 km)، أمّا المنازل التي تركت خلفهم فسوف تُهدم أو تُنقل إلى أراضٍ أكثر أمنًا.

يبدو أنّ المزاد العلني المربح بقيمة (3,5) ملايين دولار، قد مثّل صفقة مدوية، فالذين شاركوا في برنامج المزاد العلني أعطوا قيمة عالية لمنازلهم، إضافة إلى حوافز أخرى، وقد عدّ أغلبهم هذا العرض مناسباً جداً، وبهذا كان الاعتراف بوجوب نهاية هذه المدينة نتيجة الفيضان، ومع ذلك فقد شعر سكان المدينة بالألم والمرارة، ولم يشارك الجميع، وقد أظهر برنامج

الشكل (6-32): فيضانات وسط الأطلسي في يونيو-يوليو من عام 2006م. خريطة للفيضان الكبير والصغير (محور من صحيفة «نيويورك تايمز» مع بيانات من خدمات الطقس الوطنية). (ب) جمع الرسائل البريدية من منزل تعرّض للفيضان في «وايك-بار»، بنسلفانيا. (Matt Rourke / Associated Press)



(أ)



(ب)

القائمة في المناطق الخاضعة لل عمران، التي تتضمن بناء حواجز طبيعية، مثل الحواجز الموازية للنهر وجدران الفيضان، والإنشاءات التي تنظم انطلاق المياه (الخزانات)؛ لذا فإن الحل الواقعي يتضمّن تكاتف أنظمة السهل الفيضي والتقنيات الهندسية، ولأنظمة السهل الفيضية أهمية؛ لأنّ المنشآت الهندسية تهدف إلى تشجيع تنمية السهل الفيضية بتوفيرها إحساساً خادعاً بالأمان، وتبدأ الخطوة الأولى في تنظيم السهل الفيضية برسم خرائط لأخطار الفيضان، وهي صعبة ومكلفة، إذ يمكن للمخططين استخدام الخرائط في تحديد نطاقات المنطقة المعرضة للفيضان؛ من أجل الاستعمالات المناسبة، إذ تقوم الحكومة في بعض الحالات بشراء المنازل في المنطقة المعرضة للفيضان وهدمها، وتُرحّل السكان إلى أماكن أكثر أمناً.

إن التقنية تعني إجراء تحويل في قنوات الأنهار، كأن تجعلها مستقيمة، أو تعمّقها، أو توسّعها، أو تنظفها، أو تبطئها، أما أهداف عمليات التقنية، فهي: السيطرة على الفيضان، وتطوير المشروعات الجديدة عن قرب، وتوجد إمكانية للقيام بتحويل القنوات باستخدام عمليات طبيعية، وفي بعض الحالات يتم ترميم القنوات التي سبق تحويلها.

لقد أصبح إدراك أخطار الفيضان متوافراً على المستوى المؤسسي، أمّا على المستوى الفردي فإنّه من الضروري توفير برامج توعية شعبية؛ من أجل التوضيح للناس أهمية إدراك أخطار العيش في المناطق المعرضة للفيضان.

يتكوّن السهل الفيضي نتيجة توضع الرواسب بفعل انتقال منعطفات النهر المتعرّج جانبياً وغمر المياه لضاف النهر بصورة دورية، وتتناسب قدرة الفيضان وتكراره تناسباً عكسياً، مع عوامل شدة الهطل وتوزيعه، ومعدّل رشح المياه في التربة والصخور والتضاريس، وتنتج الفيضانات المفاجئة بفعل أمطار غزيرة تهطل فوق منطقة صغيرة، أمّا الفيضانات في أسفل الأنهار العظيمة (نحو المصب) فتنتج بسبب العواصف التي تستمر مدة زمنية طويلة، وتؤثّر في مناطق شاسعة، ما يؤدي إلى تشبع التربة بالمياه، وما ينتج عنه من زيادة في جريان آلاف الروافد نحو أحواض الصرف، وقد زاد العمران الفيضانات حتى في أحواض الصرف الصغيرة؛ بسبب تغطية معظم الأرض بأسطح غير منقّدة (كاتمة)، مثل المباني والطرق، ما زاد من جريان مياه العواصف.

إنّ فيضانات الأنهار هي الأخطار الطبيعية الأكثر شيوعاً في العالم، ويقلّ فقدان الأرواح نسبياً في الدول المتطورة عن غيرها؛ بسبب توافر أنظمة المراقبة والتحذير الملائمة، إلا أنّ أضرار الممتلكات تكون أكبر بكثير منها في المجتمعات غير الصناعية؛ بسبب انتشار التنمية في السهل الفيضية بصورة أوسع، وتشمل العوامل المؤثّرة في الأخطار الناتجة عن الفيضان استعمالات الأراضي على السهل الفيضية، وقدرة الفيضان وتكراره، والموسم، وكمية الرواسب المتوضّعة، وتأثير التنبؤ والتحذير وأنظمة الطوارئ.

إنّ من أفضل الحلول البيئية للحدّ من أضرار الفيضان هي أنظمة الفيضان، وسبقى من الضروري استخدام الإنشاءات الهندسية لحماية الإنشاءات

المراجع REFERENCES

1. **Cred Crunch.** 2008. *Disaster Data*. Issue No 11. Center for Research on Epidemiology of Disasters (CRED). University of Lonvain. Brussels, Belgium.
2. **Committee on Alluvial Fan Flooding.** 1996. *Alluvial Fan Flooding*. Washington, DC: National Academy Press.
3. **Edelen, G. W., Jr.** 1981. Hazards from floods. In *Facing Geological and Hydrologic Hazards, Earth-science Considerations*, W. W. Hays, ed. U.S. Geological Survey Professional Paper 1240-B. 39-52.
4. **Keller, E. A., and Capelli, M. H.** 1992. Ventura River flood of February, 1992: A lesson ignored? *Water Resources Bulletin* 28(5): 813-31.
5. **Mackin, J. H.** 1948. Concept of the graded river. *Geological Society of America Bulletin* 59: 463-512.
6. **Keller, E. A., and Florsheim, J. L.** 1993. Velocity reversal hypothesis: A model approach. *Earth Surface Processes and Landforms* 18: 733-48.
7. **Beyer, J. L.** 1974. Global response to natural hazards: floods. In *Natural Hazards*, G. F. White, ed. New York: Oxford University Press. 265-74.
8. **Linsley, R. K., Jr., Kohler, M. A., and Paulhus, J. L.** 1958. *Hydrology for engineers*. New York: McGraw-Hill.
9. **Leopold, L. B.** 1968. *Hydrology for urban land planning*. U.S. Geological Survey Circular 559.
10. **Seaburn, G. E.** 1969. *Effects of urban development on direct runoff to East Meadow Brook, Nassau County, Long Island, New York*. U.S. Geological Survey Professional Paper 627B.
11. **McCain, J. F., Hoxit, L. R., Maddox, R. A., Chappell, C. F., and Caracena, F.** 1979. *Storm and flood of July 31-August 1, 1976, in the Big Thompson River and Cache la Poudre River Basins, Larimer and Weld Counties, Colorado*. U.S. Geological Survey Professional Paper 1115A.
12. **Shroba, R. R., Schmidt, P. W., Crosby, E. J., and Hansen, W. R.** 1979. *Storm and flood of July 31-August 1, 1976, in the Big Thompson River and Cache la Poudre River Basins, Larimer and Weld Counties, Colorado*. U.S. Geological Survey Professional Paper 1115B.
13. **Bradley, W. C., and Mears, A. I.** 1980. Calculations of flows needed to transport coarse fraction of Boulder Creek alluvium at Boulder, Colorado. *Geological Society of America Bulletin*, Part II, 91: 1057-90.
14. **Strahler, A. N., and Strahler, A. H.** 1973. *Environmental Geoscience*. Santa Barbara, CA: Hamilton Publishing.
15. **Konrad, C. P.** 2003. Effects of urban development or floods, U.S. Geological Survey fact sheet 076-03.
16. **Office of Emergency Preparedness.** 1972. *Disaster Preparedness*, 1, 3. Washington, DC.
17. **Mount, J. F.** 1997. *California Rivers and Streams*. Berkeley: University of California Press.

18. **Rahn, P. H.** 1984. Flood-plain management program in Rapid City, South Dakota. *Geological Society of America Bulletin* 95: 838-43.
19. **U.S. Department of Commerce.** 1973. *Climatological Data, National Summary* 24(13).
20. **Anonymous.** 1993. The flood of '93. *Earth Observation Magazine* September 22-23.
21. **Mairson, A.** 1994. The great flood of '93. *National Geographic* 185(1): 42-81.
22. **Bell, G. D.** 1993. The great midwestern flood of 1993. *EOS, Transactions of the American Geophysical Union* 74(43): 60-61.
23. **Anonymous.** 1993. Flood rebuilding prompts new wetlands debate. *U.S. Water News*, November, 10.
24. **Pinter, N., Thomas, R., and Wlosinski, J. H.** 2001. Assessing flood hazard on dynamic rivers. *Transactions, American Geophysical Union* 82(31): 333, 38-39.
25. **Baker, V. R.** 1984. Questions raised by the Tucson flood of 1983. In *Proceedings of the 1984 Meetings of the American Water Resources Association and the Hydrology Section of the Arizona-Nevada Academy of Science*. 211-19.
26. **Baker, V. R.** 1994. Geologic understanding and the changing environment. *Transactions of the Gulf Coast Association of Geological Societies* 44: 1-8.
27. **U.S. Congress.** 1973. *Stream channelization: what federally financed draglines and bulldozers do to our nation's streams*. House Report No.93-530. Washington, DC: U.S. Government Printing Office.
28. **Rosgen, D.** 1996. *Applied River Morphology*. Lakewood, CO: Wildland Hydrology.
29. **Pilkey, O. H., and Dixon, K. L.** 1996. *The Corps and the Shore*. Washington, DC: Island Press.
30. **Smith, K., and Ward, R.** 1998. *Floods*. New York: John Wiley.
31. **Bue, C. D.** 1967. *Flood information for floodplain planning*. U.S. Geological Survey Circular 539.
32. **Hydrologic Committee.** 1967. *A uniform technique for determining flood flow frequencies*. Water Resources Council Bulletin 15.
33. **Schaeffer, J. R., Ellis, D. W., and Spieker, A. M.** 1970. *Flood-hazard mapping in metropolitan Chicago*. U.S. Geological Survey Circular 601C.
34. **Baker, V. R.** 1976. Hydrogeomorphic methods for the regional evaluation of flood hazards. *Environmental Geology* 1: 261-81.

المصطلحات المفتاحية KEY TERMS

معادلة استمرارية (Continuity equation) ، (ص 141)	تقنية (Channelization) ، (ص 156)
جسر طولي مواز للنهر (Levee) ، (ص 157)	فيضان (Flooding) ، (ص 146)
تصريف (Discharge) ، (ص 139)	نمط القناة (Channel pattern) ، (ص 144)
فيضان أسفل النهر (Down stream floods) ، (ص 150)	سهل فيضي (Floodplain) ، (ص 137)
حوض تصريف (Drainage basin) ، (ص 137)	ترميم القناة (Channel restoration) ، (ص 159)
فيضانات مفاجئة (Flash floods) ، (ص 148)	قوانين السهل الفيضي (Floodplain) ، (ص 161)

بعض الأسئلة للتفكير SOME QUESTIONS TO THINK ABOUT

القنوات واستخدامها في برنامج صيانة القنوات. ابتدع خطة عمليات لإقناع المسؤولين ببرنامج الصيانة وبأفكارك التي ستتم بيئة الأنهار وتعمرها، وتساعد على تقليص إمكانية أخطار الفيضان.

3. هل يتعرض الموطن الذي تسكن فيه إلى أخطار الفيضان؟ إذا كان الجواب بالنفي، فلماذا؟ وإذا كان بالإيجاب، فما الذي تم عمله للحد منها؟ وما الذي يمكن فعله أيضاً؟

1. افترض أنك تعمل في التخطيط لهيئة تتوسع نحو مناطق منابع الأنهار في أحواض الصرف. ولأنك مدرك لأثر العمران في الفيضانات، فأنت ترغب في وضع بعض التوصيات لتفادي بعض هذه الآثار. ضع خطة للعمليات.

2. افترض أنك تعمل لدى وكالة للسيطرة على الفيضان، التي تقوم بأعمال التقنية للأنهار سنوات عدة، وعلى الرغم من استخدام الجرافات لتسوية قناة النهر وتوسعتها لتصبح مستقيمة، إلا أن انتقادات وجهت للوكالة؛ لتسببها في أخطار بيئية جمّة، وطلب منك تطوير خطط جديدة لترميم

الفصل السابع

عمليات المنحدرات، والانزلاقات الأرضية، والهبوط Slope Processes, Landslides, and Subsidence



مع غروب شمس العاشر من يناير عام 2005م حدثت انزلاقات أرضية (انسياب أرضي/ انسياب فتاتي) سريعة الحركة اجتاحت أنحاء شاطئ صغير في "لاكوشيتا" كاليفورنيا. كان الانزلاق الأرضي في معظمه إعادة لتحريك انزلاق عام 1995م. وقد امتد حدث 2005م إلى أبعد من ذلك في المدينة فدمر قرابة (13) منزلاً. وألحق الضرر الشديد بـ (23) منزلاً آخر تقريباً، وأدى إلى مقتل عشرة أشخاص تقريباً. (Randy Jibson, USGS)

يهدف برنامج أخطار الانزلاق الأمريكي إلى خفض خسائر الانزلاقات الأرضية، ويشتمل على عناصر أساسية هي البحث، ورسم خرائط أخطار الانزلاقات الأرضية، ومراقبة الزمن الفعلي للانزلاقات الأرضية، وتقييم الخسائر ومعرفة طرق تقليصها واستخدامها، والاستعداد للطوارئ، وتوعية الناس بأخطار الانزلاق الأرضي⁽²⁾.

تبتدأ الكتلة (Mass Wasting) مصطلح عام لأي حركة لمواد الأرض على سفوح المنحدرات، وبمعنى أدق، هو حركة الصخور والتربة بوصفها كتلاً متماسكة ومفككة، وسوف نعد الانزلاقات الأرضية (landslide) في هذا الفصل بمعناها الدقيق، وسنبحث الظواهر ذات العلاقة، مثل الانسياب الأرضي (earthflow)، والانسياب الطيني (mudflow)، وتساقط الصخور (rock fall) وتيهور الفتات الصخري (debris avalanche)، وتيهور الثلوج (snow avalanche)، ولغرض الملاءمة، فسوف نستخدم أحياناً مصطلح انزلاقات أرضية لها جميعها، وسنبحث موضوع الهبوط (subsidence)، وهو نوع من الانهيار الأرضي الذي يتميز بتشوّه رأسي تقريباً، أو هبوط المواد الأرضية نحو الأسفل.

1-7 مقدمة عن الانزلاقات الأرضية

INTRODUCTION TO LANDSLIDES

تؤدي الانزلاقات الأرضية والظواهر المرتبطة بها إلى أضرار ضخمة وفقدان الأرواح (الشكل 1-7)، ففي الولايات المتحدة يُقتل قرابة (25-50) شخصاً سنوياً بفعل الانزلاقات الأرضية. ويرتفع هذا العدد إلى ما بين (100) و(150) إذا أُضيف إليها انهيار الخنادق والحفريات الأخرى، وتبلغ تكلفة الأضرار السنوية (3.5) بلايين دولار تقريباً⁽¹⁾،⁽²⁾.

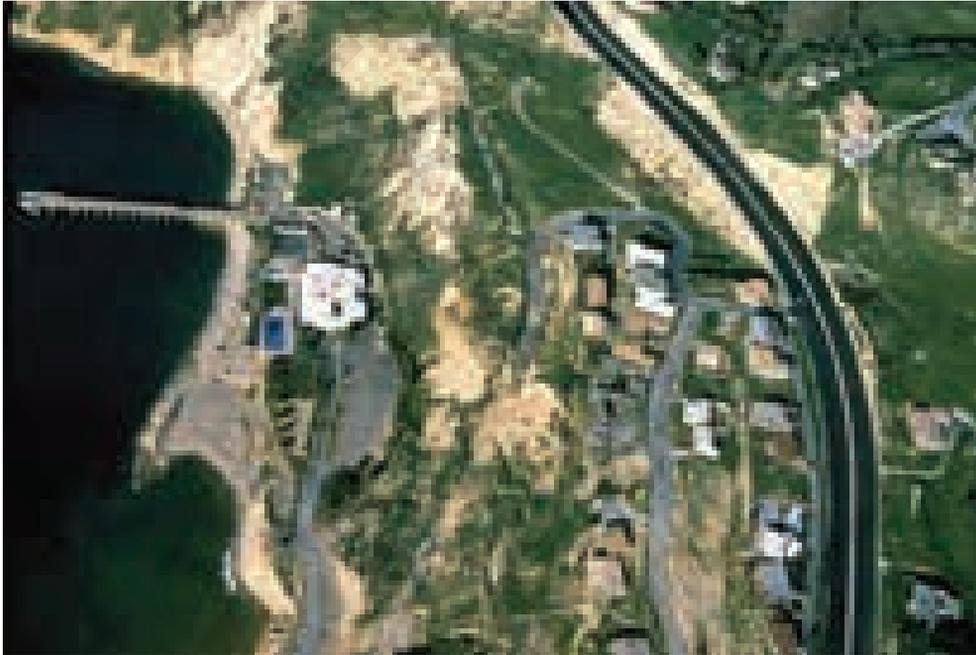
تحدث الانزلاقات الأرضية وغيرها من أنواع الانهيارات والظواهر الطبيعية بأنشطة بشرية ودونها، وفي الأحوال كلها، فإن استعمال الناس للأراضي يؤدي إلى زيادة الأحداث في بعض الحالات ونقصانها في حالات أخرى، على سبيل المثال: قد تحدث انزلاقات أرضية على سفوح تلال مستقرة أصلاً، لكنها حوّرت لاحقاً من أجل التنمية الإسكانية، ومن ناحية أخرى، يمكن تجنب انزلاقات أرضية على سفوح حساسة بطبيعتها، وذلك باستخدام هياكل أو تقنيات التثبيت.

LEARNING OBJECTIVES الأهداف التعلّمية

- فهم كيف يؤدّي استعمال الإنسان للأراضي إلى انزلاقات أرضية.
- معرفة طرق تحديد الانزلاقات الأرضية ومنعها وتصحيحها.
- تعرّف العمليات المرتبطة بالهبوط الأرضي.

- فهم عمليات المنحدر الأساسية وأسباب انهيار المنحدرات.
- تعرّف دور قوى الحركة والمقاومة على المنحدرات، وكيف ترتبط باستقرار المنحدر.
- فهم كيف تؤثر زاوية الانحدار والتضاريس والغطاء النباتي والمياه والزمن في عمليات الانحدار ووقوع الانزلاقات الأرضية.

تشكّل الانزلاقات الأرضية -وهي حركة الموادّ أسفل المنحدرات- أخطارًا طبيعية مهمة في مناطق عدة من الولايات المتّحدة وبقية العالم، وترتبط بأخطار أخرى، مثل الزلازل والبراكين، وهي في معظمها صغيرة وبطيئة، إلا أنّ بعضها يكون كبيرًا وسريعًا، وقد يؤدّي كلٌّ منها إلى خسائر عالية في الأرواح والممتلكات البشرية، خصوصًا في المناطق العمرانية. لذا، سنركّز في هذا الفصل على أهداف التعلّم الآتية:



الشكل (7-1) منازل مدقّرة. صورة جوية للجزء السفلي من انزلاق "بورتوغيز بند" في جنوب كاليفورنيا. في الخمسينيات (1950م). لاحظ التواء الجسر نحو نهاية الانزلاق الأرضي. وقد دُمّرت معظم المنازل ونادي السباحة والرصيف البحري المبنية بفعل الانزلاقات الأرضية بطيئة الحركة، ويُعدّ هذا الانهيار جزءًا من انزلاق عظيم سابق، تجدد حدوثه بفعل إنشاء طريق وتنمية عمرانية أدت إلى زيادة المياه الجوفية في الكتلة المتحرّكة. (John Shelton / University of Washington Libraries).

من جرف عال ذي واجهة مستوية مستقيمة، تمثّل قطعة منحدر رأسية تقريبًا، وقد تكوّن هذا المنحدر على صخور جرانيتية في متنزه "يوزيمات" الوطني، وتتراكم القطع الصخرية المتساقطة من الواجهة المستوية على قاعدة المنحدر لتكوّن منحدرًا ركاميًا (talus slope)، وتُعدّ الواجهة المستوية وركام السفوح قطعًا للمنحدر نفسه، لاحظ أنّ التربة التي تغطي السطح مختلفة عن الواجهة المستوية وعن المنحدر الركامي في الشكل، أمّا منحدرات التلال في الشكل (7-2) فتكوّن على صخور ليست بقوّة الجرانيت في "يوزيمات"، فالمنحدرات هنا أكثر اعتدالًا، وتخلو من واجهة مستوية، تظهر في الصورة ثلاث قطع، هي: منحدر محدّب علوي، ومنحدر مقعر سفلي، ويفصل بينهما منحدر مستو، فنشاهد سفوحًا مكوّنة من قطع منحدر مختلفة، إذ تُعدّ أنواع القطع الخمس سابقة الذكر كافية لوصف معظم السفوح التي تشاهدها في الطبيعة.

تعتمد أيّ قطعة منحدر موجودة على انحدار محدّد على نوع الصخر والمناخ، فالواجهات المستوية تكون أكثر شيوعًا على الصخور الصلبة القوية أو في البيئات الجافّة، التي تخلو تقريبًا من الغطاء النباتي، أمّا المنحدرات المحدّبة والمقعّرة فهي أكثر شيوعًا على الصخور الرخوة أو في المناخ

ينتج عن الهبوط غالبًا حفر سطحية دائرية، وكذلك أنماط من الانهيارات ذات الأشكال الخطية أو غير المنتظمة.

2-7 عمليات السفوح

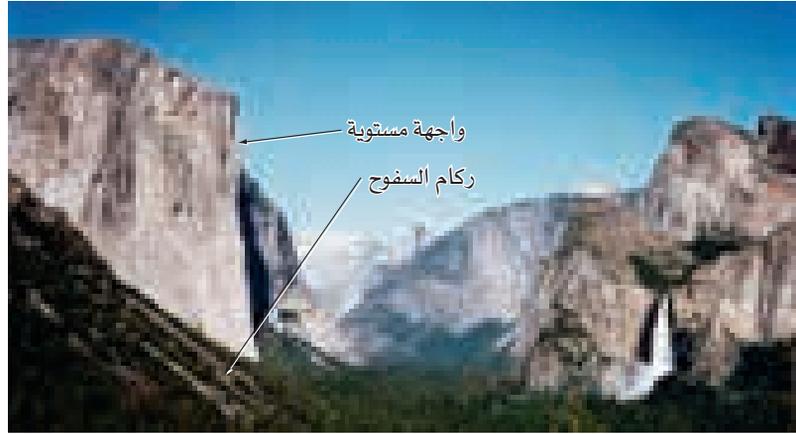
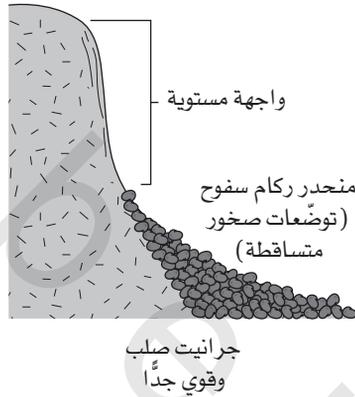
وأنواع الانزلاقات الأرضية

SLPOE PROCESSES AND TYPES OF LANDSLIDES

عمليات السفوح

Slope Processes

تُعدّ السفوح من أكثر المعالم الأرضية شيوعًا، وعلى الرغم من أنّ معظمها يبدو مستقرًا وساكنًا، إلا أنّها أنظمة متطوّرة وفعّالة، وهي غير منتظمة الهيئة عمومًا، لكنها مكوّنة من قطع (segments) مستقيمة أو مقوّسة. يبيّن الشكل (2-7) منحدرين مختلفي الظهور، يتكوّن الأوّل (الشكل 7-12)



(أ)



(ب)

الشكل (2-7): قطع المنحدرات. (أ) منحدر في صخور جرانيت صلبة في متنزه "يوزمايت" الوطني، يتميز بواجهة مستوية (ترتفع آلاف الأقدام) ومنحدر ركام سفوح. (ب) منحدرات على جزيرة "سانتا كروز" في كاليفورنيا على صخور ضعيفة من الشيبست (أحمر) وصخور بركانية (أبيض)، وقطع منحدرات محدبة ومستوية ومقعرة. (Edward A. Keller)

منتجاً كتلاً هابطة، (الشكل 3-7 أ، ب)، قد تكون الانزلاقات الدورانية (rotational slides) عظيمة جداً وعميقة، وغالباً ما تكون مصحوبة بحركات معقدة. يبين الشكل (4-7) كيف تكون المواد المتجانسة والضعيفة بمستويات سقوط مستويات انزلاق (slip planes) شبيهة بقوس الدائرة. أما الانزلاق الانتقالي (translational slide)، فهو حركة المواد الأرضية أسفل المنحدر على سطح انزلاق مستو، مثل مستوى طبقي أو كسر (الشكل 3-7 ج، د)، والتساقط الصخري هو السقوط الحر للمواد الأرضية من واجهة جرف مستوية، (الشكل 3-7 هـ). أما الانسياب فهو حركة المواد غير المتماسكة (تكون عادة مشبعة بالماء) التي تتحرك فيها الجزيئات، ثم تختلط في الكتلة، فيطلق على حركة الصخور أو التربة البطيئة جداً الزحف (الشكل 3-7 و)، أما التدفق السريع فهو انسياب أرضي، وانسياب طيني أو انسياب فتاتي، إذ يكون الانسياب الأرضي (الشكل 3-7 ز، والشكل 5-7) غالباً على منحدرات، حيث تميأ التربة جزئياً، وتطلق خارجاً، وتصبح منطقة المصدر على صورة منخفض شديد التقعر، بينما تنتشر منطقة التوضّع على قدم المنحدر، معطية الحدث هيئة أشبه "بالساعة الزجاجية" hourglass shape.

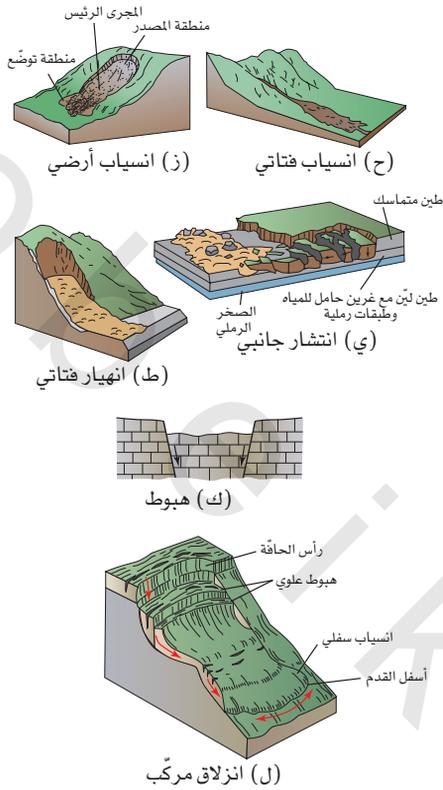
الرطب المبتل، حيث تتوافر تربة سميكة وغطاء نباتي كثيف، إلا أن هناك استثناءات عدة لهذه القوانين العامة تعتمد على الظروف المحلية، فمثلاً تكوّنت المنحدرات المعتدلة والمحدبة ذات اللون الأحمر في أسفل الشكل (2-7 ب) على صخور متحوّلة (شيبست) ضعيفة وسهلة الحتّ، في مناخ شبه جافّ على جزيرة "سانتا كروز" في كاليفورنيا.

وتتحرك المواد أسفل المنحدرات بصورة ثابتة وبمعدلات متفاوتة بين تلك التي تدرك، والأخرى المتمثلة في انهيارات مرعدة وتساقط الصخور بسرعات هائلة، وتعدّ عمليات المنحدرات هذه السبب الأهم، الذي يجعل الأودية عادة أوسع بكثير من الأنهار التي تحتويها.

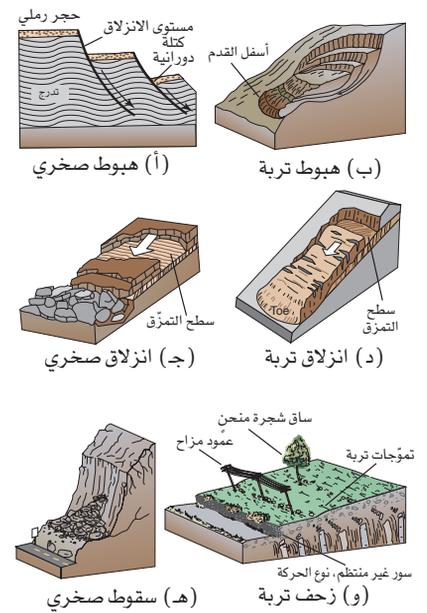
أنواع الانزلاقات الأرضية

Types of Landslides

تسقط المواد الأرضية، وتتحرك أو تتشوّه بطرق متعدّدة، (الشكل 3-7)، وتتضمّن الانزلاقات الدورانية والهبوط انزلاقاً في مستويات انزلاق مقوّس،



المواد		نوع الحركة
صخور	ترربة	
دورانية		انزلاقات أرضية مع محتوى مائي ومعدل حركة متنوع
هبوط جانبي (أ)	هبوط جانبي (ب)	
انتقالية		سقوط
انزلاق ترربة (انزلاق) (د)	انزلاق صخري (ج)	
سقوط صخري (هـ)	سقوط	بطيء
زحف ترربة (و)	زحف صخري	
فتات صخري غير متماسك وترربة مشبعة		انسياب
انسياب أرضي (ز)		
انسياب فتاتي / جريان طيني (ح)		سريع
انهيار فتاتي (ط)		
صخر (ي)	ترربة	انتشار جانبي
صخر (ك)	ترربة	
مركب من انزلاقات وهبوط وانسياب (ل)		سريع جداً
		مركب



الشكل (7-3): أنواع الانزلاقات الأرضية. تصنيف الانزلاقات الأرضية، بالاعتماد على نوع الحركة، والمواد، والمحتوى المائي ومعدل الحركة. (Modified after U.S. Geological Survey 2004, Fact Sheet 2004-3072)

تحدث مثل هذه الانزلاقات المركبة، عندما تتساقط المواد الأرضية المشبعة بالمياه من الجزء السفلي للمنحدر، دون تحديد للجزء العلوي ما يتسبب في هبوط كتل من المواد الأرضية.

ومن المتغيرات المهمة في تصنيف حركات أسفل المنحدرات، نوع الحركة (انزلاق، أو سقوط، أو انسياب، أو هبوط أو حركات مركبة) ونوع مادة المنحدر وكثافة المياه الموجودة ومعدل الحركة، وبوجه عام، فإن الحركة تُعدّ سريعة إذا كانت تُرى بالعين المجردة؛ والأفإنها بطيئة (الشكل 7-3). ومن الجدير بالذكر أن المعدلات الحقيقية تتباين من زحف بطيء لبضعة مليمترات أو سنتمترات سنوياً، إلى سريع جداً، يتراوح بين (1.5 m) يومياً إلى سرعة فائقة تصل قرابة (30 m) أو أكثر في الثانية⁽³⁾.

3-7 استقرار السفوح (المنحدرات)

SLOPE STABILITY

القوى على السفوح Forces on slopes

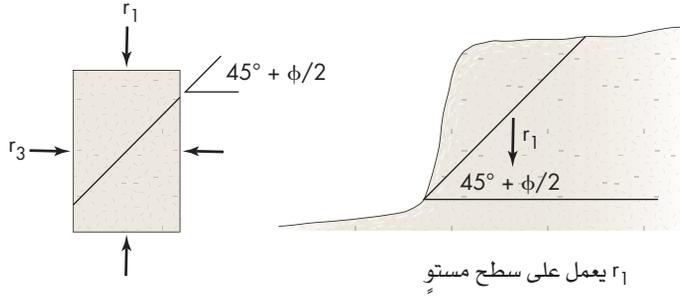
لا بدّ من اختبار استقرار السفوح لتحديد أسباب الانزلاقات الأرضية، الذي يعبر عنه بالقوى التي تعمل على المنحدرات، ويعبر عن استقرار السفوح بالعلاقة بين القوى المحركة، التي تحرك المواد الأرضية أسفل المنحدر، وقوى المقاومة التي تقاوم مثل هذه الحركة.

أما الانسياب الفتاتي والانسياب الطيني (الشكل 7-3 ح)، فهو خليط من صخور وترربة ومادة عضوية، تختلط بالهواء والماء لتجري سريعاً نحو أسفل المنحدر، وغالباً ما يكون الجزء العلوي من الانسياب محصوراً بقناة أو وادٍ، لكنه قد ينتشر إلى الخارج عندما يصبح طليقاً، ويحتوي انسياب الفتات على أقل من (50%) من الفتات ناعم الحجم (الرمل والغرين والطين)، بينما تزيد نسبته في الانسياب الطيني لتصل أكثر من (50%)، ويكون الانهيار الفتاتي (الشكل 7-3 ط) انسياباً فتاتياً سريعاً جداً إلى فائق السرعة، يُذكر أن الانهيارات الفتاتية العظيمة تتسبب في أضرار كارثية وخسائر في الأرواح. أما الانتشار الجانبي (الشكل 7-3 ي) فهو نوع من الانزلاق الأرضي الذي يحدث على منحدرات منبسطة أو معتدلة جداً، إذ تبدأ الحركة غالباً بسبب الإماهة التي تحدث للغرين والطين أو الرمل الناعم، في أثناء حدوث هزة أرضية أو غيرها من الاضطرابات، فتكون الحركة الحقيقية امتداداً جانبياً، أما إذا كانت الصخور أو التربة الأكثر تماسكاً على السطح وفوق طبقة من التربة تتعرض للإماهة، فإن المواد الأكثر صلابة تتكسر، وتنتقل، وتدور أو تنفتت ثم تتساقط، وغالباً ما يبدأ الانتشار الجانبي فجأة، ثم يزداد ضخامة في حالة تقدّمية بطيئة⁽¹⁾، وقد يحدث الهبوط على منحدرات أو أرض منبسطة، ويستلزم ذلك غرق كتلة أرضية دون مستوى السطح المحيط (الشكل 7-3 ك).

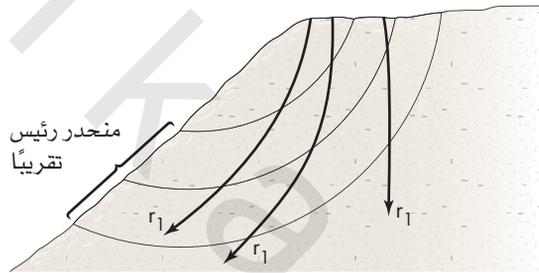
تُعدّ الانزلاقات الأرضية مركبات معقدة من الانزلاقات والانسياب، على سبيل المثال: نلاحظ في الشكلين (7-3 ل، 7-6) أن الانهيار مكون من هبوط في الأعلى تحوّل إلى انسياب في الجزء السفلي من الانزلاق، حيث

الشكل (4-7): مستوى انزلاق منحني. يبيّن كيف تسبب الانهيار الدوراني في تكوّن مستوى انزلاق أشبه بقوس دائرة تقريباً.

انزلاق دوراني: موادّ متجانسة
تربة أو صخور ليّنة حيث لا تكون حافة الوادي رأسية



ϕ = زاوية الاحتكاك الداخلي
 r_1 = الجهد المعتاد (جهد رئيس). انهيار- 45°
وللاطلاع على ذلك (انظر الفصل الـ 2)
 r_3 = الضغط المحصور



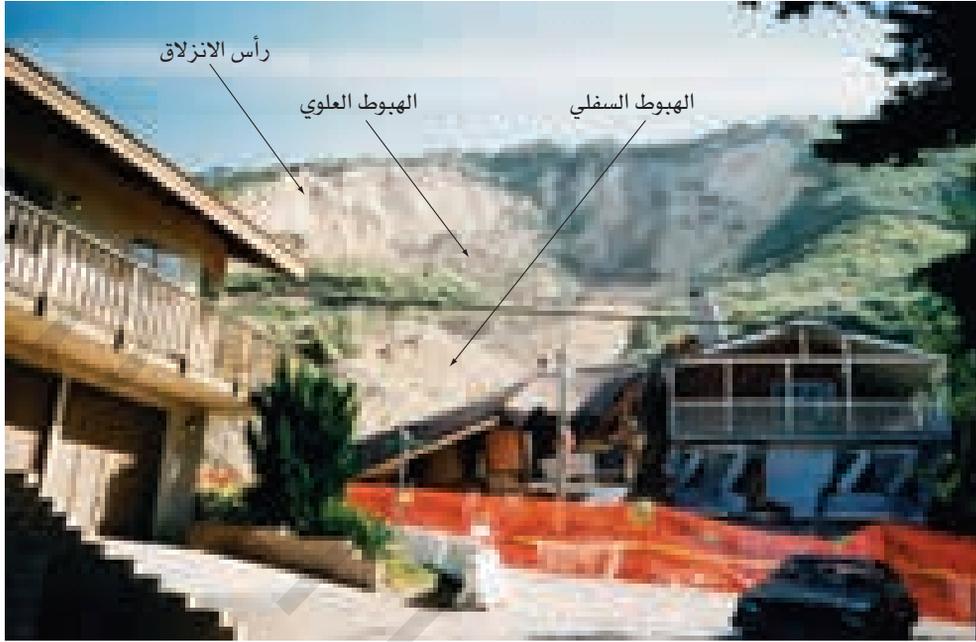
يتغيّر اتجاه الجهد الرئيس على المنحدر الذي يقل عن (90°) باستمرار - غير ثابت؛ لهذا فإنّ سطح الانهيار لا يكون مستويًا - يجب أن يكون منحنياً، مثل قوس الدائرة تقريباً

الشكل (5-7): انسياب أرضي (earthflow). على غرار ليّن قرب "سانتا برابارا"، كاليفورنيا. (Edward A. Keller)



ويقيم استقرار المنحدر بحساب "عامل الأمان" ($safety\ factor\ (sf)$)، الذي يعرف بأنه نسبة قوى المقاومة إلى القوى المحركة، فإذا كان عامل الأمان أكثر من (1)، فإنّ قوى المقاومة تزيد عن القوى المحركة، ويُعدّ المنحدر مستقرًا (عامل الأمان (SF) أكبر من 1.25) مناسب للاستقرار، أمّا إذا كان عامل الأمان أقلّ من (1)، فإنّ القوى المحركة تزيد على قوى المقاومة، وبهذا فإنّ انهيار المنحدر يكون متوقّعا (انظر "بعض التطبيقات الرقمية على: الانزلاقات الأرضية")، فقوى الحركة والمقاومة غير ثابتة؛ لأنّها تتغيّر بتغيّر حالة المكان، فيزداد عامل الأمان أو ينقص⁽⁴⁾.

أكثر القوى المحركة شيوعاً هي مركبة أسفل المنحدر لثقل الموادّ على المنحدر، شاملاً كلّ شيء موجود على المنحدر، مثل الغطاء النباتي وموادّ الطمخ أو المباني، إنّ أكثر قوى المقاومة شيوعاً هي القوة أو المقاومة للانهايار بانزلاق أو انسياب موادّ السطح المؤثرة في مستويات الانزلاق المحتملة، فمستويات الانزلاق المحتملة، هي أسطح ضعف جيولوجية في موادّ السطح، على سبيل المثال: تُعدّ مستويات التورق على سطح يتكوّن من صخور الشيسست، ومستويات التطبّق في صخور رسوبية، والكسور في أنواع الصخور جميعها مستويات انزلاق محتملة.



الشكل (6-7): انزلاق أرضي مركب في "كونشيتا". كاليفورنيا (1995). هذا الانزلاق يحتوي على كتلة هبوط عليا وانسياب منخفض، ودمر في طريقه منزلاً مكوناً من ثلاثة طوابق.

(Edward A. Keller)

لأن بعض مواد المنحدر قد أُزيلت، وإن الحفر يقلل قوى المقاومة؛ لأن طول مستوى الانزلاق قد نقص، وأن قوى المقاومة (قوى التمزق) تعمل على هذا المستوى، وإذا اختبرت الشكل السابق، فستلاحظ أن جزءاً يسيراً من كتلة الانزلاق الممكنة قد أُزيلت، بينما أُزيل جزء كبير نسبياً من طول سطح الانزلاق؛ لذلك فإن الأثر النهائي لشق الطريق هو خفض عامل الأمان؛ لأن نقصان القوة المحركة صغير مقارنة بنقصان قوة المقاومة، وعادة ما يُحسب عامل الأمان للمنحدرات الطبيعية والمنحدرات المنشأة بوصفه جزءاً من تنمية الموقع أو إنشاء الطريق السريع (انظر "بعض التطبيقات الرقمية على: الانزلاقات الأرضية").

دور نوع المادة الأرضية

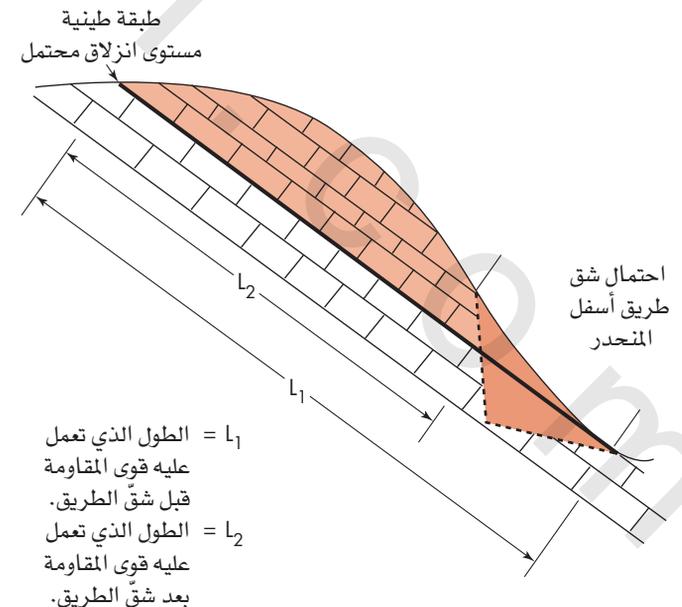
The Role of Earth Material Type

تؤثر المادة التي يتكوّن منها المنحدر في نوع الحركة وتكرارها أسفل المنحدر، وهناك نمطا حركة أساسيان للانزلاقات، هما: دورانية وانتقالية، حيث يحدث الانزلاق في الانزلاقات الدورانية أو الهبوط للأسفل على أسطح انزلاق منحنية، (الشكل 7-3 أ، ب)؛ ولأن الحركة تتبع منحني، فإن الكتل الهابطة- كتل المادة الأرضية الهابطة- تميل إلى تكوين مصاطب تضاريسية يمكنها الدوران والإزاحة في اتجاه أعلى المنحدر، إذ يكون الهبوط أكثر شيوفاً على منحدرات التربة، وتتوافر كذلك على بعض المنحدرات الصخرية، غالباً في الصخور الضعيفة مثل الغضار، أما الانزلاقات الانتقالية فهي مستوية، حيث تحدث ضمن مستويات انزلاق مائلة في المنحدر، (الشكل 7-3 ج، د) (انظر إلى نظرة متفحصة: انزلاقات انتقالية على مستويات طبقية)، ومن مستوياتها الشائعة في المنحدرات الصخرية الكسور في أنواع الصخور جميعها، والمستويات الطبقية، وطبقات الطين الضعيفة، ومستويات التورق في الصخور المتحولة، أضف إلى ذلك أن انزلاقات التربة تُعد نوعاً آخر من الانزلاق الانتقالي، الذي يحدث في بعض المناطق، وهي انزلاقات ضحلة تحدث في التربة الواقعة على صخر مواز للمنحدر، (الشكل 7-8)، حيث يكون مستوى الانزلاق موازياً للمنحدر (الشكل 7-9).

إذ تحدّد القوى المحركة وقوى المقاومة على المنحدرات بالعلاقات المتداخلة بين المتغيرات الآتية:

- نوع المواد الأرضية.
- زاوية المنحدر والتضاريس.
- المناخ.
- الغطاء النباتي.
- المياه.
- الزمن.

على سبيل المثال، تصوّر شق طريق أسفل منحدر ذي إمكانية لمستوى انزلاق (الشكل 7-7)، فشق الطريق يقلل القوى المحركة على المنحدر؛



الشكل (7-7): الأثر على استقرار السفوح لشق طريق أسفل المنحدر.

PUTTING SOME NUMBERS ON بعض التطبيقات الرقمية

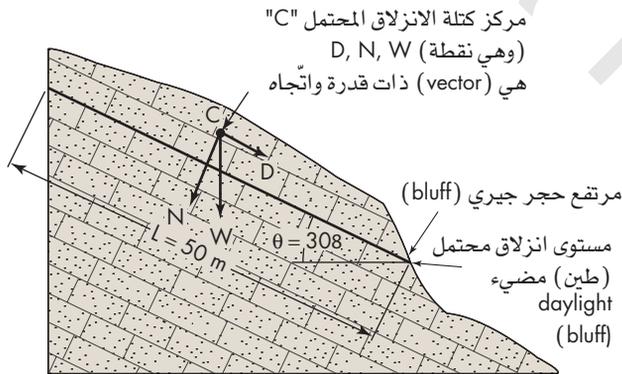
الانزلاقات الأرضية Landslides

نستخدم ما يعرف "بطريقة وحدة السمك" لتحليل قوى المقاومة والقوى المحركة للشريحة (المقطع في الشكل 7 أ) في الجرف الجيري، المتعامد مع المرتفع الجيري الذي سمكه (1 m)، فقوى المقاومة هي ناتج أُل (SLT)، حيث (S) هي مقاومة القصّ للطين، وL هي طول مستوى الانزلاق، وT هي وحدة السمك، أما القوة المحركة، وهي مركبة الوزن في اتجاه أسفل المنحدر هي (W sin θ)، حيث (W) تساوي منتج المساحة الواقعة على مستوى الانزلاق (A) وحدة الوزن لمادة المنحدر؛ ووحدة السمك (T). ثم تضرب (W) في جيب زاوية مستوى الانزلاق، والمنتج (W sin θ) هو مركب أسفل المنحدر من وزن مواد المنحدر على مستوى الانزلاق المحتمل (الشكل 7 أ). يحسب عامل الأمان بالطريقة الآتية:

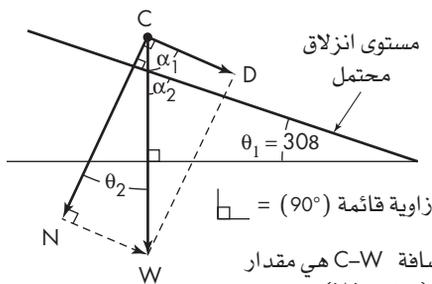
يتضمن تحليل إمكانية حدوث انزلاق أرضي على أحد السفوح، تحديد قوى المقاومة والقوى المحركة ونسبة الاثنين التي تسمى عامل الأمان (factor of safety)، وينطبق هذا على كل من الانزلاقات الانتقالية والانزلاقات الدورانية، على سبيل المثال: انظر إلى المقطع العرضي المبين في الشكل (7 أ) (انزلاق انتقالي) الذي يبين مرتفعاً أو جرفاً جيرياً (bluff)، بمستوى انزلاق محتمل مكون من طين يتوافر بين مستويات طبقات الحجر الجيري، ومائل بزاوية (30°) عن الأفقي، ويقال عن مستوى الانزلاق الذي يقع امتداده فوق السطح: إنه يضيء (daylight) في مرتفع الحجر الجيري، ويمثل أخطار انزلاق أرضي محتمل.

افتراض أن المساحة فوق مستوى الانزلاق في المقطع العرضي (500 m²)، ووحدة الوزن للحجر الجيري (1.6 × 10⁴ N/m³)، ومقاومة القصّ للطين (shear strength) المقدرة بالدراسات المخبرية هي (9 × 10⁴ N/m²)، وطول مستوى الانزلاق (50 m)، فإن (FS) يحسب بوصفها نسبة قوى المقاومة إلى القوى المحركة بالمعادلة الآتية:

$$FS = \frac{SLT}{W \sin \theta}$$



- التربة والصخور جميعها فوق مستوى الانزلاق المحتمل، وهي كتلة انزلاق محتملة: طول مستوى الانزلاق (L) هو (50 m).



- المسافة C-W هي مقدار (W vector) أُل
- المسافة C-D كذلك (N-W) هي مقدار (D vector)
- المسافة C-N هي مقدار (N vector)
- ورموزها (W, D, N)

بعض قوانين علم المثلثات

$\alpha_1 = \alpha_2$: خطوط متوازية مقطوعة بخط يبين $\theta_1 = \theta_2$ بعد $\theta_1 = \theta_2$ (زاوية الانحدار)

$\theta_1 + \alpha_2 = 90^\circ$: مثلث قائم الزاوية

$\theta_1 + \alpha_1 = 90^\circ$: لأن $\alpha_2 = \alpha_1$

$\theta_2 + \alpha_1 = 90^\circ$: مثلث قائم الزاوية

ثم $\theta_1 = \theta_2$. يتبع $\theta_1 + \alpha_2 = 90^\circ$ و $\theta_2 + \alpha_1 = 90^\circ$

المثلث (C W N). مثلث قائم الزاوية وتره (W)

جيب $\theta_2 = \frac{\text{الضلع المقابل}}{\text{الوتر}} = \frac{D}{W}$ أو جيب $\theta_2 = W$

جتا $\theta_2 = \frac{\text{الضلع المجاور}}{\text{الوتر}} = \frac{N}{W}$ أو جتا $\theta_2 = W$ جتا $\theta_2 = W$

W هو وزن مواد المنحدر (كتلة الانزلاق المحتملة) فوق مستوى الانزلاق، الذي يعمل للأسفل بفعل الجاذبية.

$W = D$ جيب θ هي مركبة أسفل المنحدر لوزن كتلة الانزلاق المحتملة (W): القوة المحركة.

$W = N$ جتا θ وهي المركبة الرأسية (بزاوية قائمة مع مستوى الانزلاق) للوزن (W) من كتلة الانزلاق المحتملة.

(N) جزء من مقاومة القصّ على مستوى الانزلاق، وهي جزء من قوة المقاومة.

الشكل (7- أ): تحليل الاستقرار للانزلاق الانتقالي. مقطع عرضي لحافة جرف الحجر الجيري وطبقة طينية (مستوى انزلاق محتمل) يطلق عليه مضيء (daylight). هذا انزلاق انتقالي.

$$FS = 1.25 = \frac{SLT}{W \sin \theta}$$

$$W = \frac{SLT}{1.25 \sin \theta} \quad \text{ثم نرتّب:}$$

$$W = \frac{(9 \times 10^4 \text{ N/m}^2) (50 \text{ m}) (1 \text{ m})}{(1.25) (0.5)}$$

$$W = 7.2 \times 10^6 \text{ N}$$

وحيث إن وزن مادة المنحدر على سطح الانزلاق لوحدة السمك من المنحدر الأصلي هي $(8 \times 10^6 \text{ N})$ ، ولذلك يجب إزالة $(8 \times 10^6 \text{ N} - 7.2 \times 10^6 \text{ N} \times 10^5 \text{ N})$ من الحجر الجيري لكل وحدة سمك.

لتحويل هذا إلى جزء من حجم المنحدر استعمل العلاقة:

حجم الحجر الجيري المزال = الحجم (v) المزال لكل وحدة سمك \times كثافة الحجر الجيري. ويعطي هذا: $8 \times 10^5 \text{ N}$ ، وهو يساوي الحجم

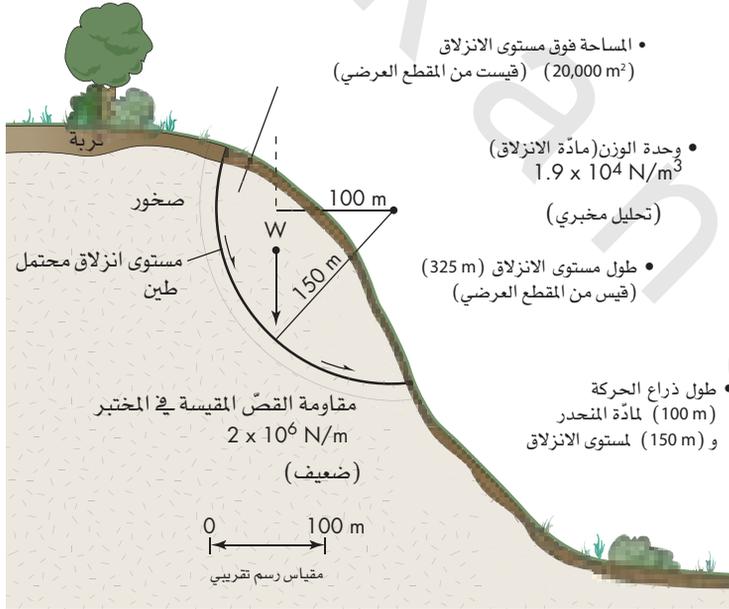
$$FS = \frac{SLT}{W \sin \theta} \quad \text{ثم نرتّب:}$$

$$FS = \frac{(9 \times 10^4 \text{ N/m}^2) (50 \text{ m}) (1 \text{ m})}{(500 \text{ m}^2) (1 \text{ m}) (16 \times 10^4 \text{ N/m}^2) (0.5)}$$

$$FS = 1.125$$

إن عامل الأمان (1.125)، الذي توصلنا إليه من التحاليل التي أجريناها ليس مشجعاً تماماً، فعامل الأمان الذي يقل عن (1.25) يشير عادة إلى استقرار مشروط، ويجب فعل شيء ما لرفعه إلى (1.25) على الأقل، أحد الاحتمالات يتمثل في تقليل الوزن بإزالة بعض أوزان الحجر الجيري عن مستوى الانزلاق ما يؤدي إلى تقرير الانحدار في جرف الحجر الجيري، ويمكننا حساب حجم الحجر الجيري المطلوب إزالته لوحدة السمك من المنحدر باستخدام المعادلة الآتية، واضعين عامل الأمان (1.25) لحل W.

الشكل (7 - ب): تحليل الاستقرار لانزلاق دوراني في صخور متجانسة ضعيفة. مثل الحجر الطيني.



العزم = القوة \times المسافة (طول الكتلة التي تدور حولها)

وزن كتلة الانزلاق (W) = المساحة فوق مستوى الانزلاق \times وحدة الزمن \times وحدة السمك

$$W = (2 \times 10^4 \text{ m}^2)(1.9 \times 10^4 \text{ N/m}^2)(1 \text{ m}) = 3.8 \times 10^8 \text{ N}$$

$$FS = \frac{\text{عزم السكون}}{\text{عزم الحركة}} = \frac{(\text{إجهاد القص}) (\text{طول الكتلة التي تدور حولها})}{(\text{وزن كتلة الانزلاق}) (\text{طول كتلة الانزلاق التي تدور حولها})}$$

$$FS = \frac{(2 \times 10^6 \text{ N/m}^2)(325 \text{ m})(150 \text{ m})(1 \text{ m})}{(3.8 \times 10^8)(100 \text{ m})} = \frac{9.8 \times 10^{10} \text{ Nm}}{3.8 \times 10^{10} \text{ Nm}}$$

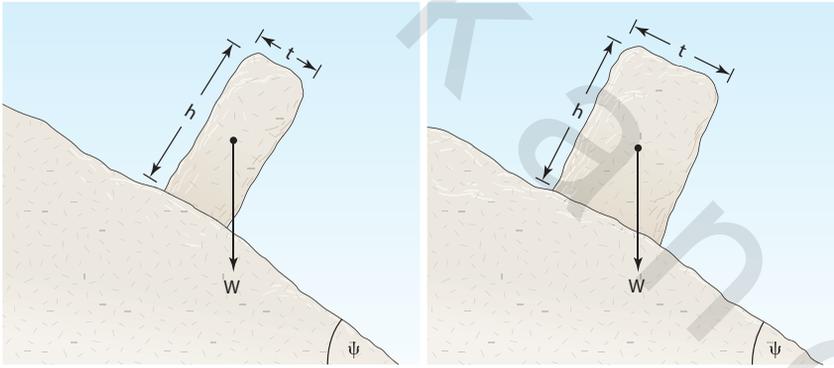
$$FS = 2.6 \text{ الانزلاق آمن}$$

ماذا لو زاد الضغط على مستوى الانزلاق، ونتج عن انخفاض مقاومة القصّ بنسبة (60%) أو (40%) من القيمة الحالية. $0.8 \times 10^6 \text{ N/m}^2$ (FS) الجديدة (1.02) لذلك يتعرض الاستقرار للخطر.

المقاومة والحركة (القوة \times مسافة ضلع اللحظة)، انظر الشكل (7 ب)، وختامًا يبيّن الشكل (7 ج) كيف يمكننا تقييم الكتل الفردية من الصخور أو الجلاميد على منحدر قابل للانزلاق (يدور ثم يتحرك أسفل المنحدر)، حيث يستخدم الجيولوجيون والهندسيون وجيولوجيو البيئة العاملون على مشكلات استقرار المنحدرات عادة برامج حاسوب؛ لتحليل عدد مستويات الانزلاق الممكنة لكل من حالات السقوط الدوراني والانتقالي بوصفه جزءًا من تحليل استقرار المنحدرات.

الجيري الذي ينبغي إزالته إلى قيمة 450 m^3 ؛ لزيادة عامل الأمان إلى (1.25)، ويمكن عمل هذا بإزالة سمك موحد بمقدار (1 m) من الحجر الجيري من أعلى المنحدر أو إسفينين ينتهي في الأسفل، ويزداد سمكًا نحو أعلى المنحدر بما يعادل مساحة (50 m^2) (من المقطع العرضي) لوحدة سمك المنحدر (50 m^3). إن تقييم عامل الأمان أعلاه مبسط جدًا، بافتراض مقاومة قصّ ثابتة على مستوى الانزلاق، وليس الحال غالبًا كذلك، أضف إلى ذلك، أنّ مثالنا لا يأخذ في الحسبان ضغط السائل في كتلة الانزلاق (انظر الفصل الثالث) ذا الأهمية عادة في تحليل الانزلاقات الأرضية، إلا أنّ المبدأ هو ذاته، وهو أنّ قوى المقاومة والحركة تُحسب ونسبتها (FS) تحوسب (computed). ويعمل أيضًا تحليل مشابه للانزلاق الدوراني وغيره من الأنواع، إذ نحسب للانزلاق الدوراني عزوم

• افتراض استقرار الكتلة ضدّ الانزلاق
• ستدور الكتلة إذا $\text{if } t/h < \tan \psi$



متجه W خارج الكتلة - غير مستقر، وستنقلب

متجه W في الكتلة - استقرار

الشكل (7 - ج): انقلاب (Topple). كيف
تقيم أخطار الانقلاب؟

دور المنحدرات والتضاريس

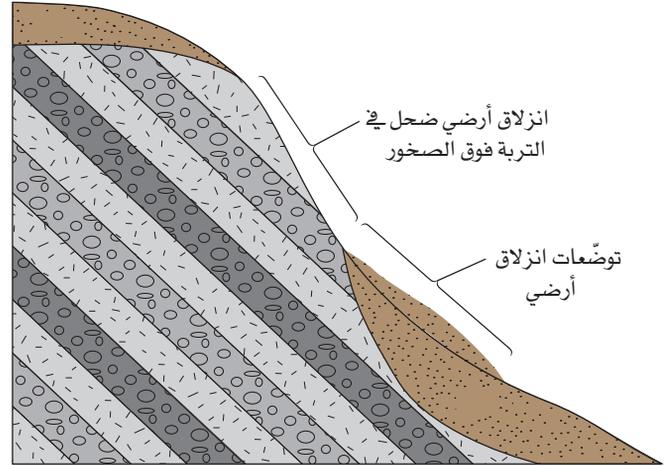
The Role of Slope and Topography

تُعرف زاوية انحدار التلّ التي تبيّن مدى شدّة الانحدار بالمنحدر (slope)، الذي يؤثر كثيرًا في مقدار قوى الحركة على المنحدرات، فكلما زاد انحدار سفح التل أو سطح الانزلاق المحتمل ضمن منحدر، ولنقل من ($15^\circ - 45^\circ$) أو أشدّ انحدارًا، زادت قوّة الحركة؛ ولذلك تكون الانزلاقات الأرضية أكثر شيوعًا على المنحدرات الشديدة، وقد بيّنت دراسة الانزلاقات الأرضية التي حدثت في موسمين مطريين في منطقة خليج سان فرانسيسكو في كاليفورنيا، أنّ (75%) إلى (85%) من نشاط الانزلاقات الأرضية يرتبط بمناطق المدينة على المنحدرات الشديدة⁽⁵⁾، ففي الولايات المتّحدة نجد أنّ الجبال الساحلية في "كاليفورنيا وأوريغون"، وجبال "روكي" وجبال الأبالاش هي الأكثر عرضة وتكرارًا للانزلاقات الأرضية، وتحدث أنواع حركة أسفل المنحدرات جميعها المبيّنة في الشكل (7-3) على المنحدرات الشديدة في تلك المواقع.

ولانزلاق التربة، فإنّ مستوى الانزلاق يكون عادة فوق سطح الصخر وتحت التربة، في موادّ منحدرات تعرف بـ (colluviums)، وهي خليط من الصخور المجوّاة وموادّ أخرى (الشكل 7-9). نوع المادّة عامل للسقوط مثلما هو للانزلاق، فإذا كوّنّت صخور صلبة منحدرًا حادًا جدًا، فإنّ التوجيه أو الحتّ في الكسور تؤدّي إلى سقوط الصخر، إذ يمثل السقوط عن منحدرات رأسية عالية في صخور جرانيتية أخطارًا مستمرّة ومزمنة في متنزه "يوزيمات" الوطني (الشكل 7-10)، وقد يؤثر نوع المواد المكوّنة للمنحدر كثيرًا في نوع السقوط الذي يحدث على المنحدر، فمثلًا، يحدث السقوط عادة على المنحدرات المكوّنة من صخور غضارية أو موادّ فتاتية بركانية ضعيفة على شكل زحف، والحركة البطيئة جدًا أسفل المنحدر من تربة وصخور، هي انسياب أرضي أو انسياب طيني لانسياب الموادّ الأرضية المشبّعة أسفل المنحدر أو هبوط التربة أو انزلاقها، أمّا المنحدرات المكوّنة من صخور صلبة من مثل الحجر الرملي الملتحم جيّدًا، والحجر الجيري أو الجرانيت، فإنّها لا تعاني المشكلات نفسها، ولذلك يتعيّن على الناس أن يتعاملوا بمزيد من الحذر عند أعمال التنمية على منحدرات ذات صخور غضارية أو ضعيفة.



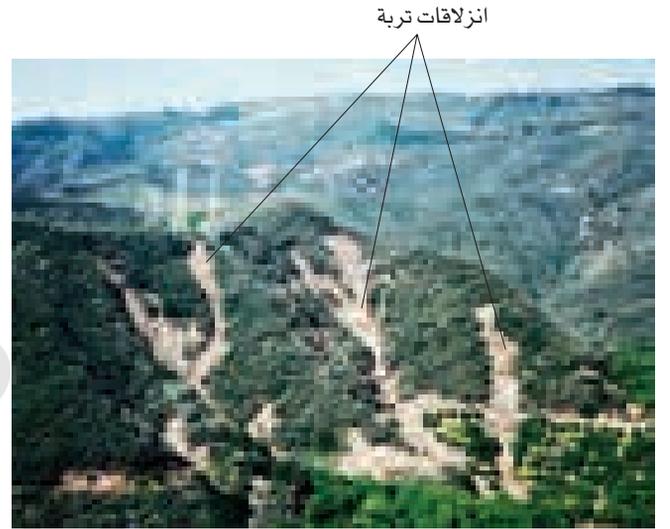
(i)



(i)



(ب)



(ب)

الشكل (7-8): انزلاقات تربة متعددة. (أ) شكل يبين انزلاق تربة ضحل. (ب) انزلاقات تربة ضحلة على منحدرات شديدة في كاليفورنيا. الغطاء النباتي هو شجيرات قصيرة تدعى "شابارال". (Edward A Keller).

الشكل (7-9): انزلاقات ضحلة. (أ) انزلاق تربة ضحل، شمال كاليفورنيا. (ب) جريان فتاتي ضحل، نهر "كلامان"، كاليفورنيا. لاحظ ممر الجريان الضيق والفتات على ضفة النهر، ويعتقد أن الطريق على ثنية السقوط قد ساعدت على عدم استقرار المنحدر. (Edward A. Keller)

الدراسة في الفصل التاسع)، يُذكر أن الحرائق البرية ترتبط بالانسياب الفتاتي في جنوب كاليفورنيا، حيث تُعد الحرائق عمليات شائعة⁽⁶⁾، وكثيراً ما تؤدي وفرة الرسوبيات والهطل الكثيف بعد الحريق إلى انسياب فتاتي على المنحدرات الشديدة، وليس بالضرورة أن يحدث الانسياب الفتاتي الكبير بعد كل حريق، وقد يمتد تكرار الانسياب الفتاتي في منطقة محددة إلى مئات عدّة من السنين، مقارنة بالحريق الذي يتكرر كل عقود عدّة.

دور المناخ The Role of Climate

يعرف المناخ بأنه صفات الطقس في مكان معين أو في إقليم ما في أثناء مواسم أو سنوات أو عقود من الزمن. المناخ أكثر من معرفة معدل الهطل وكميته. إنه درجة حرارة الهواء وكمية الهطل. إنه يشتمل على أنماط موسمية للطقس،

وغالباً ما ترتبط المنحدرات الشديدة بتساقط الصخور والتهورات الفتاتية، وهي الحركة السريعة جداً للتربة والصخور والفتات العضوي أسفل المنحدرات، ففي جنوبي كاليفورنيا، حيث تكون انزلاقات التربة الضحلة شائعة على المنحدرات الشديدة المشبعة، وبمجرد حركتها إلى أسفل المنحدر، فإنها تتحول إلى انسياب أرضي أو انسياب فتاتي شديد الخطورة، انظر الشكل (7-11)، وقد يحدث الجريان الأرضي على منحدرات متوسطة، ويلاحظ أيضاً النزح على منحدرات معتدلة جداً.

الانسياب الفتاتي هو انسياب المواد الخشنة أسفل المنحدرات، حيث يكون أكثر من (50%) من فتات الانسياب الفتاتي أكبر حجماً من الرمل، ويمكن أن يتحرك ببطء شديد أو سريع، وذلك بحسب الظروف.

يتفاوت الانسياب الفتاتي والانهيار الفتاتي والانسياب الطيني في الحجم: فقد تكون أحداثاً صغيرة أو متوسطة، محصورة في وادٍ واحد منحدر، ومحتوية على مئة ألف إلى مئات الآلاف من الأمتار المكعبة من الفتات، وقد تكون أحداثاً عظيمة تتضمن واجهة كاملة لأحد الجبال، تقاس بالكيلومترات المكعبة من المواد (انظر إلى الانسياب الطيني والانسياب الفتاتي البركاني، موضوع

الشكل (7-10): تساقط الصخور، متنزه "يوزيمات"

الوطني، كاليفورنيا. (أ) حدث تساقط الصخور في الساعة (6:52) بعد الظهر، في العاشر من يوليو عام 1996م في جزر "هابي" في نهر "مرسو"، حيث سقطت الصخور من نقطة "جلاس" القريبة الواقعة على ارتفاع (2180 ft) (665 m)، إلى قاع النهر بسرعة بلغت (250 mph) (110 m/s)، فقتل شخص واحد، وجرت الرياح إلى الأسفل ما يزيد على (1000) شجرة، إذ بلغ حجم الصخور قرابة (30,000 m³)، ولو حدث السقوط قبل ذلك حين كان كثير من الناس موجودين في مركز الزوار في جزر "هابي" لوقعت كثير من الوفيات.

(Edwin L. Harp/U.S. Geological Survey/U.S. Department of the Interior).

(ب) تساقط أقل للصخور حدث في الثامن من أكتوبر عام 2000م، حين ضربت الصخور جزءاً من مخيم "كري" مدقرة خمس خيام، وتسببت في جرح ثلاثة أشخاص.

(Tom Trujillo/Associated Press).



(ب)

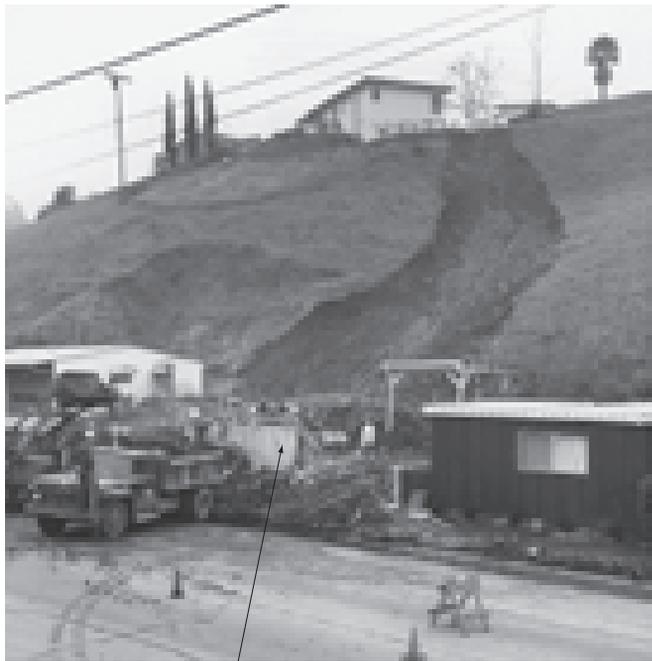


واجهة
مستوية

كومة ركام

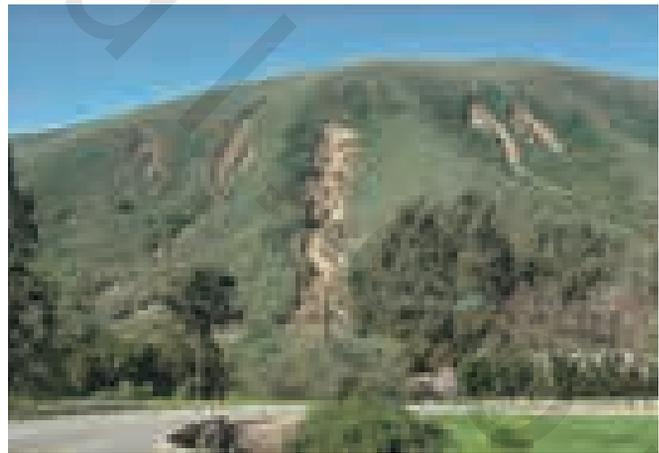
أشجار
متساقطة

(أ)



(ب)

منزل مدمر



(أ)

الشكل (7-11): يمكن لانزلاقات التربة الضحلة أن تقتل. (أ) انزلاقات

تربة ضحلة على منحدرات شديدة مغطاة بالنباتات جنوبي كاليفورنيا. (Edward A. Keller). (ب) أحد المنازل في جنوب كاليفورنيا دُمر عندما تعرّض لانجراف تربة ضحل. وانسياب فتاتي تولّد بصورة انزلاق تربة، وقد نتجت عن هذه الحادثة عام 1969م وفاتان.

(Courtesy of John Shadle, Los Angeles Department of building and Safety)

نظرة متفصّلة A CLOSER LOOK

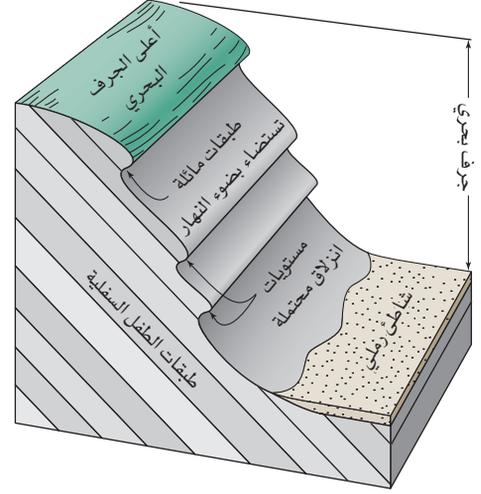
الانزلاقات الانتقالية على المستويات الطبقيّة

Translation Slides along Bedding Planes

وقد انهار المنحدر بعد أشهر عام 2003م، ربما نتيجة لإضافة المياه في أعلى المنحدر، حيث زُرعت النباتات ورويت. وقد غطت التوضّعات الناتجة عن الانزلاق الأرضي جزءاً من الشاطئ الرملي (الشكل 7 هـ)، فأمكن تفادي كارثة بصورة جزئية، حين كانت حفلة شاطئية تقام على بعد مسافة قصيرة.



الشكل (7 - هـ): الانزلاق الانتقالي (Translation slide). حدث هذا الانزلاق في أواخر عام 2003م. وقد حدث الانهيار على مستويات طبقية "ضوء النهار"، وغطت التوضّعات الانزلاق جزءاً من الشاطئ. (Edward A. Keller)



الشكل (7 د): طبقات تستضاء بضوء النهار "daylighting beds" تدعى المستويات الطبقيّة التي تتقاطع مع سطح الأرض على المنحدر (مائلة في اتجاه المنشأ)، وتعدّ هذه الطبقات مستويات انزلاق محتملة.

حيث تشمل أنشطة الانزلاقات الأرضية على عمليات انزلاق وانسياب أرضي (earthflow) وزحف تربة معقّدة، ويُعدّ دور النباتات في الانزلاقات الأرضية والظواهر المرتبطة بها على درجة من التعقيد، فتمو النباتات في منطقة ما يعتمد على عوامل عدة، تشمل على المناخ، ونوع التربة، والتضاريس، وتاريخ الحرائق، إذ يؤثر كلٌّ منها فيما يحدث على السطح كلاً، ويُعدّ الغطاء النباتي عاملاً مهماً في استقرار المنحدرات للأسباب الآتية:

- يوفرّ النبات غطاءً يحمي المنحدر من أثر سقوط الأمطار على المنحدرات، ويسهّل رشح المياه في المنحدر، عندما يعيق عمليات الحثّ على السطح.
- تعمل شبكة جذور النباتات على تماسك التربة، وتزيد من قوّة موادّ المنحدر (أشبه بالقضبان الحديدية في صبّة الأسمنت)، ما يزيد مقاومتها للانزلاقات الأرضية.
- يزيد الغطاء النباتي الوزن على المنحدر.

إلا أنّ وجود الغطاء النباتي يزيد في بعض الحالات من إمكانية الانزلاق الأرضي، خصوصاً انزلاقات التربة الرقيقة على المنحدرات الوعرة، ففي المناطق الساحلية جنوبي كاليفورنيا، يحدث نوع من انزلاق التربة على منحدرات مقطوعة وحادّة مغطّاة بنباتات قصيرة تدعى النباتات الجليدية، انظر الشكل (7-12)، وخصوصاً في أثناء شهور الشتاء الماطرة، حين

مثل: الأمطار الشتوية عبر الساحل الغربي للولايات المتّحدة، ونشاط العواصف الرعدية الصيفية جنوب غرب الولايات المتّحدة، ونشاط الأعاصير جنوب شرق الولايات المتّحدة. سنبحث موضوع المناخ وتغيّراته بالتفصيل في الفصل السادس عشر.

يحظى دور المناخ باهتمام خاص في دراستنا للانزلاقات الأرضية؛ وذلك لأنّه يؤثر في كمّية المياه التي تسقط بصورة أمطار وثلوج وتوقيتها، ومدى تأثيرها في حثّ منحدرات التلال وتعريضها، إضافة إلى أنّها تُحدّد نوع ووفرة النباتات التي تنمو على سفوح المنحدرات، إذ تنمو على سفوح المنحدرات في المناطق الجافّة وشبه الجافّة نباتات قليلة في تربة قليلة كذلك، في حين تتكشّف مسطّحات شاسعة من الصخور الجرداء، أمّا عناصر المنحدر فتتمثّل في مقاومة الصخور لعمليات التجوية والتعرية، ومن بين أنشطة الانزلاقات الأرضية الشائعة في الأقاليم الجافّة وشبه الجافّة تساقط الصخور، والتدفق الفتاتي، وانزلاقات التربة الضحلة.

دور الغطاء النباتي

The Role of vegetation

تزداد النباتات كثافة في الأقاليم الرطبة وتحت الرطبة من العالم، ويتوافر غطاء سميك من التربة، إذ تحتوي السفوح على أجزاء محدّبة ومقرّعة عدّة،



(ب)



(أ)

نباتات الجليد غير
المستقرّة على المنحدرات

الشكل (7-12): نباتات الجليد على المنحدرات غير مستقرّة. فالمنحدرات الوعرة المغطّاة بنباتات جليد قصيرة قرب سانتا برابرا، كاليفورنيا. (أ) سدّ على الطريق. (ب) موقع منزل. الغطاء البلاستيكي في محاولة لخفض رشح مياه الأمطار. (Edward Keller)

تماسكها، وتتصرّف بوصفها مادّة سائلة، ما يؤدي إلى انسيابها، فقد أنتج اهتزاز الطين الذي حدث في أثناء زلزال عام 1964م أسفل "أنكوراغ في الأسكا" تأثيراً مثل هذا، وأحدث دماراً عظيماً، إضافة إلى أنّ كثيراً من الانزلاقات الأرضية الكبيرة المرتبطة بتميّؤ الطين (quick clay) دمّرت كثيراً من المنازل، وقتلت ما يزيد على (70) شخصاً في "كيوبك بكندا"، حيث حدثت الانزلاقات على منحدرات نهريّة، إذ تحوّلت موادّ صلبة أساساً إلى طين سائل، حين بدأت حركة الانزلاق⁽⁸⁾، وتعدّ هذه الانزلاقات مثيرة بصورة خاصّة أيضاً؛ لأنّ تمّيع الطين حدث دون هزّة أرضية، إذ بدأت الانزلاقات بسبب الحثّ النهري أسفل المنحدر، مبتدئة بمنطقة صغيرة، سرعان ما تطوّرت إلى أحداث كبيرة؛ ولأنّها غالباً ما ترتبط بتجدّد انزلاقات قديمة، فيمكن تقادي المشكلات المستقبلية، بالحدّ من الإنماء في مثل هذه المناطق.

دور الزمن The Role of Time

غالباً ما تتغيّر القوى العاملة على المنحدرات مع الزمن، فعلى سبيل المثال: قد تتغيّر كلّ من القوى المحرّكة والمقاومة موسميّاً بتغيّر المحتوى المائي ومنسوب المياه الجوفية، حيث تحدث معظم التجوية الكيميائية في الصخور التي تعمل تدريجيّاً على خفض قوّتها؛ بسبب عمل المياه المؤثّرة في التربة والصخور على سطح الأرض، فالمياه (H_2O) تكون عادة حمضية؛ بسبب تفاعلها مع ثاني أكسيد الكربون (CO_2) في الغلاف الجوي والتربة لإنتاج حمض الكربونيك (H_2CO_3)، وهذه التجوية الكيميائية تكون مؤثّرة خاصّة في المناطق المكوّنة من صخور جيرية، وهي سريعة التأثير في التجوية والتحلل، بفعل حمض الكربونيك، وتكون التغيّرات الناتجة عن التجوية عظيمة خصوصاً في السنوات المطيرة، وهذا ما تعكسه الزيادة في تكرار الانزلاقات الأرضية في أثناء السنوات المطيرة أو بعدها، أضف إلى ذلك، أنّ هناك انخفاضاً مستمراً في قوى المقاومة لبعض المنحدرات بمرور الزمن، الذي قد يكون بسبب التجوية التي تقلّل من تماسك موادّ المنحدر، أو تزيد من ضغط المياه المسامية (المياه الموجودة في الفجوات بين الحبيبات المعدنية) في المنحدر؛ بسبب الظروف الطبيعية أو الاصطناعية، فقد يزداد معدّل الزحف في المنحدر الذي يصبح أقلّ استقراراً بمرور الزمن، إلى أن يحدث الانهيار، ويبدو هذا المفهوم أكثر وضوحاً في الحالة التاريخية التي حدثت في سدّ "فايونت"؛ (انظر: تاريخ حالة: سدّ فايونت).

تتمتصّ جذور نباتات الجليد القصيرة المياه، مضيّفة وزناً كبيراً للمنحدرات الشديدة - تخزّن كلّ ورقة كمّية من المياه - مؤدّية إلى زيادة القوى المحرّكة، أضف إلى ذلك أنّ النباتات تزيد رشح المياه في المنحدر، ما يقلّل قوى المقاومة، فعندما يحدث الانهيار، تنزلق النباتات وبضعة سنتمترات من الجذور والتربة نحو قاعدة المنحدر.

يُعدّ انزلاق التربة على المنحدرات الطبيعية الشديدة في جنوبي كاليفورنيا مشكلة حقيقية، فالنباتات القصيرة الكثيفة "شابارال" المبيّنة في الشكل (7-8) تسهّل زيادة رشح المياه في المنحدر، ما يقلّل من عامل الزمان.

دور المياه The Role of Water

تتدخل المياه غالباً بطريقة مباشرة أو غير مباشرة في الانزلاقات الأرضية، نظراً لأهمّية دورها بصورة خاصّة⁽⁷⁾، فعند دراسة انزلاق أرضي، نبحت أولاً عن دور الماء على السفوح أو فيها، إذ توجد ثلاث طرق أساسية تبين تأثير المياه في استقرار السفوح: (1) يمكن أن تحدث الانزلاقات الأرضية (انزلاقات التربة الرقيقة) في أثناء العواصف المطرية، حين تصبح المنحدرات مشبعة بالمياه، (2) ويمكن أن تحدث الانزلاقات الأرضية، مثل الهبوط أو الانزلاقات الانتقالية بعد أشهر أو سنوات من رشح المياه في أعماق المنحدر، (3) يمكن للمياه أن تتحت القاعدة السفلى من المنحدر، ما يؤدي إلى خفض استقراره.

فقدرة المياه على الحثّ تؤثر في استقرار المنحدرات، ويقوم النهر والموج كذلك بحثّ المنحدر، مزيلاً موادّ منه، ليجوّله إلى منحدر أكثر وعورة، فيقلّل عامل الأمان، انظر الشكل (7-13). تعدّ هذه المشكلة حسّاسة بصورة خاصّة، إذا كانت قاعدة المنحدر ناتجة عن انزلاق أرضي قديم خامد، ومعرّض للحركة من جديد، إن ضعف الاستقرار، انظر الشكل (7-14)؛ لذلك من المهمّ تعرّف الانزلاقات الأرضية القديمة في المناطق المحتمل شقّ الطرق فيها وعمل الحفرات قبل الإنشاء؛ وذلك لفرز المشكلات المحتملة وتصويبها.

هناك طريقة أخرى تتسبّب المياه فيها في الانزلاقات الأرضية، حيث تسهم في عمليات الإمهاة (تميّؤ Liquefaction) للرواسب الغنية بالطين (quick clay)، فعند حدوث الاضطراب تفقد بعض الموادّ الطينية قوّة



(ب)

الشكل (7-13): تحت المياه (تجرف) قاعدة المنحدر متسببة في عدم الاستقرار. (أ) أدى الحث الجانبي للنهر إلى الانهيار، الذي دمر الطريق في جبال "سان جابريل"، كاليفورنيا. (Edward A. Keller). (ب) منزل على واجهة على شاطئ كوف "أوريجون" مهدد بالانزلاق. (Gary Braasch/Getty Images Inc.)



(أ)



(ب)



(أ)

الشكل (7-14): تجدد الانزلاق (Reactivation of slide). (أ) صورة جوية تبيّن الانزلاق في منطقة ساحل "سانتا برابرا"، ويشير السهم إلى موقع الانزلاق. (ب) صورة مقربة للانزلاق، الذي دمر منزلين. والانزلاق هو تجدد لانهيار سابق. (Courtesy of Don Weaver)

لقد نتجت الكثير من الانزلاقات الأرضية عن ظروف جيولوجية معاكسة، ورطوبة زائدة، وتغيرات اصطناعية في معالم سطح الأرض ومواد المنحدرات، ويُعدّ انزلاق سدّ "فايونت" وخزّانه في إيطاليا عام 1963م مثلاً تقليدياً على ذلك (انظر: تاريخ حالة: "سد فايونت")، إذ تشتمل الأمثلة الأخرى على انزلاقات أرضية مرتبطة بحصاد الغابات وبانزلاقات عدة في المناطق العمرانية.

حصاد الغابات Timber Harvesting

تُعدّ العلاقة بين السبب المحتمل والأثر بين حصاد الغابات وعملية الحثّ شمال كاليفورنيا وأوريجون وواشنطن موضوعاً خلافياً، فهناك دليل يؤيد فرضية أنّ الانزلاقات الأرضية، خصوصاً التربة الرقيقة والتيهور الفتاتي

4-7 الاستخدامات البشرية والانزلاقات الأرضية

HUMAN USE AND LANDSLIDES

يتفاوت أثر الاستخدامات البشرية في مقدار الانزلاقات الأرضية وتكرارها من عدم الأهمية تقريباً إلى مهم جداً، ففي الحالات التي لا يمكن لأنشطتنا أن تؤثر في مقدار الانزلاقات الأرضية وتكرارها، يتعيّن علينا تعرّف مكانها وزمانها وسبب حدوثها؛ من أجل تفاعلي التنمية في المنطقة الخطرة، والحدّ من الأضرار، وفي الحالات التي تزيد فيها الاستخدامات البشرية من عدد الانزلاقات الأرضية وشدّتها، يتعيّن علينا أن نتعلّم كيف نميّزها، ونسيطر عليها، ونحدّ من حدوثها، حيثما كان ذلك ممكناً.

النمذّن (العمران) Urbanization

تتسبّب الأنشطة البشرية في حدوث الانزلاقات الأرضية في المناطق العمرانية، حيث الكثافة السكانية العالية، والبنية التحتية (الطرق، والمنازل، والمصانع)، فهناك أمثلة توضح هذه الحالة في "ريودي جنيرو والبرازيل ولوس أنجلوس وكاليفورنيا".

ففي "ريودي جنيرو" التي يزيد عدد سكانها على ستة ملايين نسمة، مشكلات استقرار المنحدرات أكثر من أي مدينة بحجمها⁽¹¹⁾، إذ تتميز المدينة بقمم الجرانيت الجميلة، التي تحيط بالمنطقة العمرانية، انظر الشكل (7-15)، فقد ساهمت المنحدرات الحادة والصخور المكسرة والتربة رقيقة السمك مجتمعة في هذه المشكلة، حيث قُطعت الأشجار في الماضي؛ من أجل صناعة الأخشاب والوقود وإيجاد مساحات للزراعة، أعقبتها انزلاقات أرضية صاحبت هطل الأمطار الشديد، وزاد النمو العمراني حديثاً على السفوح؛ بسبب تناقص المساحة على الأرض المنبسطة، فأزيل الغطاء النباتي، وشقّت الطرق الموصلة إلى مواقع التنمية الأكثر ارتفاعاً تدريجياً، وقطعت الحفرية الكثير من قواعد المنحدرات، ومزقت غطاء التربة

والانسيابات الأرضية الأكثر عمقاً تكون مسؤولة عن معظم الحتّ الحاصل في هذه المناطق، وفي حقيقة الأمر، استنتجت إحدى الدراسات في غرب سلسلة الجبال في أوريجون، أنّ الانزلاقات الأرضية الضحلة هي عمليات الحتّ السائدة في المنطقة، فأنشطة حصاد الغابات المتمثلة في قطع الأشجار وبناء طريق في أثناء (20) سنة على أرض مستقرّة جيولوجياً، لم تزد كثيراً من الانزلاقات المرتبطة بالحتّ، إلا أنّ قطع الأشجار عن السفوح ذات المنحدرات الضعيفة غير المستقرة في أثناء الفترة الزمنية نفسها، زاد من عمليات حتّ الانزلاقات الأرضية على أراضي الغابات⁽¹⁰⁾.

ويُعدّ إنشاء الطرق في منطقة معرّضة لقطع أشجارها مشكلة مهمّة بصورة خاصة؛ لأنّ شقّ الطرق قد يعترض سطح الصرف، ويغيّر حركة المياه تحت السطحية، ويغيّر بصورة معاكسة توزيع الكتلة على المنحدر بعمليات الحفر والملء والتدرّج⁽¹⁰⁾، ويقدر ما تعرّف أكثر عمليات الحتّ في مناطق الغابات، بقدر ما تطوّر وسائل تنظيمية؛ للحدّ من الآثار المعاكسة لحصاد الغابات، علماً بأننا لم نتخلّص من الأخشاب المرتبطة بمشكلات حتّ الانزلاقات الأرضية المتعلقة بحصاد الغابات.

تاريخ حالة CASE HISTORY

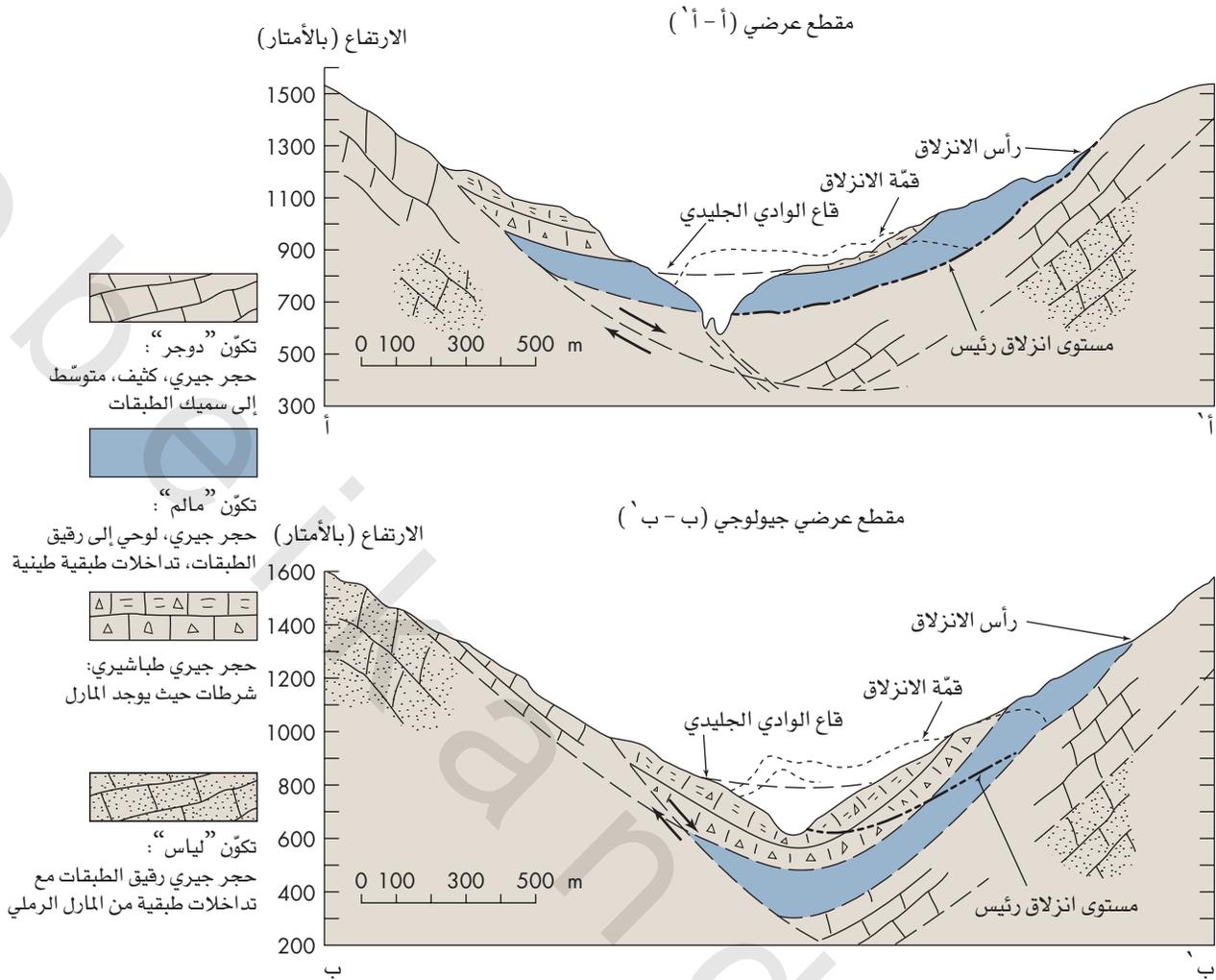
سدّ فايونت Vaiont Dam

حيث بلغ في اليوم الذي سبق الانزلاق (100 cm) تقريباً يومياً، وعلى الرغم من أنّ المهندسين توقعوا انزلاقاً أرضياً، إلا أنّهم لم يتأكدوا حتى اليوم الذي سبق الانزلاق، حين لاحظوا تحرك مساحة كبيرة بصورة كتلة واحدة منتظمة وغير مستقرّة، ومن المدهش أنّ الحيوانات التي ترعى على السطح أحسّت بالخطر، وهربت في الأوّل من أكتوبر، أي قبل ما يزيد على أسبوع من حدوث الانزلاق الأرضي.

وقد نتج الانزلاق عن تجمّع عناصر عدّة: أولاً، ظروف جيولوجية سيئة اشتملت على صخور ضعيفة وصخور جيرية ذات كسور مفتوحة، وبوالبع وطبقات طينية مائلة نحو الخزّان، نتجت عنها كتل غير مستقرّة، انظر الشكل (7 ز). ثانياً، تضاريس حادة جداً نتجت عنها قوّة محرّكة كبيرة. ثالثاً، ازدياد ضغط المياه في صخور الوادي؛ بسبب المياه في الخزّان، ولقد ازداد معدّل الزحف قبل الانزلاق؛ بسبب ارتفاع مستوى المياه الجوفية الناتج عن مستويات الخزّان العليا. رابعاً، زيادة وزن موادّ المنحدر بفعل الأمطار الغزيرة، التي هطلت منذ أواخر شهر سبتمبر حتى يوم حدوث الكارثة، ما زاد ضغط المياه في الصخور، ونتج عنها جريان استمر حتى ملأ الخزّان، على الرغم محاولة المهندسين خفض مستوى الخزّان. وقد استنتج المسؤولون أنّ الكارثة نتجت عن زيادة قوى الحركة، مصحوبة بانخفاض عظيم في قوى المقاومة، حيث إنّ ارتفاع المياه الجوفية على المنحدرات زاد في نطاقات الضعف في الصخور⁽⁹⁾.

حدثت أسوأ كارثة عالمية لانهيار سدّ في التاسع من أكتوبر عام 1963م، حين قُعدت قرابة (2600) روح في سدّ "فايونت" في إيطاليا، انظر الشكل (7 و). لقد أصابت الكارثة أعلى سدّ قوسي رقيق في العالم، والغريب في الأمر، أنّ ضرراً لم يحدث على هيكل السدّ أو الجوار⁽⁹⁾، فالأسوأ حدثت بسبب انزلاق أرضي عظيم، حين تحركت كمّيات من الصخور والفتات تزيد على (238) مليون متر مكعب بسرعة (95 km) في الساعة في اتجاه أسفل واجهة الجبل أعلى الخزّان، فملأت موادّ الانزلاق الخزّان كلياً بسعة (1.8 km)، على امتداد محور الوادي إلى ارتفاع بلغ قرابة (152 m) فوق مستوى الخزّان، ونتج عن الحركة السريعة تيار هوائي صاعد هائل، ما دفع الصخور والمياه نحو الجانب الشمالي للوادي فوق مستوى الخزّان بقرابة (250 m)، ونتج أيضاً عن الانزلاق والانفجارات المصاحبة له (هواء ومياه وصخور) هزّات أرضية سجّلت على بعد كثير من الكيلومترات، عصفت بسقف أحد منازل الأشخاص، ورجمته بالحجارة والفتات، ونتجت عن ملء الخزّان أمواج من المياه بلغ ارتفاعها أكثر من (90 m)، فغمرت المناطق المجاورة للسدّ، وقد استقرّت هذه الأمواج على ارتفاع يزيد على (70 m) على مسافة (1.5 km) أسفل النهر، في الحقيقة أصاب الدمار كلّ شيء لمسافة بلغت كيلومترات عدّة في اتجاه أسفل النهر، في مدّة زمنية لم تتجاوز سبع دقائق.

لقد حدث الانزلاق الأرضي هذا بعد ثلاث سنوات من مراقبة معدّل الزحف على المنحدر، الذي تفاوت بين أقلّ من سنتيمتر واحد إلى (30 cm) أسبوعياً، ولغاية شهر سبتمبر عام 1963م، حين ارتفع إلى (25 cm) يومياً،



الشكل (7-ز): مقاطع عرضية جيولوجية عافة. على امتداد مساحة الانزلاق في وادي نهر فايونت، ويبين الشكل (7-و) مواقع المقاطع.

(After Kiersch, G.A. Civil Engineering 34: 32-39)

جنوب كاليفورنيا بفعل ظروف فيزيائية معقدة، ومرتبطة جزئياً بالتفاوت الكبير في التضاريس محلياً، وأنواع الصخور والتربة والمناخ والغطاء النباتي، أضف إلى ذلك أن التداخل بين البيئة الطبيعية والنشاط البشري يُعدّ معقداً ومن الصعب التنبؤ به؛ ولهذا السبب، فإن هذه المنطقة تبدي ارتياباً في التظاهر بالاهتمام العالي بالدراسات الجيولوجية المدنية⁽¹²⁾، إذ قادت "لوس أنجلوس" الأمة في تطوير قوانين البناء المتعلقة بالفرز من أجل التنمية.

إنّ عملية التدرّج في جنوبي كاليفورنيا التي اعتبرت المصاطب (benches) منصّات (pads) قد حضرت في المنحدرات في مواقع المنازل، حيث كانت مسؤولة عن كثير من الانزلاقات الأرضية، فقد استغرقت العمليات الطبيعية آلاف بل ملايين السنين لإنتاج الأودية والحواف والتلال، فاخترعت الآليات في هذا العصر لتمهيدها، فكتب "لايتون": "أنّ سفوح التلال لن تكون عصية على التنمية المستقبلية، بالهندسة الحديثة وعمليات التمهيد والحوافز المالية المناسبة⁽¹²⁾. فلن تصمد أيّ من المواد الأرضية في وجه التكنولوجيا الحديثة الجبارة؛ لهذا أصبح النشاط البشري عاملاً جيولوجياً قادراً على نحت سطح الأرض، مثلما تصنع الأنهار والتلالجات (glaciers)، بل بخصي هائلة السرعة، وقد أصبح من الممكن أن نحول التلال شديدة الانحدار بين عشية وضحاها إلى سلسلة من القطع الأرضية المنبسطة والطرق، لقد أدت هذه التغيرات إلى توليد انزلاقات أرضية اصطناعية عدة، ويبدو فعلياً أنّ

في نقاط حسّاسة، إضافة إلى وضع موادّ طمم المنحدرات أسفل مناطق الحفریات، ما زاد الحمل على المنحدرات التي كانت غير مستقرّة قبل الطمم أصلاً؛ ولأنّ هذه المنطقة تعرّض دورياً لعواصف مطرية شديدة، فمن الواضح أنّ "ريودي جنيرو" تعاني مشكلة حقيقية.

وفي فبراير من عام 1988م هطلت عاصفة مطرية شديدة، أكثر من (12 cm) من المطر على "ريودي جنيرو" خلال أربع ساعات، أدت إلى حدوث فيضان وانزلاقات طينية قتلت تسعين شخصاً، وخلفت قرابة ثلاثة آلاف من المشردين، وقد فاقت كلفة الترميم (100) مليون دولار، إذ نشأت معظم الانزلاقات الأرضية على سفوح شديدة الانحدار، وكانت المنازل غير مثبتة، والسيطرة على جريان العواصف المائية غير متوافرة، فحدثت معظم الوفيات الناتجة عن الانزلاقات الطينية في مثل هذه المناطق التي تعانق بيوتها التلال، يضاف إلى ذلك، مقتل (25) مريضاً وفريق من الممرّضين كانوا في منزل على سفح جبل، حين قُدّف إلى الأسفل بفعل الانزلاق الأرضي، إنّ "ريودي جنيرو" في حاجة ماسّة إلى إجراء تدابير للسيطرة على جريان العواصف وزيادة استقرار المنحدرات، حتّى تتفادى الكوارث مستقبلاً.

وقد عانت "لوس أنجلوس" خصوصاً، وجنوب كاليفورنيا عموماً تكراراً ملحوظاً للانزلاقات الأرضية المرتبطة بالتنمية على سفوح التلال، حيث نتجت في

الشكل (7-15): الانزلاقات الأرضية

شائعة في "ريو دي جنيرو". بانوراما لريودي جنيرو" في البرازيل تبين التلال شديدة الانحدار، حيث تسهم المنحدرات الشديدة، والصخور المشققة والترربة الرقيقة والهطل الشديد معاً في مشكلة الانزلاق الأرضي، مثلما تفعل الأنشطة البشرية في الإنشاءات المدنية وقطع الأشجار والزراعة.

(Getty Images Inc.)



مكوّنة في الغالب من الطين، الذي يمثّل رواسب بحيرية، ومواد غير متطبّقة تدعى تيل (Till)، ورواسب ركامية (colluviums)، وتربة تكوّنت على الغضار، فقد فاق معدّل تكلفة الأضرار خمسة ملايين دولار سنوياً، وأصاب الدمار المنشآت الخاصة (2).

كان تحويل منحدرات حسّاسة المصحوب بالمنشآت العمرانية في مقاطعة «أليغاني، بينسلفانيا» مسؤولاً عن (90%) من الانزلاقات الأرضية في المنطقة، التي يقدر معدّل أضرارها السنوية بقرابة مليوني دولار، وهي في معظمها انزلاقات أرضية بطيئة الحركة، إلا أنّ إحداها أدت إلى سحق حافلة في مقاطعة مجاورة، وذلك تسبّب في مقتل (22) مسافراً، الجدير بالذكر، أنّ معظم الانزلاقات الأرضية في مقاطعة «أليغاني» نتجت عن الأنشطة الإنشائية، المتمثلة في وضع الأحمال على قمة المنحدر، والحفر في مواقع حسّاسة مثل قاعدة المنحدر، أو تغيير ظروف المياه فوق سطح المنحدر أو أسفله (13).

5-7 الحدّ من أخطار الانزلاقات الأرضية MINIMIZING THE LANDSLIDE HAZARD

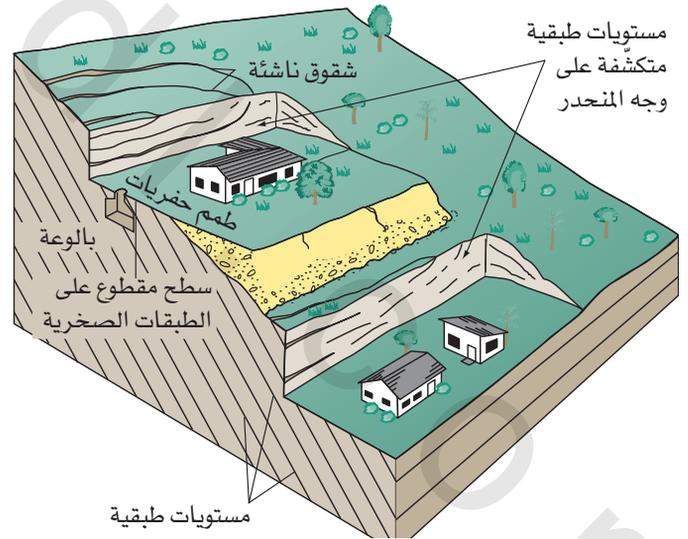
يجب تعرّف المناطق المعرّضة لحدوث الانزلاقات الأرضية؛ من أجل العمل على الحدّ من أخطارها، وذلك بتصميم المنحدرات، والبنائيات الهندسية، لمنع حدوث الانزلاقات الأرضية، وتحذير القاطنين في مناطقها، والسيطرة عليها عندما تبدأ الحركة، والخيار الأفضل والأقلّ كلفة للحدّ من أخطارها هو تقادي التنمية على المناطق التي تحدث فيها أو المناطق المعرّضة لها.

تعرّف الانزلاقات الأرضية المحتملة

Identifying Potential Landslides

يُعدّ تعرّف المناطق ذات الاحتمالات لحدوث الانزلاقات الأرضية الخطوة الأولى؛ من أجل تطوير خطة لتفادي أخطارها، ويمكن تمييز قابلية الانزلاق بالتحقق من الظروف الجيولوجية في الميدان والصور الجوية لتعرّف الانزلاقات السابقة، التي سبق لها التحرك منذ مئات أو آلاف السنين، ومن الممكن أن تتجدّد؛ بسبب التغيّر المناخي، الذي يغيّر في استقرار المنحدر

منحدرات الصخور الجرداء كانت في زمن ما مغطاة بالنباتات، وأنّ الغطاء النباتي أزيل بفعل الانزلاقات الأرضية وغيرها من عمليات الحتّ والتعرية، يبيّن الشكل (7-16) منحدرات شديدة جداً مقترنة بزيادة المياه الناتجة عن رذاذ المروج الخضراء، أو (septic system)، مع زيادة في الوزن الناتج عن الطمم والمنازل، ما يحوّل المنحدرات المستقرّة سابقاً إلى غير مستقرّة، وبوصفه قانوناً، فإنّ أيّ مشروع يؤدي إلى زيادة حدة المنحدر أو تشبّعه بالمياه، أو زيادة ارتفاعه أو وضع زائد عليه، فقد يؤدي إلى انزلاق أرضي (12). تُعدّ الانزلاقات الأرضية على الأراضي الخاصّة والحكومية في مقاطعة «هاملتون»، أو «أوهايو» مشكلة حقيقية، حيث تحدث في توضعات جليدية



الشكل (7-16): العمران وإمكانية الانزلاقات الأرضية. تطوير الانزلاقات الأرضية الاصطناعية. قد تصبح المنحدرات المستقرّة غير مستقرّة إذا تعرّضت لتغييرات متعدّدة، منها: إزالة الدعائم عن أسطح الطبقات، وإضافة مياه المنحدر، وزيادة اندحار السفح وإضافة طمم إليه، والشقوق التي تظهر في الجزء العلوي من الشكل هي علامة مبكرة للانزلاق الأرضي المتوقع حدوثه سريعاً.

(Reprinted, with permission, from Leighton F.B. 1966. Land-slides and urban development. Engineering Geology in Southern California. Los Angeles: Los Angeles Section of the Association of engineering geology)

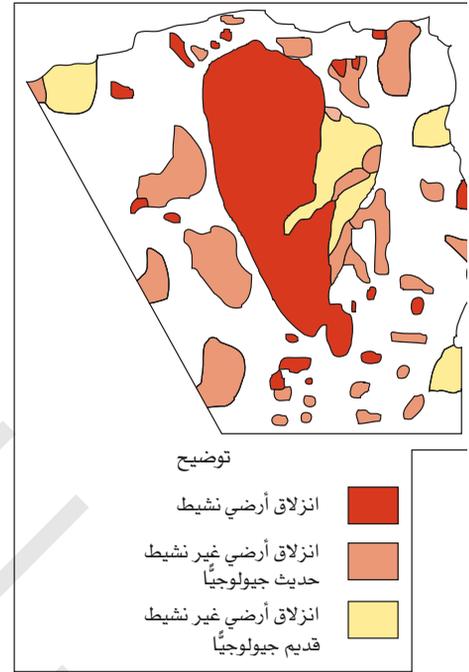
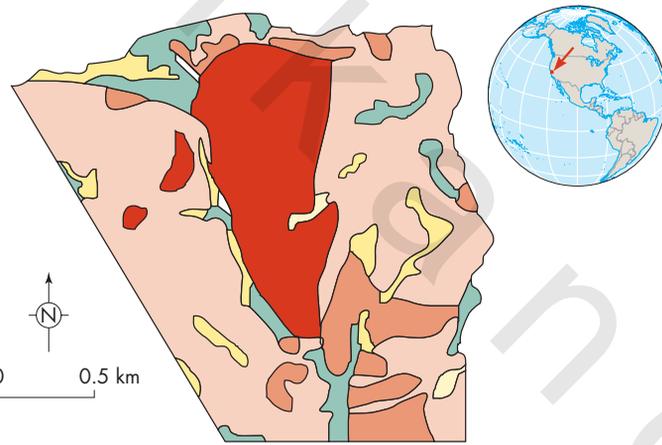
مثلما هو مبين في الشكل (7-17ب)، إذ تُعدُّ هذه الخريطة الأكثر أهمية لدى المخططين، بينما توفر الخريطة الأولى معلومات مفيدة لمهندسي الجيولوجيا.

إنَّ هذه الخرائط ليست بديلاً للدراسات الميدانية التفصيلية في تقييم موقع محدد، وإنما تقدِّم دليلاً عاماً فقط لتخطيط استعمالات الأراضي وللتقييم الجيولوجي التفصيلي، ويُعدُّ تحديد أخطار الانزلاقات الأرضية على هذه الخرائط أكثر تعقيداً؛ لأنه يتضمَّن احتمالية الحدوث وتقييم الخسائر الممكنة⁽¹⁴⁾.

لقد كان لتصنيف القوانين الهادفة للحدِّ من أخطار الانزلاقات الأرضية أثر في منطقة «لوس أنجلوس» منذ عام 1963م، إذ شرعت هذه القوانين بعد كارثة الانزلاقات الأرضية في الخمسينيات والستينيات، وما نتج عنها من خسائر كبيرة في الأرواح والممتلكات، ومنذ تطبيق هذا التصنيف، وبعد أن أصبحت الدراسات الجيولوجية الهندسية من المتطلبات، فقد تقلَّصت نسبة

اليوم، (انظر الشكل (7)، أو تاريخ حالة: انزلاقات «كونكييتا»)، إذ يمكن لهذه المعلومات أن تستخدم في تقييم الأخطار وإنتاج خرائط تبيِّن استقرار المنحدرات.

يجب تقييم أخطار الانزلاق الأرضي عند تعرُّفها، إذ تبيِّن قائمة الانزلاقات الأرضية التي تُعدُّ خريطة استكشافية المناطق التي حدثت فيها انهيارات على المنحدرات، ومن الممكن إعداد هذه القائمة بالاعتماد على تفسير الصور الجوية، المتبوع بالتحقق الميداني، وعلى مستوى أكثر تفصيلاً، يمكن أن تمثل قائمة الانزلاقات الأرضية بصورة خريطة، تبيِّن توضع انزلاقات أرضية حقيقية وفق أنشطتها النسبية. الشكل (7-17) مثال لخريطة تبيِّن جزءاً من مقاطعة «سانتا كلارا، كاليفورنيا»، ويمكن أيضاً الجمع بين المعلومات المتعلقة بأنشطة الانزلاقات الأرضية القديمة، وبين اعتبارات استعمالات الأراضي؛ من أجل تطوير خريطة تبيِّن استقرار المنحدرات أو أخطار الانزلاقات الأرضية، مصحوبة بتوصيات لاستعمالات الأراضي،



توضيح

- انزلاق أرضي نشيط
- انزلاق أرضي غير نشيط حديث جيولوجياً
- انزلاق أرضي غير نشيط قديم جيولوجياً

(أ)

منطقة استقرار نسبي	الظروف الجيولوجية	استعمال الأراضي المقترح		
		منازل خاصة	طرق وطنية	خاصة
أكثر استقراراً	منحدرات منبسطة أو معتدلة؛ عرضة لانزلاقات محلية خفيفة، زحف تربة والترسيب.	نعم	نعم	نعم
↑	منحدرات معتدلة إلى متوسطة، في فئات مستقرة ناتجة عن انزلاق أرضي قديم، وهي عرضة للترسيب وزحف التربة، وانزلاق أرضي خفيف وعميق.	*نعم	*نعم	*نعم
	منحدرات حادة إلى شديدة الانحدار، تخضع لتبدد التربة نتيجة انزلاق التربة والنشاط الصخري وزحفها.	*نعم	*نعم	*نعم
↓	منحدرات معتدلة إلى شديدة جداً في مواد غير مستقرة عرضة للانزلاق والهبوط والتساقط الصخري	*لا	*لا	*لا
	انزلاق أرضي خفيف متحرك (> 3 م)	*لا	*لا	*لا
	انزلاق عميق متحرك عرضة لانهيار سريع.	لا	لا	لا
أقل استقراراً				

(ب)

*نعم
يتوقع السماح باستعمال الأراضي، بشرط توافر البيانات الجيولوجية (أو) تفضل حلول الاستعمالات الجيولوجية.

*لا
يتوقع عدم السماح باستعمال الأرض. ومع ذلك، يوجد بعض الظروف يسمح بالاستعمال عند توفر البيانات الجيولوجية (أو) الحلول الهندسية، انزلاق أرضي عميق متحرك عرضة للانهار السريع.

الشكل (7-17): خريطة أخطار الانزلاق الأرضي (Landslide hazard map). (أ) خريطة قوائم الانزلاق الأرضي. (ب) خريطة الانزلاق الأرضي واستعمال

الأراضي لجزء من مقاطعة «سانتا كلارا، كاليفورنيا»

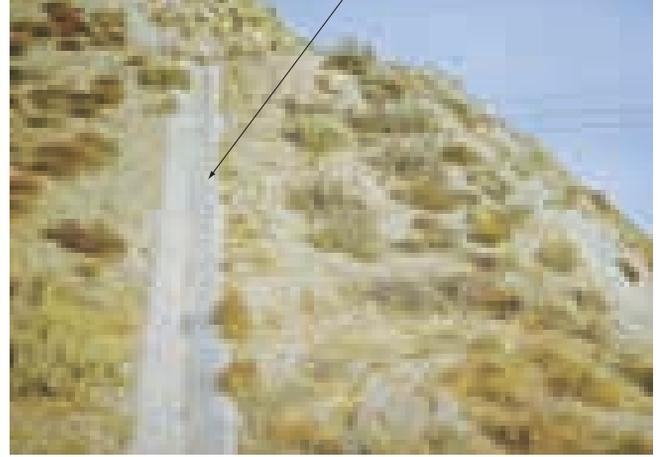
(After U.S. Geological Survey.1982.Goals and tasks of the landslide part of a ground-failure hazards reduction program. U.S. Geological Survey Circular 880).

تغطية المنحدر بترربة لاحمة



(ب)

تصريف سطحي

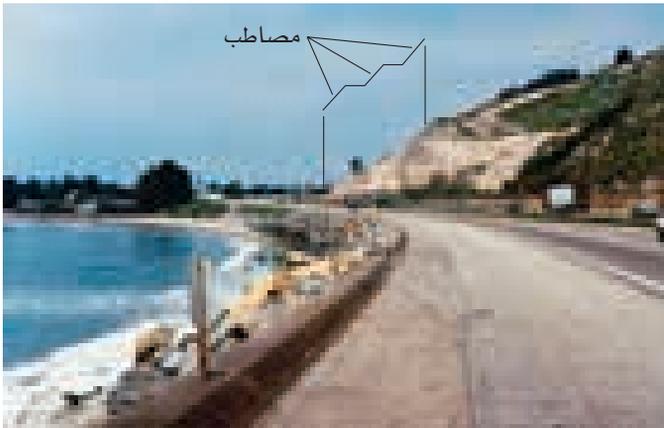


(أ)

الشكل (18-7): طريقتان لزيادة استقرار المنحدر. (أ) مصارف على مقطع طريق لإزالة المياه السطحية منه قبل رشها في المنحدر. (ب) تغطية المنحدر بترربة لاحمة للتقليل من رشح المياه وتوفير القوة. (Edward A. Keller)

الحذر له قد يساعد على زيادة استقرار المنحدر، ففي إحدى عمليات الحفر والردم، أزيحت المواد من الجزء الأعلى للمنحدر، ووضعت في أسفله، فنقص الانحدار، وأزيحت المواد من المنطقة التي تسهم فيها مع القوى المحركة، ووضعت عند قدم المنحدر، لتزيد من قوى المقاومة، إلا أن هذه الطريقة غير عملية في المنحدرات المرتفعة الحادة، وبوصفه بديلاً لها، فيمكن حفر السطح على هيئة سلسلة من العتبات والمصاطب، التي تصمم بمصارف سطحية؛ لتحول جريان المياه، إذ تقلل هذه المصاطب من انحدار الأرض بوجه عام، وتعمل بوصفها مواقع جيدة لتجميع الصخور المتساقطة والانزلاقات البسيطة، انظر الشكل (19-7) (3).

دعائم المنحدر Slope supports تصمم الجدران الاستنادية المبنية من الأسمنت المسلح، أو من سلال الأسلاك المملوءة بالحجارة، أو أكوام (أسمنت مسلح طويل، أو قضبان حديد أو حزم خشبية موضوعة في الأرض)؛ من أجل توفير الدعم لقاعدة المنحدر، انظر الشكل (20-7)، ويجب تثبيتها بصورة جيدة أسفل قاعدة المنحدر، وتوضع حولها الحصى المنفذة أو كسارة الصخور، (الشكل 7-21)، يضاف إلى ذلك أنها تزود بثقوب للتصريف؛ من أجل تقليص فرص توليد الضغط المائي في المنحدر، انظر الشكل (7-21).



مصاطب

الشكل (19-7): المصاطب (Benching) (الربيع الأيمن العلوي). منحدر على المحيط الهادي؛ لخفض شدة الانحدار على السطح وتوفير تصريف أفضل.

أضرار الممتلكات المنشأة على سفوح التلال إلى درجة كبيرة، وعلى الرغم من أن تكلفة البناء الأولية أكبر بكثير من السابق؛ بسبب القوانين الصارمة، إلا أنها تعد متوازنة مع تقليص الخسائر في السنوات المطيرة اللاحقة، فكوارث الانزلاقات الأرضية تواصل تهديدنا، وطلب المعلومات الجيولوجية والهندسية قبل التنمية على سفوح التلال يساعدنا على تقليص أخطارها.

منع الانزلاقات الأرضية

Preventing Landslide

من الصعب منع حدوث الانزلاقات الأرضية الطبيعية الكبيرة، وقد يساعد الشعور العام والممارسات الهندسية الجيدة على تقليل أخطارها، فتكديس الأحمال على قمة المنحدرات مثلاً، وعمليات المنحدرات الحساسة، ووضع الطمم على المنحدرات أو تغيير نظام المياه عليها، هي أعمال يجب تفاديها أو تنفيذها بحذر، وتشتمل التقنيات الهندسية الشائعة في منع الانزلاقات الأرضية على احتياطات للصرف السطحي وتحت السطحي، وإزالة مواد المنحدرات غير المستقرة، وبناء جدران استنادية أو منشآت داعمة أخرى، أو ما ذكر جميعه (3).

السيطرة على الصرف Drainage Control تُعد السيطرة على الصرف السطحي وتحت السطحي في العادة مؤثرة في استقرار المنحدر، والهدف من ذلك منع المياه من الجريان أو الرشح عبر المنحدر، إذ يمكن تحويل مجرى المياه حول المنحدر، بوضع سلسلة من المجاري السطحية، ويُعد هذا الإجراء شائعاً عند شق الطرق، انظر الشكل (7-18ب)، ومن الممكن السيطرة أيضاً على كمية المياه الراشحة في المنحدر، عن طريق تغطية المنحدر بطبقة غير منفذة (كتيمة) التربة اللاحمة مثلاً، أو الأسفلت أو البلاستيك، انظر الشكل (7-18ب)، ومن الممكن كذلك منع المياه الجوفية من عبور المنحدر، بإنشاء مصارف تحت سطحية، وذلك بتمديد أنبوب تصريف مثقب ومحاط على امتداده بحصى منفذة أو كسارة صخور، بحيث يدفن تحت سطح الأرض؛ ليعترض طريق المياه الجوفية، ويحول مسارها عن المنحدر غير المستقر (3).

تدرج Grading على الرغم من أن تدرج المنحدرات من أجل التنمية، قد زاد من أخطار الانزلاقات الأرضية في كثير من المناطق، إلا أن التخطيط

الانزلاقات الأرضية في «لاكونشيتا» LA CONCHITA LANDSLIDES

كارثة الانزلاق الأرضي في «لاكونشيتا» جنوبي كاليفورنيا عام 2005م: دروس مستفادة

العوامل المساعدة Contributing Factors

هناك أربعة أسباب رئيسية تبيّن الأسباب التي جعلت من «لاكونشيتا» منطقة ذات أخطار انزلاقات أرضية حقيقية.

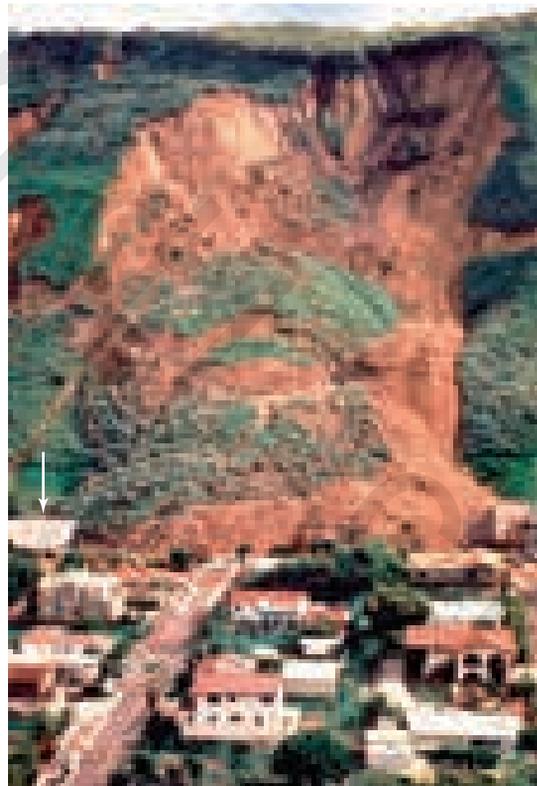
1. وجود منحدرات عالية وحادة جداً:

لقد تكوّنت المنحدرات في أعالي «لاكونشيتا» وبمحاذاة خط الشاطئ على ارتفاع (180 m) على جرف بحري منذ ما قبل التاريخ، وعلى الرغم من أنّ وجه المنحدر حادّ جداً، ويكاد يكون رأسياً في بعض الأماكن، إلا أنّ القمّة تكون معتدلة الانحدار إلى شرفة بحرية منبسطة مزروعة بأشجار الأفوكاته (شبيه شجر الإجاص)، ويدلّ توافر أصداف من رواسب شاطئية قديمة، قرب قمّة الجرف على أنّ الشرفة كانت على مستوى سطح البحر منذ قرابة (45) ألف سنة مضت. هذه الملاحظات وغيرها تدلّ على أنّ الشرفة تعرّضت لعمليات رفع بمعدّل (4-6) لكل ألف سنة، إذ تُعدّ معدّلات الرفع هذه من أسرعها على المستوى العالمي، مقارنة بتلك التي تحدث في «الأسكا» أو في جبال الهيمالايا، ويزداد حدوث

في العاشر من يناير عام 2005م، حدثت كارثة لأهالي الشاطئ الجانبي في «لاكونشيتا» في كاليفورنيا، التي تقع على بعد (80 km) شمال غرب لوس أنجلوس، نتج عنها وفاة عشرة أشخاص، وتدمير قرابة ثلاثين منزلاً؛ بسبب انسياب أرضي سريع جداً (10 m/s)، اخترق الجزء الأعلى من التجمّع السكاني ودفنه، وقد مثل هذا الانسياب تجديداً جزئياً لانزلاق أرضي حدث مبكراً عام 1995م، الذي دمر كثيراً من المنازل دون ضحايا، (الشكل 7-ز)، فعلى الرغم من أنّ الأمطار كانت غزيرة بل شديدة جداً أحياناً خلال الأيام التي سبقت الانزلاق عام 2005م، إلا أنّ السكان والمسؤولين لم ينتبهوا إلى أنّ انزلاقاً آخر على وشك الحدوث، ونتيجة لذلك فقد احتجز بعض الناس في منازلهم، بينما فرّ آخرون للنجاة بحياتهم، (الشكل 7 ح)، لقد كانت حوادث 1995م و2005م على السفوح الحادة فوق التجمّع السكاني جزءاً من انزلاق قديم كبير ومعقد، حدث منذ آلاف عدّة من السنين، بحيث يفوق (20,000) سنة، انظر الشكل (7 ط)، (15)، (16).



(ب)



(أ)

الشكل (7 - ز): لاكونشيتا عامي 1995 م و 2005م La Conchita. (أ) صورة جوية تبيّن الانزلاق الأرضي الذي حدث في «لاكونشيتا» عام 1995م، مع جزء من التجمّع السكاني في المنطقة السفلى «في لاكونشيتا»، وتشتمل المنطقة ذات اللون الأصفر-البني على وجه الجرف على رواسب انزلاق أقدم في الغالب منها في أعلى المنحدر، قتل الانزلاق عشرة أشخاص، ودفن وألحق الضرر بثلاثين منزلاً تقريباً قرب قاعدة المنحدر (المسح الجيولوجي الأمريكي)، (ب) صورة جوية لتجدد الانزلاق الأرضي نفسه عام 2005م على هيئة انسياب أرضي سريع الحركة، بوصفه مرجحاً، يشير السهم الأبيض على الجانب الأيسر في الصورتين إلى المبنى نفسه، وفي أسفل المنحدر، كوّن الانزلاق الأرضي انسياباً أرضياً على هيئة فلقتين، إحداهما كبيرة على الجهة اليمنى، والأخرى أصغر بكثير في وسط الصورة، وقد غطى الطين والفتات أجزاء من أربع طرق، وألحق الضرر، ودفن ثلاثين منزلاً. (AP Wide World Photos)

الشكل (7 - ج): جريان أرضي يدفن الناس والمنازل والسيارات. يظهر الجزء السفلي من الانزلاق الأرضي الذي حدث عام 2005م، والذي نتج عنه دفن عشرة أشخاص على الأقل، وألحق الضرر والدمار بثلاثين منزلاً، فعندما تدفقت كتلة الطين والفتات الصخري في المنازل وفوقها، كانت لجة، وأشبه ما تكون بالأسمنت المسلح السميك، الذي يضخ من شاحنة الأسمنت بسرعة (10 m/s (30 ft/ s). (Edward A. Keller)



حلول لمشكلة الانزلاق الأرضي

Solutions to the Landslide Problem

تشتمل الحلول الممكنة لمشكلة تكرار الانزلاقات الأرضية في "لاكوشيتا" على الآتي:

1. السيطرة التركيبية:

يمكن تصميم بنية هندسية مكوّنة من شرفات وجدران استنادية لسفح التل الواقع في أعالي "لاكوشيتا"، وقد بُنيت تراكيب مشابهة في منطقة لوس أنجلوس، حيث تهدّد كثافة الانزلاقات الأرضية التنمية، وعلى أيّ حال، فإنّ هذا الحلّ يبدو مكلفاً "لاكوشيتا"؛ لأنّ هناك فقط قرابة (100) بناية في المجمع السكني.

2. تغيير استعمال الأراضي:

بعض السكان يحبّون لاكوشيتا، ويرغبون في البقاء فيها، مع العلم أنّ انزلاقاً أرضياً قاتلاً متوقّفاً حدوثه ثانية في وقت مجهول، لقد ذكر بعض الذين أصيبوا في انزلاق 2005م أنّهم اعتقدوا أنّ المنطقة أصبحت أكثر أمناً بعد انزلاق عام 1995م، وقد تحمّلوا أخطار المكوث راغبين، بينما ذهب بعضهم الآخر إلى شراء منازل حتى بعد انزلاق 1995م، إذ يكمن الحلّ البيئي المفضّل لمشكلة الانزلاق الأرضي في إخلاء السكان من المناطق الخطرة، وتفاذي التنمية في المناطق العليا من المجمع السكني.

3. تثبيت نظام تحذير مؤثّر:

لقد تبيّنت مجسّات لمعرفة مدى الحركة على المنحدر بعد انزلاق 1995م، وبدأ الانزلاق عام 2005م فوق هذه المجسّات، أو لعلّ الانزلاق تحرّك بسرعة كبيرة تفوق إمكانية إصدار تحذير، لكن المؤشّرات في الناحية الأخرى، المتمثلة في أنماط كمّية هطل الأمطار وفتريته وغازاته، ربّما كانت مساعدة على توفير فرصة التحذير. هناك حاجة لبحث إضافي لاختبار هذه الفرضية. ولقد صدرت تحذيرات النيران البرية في جنوبي كاليفورنيا ممثلةً بأيّام "العلم الأحمر (Red Flag)"، وذلك بناءً على درجات حرارة الهواء وأنماط الرياح، ومن الممكن أن تطلق تحذيرات بالانزلاقات الأرضية في لاكوشيتا اعتماداً على أنماط الطقس، لكن الجانب الآخر لهذا النمط هو إمكانية ورود تحذيرات كاذبة، وقد يكون التوجّه الأفضل في ضمّ أدوات قياس الهطل وحركة المنحدر.

عمليات الرفع في "لاكوشيتا" بمقدار أمتار عدّة في كلّ مرّة في أثناء الهزّات الأرضية الكبيرة، التي تحدث كلّ بضعة مئات أو آلاف السنين على الصدوع فوق "لاكوشيتا" وإلى الجنوب منها على قناة "سنتابرابارا".

2. وجود صخور ضعيفة:

يتكوّن معظم جرف "لاكوشيتا" من توضعات ناتجة عن انزلاقات أرضية قديمة، مكوّنة من صخر طيني ضعيف الالتحام، وحجر غريني، وبعض الصخور الرملية، وهي صخور رسوبية ضعيفة قليلة الصلابة، بحيث لا تكون قادرة على مقاومة تبدّد الكتل على المنحدرات الحادّة، وتبيّن السجلات التاريخية أنّ الانزلاقات الأرضية حدثت على صخور "لاكوشيتا" قبل ما يزيد على (145) سنة، إلّا أنّ الجيولوجيين يزعمون أنها حدثت قبل ما يزيد على آلاف السنين.

3. وجود انزلاقات أرضية تاريخية وما قبل التاريخ:

يشاهد في جنوب شرق "لاكوشيتا" على طريق (U.S.101) السريع، انزلاق أرضي يلي انزلاقاً أرضياً آخر على مسافة تمتد قرابة تسعة كيلومترات، على امتداد الجرف البحري المكوّن منذ ما قبل التاريخ، وبعض هذه الانزلاقات حديث، بينما بعضها الآخر، قديم منذ آلاف السنين، وفي كلّ بضعة سنين من ضمنها سنة 2005م يُغلق الطريق السريع يوماً أو أكثر؛ بسبب الانسيابات الطينية، التي تغطيه، أو بانزلاقات أرضية تحت الجانب الرملي منه، وقد أغلقت الانسيابات الطينية لطريق (U.S.101) السريع شمال لاكوشيتا عام 2005م، وترتّب على ذلك تدمير المنازل الواقعة في طريق الانسيابات.

4. الحدوث الدوري للهطل الغزير وطويل الأمد:

يتفاوت سقوط المطر كثيراً في جنوبي كاليفورنيا، وتتذبذب كمّية الهطل كثيراً من سنة إلى أخرى، أضف إلى ذلك، أنّ بضعة سنوات جافة تأتي بعد كلّ بضعة سنوات مطيرة، وقد حدثت انزلاقات لاكوشيتا عامي 1995م و2005م بعد أمطار شتوية غزيرة، استمرّت فترات زمنية طويلة، ومن المحتمل أنّ كمّية الأمطار وغازاتها كانت العامل الرئيس للانزلاق الأرضي الذي حدث عام 2005م، فهي أكثر تأثيراً من استعمالات الأراضي، أو محاولات تثبيت السفح بعد الانزلاق الأرضي الذي حدث عام 1995م.

تقع فوق لاونشيتا وبيجارها، وسوف تتحرك مستقبلاً، وليس هناك أي جزء من المنطقة السكانية آمناً كلياً من انزلاق أرضي مستقبلاً.

2. ملاحظة أنماط الهطل قد يساعد على التحذير من الانزلاق.

لقد حدث كل من انزلاق 1995م و2005م بعد فترات من الهطل الغزير الوفير، ومن الممكن أن يجد البحث نمطاً للهطل، يُستخدم بوصفه قاعدة لإخلاء المناطق الخطرة، قبل حدوث الانزلاق، إذ استخدم هذا التوجّه بالقرب من جبال سانتا مونيكا منذ سنوات خلت.

3. نحتاج إلى مزيد من المعلومات عن أخطار الانزلاق الأرضي.

يجب أن تعرض أشرطة الفيديو التي صوّرت الانزلاقات الأرضية عامي 1995م و2005م في لاونشيتا، وبصورة دورية لسكان أي منطقة معرضة لمثل هذه الأحداث مستقبلاً، ويجب أن يصاحب الأشرطة حوار عن كيفية تكيف الأهالي مع أخطار الانزلاق الأرضي لإيجاد خطة فعّالة، بحيث يضمّ كلاً من الأهالي ومسؤولي الطوارئ (رجال الإطفاء والشرطة) وخدمات الطوارئ الطبية والصليب الأحمر، يشير هذا المنحى إلى أن التدريب الأهمّ يتمثل في تعريف الناس بالأخطار.

4. عدم القيام بأي شيء مهمّ وتحمل خسائر المستقبل:

وهذا ما تمّ فعله إلى درجة ما في أعقاب انزلاق عام 1995م، فقد تمّ تحذير السكان بصورة متكرّرة من أخطار الانزلاق الأرضي، وأنشئ جدار صغير قرب قاعدة الجرف؛ لمنع الطين الناتج عن انزلاقات محدّدة وحتّ سفوح المنحدرات من تغطية الطريق، وتمّت مراقبة حركة السفح، وقد غادر بعض السكان المنطقة بالفعل بعد انزلاق 1995م، إلّا أنّ الآخرين مكثوا، واشترى بعض السكان الجدد أملاً في المنطقة السكنية، بناءً على قرارات شخصية مبنية على إدراك فردي للخطر. نأمل أن يُعمل الكثير للحدّ من الأخطار المستمرة، فالسؤال ليس إن كان انزلاق سيحدث، بل متى؟ فالوقوف دون فعل أي شيء وتحمل الأضرار في المستقبل، ليس اختياراً مقبولاً لحماية الأرواح والممتلكات.

دروس مستفادة Lessons Learned

الدروس المستفادة من الانزلاقات الأرضية في لاونشيتا عدة، منها:

1. الانزلاقات الأرضية تتجدّد غالباً.

كثير من الانزلاقات الأرضية ومن بينها انزلاقات عامي 1995م و2005م

بانزلاق "ثيستل" في شهر إبريل من عام 1983، فقد تحرك هذا الانزلاق عبر واد عميق، مكوناً سداً طبيعياً يبلغ ارتفاعه (60 m)، وفاض على التجمّعات السكانية في "ثيستل"، حيث خطّ سكة الحديد الكبير "دنفر-ريو" ومحطة تحويله، وطريق أمريكي سريع رئيس، (الشكل 7-23)⁽¹⁷⁾، وذلك أدى إلى حدوث أضرار تقدر بـ (200) مليون دولار تقريباً.

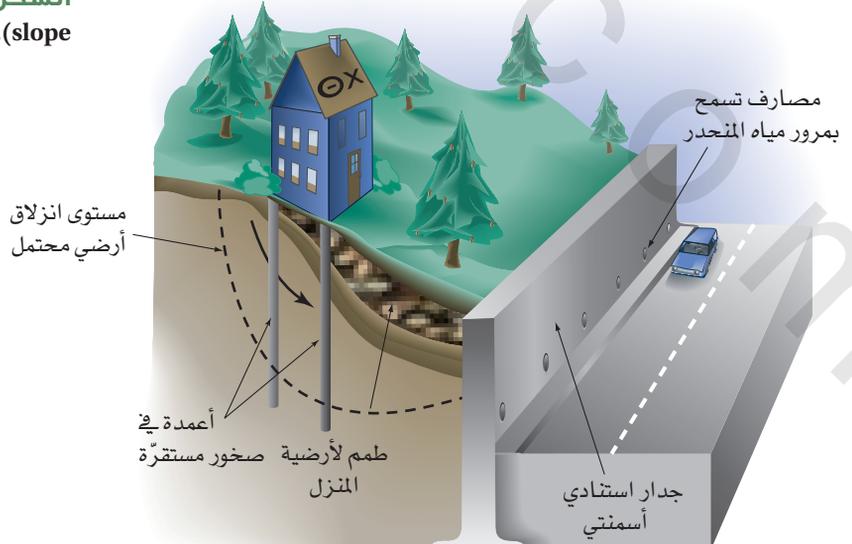
لقد عمل انزلاق "ثيستل" على إعادة نشاط انزلاق قديم، الذي كان يُعرف منذ سنوات عدة بأنه ينشط أحياناً، خصوصاً عند ارتفاع معدّل الهطل؛ لذلك، كان من الممكن الاستنتاج أن كمّيات الهطل العالية جداً عام 1983م ستؤدي إلى حدوث مشكلة، وفي حقيقة الأمر، فإنّ مراجعة لتاريخ الانزلاق الأرضي

بيّن الشكل (7-22) بناء جدار استنادي، ويتسبّب انزلاق أرضي بسيط في مشكلة على الطريق، انظر الشكل (7-22أ). يظهر الجدار في أثناء البناء عام 1999م في الشكل (7-22ب)، والجدار المكتمل عام 2001م، وبنيت المنحدر الآن (الشكل 7-22ج).

قد يكون منع الانزلاقات الأرضية مكلفاً، لكن الفوائد التي تترتب على ذلك تستحق هذه الجهود، فقد قدرّت نسبة الفائدة إلى التكاليف في منع الانزلاق، حيث تراوحت بين (10-2000)، وهذا يعني أنه سيوفّر ما بين (10-2000) دولار مقابل كل دولار يصرف في منع الانزلاق الأرضي⁽¹⁷⁾، والمثال على ذلك واضح في الانزلاق الأرضي الكبير الذي حدث في يوتا، المعروف

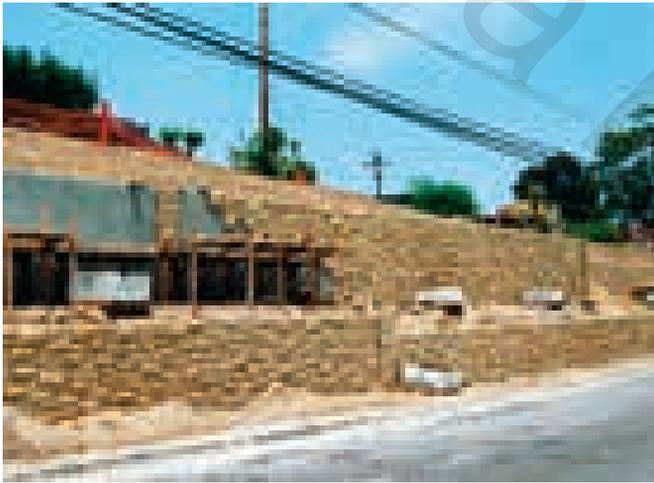
الشكل (7-20): كيف تدعم السفح (slope) How to support a

(slope). بعض أنواع دعائم المنحدر: جدار استنادي، أكوام ومصارف.





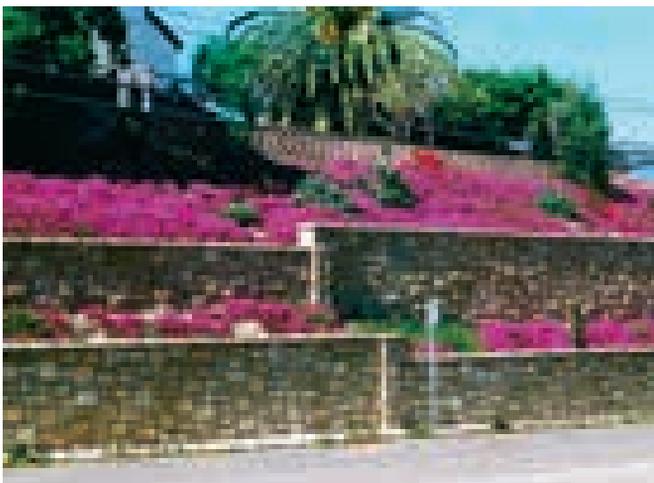
الشكل (21-7): جدار استنادي (Retaining wall). من الأسمنت المسلح مع طمم خلفي لتدعيم مقطع الطريق. (Edward A. Keller)



(ب)



(أ)



(ج)

الشكل (22-7): خطوات عمل جدار استنادي. (Steps in making a retaining wall).

(أ) انزلاق بسيط أوائل عام 1990م. (ب) إنشاء جدار استنادي عام 1999م لتصويب المشكلة. (ج) جدار جاهز عام 2001م. (Edward A. Keller)

البشرية للأخطار فوائده موثوقة ومرنة، وتصبح عديمة الفائدة في أثناء الظروف الجوية المعاكسة وفي المناطق ذات الأخطار⁽¹⁸⁾،⁽¹⁹⁾، وتتضمن طرق المراقبة الأخرى، الأنظمة الكهربائية، ومقاييس الإزاحة واللواقط (geophones)، التي تلتقط الذبذبات الناتجة عن حركة الصخور، أضاف إلى ذلك إمكانية مراقبة الآبار الضحلة للإشارة إلى المحددات حين تصلها كميات مياه ذات خطورة، وتعدّ هذه الطرق جزءاً من المراقبة المباشرة (الشكل 7-24)⁽²⁰⁾، حيث تفيد مراقبة هطل الأمطار في بعض المناطق لتحديد الوقت الذي تتجاوز فيه الأمطار الحد الذي يسمح بانزلاق التربة.

تصويب الانزلاقات الأرضية

Correcting Landslides

الطريقة الأمثل لوقف الانزلاق حين يبدأ، هي مهاجمة العملية التي أدت إلى بدئه، حيث يكون سببه في معظم الحالات زيادة ضغط المياه، وفي مثل هذه الحالة يتعين وضع برنامج تصريف فعال، يتضمن وضع مصارف سطحية في أعلى منطقة الانزلاق؛ لتمنع مياه السطح الإضافية من الرشح، وأنابيب صرف تحت سطحية أو آبار؛ لإزالة المياه وخفض ضغطها، إذ يؤدي التصريف إلى زيادة قوة المقاومة لمواد المنحدرات، ما يؤدي إلى تثبيتها⁽⁷⁾.

الشكل (7-23): انزلاق أرضي يسدّ وادياً عميقاً.

(Landslide blocks a canyon). يتضمّن انزلاق "ثيستل" الأرضي في يوتا، الذي حدث عام 1993م تحديداً لنشاط انزلاق قديم، حيث أغلق وادياً عميقاً، مكوّناً سدّاً طبيعياً، وفيضاً على المجتمع المحلي في "ثيستل"، وخطّ سكة الحديد الكبير "لاندفريو"، وطريق وطني أمريكي رئيس.

(Michael Collier)

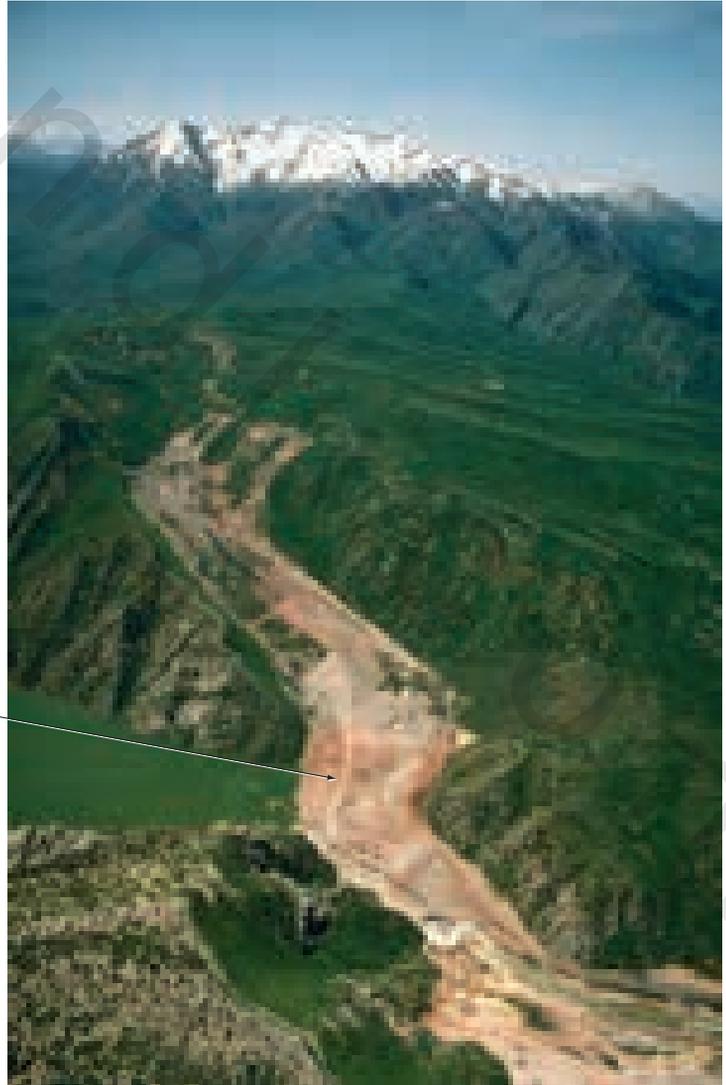
تبيّن أنّ انزلاق "ثيستل" الأرضي، كان قابلاً للتمييز والتنبؤ والمنع! وقد بيّنت تحليلات البيانات ذات العلاقة الوثيقة، أنّه كان من الممكن خفض مستوى المياه الجوفية في الكتلة المنزلقية، بتركيب مصارف تحت سطحية وضبط الجريان السطحي، ما يمنع الانهيار، وقد قدرّت كلفة منع الانزلاق الأرضي بمبلغ يتراوح بين (300,000) و(500,000) دولار، وهو مبلغ صغير مقارنة بالأضرار التي نتجت عن الانزلاق⁽¹⁷⁾.

نظراً لأنّ نسبة الفائدة إلى التكلفة في منع الانزلاق الأرضي مشجّعة جداً، فمن الحكمة تقييم الانزلاقات الأرضية النشطة والمحتملة في المناطق المتوقّعة حدوث أضرار بالغة فيها، لمحاولة منع حدوثها.

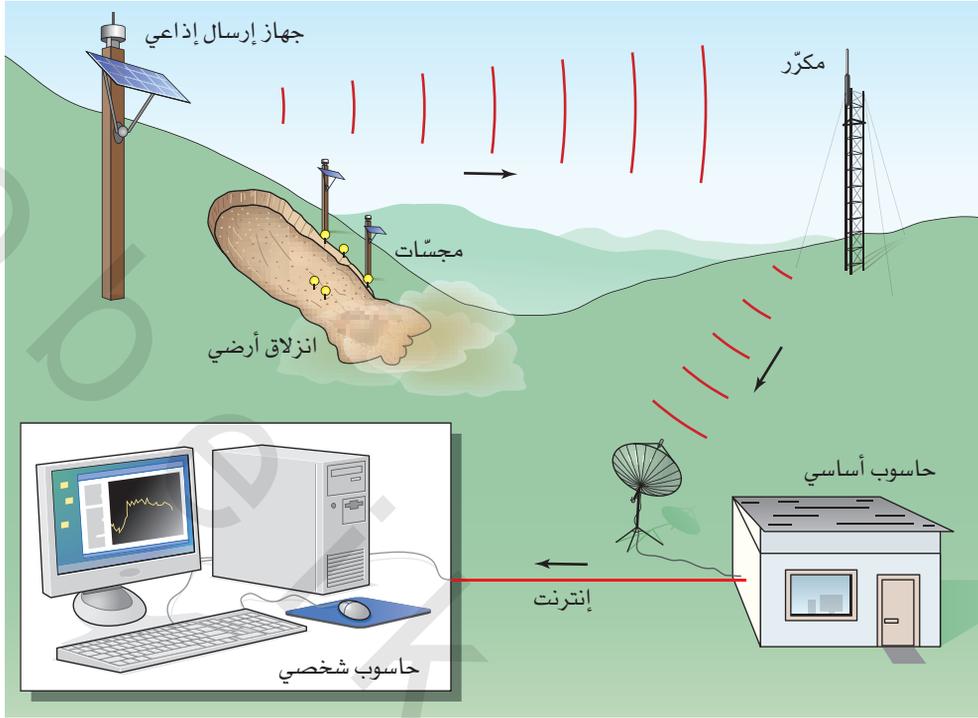
تحذير من الانزلاقات الأرضية وشبكة الحدوث

Warning of Impending Landslides

من المعلوم أنّ أنظمة التحذير من الانزلاقات الأرضية لا تمنعها، لكنّها توفر وقتاً لإخلاء الناس وممتلكاتهم، وإيقاف حركة سير القطارات وطرق المواصلات، ولعلّ المراقبة توفر أبسط أنواع التحذير، إذ يمكن معاينة المناطق المهدّدة بالأخطار لتعرّف التغيّرات الظاهرية، ومساقط الصخور المحدودة والمناطق الأخرى التي يمكن ملاحظتها وإزالتها، فللمراقبة



انزلاق
يسدّ
الوادي
العميق

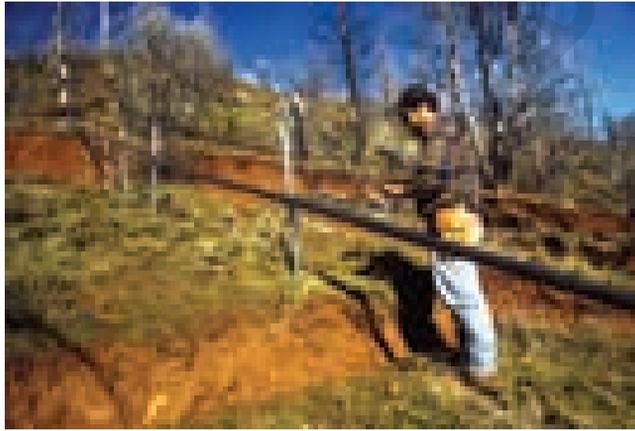


(أ)

الشكل (7-24): مراقبة "مباشرة" للانزلاقات الأرضية النشطة (Real-time monitoring of active landslides).

(أ) شكل نموذجي يبين كيفية جمع بيانات الانزلاقات الأرضية "مباشرة" عن طريق المجسات وبثها للناس. (ب) جيولوجي يقيس انزلاقاً أرضياً.

(U.S. Geological Circular 1244. 2003. Photograph Courtesy of Richard La Husen (USGS))



(ب)

الخطر الذي قد يحدث، إذ يبدو أنّ تفاعلي المناطق الخطرة، يمثل التكيف الأفضل، والأقل كلفة لمواجهة التهور، إلا أنّ هناك طرقاً أخرى للتكيف معه، مثل إزالة الثلوج الزائدة بالاستخدام الحذر للمتفجرات، وإنشاء مبانٍ ومنشآت لتحويله أو إعاقته، أو غرس أشجار في المناطق المعرضة له لحجز الثلوج على المنحدرات.

7-7 الهبوط SUBSIDENCE

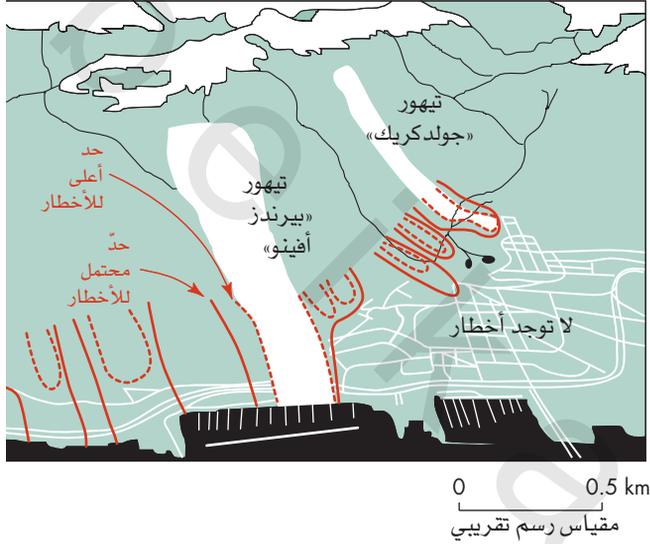
يُعدّ التداخل بين الظروف الجيولوجية والنشاط البشري عوامل مشتركة في كثير من حوادث الهبوط الأرضي، التي تتمثل غرقاً بطيئاً جداً إلى سريع، أو تريبج المواد الأرضية (الشكل 7-3)، حيث ينتج الهبوط إمّا بسبب ضخّ السوائل من الخزانات تحت السطحية، أو بفعل هبوط التربة والصخور السطحية القريبة من السطح، والواقعة في فجوات داخل الصخور تحت السطحية.

6-7 الانهيار الثلجي

SNOW AVALANCHES

التيهور أو الانهيار الثلجي هو الانهيارات السريعة للثلوج والجليد، المصحوبة بالصخور والتربة والأشجار أحياناً، وتحدث الآلاف منها في غرب الولايات المتحدة سنوياً، نظراً لأنّ الكثير من الناس يقومون بالمغامرة في المناطق المعرضة لانهيارات التهور الثلجي، فإنّ مزيداً من التنمية العمرانية تقام في هذه المناطق، ما يزيد من خسائر الأرواح والممتلكات، ويحدث أكثرها تدميراً حين تنهار كتلة عظيمة من الثلج والجليد، تزن ملايين الأطنان؛ بسبب زيادة الحمل على المنحدر بزيادة تراكم الثلوج حديثة السقوط، أو بسبب نشوء نطاقات ضعف ضمن الجسم الثلجي، فتتطلق هذه الشرائح بسرعة هائلة نحو أسفل المنحدرات، بسرعة تصل إلى قرابة (100 km) في الساعة. يميل التهور إلى تعقّب مسارات سابقة حضرتها تبهورات وقعت في الماضي (الشكل 7-25)؛ ونتيجة لذلك، يمكن إعداد خرائط تحدّد مكان

الشكل (7-25): أخطار التيهور (Avalanche hazard). (أ) مسار الانهيار-التيهور- في جبال الألب. (Edward A. Keller). (ب) خريطة الجزء من "جونية، ألاسكا" تُبيّن أخطار الانهيار الثلجي. (After Cupp, D. 1982. National Geographic 162: 290-305)



(ب)



(أ)

البواليع Sinkholes

يمكن أن يحدث الهبوط بسبب إزالة مواد أرضية من الصخور تحت السطحية بفعل العوامل الطبيعية، وتتكوّن الفجوات (voids) غالبًا، وهي فراغات مفتوحة كبيرة مثل الكهوف، بسبب التجوية الكيميائية التي تحدث في الصخور القابلة للذوبان، مثل الصخور الجيرية والدولوميت، حيث ينتج عن ذلك انعدام دعم الصخور العلوية، ما يسبّب الانهيار (collapse)، فتنتج عن ذلك بالوعة (Sinkhole)، وهي منطقة هبوط دائرية ناتجة عن انهيار كهف في الصخور الباطنية القريبة من السطح.

تسببت البواليع في أضرار كبيرة للطرق السريعة، والمنازل، وتمديدات البواليع، وغيرها من المنشآت، ويبدو أنّ التذبذبات (fluctuations) الطبيعية والاصطناعية في مستوى سطح الماء هي الآلية الدافعة، إذ تؤدي ظروف ارتفاع مستوى المياه الجوفية إلى توسيع الكهوف القريبة من سطح الأرض، وذلك بإذابة المواد، وتدعم طفوية المياه الغطاء الرسوبي (overburden)، بينما يقلل خفض مستوى المياه الجوفية دعم الطفوية، ويُسهّل الانهيار. وقد ظهر هذا العامل بصورة واضحة في الثامن من مايو عام 1981م في "وينتريبارك، فلوريدا" عندما بدأت بالوعة كبيرة في التكوّن، ثم اتسعت بسرعة خلال ثلاثة أيام مبتلعة جزءًا من بركة سباحة، وأجزاء من مشغلين، وسيارات عدّة ومنزلًا، (الشكل 7-28)، وفاق الضرر الناتج عنها مليوني دولار. تتكوّن البواليع سنويًا تقريبًا في فلوريدا، عندما ينخفض

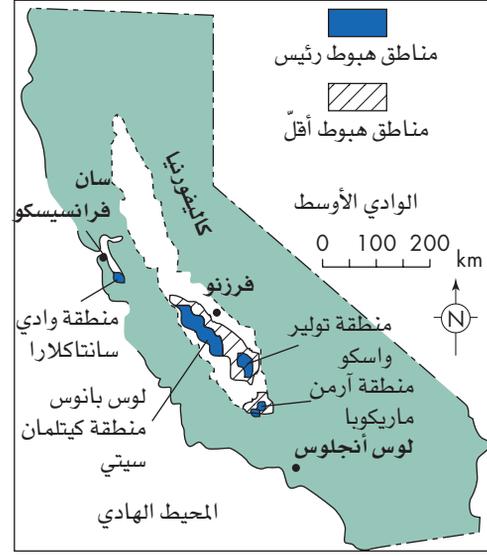
سحب السوائل Withdrawal of Fluids

يؤدي سحب السوائل -النفط والغاز والمياه (المياه الجوفية)، وخليط من البخار والماء لإنتاج الطاقة الحرارية الجيولوجية- إلى حدوث الهبوط (21)، وفي الحالات جميعها، نجد أنّ المبادئ العامة هي نفسها: فالسوائل في المواد الأرضية تحت سطح الأرض تحتوي على ضغط سائل عالٍ، ما يدعم الواقعة فوقها؛ لهذا تكون الصخرة الكبيرة في قاع بركة سباحة أخف؛ لأنّ الطفوية (buoyancy) الناتجة عن السوائل تميل إلى رفع الصخور، فإذا أزيلت الطفوية من المواد الأرضية بسحب السوائل، فإنّ الدعم سينقص، وقد يحدث الهبوط السطحي.

هبطت آلاف الكيلومترات المربعة من الوادي الأوسط في كاليفورنيا، نتيجة لسحب المياه الجوفية الجائر في المنطقة (overpumping)، (الشكل 7-26 أ)، فهبط أكثر من (5,000 km²) في منطقة مدينة "لوس بانوس-كتلمان" وحدها، بما يزيد على (0.3)، وفي هذه المنطقة، هبطت قرابة (113 km) من طول الوادي، لما يزيد على (3 m)، وبحد أعلى مقداره قرابة (9 m)، (الشكل 7-26 أ)، حيث يقلّ ضغط المسافات، وتنضغط الحبات المكوّنة للصخر باستمرار سحب المياه (22)، (23)، والنتيجة، هي الهبوط على السطح (الشكل 7-27). هناك أمثلة مشابهة من الهبوط الناتج عن السحب الجائر موثقة بالقرب من فينكس، أريزونا؛ لاس فيجاس، نيفادا؛ هيوستون-جالفستون، تكساس؛ ومدينة مكسيكو، المكسيك، إذ من الممكن أن يؤدي الهبوط إلى شقوق سطحية عميقة وطويلة جدًا (شقوق مكشوفة) في الرواسب (23).



(ب)



(أ)

الشكل (26-7): هبوط أرضي باستخراج المياه الجوفية.

(Land subsidence from groundwater extraction).

(أ) مناطق هبوط أرضية رئيسة في كاليفورنيا ناتجة من استخراج المياه الجوفية. (After Bull, W.B., 1973, Geological Society of America Bulletin 84, reprinted by permission.)

(ب) صورة تبيّن مقدار الهبوط في "وادي سان جوكن"، "كاليفورنيا"، وتبيّن العلامات على عمود التلّفون مواضع سطح الأرض في العقود الحديثة، وتبيّن الصور هبوطاً بمقدار (8 m). (Courtesy of Ray Kenny)

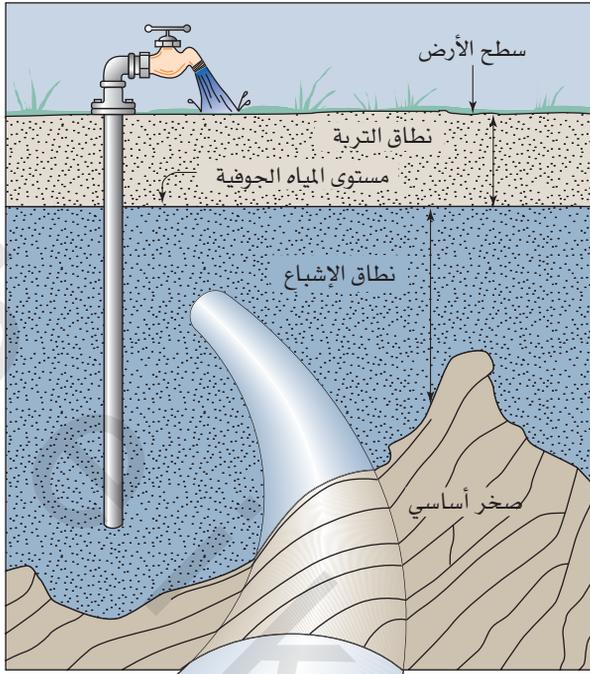
وعلى الرغم من أنّ البالوعة ملئت تماماً بالنفايات والفتات، إلا أنها استمرت في استقبال المياه الجارية، وقد ازداد حجمها أخيراً بفعل العمران، وقد تضمّنت مصادر المياه عواصف الجريان القادمة من منازل المدينة المجاورة وشققها والشوارع ومواقف السيّارات، إضافة إلى احتمال تسرب من خط مياه قديم، أسهم في الجريان نحو البالوعة، يضاف إلى ذلك العمران الذي تسبّب في زيادة الطلب على مصادر المياه الجوفية، ما أدى إلى خفض مستواها. ويعتقد الجيولوجيون أنّ الظروف الهيدرولوجية قد أسهمت في انهيارها المبالغت، وقد ساعدت المياه الجارية القادمة من المناطق العمرانية على فكفكة الطمم أو إزالته -من تربة وطين ونفايات ملأت البالوعة- بينما قلّص انخفاض مستوى المياه الجوفية الدعم العلوي، كما كانت عليها الحالة في البالوعة "ونتر بارك". (سنبحت البواليع كذلك في الفصل الثاني عشر مع عمليات المياه الجوفية).

رواسب الملح Salt Deposits

صاحبت عمليات تعدين الملح عمليات هبوط حقيقية، فتعدين الأملاح يتم غالباً بطرق الإذابة: حيث تُضخّ المياه خلال الآبار إلى رواسب الملح، فيذوب وتُضخّ المياه المشبعة جداً بالملح إلى الخارج؛ لأنّ إزالة الأملاح تترك فجوة في الصخور، وتضعف دعم الصخور العلوية، ما يؤدي إلى هبوط كبير. ولعل المثال الغريب على ذلك، ما حدث يوم 21 من نوفمبر عام 1980م حين وقع هبوط مصاحب لمنجم ملح في جنوب لويزيانا، وجفّت بحيرة "بيجنور" وهي بحيرة ضحلة معدّل عمقها متر واحد بعد انهيار منجم الملح الواقع

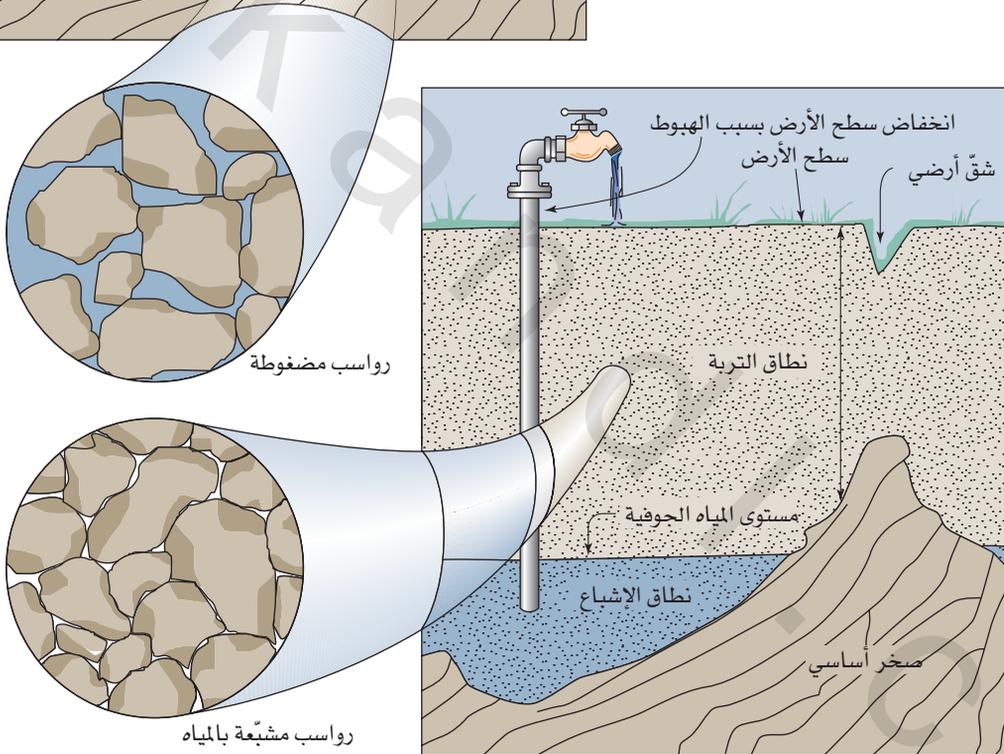
مستوى المياه الجوفية، فقد تكوّنت البالوعة "وينتر بارك" في أثناء الجفاف، حيث سجّل انخفاض في مستويات المياه الجوفية، وعلى الرغم من أنّ تحديد المواقع الدقيقة للبواليع لا يمكن التنبؤ به، فإنّ حدوثها يتزايد في أثناء الجفاف؛ وفي حقيقة الأمر، فإنّ بواليع أصغر حجماً قد تكوّنت في الوقت نفسه، مثل حادث "ونتر بارك" (24). تكوّنت حفرة هبوط كبيرة بتاريخ 23 يونيو عام 1986م، في موقع لبالوعة كانت مطمورة في موقع غير معروف في وادي "ليهاي" قرب مدينة "الن" شرقي بنسلفانيا، وقد ترك الانهيار في مدّة زمنية تقدر ببضع دقائق حفرة قطرها (30 m) تقريباً، وبعمق (14 m)، ولحسن الطالع، فقد اقتصر الأضرار على إحدى الطرق ومواقف سيارات وأرصفة مشاة وخطوط مجار وخطوط مياه وأماكن عامّة، حيث سلم قرابة سبعة عشر منزلاً مجاوراً للبالوعة من الضرر والضياع؛ لكنّ تكلفة الإصلاح بلغت قرابة نصف مليون دولار. يبيّن الشكل (7-29) الجيولوجيا العامّة لوادي "ليهاي"، إذ يتركز الجزء الشمالي من الوادي على صخور رملية مقاومة، وتحده جنوباً صخور نارية يرجع عمرها إلى ما قبل الكامبري، (الشكل 7-29) (25).

توفّر الصور الملتقطة في الفترة من 1940م إلى 1969م دليلاً على تاريخ البواليع، ففي الأربعينيات جُددت البالوعة ببركة يصل قطرها قرابة (65 m)، وقد جفّت عام 1958، وغطّت البالوعة النباتات، وزُرعت المنطقة المجاورة لها بالحبوب، وتبيّن الصور الأرضية عام 1960م أنّ الناس استخدموها بوصفها موقعاً لإلقاء أصول الأشجار وكتل الأسفلت وغيرها من النفايات، وقد اختفت المعالم السطحية للبالوعة عام 1969م، حيث امتلأت تماماً، ثم زُرعت بالذرة.



الشكل (27-7): عمليات الهبوط (Process of subsidence) (ence).

شكل نموذجي يبين كيفية هبوط سطح الأرض، نتيجة ضخ المياه الجوفية. نطاق التربة (Vadose Zone) هو نطاق غير مشبع يعلو منسوب المياه الجوفية، ويقع نطاق الإشباع أسفل مستوى المياه الجوفية، وتنهار المسافات (الفراغات) بين الحبات الرملية بعد الضخ. (From Kenny, R., 1992., Fissures. Earth 2 (3): 34-41.)



”جيفرسون“، من بينها حدائق نباتية وبيوت زراعية زجاجية ومنازل خاصة تُقدَّر بـ (500,000) دولار، أما الحدائق المتبقية، فقد مزقتها شقوق عظيمة أدت إلى هبوط الأرض إلى مستوى حافة البحيرة، إذ تتكوّن الشقوق بهبوط الأرض، وتتوافر عادة على حواف حفر هبوط عظيمة.

عادت بحيرة ”بيجنور“ لتمتلئ بالمياه من جديد عن طريق قناة متصلة بخليج المكسيك؛ فاندفع تسعة من المراكب إلى السطح بعد يومين من ذلك، وكان الخوف في البداية من أنّ هبوطاً أعظم سيحدث، حين تذوب الأعمدة الملحية، التي ترفع سقف القبة الملحية، وفي الأحوال كلها، فقد بدا ظاهرياً أنّ الحفرة سُدتّ بالفتات الصخري بصورة تربة ورواسب بحيرية سُحبت نحو المنجم، وقد تسرّب قرابة (15) مليون متر مكعب من المياه إلى القبة

تحتها، حدث الانهيار بعد عملية حفر نفطية ثقت فتحة في مدخل منجم مهجور في القبة الملحية لجزيرة ”جيفرسون“، التي ما زالت تمثل منجماً ملحياً فعّالاً حتى الآن، ويدير ملايين الدولارات، ويقع على عمق (430 m) تقريباً تحت سطح الأرض، فكلما دخلت المياه إلى المنجم اتسعت الفتحة، وحُفرت أعمدة الملح وذابت، متسببة في انهيار سقف المنجم، لتحدث حفرة هبوط واسعة، (الشكل 7-30).

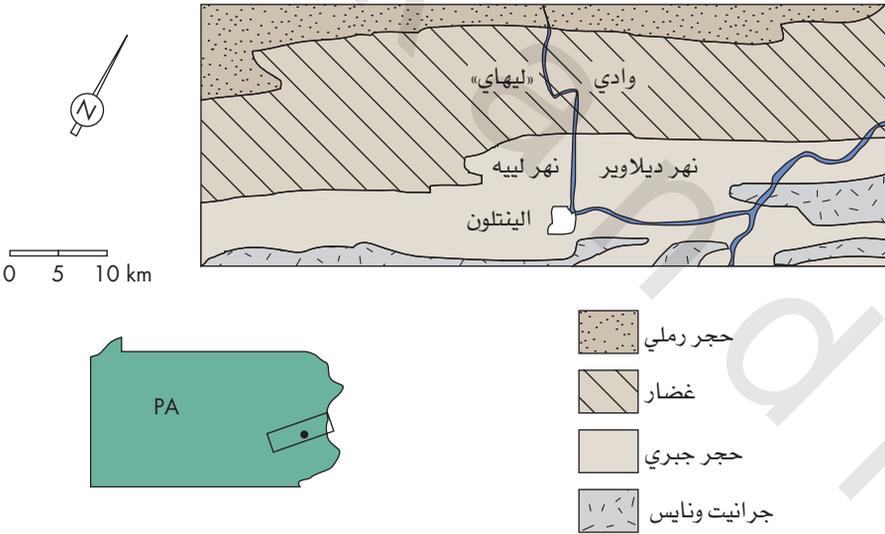
جفت البحيرة بصورة سريعة، فاختفى عشرة مراكب، وسفينة قطر، ومركب حفر نفطي في دوامة مائية إلى داخل المنجم، ولحسن الطالع، فقد نجا عمال المنجم الخمسون، إضافة إلى الأشخاص السبعة الذين كانوا على المنصة النفطية، وقد شمل الهبوط أكثر من (0,25 km²) من جزيرة



الشكل (7-28): بالوعة تبتلع جزءًا من المدينة (Sinkhole swallows part of a town).

متنزه "وينتر" في فلوريدا، هو بالوعة نمت بسرعة خلال ثلاثة أيام، وابتلع جزءًا من بركة سباحة أهلية ومشغلين ومنزلًا وسيارات عدّة.

(Leif Skoogfors/Woodfin Camp and Associates)



الشكل (7-29): جيولوجية أحد الأودية ذات بالوعة.

(Geology of a valley with sinkhole Hazard).

خريطة جيولوجية عامة لوادي «ليهاي» شرقي بنسلفانيا، حيث حدث انهيار بالوعة بصورة فجائية

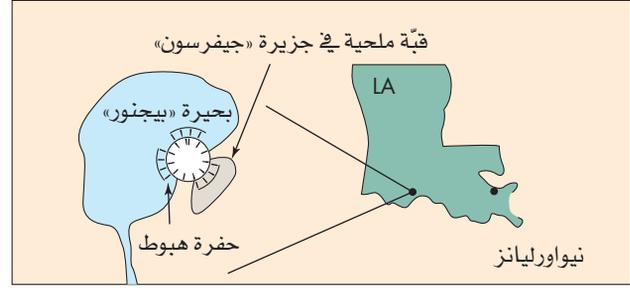
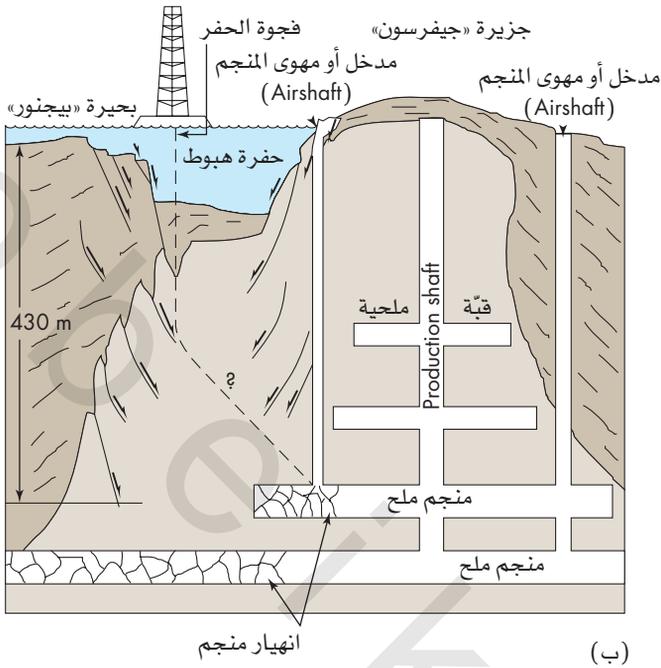
(Modified from Dougherty, P.H. and Perlow M., Jr., 1987, Environmental Geology and Water Science 12 (2): 89–98)

تعدين الفحم Coal Mining

نتج عن مناجم الفحم تحت السطحية في غرب الولايات المتحدة وشرقها مشكلات هبوط حقيقية، إذ يكون الهبوط أكثر شيوعًا، عندما تكون المناجم تحت السطحية قريبة من سطح الأرض، أو حيث تُترك الصخور بعد التعدين على صورة أعمدة ضعيفة أو شديدة الكسور، ويُزال عادة (50%) من الفحم، تاركًا ما تبقى على هيئة أعمدة تسند السقف، المكوّن من الصخور الواقعة فوق المنجم، حيث تتجوّى الأعمدة بمرور الزمن، وتضعف، وتتهار مؤدية إلى هبوط السطح⁽⁴⁾، فقد هبط ما يزيد على (8000 km²) من الأرض في الولايات المتحدة؛ بسبب تعدين الفحم تحت سطح الأرض، حيث يستمرّ الهبوط حتى يومنا هذا بعد أن انتهى التعدين بوقت طويل، وقد هبط منجم فحم عام 1995م، الذي توقّف العمل فيه في الثلاثينيات، حيث انهار إلى أسفل خط (600)، من الطريق السريع (70) بين الولايات في «أوهايو»

الملحية، ما أدى إلى فقدان المنجم بأكمله، أصبحت البحيرة الضحلة سابقًا تمثل حفرة عميقة واسعة في القاع، وستغيّر البيئة المائية بلا شك، قامت شركة النفط المعنية بهبوط عام 1983م بتعويض شركة مناجم الملح بمبلغ (30) مليون دولار.

طرح فيضان المنجم أسئلة مهمّة تتعلق بسلامة بنية مناجم الملح، إذ يخطط برنامج احتياط النفط الإستراتيجي الفدرالي إلى تخزين (75) مليون برميل من النفط الخام، في منجم ملح قديم في القبة الملحية في جزيرة «يكس»، التي تبعد قرابة (19 km) من جزيرة «جيفرسون»، وعلى الرغم من وضوح دور جفاف البحيرة في الهبوط، إلا أنّ بعض القباب الملحية تحتوي على بحيرات فوقها؛ لذلك يُعدّ هبوط جزيرة «جيفرسون» حدثًا نادرًا.



(أ)

الشكل (7-30): حدث هبوط غريب (A bizarre subsidence event).

(أ) موقع بحيرة "بيجنور". (ب) شكل نموذجي يبين انهيار قبة ملح جزيرة "جيفرسون"، التي أدت إلى تكوين حفرة هبوط كبيرة في قاع بحيرة "بيجنور"، لويزيانا.

وقد استغرقت عمليات الصيانة قرابة ثلاثة شهور⁽²⁶⁾، إذ أضر الهبوط بصورة كبيرة في المزارع والمراعي، وألحق الضرر بالمباني والمنشآت في المدن والقرى، ومن ضمنها سكرانتون، وايلك-بار وبسبورج، بنسيفانيا، (الشكل 7-31) (4).⁽²⁶⁾

8-7 إدراك أخطار الانزلاق الأرضي

PERCEPTION OF THE LANDSLIDE HAZARD

هناك اعتقاد عام لدى أصحاب المنازل بشأن الانزلاقات الأرضية، فهم يعتقدون أنها قد تحدث على الجانب الآخر من التل، وليس هذا الجانب أبداً⁽¹²⁾، ومثلما أن إعداد خرائط أخطار الفيضان لم تمنع التنمية في المناطق المعرضة للفيضان، فلا يعتقد أيضاً أن خرائط أخطار الانزلاقات الأرضية ستحول بين الناس وبين انتقالهم نحو المناطق الخطرة، أضف إلى ذلك أن سكان سطوح التلال، الذين لا يدركون الخطورة، قد لا يقتنعون بتغيير رأيهم بناءً على المعلومات الفنية، إذ يقلل عدم تكرار الانزلاقات الأرضية الكبيرة من إدراك الناس بالأخطار، ولا سيما أن الأحداث القديمة لا تظهر بسهولة، ولسوء الطالع، فإن الأحداث الكارثية فقط تؤثر في منازل كثيرة باهظة الثمن، وهي التي تضع المشكلة أمام اهتمام الناس. ويستمر الناس في الوقت الحاضر في بناء مساكنهم في مناطق معرضة للانزلاقات الأرضية مستقبلاً، في أجزاء متعددة من جبال روكي وجبال الأبالاش في كاليفورنيا.

ما الذي يمكنك عمله للتخفيف من أخطار الانزلاق الأرضي

خذ بهذه النصيحة عند شرائك ممتلكات على سفح جبل:

- تتضمن الانزلاقات الأرضية جيولوجية معقدة، ويوصى بتقييم جيولوجي من طرف أحد الجيولوجيين المختصين لأي ممتلكات على السفوح.



الشكل (7-31): هبوط فوق منجم فحم.

(Subsidence over coal mines).

أدى حريق في منجم فحم مهجور تحت سطح الأرض إلى انصهار الثلوج قرب هذه الفتحة، لاحظ انبعاث الدخان إلى الغلاف الجوي.

(National Institute for Occupational Safety & Health)

- تجنّب المساكن عند مصبات الأنهار العميقة (الخوانق)، حتى لو كان الوادي صغيراً، حيث تتكوّن الانسيابات الفتاتية والطينية من جهة منابع النهر، وتنتقل إلى الأسفل نحو الوادي العميق.
- استشر الوكالات المحلية، مثل أقسام الهندسة في المدينة أو المقاطعة، والذين على معرفة بالانزلاقات الأرضية في منطقتك.
- راقب حدوث "انزلاقات أرضية صغيرة" في زوايا الممتلكات؛ لأنها قد تكبر مع الزمن.

- تجوّل في ممتلكاتك والأماكن المجاورة إن أمكن؛ للبحث عن شقوق مستقيمة أو منحنية (حتى الصغير منها)، التي قد تشير إلى عدم استقرار بدائي للأرض.
- تتميّز الانزلاقات الأرضية النشيطة بأراض ذات تضاريس، مثل ربوات أو عتبات، ويُعدّ إثبات مشكلة انزلاق أرضي محتمل مكلفاً، والكلفة الأكبر تكون تحت سطح الأرض، حيث لا تستطيع أبداً رؤية التطور، ولعلّ الأفضل ألا تشتري أرضاً في منطقة انزلاق أرضي محتمل.
- لا يُعدّ وجود واحدة أو أكثر من المعالم المذكورة أعلاه دليلاً على وجود انزلاق أرضي، فقد تنتج شقوق الجدران والأساسات مثلاً؛ بسبب انكماش التربة وانتفاخها، لكن زيادة التحقّق مطلوبة، إذا وُجدت أيّ من المعالم أعلاه.

- ابحث عن الشقوق في جدران المنزل عند شرائه، ثمّ اعمل على ترميمها. عليك الحذر من الأبواب والنوافذ غير المرنة، وكذلك الأرضيات غير المستوية، تفقّد الأساسات من حيث الشقوق والإزاحة إن وُجدت. وإذا امتدّت شقوق الجدران أو الأساسات إلى الأرض خارج المنزل، فعليك الاعتقاد بأنّ هناك انزلاقاً أرضياً محتملاً.
- احذر تسرّب المياه من بركة السباحة، وميل الأشجار نحو أسفل المنحدر، أو الأسلاك المستعملة فيما إذا كانت مشدودة أو مرخية.
- احذر الينابيع الصغيرة إن وجدت؛ لأنّ الانزلاقات الأرضية تؤدّي إلى رشح المياه، انتبه للمناطق الخضراء، خصوصاً حيث زيادة المياه الجوفية.

ملخص SUMMARY

نحدّد من هذه الحوادث. وفي بعض الحالات، تزيد السدود والخزانات من هجرة المياه الجوفية في السفوح، ما يؤدّي إلى انهيار المنحدرات. زادت عمليات تدرّج المنحدرات من أجل التنمية من المشكلات في الكثير من المناطق العمرانية في العالم.

يتطلّب الحدّ من أخطار الانزلاقات الأرضية إجراءات لتحديد ومنعها وتصويبها، فتقنيات المراقبة وإعداد الخرائط تساعد على تعرّف مواقع الخطر، وقد استخدم تعرّف الانزلاقات الأرضية المحتملة في إنشاء شيفرة للتدرّج، التي أدّت بدورها إلى الحدّ من أضرار الانزلاقات الأرضية في هذه المناطق، وعلى الرغم من صعوبة منع الانزلاقات الطبيعية الكبيرة، إلا أنّ الإجراءات الهندسية الحذرة يمكنها أن تحدّ من أخطارها، حين لا يمكن تقاديبها، حيث تشتمل التقنيات الهندسية لمنع الانزلاقات الأرضية على ضبط التصريف والتدرّج الصحيح، وبناء الدعائم (الجدران الاستنادية)، ويجب على تصويب الانزلاق الأرضي معالجة العمليات التي أدت إلى الانزلاق؛ وهذا يعني إيجاد برنامج للتصريف يؤدّي إلى خفض ضغط المياه في المنحدرات. تمثّل التيهورات الثلجية أخطاراً حقيقية على المنحدرات الحادّة المغطاة بالثلوج، ويزداد فقدان الأرواح بسببها بزيادة أعداد المغامرين في المناطق الجبلية في أثناء الاستجمام الشتوي.

أدى ضخّ السوائل، مثل النفط والمياه والتعدين تحت السطحي للملح والفحم والمعادن الأخرى إلى هبوط أرضي واسع، بسبب تقليص ضغط المياه الذي يعمل على تدعيم الموادّ الأرضية العلوية، وقد ينتج الهبوط عن فقدان الدعم للموادّ العلوية في حالة إزالة الموادّ الصخرية الصلبة، إذ قد تحدث الحالة الأخيرة طبيعياً عند تكوّن فجوات في الصخور القابلة للذوبان، مثل الحجر الجيري، حيث تنهار الموادّ الأرضية العلوية محدثة بالوعات.

يعتقد الكثيرون أنّ أخطار الانزلاق الأرضي محدودة، إلاّ إذا كانت لديهم خبرة سابقة، أضف إلى ذلك، أنّ سكان سفوح الجبال حالهم مثل حال سكان السهول الفيضية، حيث يصعب تغيير قناعاتهم بالمعلومات التقنية، لكنّ الإنسان الحكيم هو الذي يعتمد على رأي الجيولوجي في التملك على المنحدرات قبل الشراء.

تسبّب الانزلاقات الأرضية والظواهر ذات العلاقة أضراراً جسيمة وفقدان الأرواح، وعلى الرغم من أنّها حوادث طبيعية، إلاّ أنّ زيادة حدوتها أو نقصانها قد يتوقّف على الأنشطة الإنسانية.

إنّ أكثر معالم الأرض شيوعاً هي السفوح، فهي أنظمة ديناميكية متطورة ذات موادّ سطحية دائمة الحركة نحو أسفل المنحدر، أو تبدّد الكتل، بمعدّلات تتراوح من عمليات الزحف غير المحسوسة إلى التيهورات المرعدة، ويشتمل انهيار المنحدرات على الانسياب، والهبوط، والانزلاق أو سقوط الموادّ الأرضية، وغالباً ما تكون الانزلاقات الأرضية مجموعة معقّدة من الانزلاق والانسياب.

تتحكّم القوى المولدة للانزلاقات الأرضية في تفاعل متغيّرات عدّة، وهي: نوع الموادّ الأرضية على المنحدر، والتضاريس، وزاوية الانحدار، والمناخ، والنباتات، والمياه، والزمن، ويمكن تحديد سبب معظم الانزلاقات الأرضية باختبار العلاقات بين القوى التي تدفع الموادّ الأرضية للانزلاق، وهي القوى المحرّكة، وبين القوى التي تعمل على مقاومة الحركة، وهي قوى المقاومة. إذ يُعدّ وزن موادّ المنحدرات القوّة المحرّكة الأكثر شيوعاً؛ ومن أكثر قوى المقاومة قوّة موادّ المنحدرات وتمانتها. عامل أمان المنحدر هو نسبة قوى المقاومة إلى القوى المحرّكة؛ وتدلّ النسبة التي تزيد على (1.25) على منحدر مستقرّ، بينما يدلّ المعدّل الذي يقلّ عن (1) على انهيار محتمل للمنحدر، ويؤثّر نوع الصخر وتربة المنحدر في كلّ من نوع الانزلاقات الأرضية وتكرارها.

تؤدّي المياه دوراً أساسياً في حدوث الانزلاقات الأرضية، فمياه الأنهار والبحيرات أو المحيطات تحت قواعد المنحدرات، ما يزيد من قوى الحركة، وزيادة المياه تزيد من وزن موادّ المنحدرات، وذلك بزيادة الضغط المائيّ ما يقلّل في المقابل من قوّة مقاومة موادّ المنحدرات. وتتفاوت تأثيرات الاستخدام البشري على مقدار الانزلاقات الأرضية وتكرارها من عديم الأهمية إلى بالغ الأهمية، فعندما تحدث الانزلاقات الأرضية دون تدخل الأنشطة البشرية، يتعيّن أن نعرف الكثير عنها؛ من أجل تقادي تطورها في المناطق الخطرة، أو توفير تدابير وقائية، أمّا في الحالات التي يزيد فيها الاستخدام البشري عدد الانزلاقات الأرضية وشدّتها؛ فيتعيّن أن نعرف كيف

المراجع REFERENCES

1. **U.S. Geological Survey.** 2004. *Landslide Types and Processes.* Fact Sheet 2004-3072.
2. **Spiker, E. C. and Gori, P. L.** 2003. *National Landslide Hazards Mitigation Strategy—A Framework for Loss Reduction.* U.S. Geological Survey, Circular 1224.
3. **Pestrong, R.** 1974. *Slope Stability.* American Geological Institute. New York: McGraw-Hill.
4. **Rahn, P. H.** 1996. *Engineering Geology.* 2nd ed. Upper Saddle River, NJ: PrenticeHall.
5. **Nilsen, T. H., Taylor, F. A., and Dean, R. M.** 1976. *Natural Conditions That Control Landsliding in the San Francisco Bay Region.* U.S. Geological Survey Bulletin 1424.
6. **U.S. Geological Survey.** 2005. *Southern California—Wildfires and Debris Flows.* Fact Sheet 2005-3106.
7. **Terzaghi, K.** 1950. *Mechanisms of Landslides.* Geological Society of America: Application of Geology to Engineering Practice, Berkey Vol. Boulder, CO: Geological Society of America. 83-123.
8. **Leggett, R. F.** 1973. *Cities and Geology.* New York: McGraw-Hill.
9. **Kiersch, G. A.** 1964. Vaiont Reservoir disaster. *Civil Engineering* 34: 32-39.
10. **Swanson, F. J., and Dryness, C. T.** 1975. Impact of clear-cutting and road construction on soil erosion by landslides in the Western Cascade Range, Oregon. *Geology* 7: 393-96.
11. **Jones, F. O.** 1973. *Landslides of Rio de Janeiro and the Sierra das Araras Escarpment, Brazil.* U.S. Geological Survey Professional Paper 697.
12. **Leighton, F. B.** 1966. Landslides and urban development. *Engineering Geology in Southern California.* R. Lung and R. Proctor, ed. Los Angeles: Los Angeles Section of the Association of Engineering Geology. 149-97.
13. **Briggs, R. P., Pomeroy, J. S., and Davies, W. E.** 1975. *Landsliding in Allegheny County, Pennsylvania.* U.S. Geological Survey Circular 728.
14. **Jones, D. K. C.** 1992. Landslide hazard assessment in the context of development. *Geohazards.* G. J. McCall, D. J. Laming, and S. C. Scott, ed. New York: Chapman and Hall. 117-41.
15. **Jibson, R. W.** 2005. Landslide hazards at the La Conchita, California. U.S. Geological Survey Open file report 2005-1067.
16. **Gurrola, L. D., and Keller, E. A.** 2005. Prehistoric landslides complexes in the landscape and associated hazards: La Conchita, California. *Geological Society of America Abstracts with Programs* 37(7): 519.
17. **Slosson, J. E., Yoakum, D. E., and Shuiran, G.** 1986. Thistle, Utah, landslide: Could it have been prevented? *Proceedings of the 22nd Symposium on Engineering Geology and Soils Engineering.* 281-303.
18. **Piteau, D. R., and Peckover, F. L.** 1978. Engineering of rock slopes. *Landslides.* R. Schuster and R. J. Krizek, ed. Transportation Research Board, Special Report 176: 192-228.
19. **Campbell, R. H.** 1975. *Soil slips, debris flows, and rainstorms in the Santa Monica Mountains and vicinity, southern California.* U.S. Geological Survey Bulletin 1424.
20. **Spiker, E. C. and Gori, P. L.** 2003. *National landslide hazards mitigation strategy—A framework for loss reduction.* U.S. Geological Survey, Circular 1244. Denver, Colorado.
21. **Poland, J. F., and Davis, G. H.** 1969. Land subsidence due to withdrawal of fluids. *Reviews in Engineering Geology.* D. J. Varnes and G. Kiersch, ed. Boulder, CO: Geological Society of America. 187-269.
22. **Bull, W. B.** 1974. Geologic factors affecting compaction of deposits in a land subsidence area. *Geological Society of America Bulletin* 84: 3783-3802.
23. **Kenny, R.** 1992. Fissures. *Earth* 1(3): 34-41.
24. **Cornell, J., ed.** 1974. *It Happened Last Year—Earth Events—1973.* New York: Macmillan.
25. **Dougherty, P. H., and Perlow, M., Jr.** 1987. The Macungie sinkhole, Lehigh Valley, Pennsylvania: Cause and repair. *Environmental Geology and Water Science* 12(2): 89-98.
26. **Craig, J. R., Vaughan, D. J., and Skinner, B. J.** 1996. *Resources of the Earth.* 2nd ed. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall.

المصطلحات المفتاحية KEY TERMS

انزلاق أرضي دوراني (rotational landslide) ، (ص 178)
 هبوط (subsidence) ، (ص 173)
 عامل الأمان (safety factor) ، (ص 177)
 انزلاق أرضي انتقالي (translational landslide) ، (ص 178)

انزلاق أرضي (landslide) ، (ص 173)
 بالوعات (sinkholes) ، (ص 199)
 تبدد كتل (mass wasting) ، (ص 173)
 تيهور ثلجي (snow avalanche) ، (ص 198)

بعض الأسئلة للتفكير SOME QUESTIONS TO THINK ABOUT

3. هل تعتقد وجوب بقاء الناس في "لاكونشيتا"؟ ماذا الذي تظنه في الولاية التي تشتري "لاكونشيتا"؛ لتحويلها إلى متنزه شاطئي ولائي؟
4. قارن أوجه الخلاف بين أدوار المياه والنبات والتضاريس والمناخ في التأثير في مقدار الانزلاقات الأرضية وتكرارها.

1. لنفترض أن متنزهاً وطنياً في منطقتك استأجرته شركتك الاستشارية؛ لتقدير أخطار الانزلاق الأرضي مستقبلاً، أنشئ خطة تُحدّد ما يجب عمله لتحقيق هذا الهدف.
2. لماذا لا يقتنع الكثير من الناس بالمعلومات التقنية المتعلقة بالأخطار، مثل الانزلاقات الأرضية؟ افترض أنه طلب إليك إقناع الناس بأخطار الانزلاق الأرضي في مناطقهم شديدة انحدار التضاريس. ما الخطة التي تتبناها في ذلك؟

الزلازل والظواهر المرافقة Earthquakes and Related Phenomena



زلزال لوس أنجلوس انهيار طريق سريع في منطقة لوس أنجلوس بسبب زلزال نورث ريدج 1994 (Les Stones/Corbis/Sygma)

1-8 مقدمة عن الزلازل

INTRODUCTION TO EARTHQUAKES

يشعر الناس سنويًا بقراءة مليون زلزال تحدث في أماكن متفرقة على سطح الأرض، إلا أن نسبة قليلة منها يمكن الإحساس بها من أماكن بعيدة عن المصدر، وتتم المقارنة بين الزلازل من خلال مقارنة الطاقة التي تنبعث منها، والتي تدعى قوة الزلزال (*Magnitude*)، أو من خلال مقارنة شدة الاهتزاز (حركة سطح الأرض)، ومدى تأثيره في الناس والمجتمع. يبيّن الجدول (1-8) أهم الزلازل التي ضربت الولايات المتحدة منذ بداية القرن التاسع عشر وحتى عام 2002.

2-8 قوّة الزلزال

EARTHQUAKE MAGNITUDE

حينما يذاع أن زلزالاً قد حدث، فإنّ المذيع يذكر اسم المكان الذي وقع فيه الزلزال، بما يعرف بالمركز السطحي له (*epicenter*)، وهو المكان على سطح الأرض الذي يقع فوق بؤرة الزلزال، التي توجد في باطن الأرض، حيث تنكسر الصخور، وتتحرّر الطاقة المخزنة فيها منتجة الزلزال (الشكل 1-8). وتُنشر الأخبار قيمة عزم القوّة الزلزالية (*moment magnitude*) (قوّة الزلزال)، التي تقيس مقدار الطاقة الزلزالية المحرّرة نتيجة الزلزال، ويعتمد عزم قوّة الزلزال جزئياً على خصائص فيزيائية مهمّة، مثل: اللحظة الزلزالية، والمساحة التي تكسّرت على امتداد مستوى الصدع، ومقدار حركة أو إزاحة الصدع في أثناء الزلزال، وصلابة الصخر

الأهداف التعلُّمية LEARNING OBJECTIVES

- تُعدّ دراسة الزلازل من الموضوعات المثيرة؛ لما لها من تبعات مهمّة على المجتمع بما فيها فقد الأرواح بصورة كارثية، وتشريد الناس، وأضرار المساكن والأبنية أو تدميرها، وكذلك تدمير البنى التحتية، مثل الطرق وخطوط السكك الحديدية والمطارات والسدود ومحطّات توليد الطاقة، وفقدان الممتلكات. ويركّز هذا الفصل على الأهداف التعليمية الآتية:
- إدراك العلاقة بين الزلازل والصدوع.
- معرفة كيفية تحديد قوّة الزلازل.
- معرفة أنواع الموجات الزلزالية وخصائصها، وكيف تنتج الحركة الأرضية القوية.
- فهم كيفية حساب الخطر الزلزالي.
- تعرّف الآثار الرئيسة الناتجة عن الزلازل.
- معرفة كيفية حدوث أمواج السونامي.
- معرفة مكوّنات دورة الزلزال.
- فهم الطرق التي تستخدم للتنبؤ بالزلازل.
- فهم العمليات التي تقلّل من الأخطار الزلزالية، وكيفية تكيف الإنسان مع الأخطار والتعامل معها.

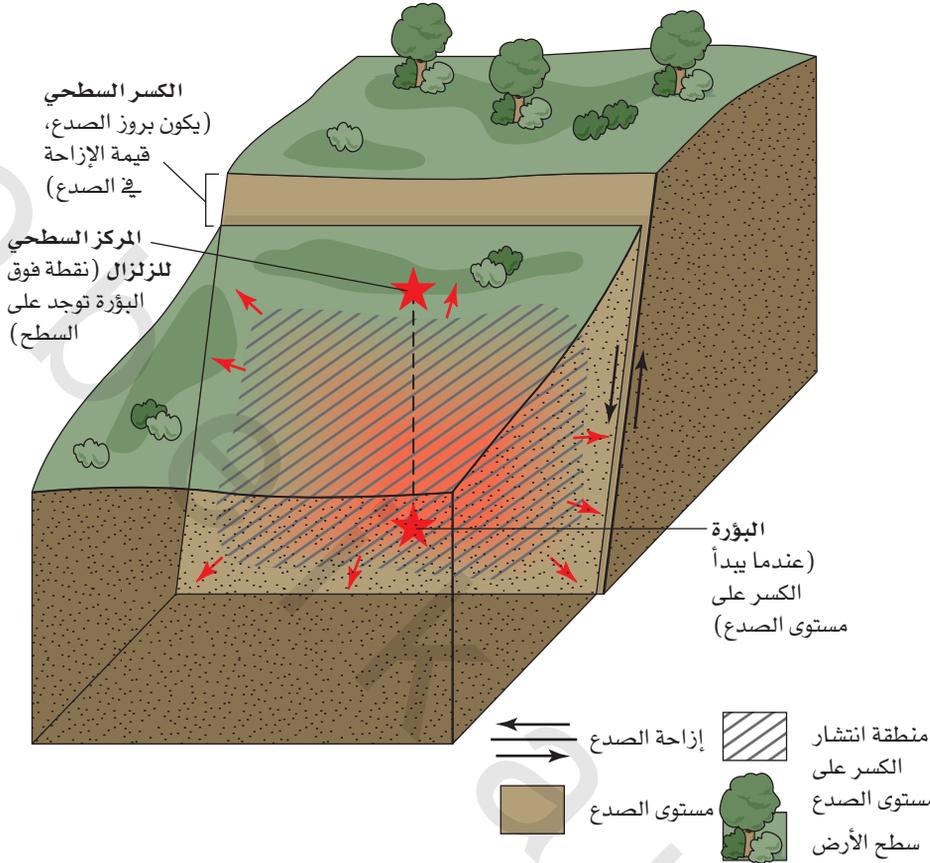
الجدول (1-8): أهمّ الزلازل التي حدثت في الولايات المتّحدة.

عدد الوفيات	الأضرار (مليون دولار)	الموقع	السنة
غير معروف	غير معروف	نيومدريد - ميسوري	1811-1812
60	23	شارلستون - كارولينا الجنوبية	1886
700	524	سان فرانسيسكو - كاليفورنيا	1956
13	8	سانتا باربارا - كاليفورنيا	1925
115	40	لونج بيتش - كاليفورنيا	1933
9	6	أمبيريال فالي - كاليفورنيا	1940
14	60	كيرت كاوتي - كاليفورنيا	1952
28	11	بحيرة هيجن - مونتانا	1959
131	500	ألاسكا وساحل الولايات الأمريكية الغربي (أضرار ناتجة عن أمواج المدّ البحري)	1964
7	13	بوجيت ساوند - واشنطن	1965
65	553	سان فرناندو - كاليفورنيا	1971
صفر	31	كوالينجا - كاليفورنيا	1983
2	15	وسط إداهو	1983
8	358	ويتير - كاليفورنيا	1987
62	5000	لوما بريتا (سان فرانسيسكو) - كاليفورنيا	1989
1	271	لانديز - كاليفورنيا	1992
57	40000	نورث ريدج - كاليفورنيا	1994
1	2000	سياتل - واشنطن	2001
صفر	منطقة غير مأهولة	جنوب - وسط ألاسكا	2002

المصدر: (US Geological Survey, 2002, Earthquakes, facts and statistics, <http://neic.usgs.gov>, accessed 1 / 3 / 00)

الشكل (8-1): معالم الزلزال الأساسية.

يبيّن الرسم التخطيطي كلاً من مستوى الصدع، وقيمة الإزاحة، ومنطقة الكسر، وبؤرة الزلزال والمركز السطحي له، حيث يبدأ الكسر عند البؤرة، وينتقل في الاتجاهات كافة، إذ تصل قيمة الإزاحة في الزلازل القوية إلى ما بين (2-20 m) على امتداد طول الصدع الذي يصل طوله إلى (100 km) أو يزيد، وتصل مساحة الكسر قرابة (1000 km²) أو يزيد.



حجم أعلى الموجات الزلزالية الناتجة عن الزلزال، أمّا الجهاز الذي يسجّل الإزاحات الزلزالية، وينتج السجلات الزلزالية، فيدعى السيزموجراف، وتحول السعة المسجلة إلى مقدار قوّة الزلزال باستخدام مقياس لوجاريتمي، حيث يزيد سعة كلّ درجة عن سعة الدرجة التي تليها على مقياس ريختر عشرة أضعاف، يوضّح المثال الآتي ذلك: تزيد الحركة المسجلة على السجل الزلزالي والناتجة عن هزّة مقدارها (7) درجات بمقدار عشر مرّات عن هزّة مقدارها (6) درجات، وفي حال الزلازل القوية المدمّرة، تكافئ قوّة الزلزال على مقياس ريختر عزم القوّة الزلزالية التي تستخدم بصورة عامّة حالياً، وعلى الرغم من أنّ مقياس ريختر ما زال الطريقة الأكثر شهرة عند

(معامل القصّ Shear modulus)، وبحسب الجهد الزلزالي (seismic moment) بفحص التسجيلات الملتقطة على أجهزة الرصد الزلزالي (Seismographs) (وهي أجهزة تُسجّل حركة الزلازل)، حيث يُحدّد طول الكسر، ويُقاس معامل القصّ (بإجراء فحوص مخبرية على الصخور)، ويُحدّد بعد ذلك عزم القوّة الزلزالية (M_w) بحسب المعادلة الآتية: $M_w = 2/3 \log M_0 - 10,7$ ، حيث (M_0) تعني اللحظية الزلزالية.

وقبل استخدام عزم القوة الزلزالية "بمقياس ريختر" الذي سمّي بذلك نسبة إلى عالم الزلازل الشهير تشارلز ريختر- مستخدماً لوصف الطاقة المنبعثة من الزلزال، حيث يعتمد مقياس ريختر على سعة (*Amplitude*) أو

الجدول (8-2): تصنيف وصفي للزلازل بحسب قوّتها وتكرارها عالمياً.

الوصف	القوّة (M)	متوسط عدد مرّات تكرارها السنوي
عظيمة	8 أو أعلى	1
رئيسية	7-7.9	18
قوية	6-6.9	120
متوسطة	5-5.9	800
خفيفة	4-4.9	6200 (تقدير)
ضعيفة	3-3.9	49,000 (تقدير)
ضعيفة جداً	أقلّ من 3	1000 هزّة يومياً بين 2-3 8000 هزّة يومياً بين 1-2

المصدر: U.S. Geological Survey, 2000, Earthquakes, facts and statistics, <http://neic.usgs.gov>, accessed 1/3/00

الجدول (3-8): العلاقة بين قوّة الزلزال وإزاحته وطاقته.		
التغيّر في القوّة	التغيّر في الإزاحة 1	التغيّر في الطاقة
1	10 مرّات	32 مرّة تقريباً
0.5	3.2 مرّة	5.5 مرّة تقريباً
0.3	مرّتين	3 مرّات تقريباً
0.1	1.3 مرّة	1.4 مرّة تقريباً

المصدر، US Geological Survey, 2002, Earthquakes, facts and statistics, <http://neic.usgs.gov>, accessed 1 / 3 /00

إنسان، وتدمير (100) ألف مبنى تقريباً، إذ قدّرت الخسائر المادّية بقراءة (100) بليون دولار أمريكي، (الشكل 8-2 أ)، وقتل زلزال غوجرات في الهند بقوّة (M 7.7)، الذي حدث في تاريخ 26 يناير عام 2001م، ما يزيد على (30) ألف قتيل، وقرابة (166) ألف جريح، وألحق أضراراً ودماراً بمليون منزل تقريباً، وترك (600) ألف شخص دون مأوى، وفي الثامن من شهر أكتوبر من عام 2005م ضرب زلزال بقوّة (M 7.6) شمال باكستان، وأثر في مدينة كشمير الهندية، (الشكل 8-2 ب)، حيث قتل أكثر من (80) ألف شخص، وهدم أكثر من (30) ألف منزل تقريباً، إذ سُويت كثير من القرى بالأرض، وبعضها طمرت تماماً تحت الركام الصخري، الناتج عن الانزلاقات التي سببها الزلزال، ويُعدّ زلزال سيشوات في تشيلي الذي حدث عام 2008م، أقوى زلزال حدث على القارّة منذ (100) عام، إذ بلغت قوّته (M 7.9)، ما أدّى إلى مقتل (87500) شخص تقريباً، ودفن كثيراً من القرى تحت الانزلاقات الأرضية، وتدمير ما يزيد على (5) ملايين مبنى، (الشكل 8-2 ج) (3-1).

3-8 شدة الزلزال

EARTHQUAKE INTENSITY

يستخدم مقياس ميركالي للمقارنة بين الزلازل بطريقة كميّة، وهو مقسّم إلى اثنتي عشرة درجة من الشدّة، ويعتمد على المشاهدات الخاصّة بمدى شدّة الاهتزاز الناتج عن الزلزال، (الجدول 4-8)، تعكس شدّة الزلزال كميّة تأثر الناس بالاهتزاز، وكميّة استجابة الأبنية؛ لذلك فإنّ الزلزال الواحد له قوّة محدّدة ثابتة، وله قيم شدّة زلزالية كثيرة، وذلك تبعاً لابتعاد المكان أو قربه من المركز السطحي للزلزال، أو تبعاً لاختلاف الظروف الجيولوجية المحلية. تبين الخريطة في الشكل (3-8) التوزيع المكاني للشدّة الزلزالية الناتجة عن زلزال سان فيرناندو الذي ضربها عام 1971م بقوّة (M6.6)، وقد أنتجت هذه الخريطة بعد توزيع استبانة على السكان القاطنين قريباً من المركز السطحي للزلزال، وتُعدّ ذات قيمة كبيرة في الدلالة على اهتزاز الأرض مع أنّها غير متقنة.

إنّ من أكبر التحديات لحظة وقوع الزلازل، هي سرعة تحديد مكان حدوث الأضرار الكبرى، ومن الطرق التي تستخدم حالياً في بيان حدود الأضرار المتوقّعة للاهتزازات ما يعرف بخرائط الاهتزاز، حيث تُسجّل بيانات الاهتزاز باستخدام شبكة كثيفة من محطات رصد الزلازل فائقة الجودة، وعندما تستقبل المعلومات الزلزالية عن طريق المحطات، تُحدّد

كثير من الناس، إلا أنّ الكثير من علماء الزلازل (Seismologists) لا يستخدمونه في العادة. سنستخدم في هذا الكتاب بهدف التبسيط المقدار الزلزالي (M)، للدلالة على قوّة الزلزال في كلّ من مقياس ريختر أو عزم القوّة الزلزالية.

يبين الجدول (2-8) التوزيع العالمي للزلازل وقوّتها، يطلق على الزلزال الذي تساوي قوّته (8) درجات أو تزيد عنها الزلزال العظيم؛ لأنّه يحدث أضراراً هائلة وواسعة، هذا النوع من الزلازل يحدث مرّة واحدة في السنة في مكان ما على الأرض، أمّا الزلازل الرئيسيّة فهي التي تكون قوّتها (7) درجات، وهي قادرة على إحداث أضرار شديدة وواسعة أيضاً، وتدعى الزلازل التي تكون قوّتها (6) درجات الزلازل القوية، وتؤدّي إلى ضرر كبير أيضاً، وذلك بحسب الموقع الجغرافي ونوعية الموادّ والأبنية.

يمكن تسجيل اهتزازات الأرض عندما تتعرّض الصخور للإزاحة أو الانفصال الحقيقي بسبب الزلزال، ويبين الجدول (3-8) العلاقة بين التغيّرات في قوّة الزلزال والإزاحة الأرضية وفي مقدار الطاقة، حيث يوضّح الجدول أنه إذا كان فرق القوّة بين زلزالين درجة واحدة، فيكون الفرق في مقدار الطاقة بينهما (32) مرّة، فالطاقة الناتجة عن زلزال (M7) أعلى بـ (32) مرّة من الطاقة الناتجة عن زلزال (M6)، ويكون الفرق في الإزاحة الناتجة عنها (10) مرّات، وتكون الطاقة الناتجة عن زلزال (M7) أعلى بألف مرّة من الطاقة الناتجة عن زلزال (M5). مُعرض موضوع قوّة زلزال هنا؛ للمساعدة على مقارنة أضرار الزلازل، وسنعود إلى نقاش تفصيلي عنه في هذا الفصل لاحقاً عند مناقشة عمليات الزلازل.

الكوارث الزلزالية

Earthquake Catastrophes

الزلازل الكارثية أو العظيمة أحداث مهلكة، فهي قادرة على تدمير مدن كبرى وتسويتها بالأرض، وحصد آلاف الأرواح في بضع ثوانٍ، فقد حدث زلزال في الصين في القرن السادس عشر، أدّى إلى قتل (850) ألف إنسان تقريباً، أمّا في العصر الحديث فالزلازل الكارثية كثيرة نذكر منها: زلزال طوكيو عام 1923م، الذي أدّى إلى قتل قرابة (143) ألف إنسان، وزلزال الصين عام 1976م، وقتل مئات الآلاف تقريباً، وزلزال مكسيكو عام 1985م، الذي وقع في أعماق المحيط الهادي بقوّة (M 8.1)، ما أدّى إلى قتل (10) آلاف إنسان في مدينة مكسيكو سيتي، وهي بعيدة مئات الكيلومترات عن مصدر الزلزال، وأدّى زلزال كوبي في اليابان بقوّة (M 7.2)، الذي حدث في 17 يناير عام 1995م إلى قتل (5000) شخص تقريباً، وجرح قرابة (27000)



الشكل (2-8): أضرار الزلزال. (أ) انهيار الطريق المعلق نتيجة الاهتزازات الزلزالية الشديدة الناتجة عن زلزال كوبي في اليابان عام 1995م (Pacific Press Service / Alamy). (ب) أبنية مدمرة في بالاكوت في باكستان؛ بسبب زلزال قوته (M 7.6) حدث عام 2005م (AP / وايد ورلد فوتوز) (AP/wide world photos). (ج) أبنية مدمرة؛ بسبب زلزال قوته (M 7.9) أثر في تشيلي عام 2008م (جريج بيكر / أسوسييتد برس) (Greg Baker/ Associated Press).

(أ)



(ب)



(ج)

الجدول (4-8): مقياس ميركالي المعدل للشدة الزلزالية (مختصر).

الشدة	التأثير
1	يشعر به عدد محدود جداً من الناس.
2	يشعر به عدد محدود من الناس في أثناء الاستراحة، وخصوصاً في الأدوار العليا من المباني، وقد تتأرجح بعض الأدوات الخفيفة المعلقة.
3	يشعر به الناس داخل المباني، وخصوصاً في الأدوار العليا، ولكن لا يدرك كثير منهم أنه زلزال، قد تهتز السيارات المتوقفة اهتزازاً خفيفاً، ويكون الشعور بالاهتزاز شبيهاً بالاهتزاز الناتج عن مرور شاحنة.
4	يشعر به كثير من الناس داخل المباني في أثناء النهار، ويشعر به القليل منهم خارج المباني وفي الساحات والشوارع، أما في الليل فيستيقظ بعضهم، وتهتز الشبائيك والأبواب والصحون، وتخرج أصوات التشققات من الجدران، ويكون الشعور أن شاحنة كبيرة صدمت المبنى، وتهتز السيارات المتوقفة اهتزازاً ملحوظاً.
5	يشعر به معظم الناس تقريباً، ويستيقظ كثير منهم، وتتكرر الصحون والشبائيك وغيرها، وتتشقق بعض أعمدة الجبص، وتقلب الأشياء غير المستقرة، يلاحظ أحياناً عدم انتظام الأجسام الطويلة مثل الأشجار والأعمدة، ويتوقف بندول الساعة أحياناً.
6	يشعر به الجميع، ويهلع كثير منهم ويركض خارج المباني، وتتحرك بعض قطع الأثاث الكبيرة الضخمة.
7	يركض الجميع إلى الخارج، والضرر في المباني والمنشآت جيدة التصميم معدوم، وقليل إلى متوسط في المنشآت العادية جيدة البناء، وكبير في المباني سيئة البناء أو التصميم. تنكسر بعض المداخل، ويلاحظ الزلزال من قبل سائقي السيارات في أثناء القيادة.
8	يكون الضرر قليلاً في المنشآت جيدة التصميم، وكبيراً في المباني المتينة مع بعض الانهيار، وعظيماً في المنشآت سيئة البناء، تقذف الجدران المثبتة من أماكنها، وتهتز المداخل وأعمدة المصانع وأعمدة المباني والتماثيل والجدران، وتقلب قطع الأثاث الكبيرة، وتقذف الرمال والطين بكميات قليلة، وتتغير المياه في الآبار، وتشوش على سائقي السيارات في أثناء القيادة.
9	يكون الضرر كبيراً في المنشآت جيدة التصميم، وتقذف الهياكل الإنشائية جيدة التصميم غير العمودية، ويكون الضرر عظيماً في الأبنية القوية مع انهيار جزئي، وتنزلق المباني، وتحرف عن أساساتها، وتتشقق الأرض بصورة واضحة، وتنكسر الأنابيب تحت السطحية.
10	تدمر بعض المنشآت الخشبية جيدة البناء ومعظم الهياكل الإنشائية الأخرى، وتتشقق الأرض بشكل رئيس، وتحنى السكك الحديدية، وتحدث الانزلاقات الأرضية على ضفاف الأنهار وفي المنحدرات القوية، تنجرف الرمال والطين، وتتناثر المياه على الضفاف.
11	لا يثبت إلا القليل جداً من المنشآت، وتدمر الجسور، وتتكون الشقوق العريضة في الأرض، وتخرج تمديدات الأنابيب تحت السطحية عن الخدمة، وتحدث الانزلاقات الأرضية في المناطق اللينة، وتحنى السكك الحديدية.
12	تكون الأضرار شاملة، وتُرى الموجات الزلزالية على سطح الأرض، وتدمر خطوط المراقبة، وتقذف الأشياء في الهواء.

المصدر: Wood and Neuman, 1931, by US Geological Survey, 1974, Earthquake Information Bulletin 6 (5):28

أيضاً من خرائط الاهتزاز في تحديد أماكن خطوط الغاز والخدمات الأخرى المتضررة. ومن الواضح أن استخدام التكنولوجيا، وخصوصاً في المناطق المأهولة المهذبة بخطر الزلازل، عامل ضروري ومفيد في استعدادنا لمواجهة خطر الزلازل.

4-8 زلازل حدود الصفائح

PLATE BOUNDAR EARTHQUAKES

تقع كاليفورنيا على صفيحتين من الغلاف الصخري، تتحركان جانبياً مبتعدتين عن بعضهما، لذلك واجهت كثيراً من الزلازل المدمرة، فقتل زلزال لوما بريتا الذي وقع عام 1989م، بقوة (M7.1) قرابة (62) شخصاً، وأحدث أضراراً للممتلكات بـ (5) بلايين دولار تقريباً، ولم يُصنّف

المناطق التي تعرّضت لأعنف الاهتزازات، بعد توقّف الزلزال مباشرة وفي خلال دقائق، وتعدّ هذه المعلومات بالغة الأهمية في توجيه طواقم الإنقاذ والإسعاف إلى المناطق المتضررة. يظهر الشكل (4-8) خريطة الاهتزاز الناتجة عن زلزال نورث ريدج في كاليفورنيا بقوة (M 6.7)، الذي وقع عام 1994م، وزلزال سياتل في واشنطن بقوة (M 6.8)، الذي وقع عام 2001م. لاحظ أن قوة الزلازلين كانت متشابهة، إلا أن شدة الاهتزازات الناتجة عن زلزال نورث ريدج أكبر من تلك الناتجة عن زلزال سياتل.

لقد أصبحت تكنولوجيا إنتاج خرائط توزيع الاهتزازات بعد حدوث الزلزال بدقائق متاحة وممكنة في الولايات المتحدة الأمريكية منذ عام 2002م⁽⁴⁾، فتكلفة أجهزة الرصد الزلزالي قليلة مقارنة بالأضرار الناتجة عن الزلزال، أضف إلى ذلك أن وصول طواقم الإنقاذ والإسعاف في أقصر وقت ممكن، أمر حاسم في إنقاذ أرواح الناس المحاصرين تحت الأنقاض، ويستفاد

في تنسي جنوباً، وحتى التقاء نهر المسيسيبي مع نهر أوهايو شمالاً، لقد سُويت الغابات بالأرض نتيجة الزلزال، وقد تصدعت الأرض، وظهرت شقوق عريضة أغلقت بالأشجار؛ ليمكن الناس من عبورها، وانخفضت الأرض أمتاراً عدة، ما أدى إلى حدوث الفيضانات (ذُكر أن تدفق مياه المسيسيبي في أثناء الزلزال قد انعكس)، وقد وقع الزلزال على امتداد تركيب نشيط زلزاليًا يدعى نطاق نيومديرد الزلزالي، الذي يقع تحت تركيب طوق نهر المسيسيبي (الطوق (embayment) منطقة في القشرة الأرضية ملتوية إلى الأسفل؛ بسبب ضعف الغلاف الصخري)، (الشكل 8-6). وقد أظهر حساب المدّة الفاصلة بين حدثين زلزاليين عظيمين في منطقة الطوق، أنّها تتكرّر كل (500) سنة تقريباً^{(5)·(6)}؛ لذلك، وحتى في ظل أن هذا الجزء من صفيحة أمريكا الشمالية مستقرّ، إلا أن احتمال حدوث الضرر في المستقبل، يحتم أخذ أخطار الزلازل في الحسبان عند تصميم محطّات الطاقة والسدود وبنائها.

يُعتقد أنّ نطاق نيومديرد الزلزالي نطاق حديث، بحيث لا يزيد عمر التشوّه على (10) آلاف سنة، ويكفي معدّل الرفع لإحداث بروز طبوغرافي خلال فترة مئات عدّة من آلاف السنوات، واعتماداً على حقيقة أنّ طبوغرافية سهول فيضان نهر المسيسيبي المرفوعة نادرة الوجود، فإن ذلك يؤكّد فرضية أنّ هذا النظام الصدعي حديث جدّاً، أو أنه عاود النشاط حديثاً؛ ولذلك، فإنّ نطاق نيومديرد الزلزالي قادر على إنتاج زلازل عظيمة، ما جعله موضوع بحث عميق ومكثّف.

ومن الزلازل المؤثّرة داخل الصفائح الأخرى، الزلزال الذي وقع في 31 أغسطس من عام 1886م بقوة (M7.5)، بالقرب من شارلستون في جنوب كارولينا، حيث قتل (60) شخصاً، ودمّرت معظم مباني مدينة شارلستون، إذ سُجّلت آثار الزلزال على بعد يزيد على (1000 km)، إلا أنّ الزلازل داخل الصفائح في الولايات المتّحدة عادة ما تكون أكثر ضرراً، ويشعر بها الأشخاص عبر مناطق أوسع من تلك التي تحدث في كاليفورنيا؛ وذلك لأنّ الصخور في شرق الولايات المتّحدة أقوى وأقلّ تشقّقاً، ما يجعلها أكثر قدرة على نقل الموجات الزلزالية، مقارنة بصخور المناطق الغربية.

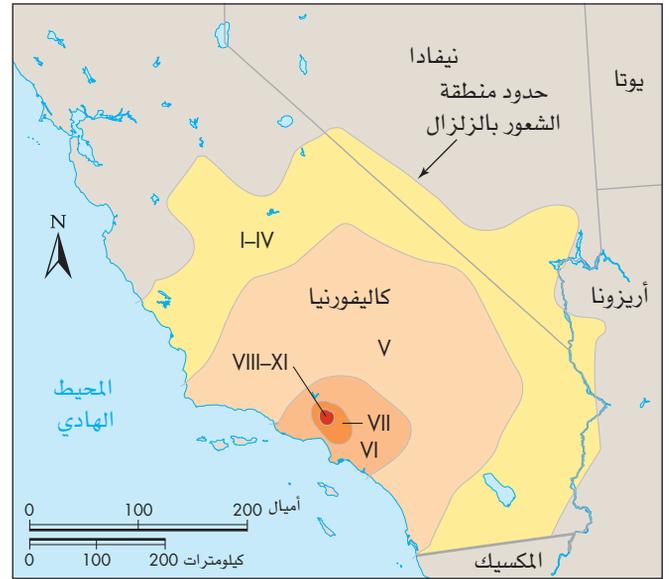
6-8 العمليات الزلزالية

EARTHQUAKE PROCESSES

توصلنا في أثناء نقاشنا لتكتونية الصفائح، إلى أنّ الأرض كوكب ديناميكي متطوّر؛ لذا، تُعدّ الزلازل نتيجة طبيعية للعمليات الأرضية، التي تؤدّي إلى نشأة المحيطات والقارّات والسلاسل الجبلية في العالم، حيث تحدث معظم الزلازل على حدود صفائح الغلاف الصخري، انظر الشكلين (8-5)، (8-7).

التصدّع Faulting

يمكن تشبيه عملية التصدّع الصدعي (التصدّع) بانزلاق لوحين خشنيين عن بعضهما، فالاحتكاك على السطح الفاصل بين اللوحين يحاكي مستوى الصدع، وقد يكون الاحتكاك سبباً في تقليل الحركة، إلا أنه يؤدي إلى تكسير الحوافّ الخشنة، إذ تحدث الحركة في أماكن عدّة على امتداد السطح، على سبيل المثال: تكون حركة الصفائح التي تتحرّك جانباً مبتعدة عن بعضها



الشكل (8-3): شدّة الاهتزاز. خريطة الشدّة الزلزالية بحسب مقياس ميركالي المعدّل لزلزال سان فيرناندو فالي عام 1971م في كاليفورنيا (M 6.6) حددت بعد حدوث الزلزال. (US Geological Survey, 1974, Earthquake Information Bulletin 6[5])

زلزال لوما بريتا أو زلزال نورث بريدج (M 6.7) من الزلازل العظيمة، فقد أجريت حسابات قدرت أنه لو حدث زلزال عظيم في منطقة مكتظة في جنوب كاليفورنيا، لأدى إلى إحداث أضرار تُقدّر بـ (100) بليون دولار تقريباً، وقتل آلاف عدّة من الأشخاص؛ لذلك فإنّ زلزال نورث بريدج بكلّ ما فيه من فظاعة، إلا أنه لم يكن الزلزال الكبير المتوقّع؛ ولأنّ الزلازل ترتبط بالكوارث، فقد سخّرت أبحاث الزلازل بصورة أولية لفهم العمليات الزلزالية، فكلّما عرفنا معلومات أكثر عن الموقع المتوقّع للزلزال وعن قوّته وتأثيراته، استطلعنا حساب الأضرار المتوقّعة، وعليه، نفدنا الخطط الضرورية، للتقليل من خسائر الأرواح والممتلكات.

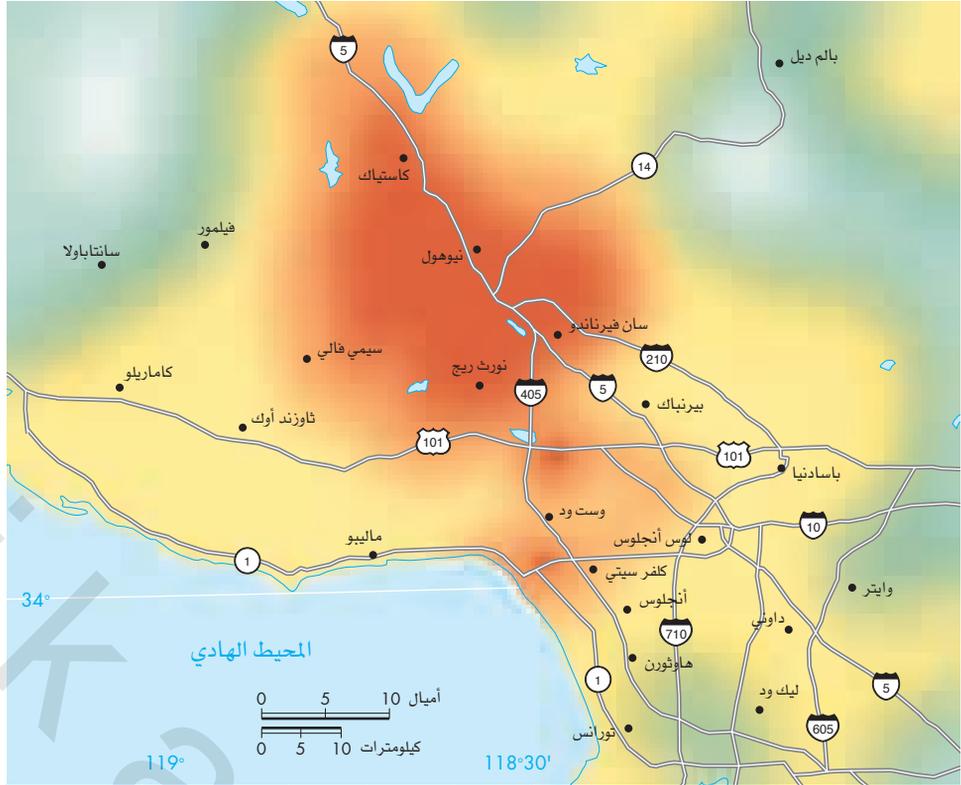
زلزال حدود الصفائح هي الزلازل التي تقع بين صفيحتين، وتنشأ قريباً من حدود الصفائح، وتنتج حزاماً خطياً أو منحنيّاً متصلاً، يحدث عليه النشاط الزلزالي (الشكل 8-5)، ومعظم الزلازل الكبرى في الولايات المتّحدة من هذا النوع، وخاصة عند حدود صفيحة أمريكا الشمالية وصفيحة المحيط الهادي (الجدول 8-1)، ومن الممكن أن تحدث زلازل عالية الأضرار في داخل الصفائح بعيداً عن الحدود تسمّى الزلازل داخل الصفائح.

5-8 زلازل داخل الصفائح

INTERPLATE EARTHQUAKES

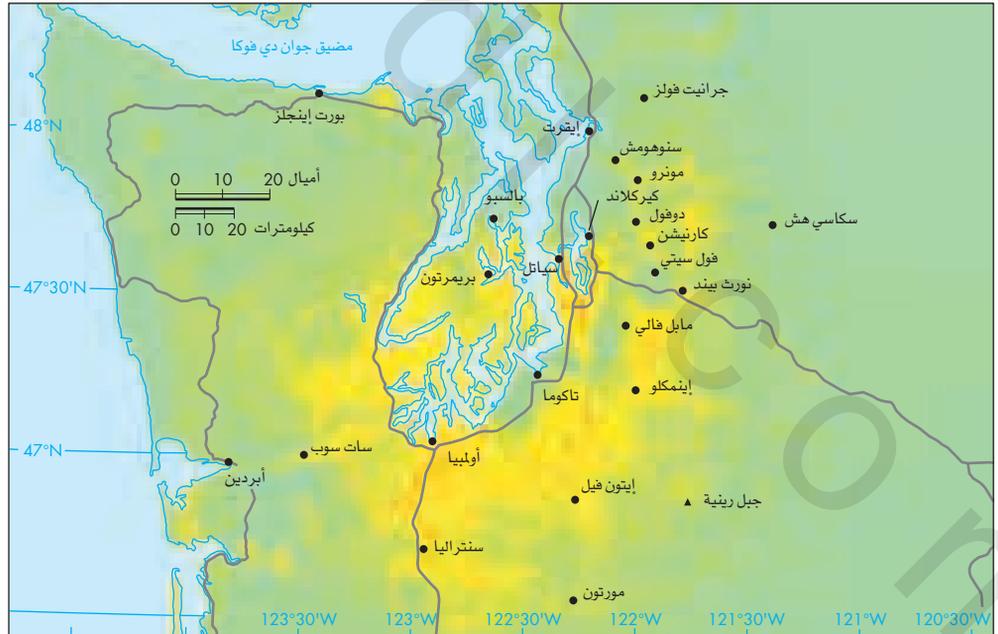
حدث زلزال داخل الصفائح بقوة تزيد على (M 7.5) في شتاء عام 1811م - 1812م في وسط وادي المسيسيبي، وأدى إلى تدمير مدينة نيومديرد تقريباً، وقتل عدد غير معروف من الأشخاص، ونتج عن الاهتزاز الزلزالي تشوّه سطحي كثيف في مناطق واسعة من ممفيس

الشكل (8-4): الزمن الفعلي لشدة الاهتزاز. (أ) خريطة اهتزاز زلزال في نورث ريدج، كاليفورنيا عام 1994م بقوة (M 6.7). حُدِّت بعد وقوع الزلزال (US Geological Survey, and courtesy of David Wald). (ب) زلزال في سياتل، واشنطن عام 2001م بقوة (M 6.8). (Pacific Northwest Seismograph Network, University of Washington)



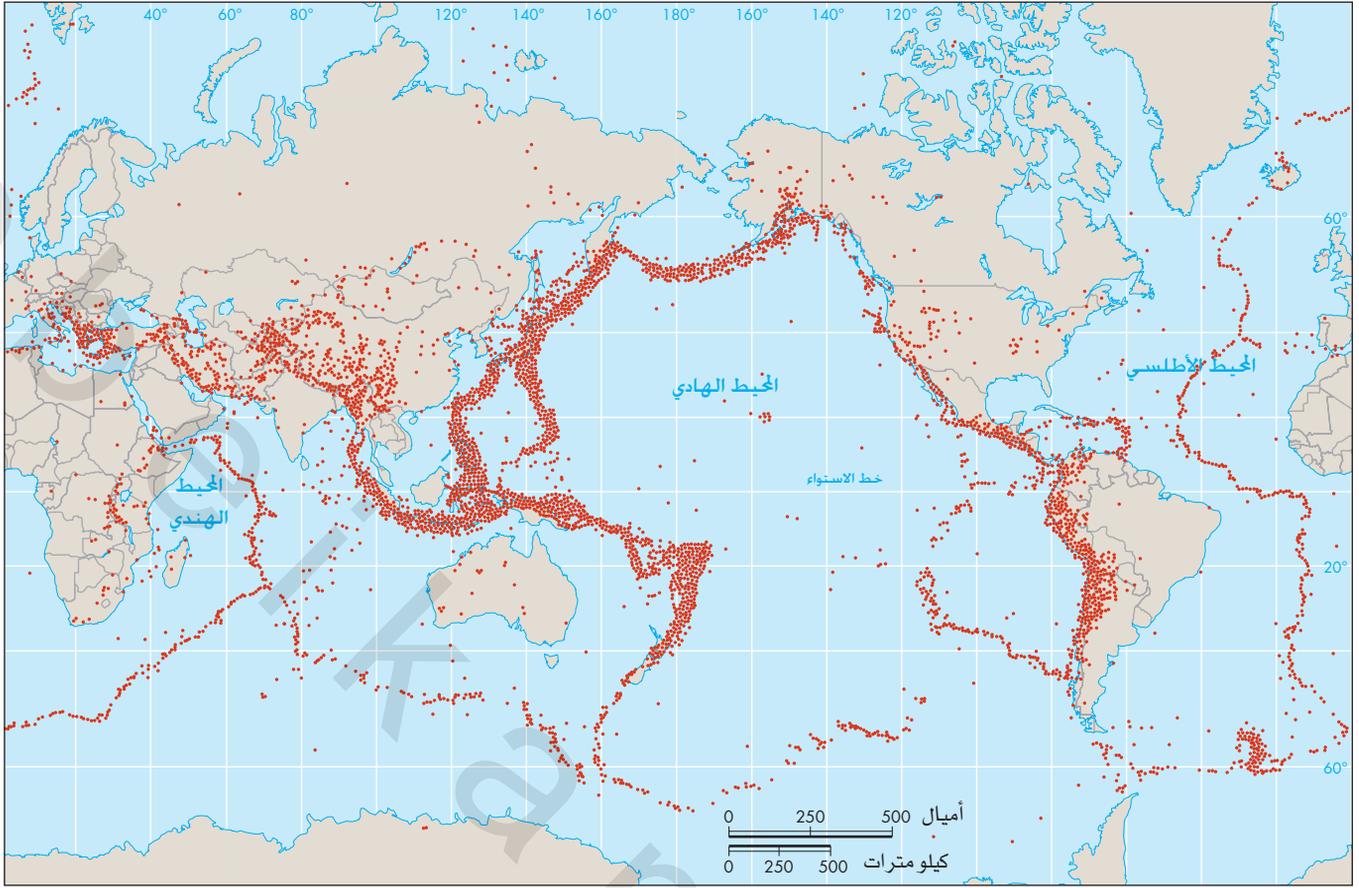
الشدة المقاسة بالجهاز	I	II-III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	أكثر
الاهتزاز	لم يلاحظ	ضعيف	خفيف	متوسط	قوي	قوي جداً	شديد	عنيف	عنيف جداً
الضرر	لا يوجد	لا يوجد	لا يوجد	خفيف جداً	خفيف	متوسط	متوسط/ثقيل	ثقيل	ثقيل جداً

(أ)



الشدة المقاسة بالجهاز	I	II-III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X+
الاهتزاز	لم يلاحظ	ضعيف	خفيف	متوسط	قوي	قوي جداً	شديد	عنيف	عنيف جداً
الضرر	لا يوجد	لا يوجد	لا يوجد	خفيف جداً	خفيف	متوسط	متوسط/ثقيل	ثقيل	ثقيل جداً

(ب)



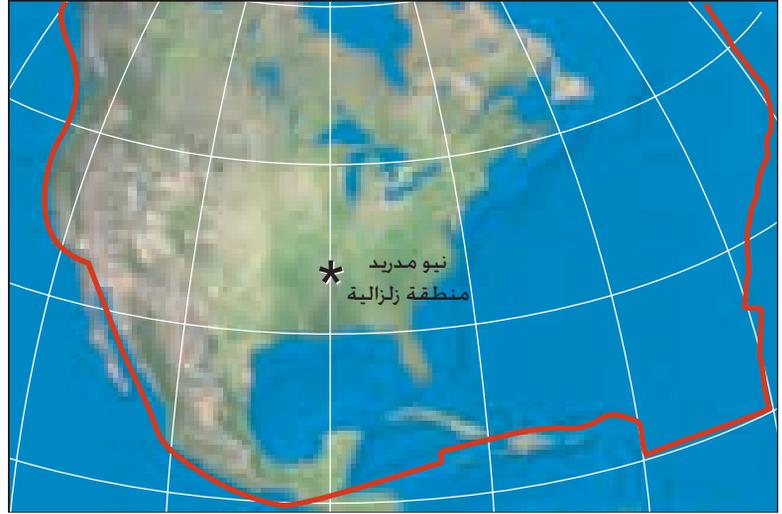
الشكل (8-5): الزلازل على حدود الصفائح. خريطة زلزالية عالمية (1963م - 1988م). تحدد مواقع حدود الصفائح والأحزمة الزلزالية الواردة في الشكل (7-8). تمثل النقاط البنية زلازل منفصلة. لمعرفة أسماء حدود الصفائح التكتونية الأرضية ومواقعها، ارجع إلى الشكل (2-3). (Courtesy of National Earthquake Information Center)

أنواع الصدوع Fault Types

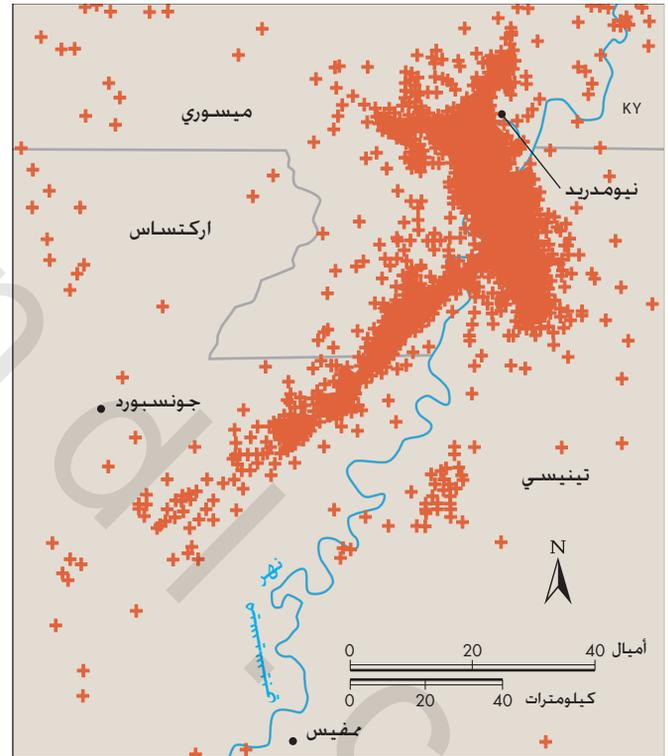
يبين الشكل (8-8) الأنواع الرئيسية للصدوع، نسبة إلى الإزاحة النسبية لجانبي الصدع، صدع الحركة الأفقية (*strike-slip fault*) هو الصدع الذي يزاح فيه جانبا الصدع بصورة أفقية، ويسمى صدعاً يميني الحركة، إذا تحرك الجانب الأيمن نحو الناظر، بينما يسمى صدعاً يساري الحركة، إذا تحرك الجانب الأيسر نحو الناظر، أما الصدوع التي تظهر فيها الحركة النسبية بين جانبي الصدع بصورة رأسية، فتدعى صدوع الحركة الرأسية (*dip-slip fault*)، وهي تقسم إلى نوعين: صدع عكسي (*reverse fault*) وصدع عادي (*normal fault*)، وذلك نسبة إلى كيفية الإزاحة، ويستخدم الجيولوجيون مصطلحات مهمة للتفريق بينهما، انظر الشكل (8-8) الذي يبين أن السطح الذي يفصل جانبي الصدع هو مستوى الصدع، وللتفريق بين المصطلحات يطلق على الجدار الذي يقف عليه الباحث مصطلح الجدار القدم (*foot-wall*)، ويطلق على الجدار الآخر مصطلح الجدار المعلق (*hanging-wall*)، فإن تحرك الجدار المعلق للأعلى نسبة إلى الجدار القدم سمي الصدع صدعاً عكسياً، وحينما تكون الزاوية التي يصنعها مستوى الصدع مع المستوى الأفقي أقل من (45°) سمي الصدع

بطبيّة؛ بسبب الاحتكاك الناتج على حدودها، وبناءً عليه، تتعرض الصخور الواقعة على الحدود للإجهاد أو التشوه؛ بسبب الجهد الناتج عن الحركة. عندما يتعدى الجهد الواقع على الصخور حدّ تحملها، فإنها تنكسر مكونة صدعاً ومنتجة زلزالاً، ويعرف الصدع (*fault*) بأنه كسر أو نظام من الكسور تعرضت للإزاحة، بحيث إنّ أحد جانبي الكسر تحرك مقداراً معيناً إلى الجانب الآخر، ويعرف معدل الحركة طويل الأمد بمعدل الإزاحة (*slip rate*)، وهو عادة ما يقاس بـ ملم/سنة أو متر في كلّ (1000) سنة (*m/km/yr*)، ومن الممكن أن تسجل إزاحة قيمتها أمتار عدّة تحدث فجأة بسبب زلزال عظيم أو رئيس، فعندما يحدث الكسر، فإنه يبدأ عند بؤرة الزلزال، ثمّ ينتشر الزلزال بعدها، انظر الشكل (8-1)، وتنتج عن كسر الصخور المفاجئ أمواج اهتزازية تسمى الموجات الزلزالية (*seismic waves*)، تؤدي إلى اهتزاز الأرض، بعبارة أخرى، تتحرر الطاقة المخزنة في الصخور، بسبب الإجهاد الذي تتعرض له، وتكون الزلازل؛ لذا، فالصدوع هي مصادر الزلازل ومسبباتها، ولذلك فإنّ تحديدها ودراستها يعدّ الخطوة الأولى في تقييم الخطر الزلزالي لمنطقة ما.

الشكل (8-6أ): نطاق نيومديرد الزلزالي. الموقع عدّة آلاف الكيلومترات بعيدًا عن أقرب حدّ من حدود الصفائح (الخطوط الحمراء).



الشكل (8-6ب): هذا النطاق أكثر الأقاليم عرضة للزلازل في الولايات المتحدة شرق جبال الروكي. تظهر مواقع الزلازل الضعيفة المسجّلة منذ عام 1974م بإشارة زائد (US Geological Survey).



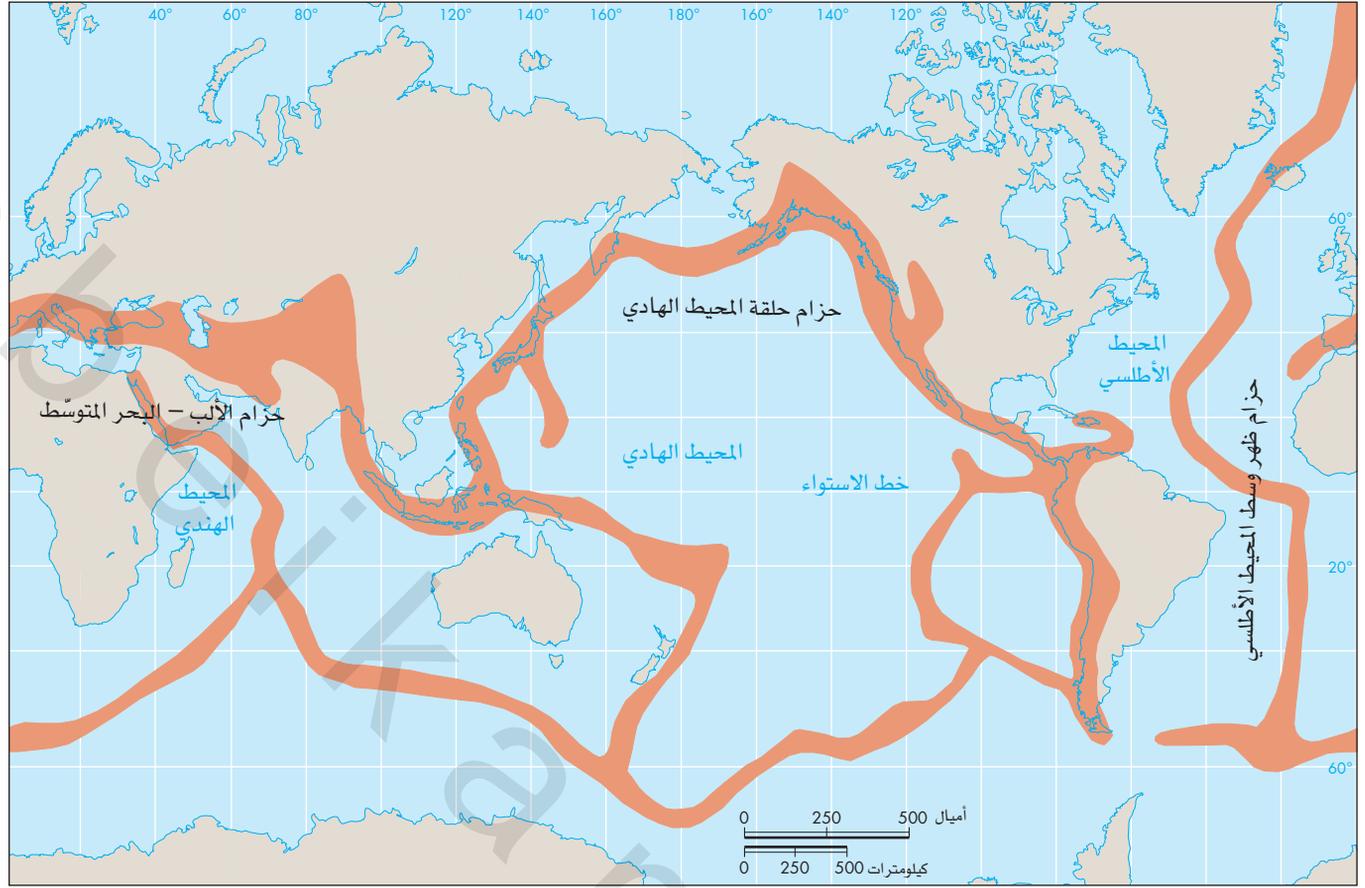
التي تتقوّس الصخور فيها للأعلى، أمّا الطيّات المقعّرة فهي التي تتقوّس الصخور فيها للأسفل، وتبيّن الرسومات في الشكل، أنّ الطيّات المحدّبة تكوّن ظهورًا، والطيّات المقعّرة تكوّن أحواضًا على سطح الأرض، لاحظ أنّ صدوعًا مدفونة تكون في يمين لبّ الطيّتين المحدّبتين، ويؤدّي التصدّع المصاحب للزلازل إلى نهوض جبال الطيّات المحدّبة، وقد يؤدّي إلى هبوط سطح الأرض وغرقه في أودية الطيّات المقعّرة.

من المعتقدات السابقة وإلى وقت قريب، أنّه يمكن وضع معظم الصدوع النشطة على الخرائط؛ لأنّ الزلازل الحديثة جدًّا الناتجة عنها، تؤدّي إلى حدوث كسور سطحية، وقد أدّى اكتشاف أنّ بعض الصدوع مدفونة، وأنّ الكسر الناتج عنها لا يصل دائمًا إلى السطح، إلى صعوبة تقييم أخطار الزلازل في بعض المناطق، (انظر تاريخ حالة، نورث ريدج 1994م).

صدع الدفع (*Thrust Fault*)، أمّا عندما يتحرّك الجدار المعلق للأسفل بالنسبة إلى الجدار القدم، فيُسمّى الصدع صدعًا عاديًا، ويرافق الصدع العكسي وصدع الدفع انكماش وتقلّص في القشرة الأرضية، في حين يرافق الصدع العادي تمدّد القشرة الأرضية واستطالتها.

وتصاحب الصدوع الظاهرة في الشكل (8-8) إزاحة سطحية أو تكسّر، وهناك صدوع تحت سطحية مدفونة (*buried faults*) مصاحبة لطيّ الصخور، إذ لا تنتقل الإزاحة والكسر الناتجة عنها إلى السطح، حتى لو نتج الكسر عن زلزال كبير، مثلما هو الحال في زلزال نورث ريدج.

يبين الشكل (8-9) العلاقة بين صدع عكسي مدفون وطيّ الصخور، إذ يؤدّي تقصير تتابعات الصخور الرسوبية إلى تكوين طيّات تسمى طيّات محدّبة (*anticlines*) وطيّات مقعّرة (*synclines*)، والطيّات المحدّبة هي



الشكل (7-8): أحزمة الزلازل. خريطة العالم تبين مواقع الأحزمة الزلزالية الرئيسية بصورة مظللة

(National Oceanic and Atmospheric Administration)

قطع الصدع نسبة إلى تاريخها الزلزالي، الذي يتضمّن النشاط الزلزالي التاريخي، والنشاط الزلزالي القديم (paleoseismicity) وهذه تمثل دراسة النشاط الزلزالي قبل التاريخ بالاعتماد على البيئات الجيولوجية، وتعدّ العمليات الجيولوجية التي تسبّب تقطيع الصدع، ونشوء الزلازل على قطع محدّدة منها من أهمّ موضوعات الأبحاث العلمية النشطة حالياً.

الصدوع النشطة Active Faults

يعدّ الصدع عند كثير من الجيولوجيين صدعاً نشطاً، إذا ثبت أنّه تحرّك خلال (10,000) سنة ماضية (حين الهولوسين)، ويمتدّ العصر الرباعي إلى قرابة (1.65) مليون سنة، وهو أحدث العصور الجيولوجية، وخلالها تكوّن وجه الأرض الحالي وهيأتها، انظر الجدول (1.1)، وتصنّف الصدوع التي حصلت خلال حين البلايستوسين من العصر الرباعي، أي بين (1,65) مليون سنة وعشرة آلاف سنة، على أنّها صدوع كامنة، انظر الجدول (5-8). أمّا الصدوع التي لم تتحرّك منذ ما يزيد على (1,65) مليون سنة، فعادة ما تصنّف بأنّها صدوع غير نشطة، وما يجدر تأكيده هنا، هو صعوبة تحديد نشاط الصدع عند انعدام الأدلّة سهلة القياس، مثل الزلازل التاريخية؛ لأنّه يتمّ من خلال دراسة تاريخها الزلزالي، وزلازلها القديمة اعتماداً على السجل الجيولوجي، وهذا يتضمّن تعرّف الصخور المتصدّعة، وتحديد عمر أحدث الإزاحات التي تعرّضت لها. كان زلزال نورث ريدج عام 1994م صبيحة السابع عشر من شهر يناير،

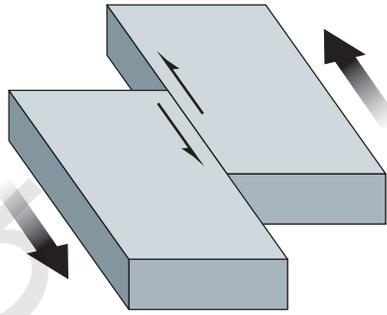
نطاق الصدوع وقطع الصدع

Fault Zones Fault Segments

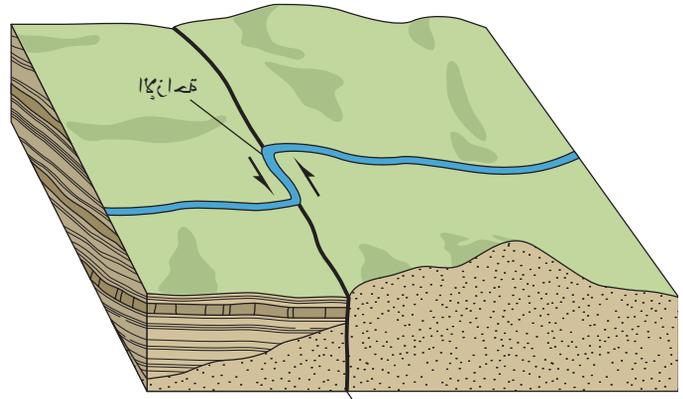
لا تتوافر الصدوع على صورة كسر واحد متّصل، وإنّما تتوافر على صورة نطاق من الصدوع، وهي مجموعة من الصدوع المرتبطة ببعضها، وكثيراً ما تكون موازية لبعضها، إضافة إلى أنّها غالباً ما تتداخل جزئياً، أو قد تشكّل نمطاً مجدولاً، ويتباين نطاق الصدوع في عرضه، فيتراوح بين متر واحد أو قرابة ذلك إلى كيلومترات عدّة.

تتوافر معظم الصدوع الطويلة أو نطاق الصدوع على صورة صدع مقطّع، مثلما هو الحال في صدع سان أندرياس، وتحتفظ كلّ قطعة من القطع بتاريخ منفصل وطبيعة حركة خاصّة، ويطلق على أجزاء نطاق الصدع التي تكسّرت بسبب زلزال تاريخي أو قبل التاريخ مصطلح قطعة زلزالية (earthquake segment)، وعادة ما يتوقف الكسر الناتج عن الزلزال عند الحدود الفاصلة بين قطعتين من الصدع، إلا أنّ الزلازل العظيمة قد تؤثر في قطع عدّة من قطع الصدع، ولذلك يصل طول الكسر الناتج عنها إلى عشرات الكيلومترات؛ ولهذا فإنّ القطعة الزلزالية هي الأكثر أهميّة عند تقييم الأخطار الزلزالية.

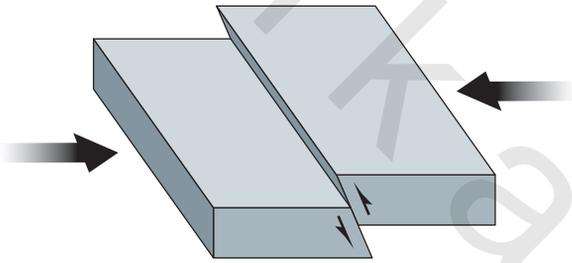
عندما لا يكون التاريخ الزلزالي لنطاق صدعي معلوماً، فيمكن تقسيم النطاق إلى قطع مختلفة، اعتماداً على الاختلافات فيما بينها من الناحية الهندسية والمورفولوجية، إلا أنّه يفضّل في تقييم الأخطار الزلزالية تسمية



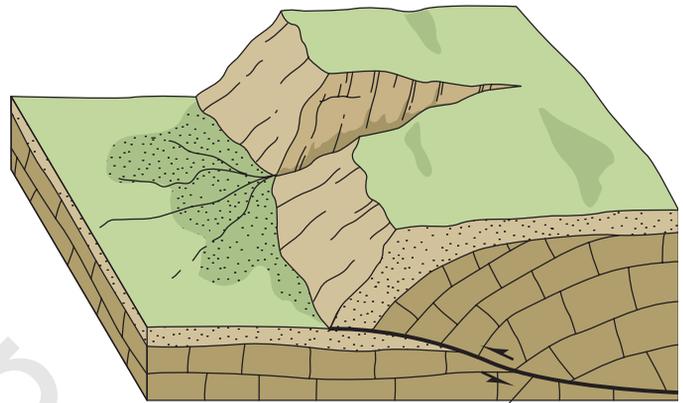
صدع يميني - الحركة الأفقية
الجهد: قص
(الإزاحة أفقية، وإد مزاح)



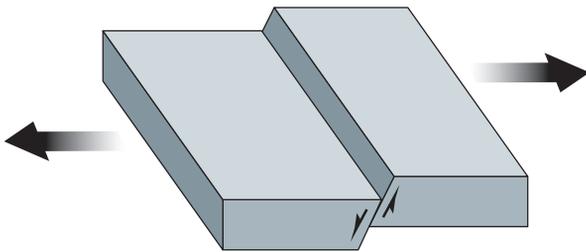
مستوى الصدع
(أ) صدع يميني الحركة الأفقية



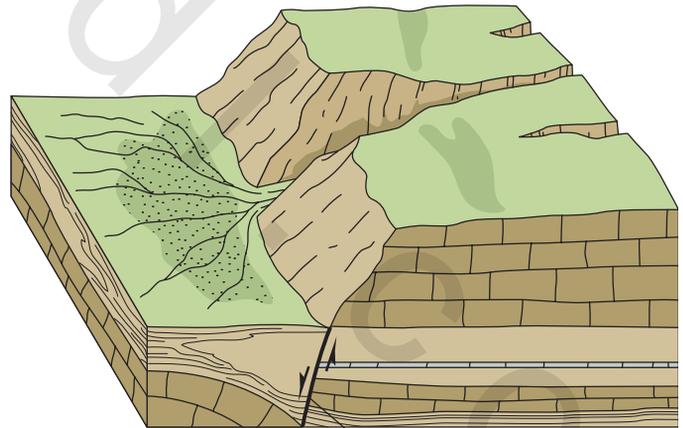
صدع عكسي
الجهد: ضغط
(الدفع إلى الداخل، انكماش)



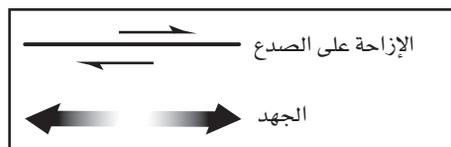
(ب) صدع عكسي (دفعي)



صدع عادي
الجهد: شد
(السحب إلى الخارج، استمالة)

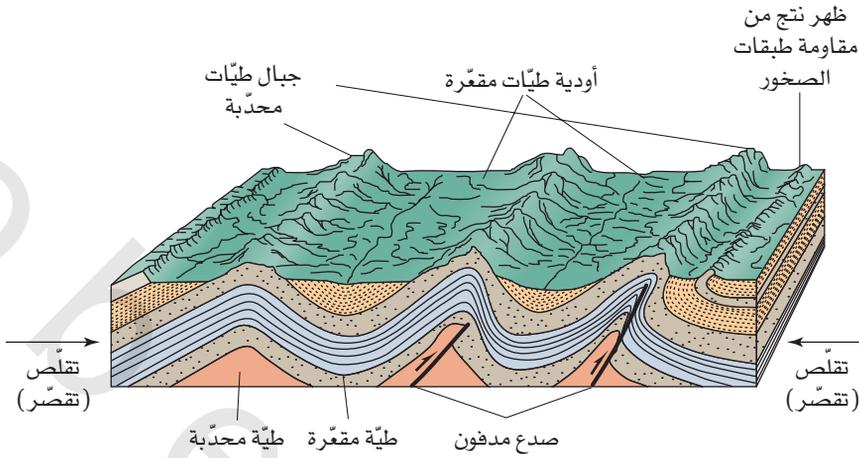


مستوى الصدع
(ج) صدع عادي



الشكل (8-8): الصدوع تغيّر الأرض. أنواع إزاحة الصدوع، وأثرها على صورة سطح الأرض، اعتمادًا على الإحساس بالحركة بالنسبة إلى الصدع.

الشكل (8-9): الصدوع المدفونة. نموذج قالب يوضح أنواع الطيات الشائعة والصدوع العكسية المدفونة، ويوضح احتمالات تأثيرها في صورة سطح الأرض، مثل جبال الطيات المحدبة وأودية الطيات المقعرة (Modified after Lutgens, F., and Tarbuck, E., 1992, *Essentials of Geology*, 4th ed., New York: Macmillan)



CASE HISTORY تاريخ حالة

نورث ريدج، 1994م Northridge, 1994

الشكل (8ب) آلية حركة الصدع. وقد أنتجت الحركة نهوضاً وطيّاً لبعض أجزاء جبال سانتا سوزانا، الواقعة على بعد بضعة كيلومترات شمال نورث ريدج⁽⁷⁾.

أرهب زلزال نورث ريدج الناس وخصوصاً الأطفال، فقد كان الاهتزاز الذي استمرّ قرابة (15) ثانية شديداً، وأوقع النائمين من أسرّتهم، وتناثرت الأشياء في المنازل، ووقعت المداخن، وتشققت الجدران، فأنت الأرض وزارت، كلما مرّت موجة زلزالية عليها، ولم يُعطَ الناس وقت كافٍ، فما إن توقّف الزلزال حتى بدأت الاهتزازات الارتدادية القوية في الحدوث.

تُعرّف ولاية كاليفورنيا الصدع النشط لغايات تحديد النطاقات الزلزالية،

إيقاظاً مؤلماً لأهالي جنوب كاليفورنيا، فقد قتل (57) شخصاً، وسبّب أضراراً تقدّر بـ (40) بليون دولار تقريباً، وتضرّرت كثير من أجزاء الطريق السريع بصورة كبيرة، وما يزيد على 3000 مبنى، (الشكل 8 أ)، ويُعدّ الزلزال من الزلازل المتوسطة، التي وقعت حديثاً في جنوب كاليفورنيا.

نشأ الكسر الذي أحدث الزلزال؛ بسبب أحد الصدوع المدفونة على عمق يصل إلى قرابة (18 km)، وانتشر الكسر سريعاً إلى الأعلى نحو الشمال والغرب، إلّا أنه لم يصل إلى السطح، وتوقّف تحته بكيلومترات عدّة، وفي الوقت نفسه تقدّم الكسر جانبياً (20 km) تقريباً في اتجاه الغرب، يبيّن



(ب)



(أ)

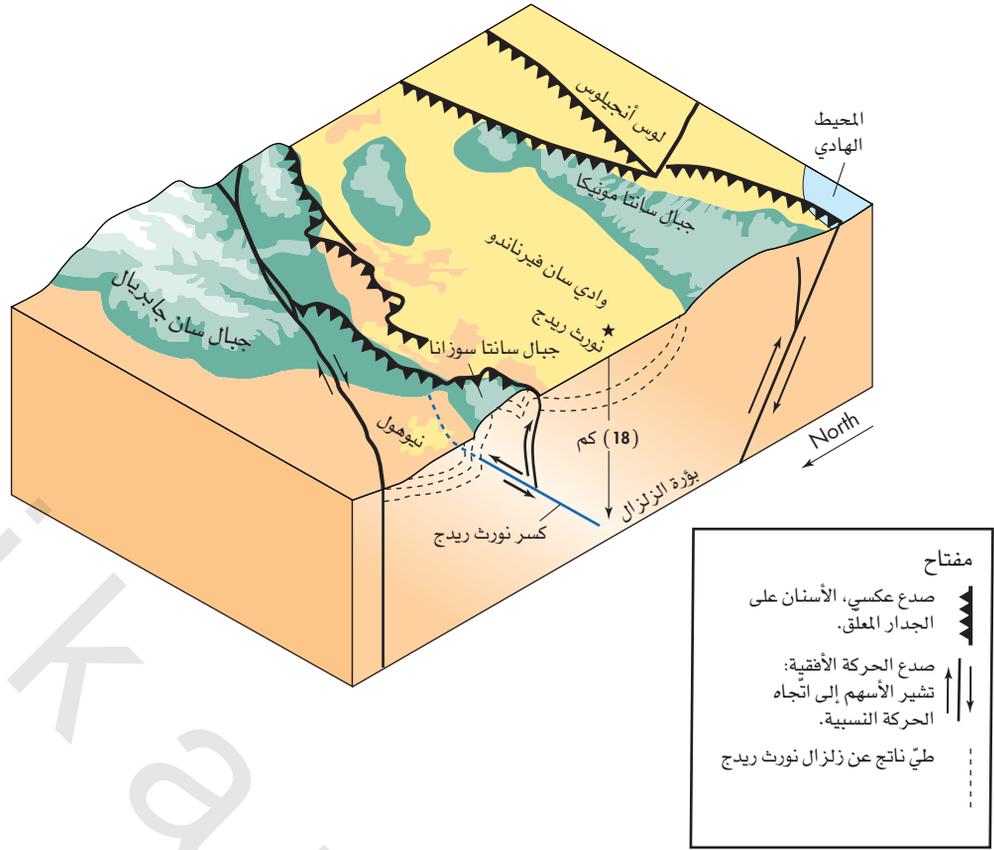
الشكل (8أ): زلزال في منطقة مأهولة في لوس أنجلوس. أضرار زلزال نورث ريدج 1994م (كاليفورنيا). (أ) مصفّ سيارات (R. Forrest Hopson).

(ب) الأضرار التي تعرّض لها مبنى كيسير بيرمانينت (A. G. Sylvester).

الشكل (8 ب): تفاصيل الزلزال. نموذج

قالب يظهر الصدع الذي سبب زلزال نورث ريدج 1994م، خلال الزلزال تعرّضت جبال سانتا سوزانا للطي والرفع بمقدار (38 cm)، وأزيحت (21 cm) في اتجاه الشمال الغربي

(Courtesy of Pat Williams, Lawrence Livermore Laboratory)



لإنشاء محطّات الطاقة النووية. يتضمّن نشاط الصدع مفهومين مهمّين مترابطين، وهما معدّل الإزاحة على الصدع، والفترة التكرارية (مّرات التكرار) الزلزالية، إذ يُعرّف معدّل الإزاحة على الصدع، بأنّه النسبة بين قيمة الإزاحة مقسومة على الفترة الزمنية التي حدثت فيها، فعلى سبيل المثال: إذا تحرّك صدع متراً واحداً خلال 1000 سنة، فيكون معدّل الإزاحة 1mm/yr.

بأنّه الصدع الذي تحرّك في آخر (10) آلاف سنة، وهناك تعريف أكثر تطرّقاً للنشاط الصدعي تستخدمه مؤسّسات أخرى، فعلى سبيل المثال: هيئة الولايات المتّحدة لتنظيم الطاقة النووية، عندما تطلب السلامة الزلزالية لمحطّات توليد الطاقة النووية، تعرّف الصدع المرشّح للنشاط، بالصدع الذي تحرّك مرّة واحدة خلال الخمسين ألف سنة الأخيرة، أو تحرّك أكثر من مرّة خلال الخمس مئة ألف سنة الأخيرة، وهذه المعايير تمنح معياراً أعلى للسلامة، وهي تعكس ازدياد هاجس الأخطار الملازمة

الجدول (5-8): التسميات المرتبطة باستنباط النشاط الصدعي.

العمر الجيولوجي			عدد السنوات	النشاط الصدعي
حقبة	عصر	حين		
القرن الرابع	الرباعي	(الهولوسين) التاريخ	سنة 200	نشط
		بلايستوسين	سنة 10000	كامن
	الثلاثي	ما قبل البلاستوسين	1,65 مليون سنة	غير نشط
	ما قبل الحديثة	65 مليون سنة		
	عمر الأرض		4.5 بلايين سنة	

Source: After California State Mining and Geology Board Classification, 1973.

الزلازل البطيئة Slow Earthquake

الزلازل البطيئة شبيهة بالزلازل الأخرى في أنها تكوّنت بسبب الكسر المصاحب للصدع، والفارق الكبير بينها، أنّ الكسر يكون بطيئاً، فيستمرّ أياماً أو شهوراً، بخلاف الزلازل الأخرى التي يكون فيها الكسر مصاحباً للحظة وقوعها تقريباً، ويكون عزم قوّة الزلزال البطيء في حدود (6 - 7) درجات؛ وذلك لأنّ المساحة المشاركة في الكسر كبيرة غالباً، مع أنّ قيمة الإزاحة المصاحبة للكسر قليلة (1سم تقريباً)، وقد اكتشفت الزلازل البطيئة حديثاً بوصفها أحد أصول العمليات الأرضية، في أثناء تحليل القراءات الجيوديزية المستمرة، أو ما يُعرف بأل (GPS)، وهو جهاز شبيه بالجهاز المستخدم في الملاحة وفي السيارات، إذ يستطيع هذا الجهاز تحديد إزاحة جانبية قليلة جداً، تصل إلى أجزاء من المليمتر، ولهذا السبب استخدم في ملاحظة الإزاحة السطحية، الناتجة عن الزلازل البطيئة؛ لأنّ تكرار هذا النوع من الزلازل (مرّة كل سنة مثلاً) له مساهمة بارزة في تغيير معالم سطح الأرض، وتكوين الجبال في أثناء الزمن الجيولوجي (8).

7-8 الاهتزاز الناتج عن الزلازل

EARTHQUAKE SHAKING

هناك ثلاثة عوامل تحدّد الاهتزاز الذي نشعر به في أثناء وقوع الزلزال، وهي:

- (1) قوّة الزلزال.
 - (2) المسافة التي تفصلنا عن المركز السطحي للزلزال.
 - (3) الظروف المحلية للصخور والترتبة.
- فعندما تكون قوّة الزلزال متوسطة (5.5-9 M) أو أعلى من ذلك، فيتوقّع أن تكون الاهتزازات الناتجة عنها قوية، وهي مسؤولة عن تشقّق الأرض وتراقصها، مسببة بذلك الضرر للمباني والمنشآت الأخرى.

أنواع الموجات الزلزالية

Types of Seismic Waves

تنتقل بعض الموجات الزلزالية الناتجة عن الكسر الصدعي عبر الأرض، وبعضها ينتقل عبر السطح، ويتوافر نوعان من الموجات الزلزالية، وينتقلان بسرعة كيلومترات عدّة / ثانية، وهما: الموجات الأولية (P)، والموجات الثانوية (S)، انظر الشكل (8-11 أ و ب).

يطلق على الموجات الأولية (P) أيضاً مصطلح موجات الضغط، وهي أسرع الموجات الزلزالية، وتنتشر عبر المواد الصلبة والسائلة والغازية، انظر الشكل (8-11 أ)، وتكون سرعتها في الوسط السائل أبطأ بكثير من سرعتها في الوسط الصلب، ومن المدهش أنّها عندما تعبر إلى الغلاف الجوي، تستقبلها أذن الإنسان، وتحسّ بها، وهذا يفسّر سماع الناس للزلازل أحياناً قبل الإحساس بالاهتزازات، الناتجة عن وصول الموجات السطحية.

أما الموجات الثانوية (S)، فيطلق عليها أيضاً مصطلح أمواج الشدّ (التوتر)، وهي تنتشر فقط عبر المواد الصلبة، وتكون سرعتها في الصخور، مثل صخر الجرانيت، نصف سرعة الموجات الأولية في هذا الصخر، وتكون الحركة الناتجة عنها حركة صعود ونزول، أو حركة جانبية عمودية على اتجاه انتشار الموجة، وهي بهذا تشبه حركة حبل الفسيل، عندما تشدّه إلى الأسفل، ثمّ تتركه لينطلق، انظر الشكل (8-11 ب)، وحيث إنّ السوائل لا

ويمكن تحديد متوسط الفترة التكرارية للزلازل (recurrence interval) على أحد الصدوع باستخدام طرق ثلاث، هي:

1. البيانات الزلزالية القديمة: حساب متوسط الفترات الفاصلة بين الزلازل المسجّلة في السجل الجيولوجي.
2. معدّل الإزاحة على الصدع: إذا افترضنا أنّ كلّ زلزال يُحدث إزاحة محدّدة، لذلك نقسم قيمتها على معدّل إزاحة الصدع، ومثال على ذلك: إذا كان متوسط الإزاحة لكلّ زلزال يساوي متراً واحداً، وكان معدّل الإزاحة على الصدع (2 mm/yr)، إذن فإنّ متوسط فترة تكرار الزلزال يساوي (500) سنة.
3. الزلازل التاريخية: دراسة الزلازل التاريخية، وحساب متوسط فترة تكرارها.

تعريف معدّل الإزاحة وفترة التكرار سهل، والحسابات الخاصّة بها حسابات سهلة أيضاً ومباشرة، إلّا أنّ هذين المفهومين أكثر صعوبة ممّا نعتقد؛ لأنّ معدّل الإزاحة على الصدع وفترة تكرار الزلازل تميل إلى التغيّر مع الزمن، ما يشكك في صحّة الحسابات، وإليك المثال الآتي لتوضيح ذلك: فليس مستغرباً أن تتجمّع مجموعة من الزلازل في فترة زمنية قصيرة، ثم تهدأ وتستقر في فترة زمنية طويلة، وعليه، سيغيّر كلّ من معدّل إزاحة الصدع وفترة تكرار الزلازل عليه، وذلك تبعاً للفترة الزمنية التي تمّ الحساب بموجبها.

طرق حساب النشاط الزلزالي هناك كثير من الطرق المستخدمة لحساب النشاط الزلزالي، وهي تتضمن الزلازل التاريخية والزلازل القديمة قبل التاريخ، إذ تُحسب الزلزالية القديمة من خلال دراسة صور الأرض التي تكوّنت أو أزيحت بسبب الصدوع، فقد تشير ظواهر طبيعية إلى حدوث صدع حديث، ومنها على سبيل المثال: تغيّر مفاجئ في مجرى النهر، أو توافر أحواض خسفية، أو توافر ظهور خطية، أو خسف صدعي، أو مرتفع عالٍ ناتج عن حركة الصدع، إلّا أنّه يتعيّن الحرص والتدقيق في محاولة تفسير هذه الظواهر؛ لأنّ بعضها ينتج عن عمليات جيولوجية أكثر تعقيداً.

تعدّ دراسة التربة من الوسائل المفيدة لحساب النشاط الصدعي؛ لأنّها قد تكون على جانبي الصدع متشابهة أو غير متشابهة، فنستطيع عند دراستها تحديد التاريخ النسبي للإزاحة، ويمكن تحديد أعمار الزلازل القديمة أحياناً، باستخدام النشاط الإشعاعي إذا توافرت المواد المناسبة، على سبيل المثال: أستخدم الكربون المشعّ في حساب معدّل الإزاحة لرسوبيات تعرّضت للتصدّع، وحساب فترة تكرار الزلازل الكبيرة.

الزحف التكتوني Tectonic Creep

تُبدى بعض الصدوع النشطة زحفاً تكتونياً، أي إنّها تتحرّك تدريجياً، دون أن تنشأ منها زلازل يمكن الشعور بها، وتؤدّي هذه العملية إلى أضرار بطيئة على الطرق والجدران الاستنادية وعلى أساسات المباني والتراكيب الأخرى، فقد أدّى الزحف التكتوني إلى أضرار على شبكة القنوات تحت السطحية، الموجودة في ملعب كرة القدم التابع لجامعة كاليفورنيا في باركلي، لذلك ظهرت الحاجة المستمرة إلى صيانة الشقوق التي تنتج عن ذلك وإغلاقها، وقد قيست إزاحة بلغت قرابة (3.2 cm) خلال (11) سنة، وسجّلت معدّلات زحف تكتوني أسرع من ذلك على نطاق صدع كالفيراس، وهو أحد أجزاء صدع سان أندرياس، بالقرب من هليستر في كاليفورنيا.

وبلغت قيمة الإزاحة على الصدع عند أحد المصانع قرابة (1 cm) لكلّ سنة، انظر الشكل (8-10)، حيث تحدث الأضرار الناتجة عن الزحف التكتوني -غالباً- على امتداد الصدع الضيق، المعرض للإزاحة القليلة المستمرة.

الشكل (8-10): الزحف التكتوني. (أ) انفصال هذه القناة الأسمنتية في حقول المانديا في منطقة هوليبستر، كاليفورنيا؛ بسبب الزحف الناتج عن صدع سان أندرياس (James A. Sugar/NGS Image Collection).

(ب) يؤذي الزحف على امتداد صدع هايبورد (أحد فروع صدع سان أندرياس) إلى تشويه بطيء، على امتداد ملعب كرة القدم في جامعة كاليفورنيا بيركلي، من خشبة المرمى إلى خشبة المرمى المقابلة. (Courtesy of Richard Allen).



السيزموغراف (جهاز الرصد)

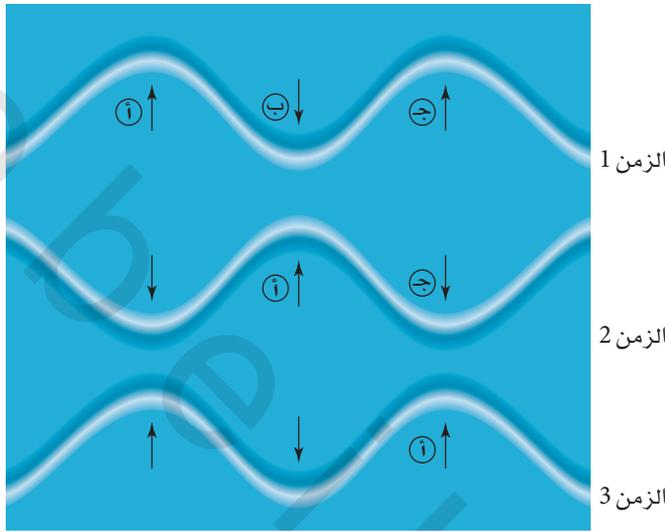
Seismograph

يعرّف السيزموغرام (*seismogram*) بأنه التسجيل المكتوب أو التسجيل الرقمي الناتج عن الزلزال، حيث يتخذ في النموذج الورقي خطاً مستمراً، يُظهر حركات الأرض الأفقية والعمودية، التي تستقبلها محطات التسجيل الزلزالي، وتسجلها أجهزة الرصد، يُظهر الشكل (8-12أ) مكُونات جهاز الرصد البسيط، ويُظهر الشكل (8-12ب) صورة لأحد أجهزة الرصد القديمة، ويبيّن الشكل (8-12ج) تسجيلاً مثاليّاً مكتوباً (سيزموغرام)، ويظهر التسجيل أنّ الأمواج الأولية (P) سبقت الأمواج الثانوية (S) بـ (50)

تعود إلى وضعها، عندما تتعرّض لمثل هذا النوع من الحركة، التي تدعى التوتر الجانبي، فإنها لا تمرّر الموجات الثانوية⁽⁹⁾.

تنشأ أمواج سطحية (R) معقّدة عندما تصل الموجات الزلزالية إلى السطح، حيث تنتقل هذه الموجات عبر سطح الأرض بسرعة أقلّ من الموجات الأولية (P) والموجات الثانوية (S)، ما يتسبّب في معظم الأضرار الزلزالية للمباني والمنشآت الأخرى؛ لأنّ لهذه الأمواج حركة معقّدة، تتكوّن من تحريك الأرض عمودياً وأفقيّاً في الوقت نفسه، أو بصورة دورانية، ما يؤدي إلى تشقّق جدران المباني وأساساتها والجسور والطرق، ومن أهمّ أنواع الموجات السطحية أمواج (R)، التي تظهر في الشكل (8-11ج)، حيث تكون حركة الدوران في اتجاه معاكس لاتّجاه انتشار الموجة الزلزالية، وتكون سعة الموجة عمودياً على اتّجاه الانتشار.

الموجة (S): اتجاه الانتشار



(ب)

الشكل (8-11): الأمواج الزلزالية. نموذج مثالي يبين الفرق بين أمواج (P) وأمواج (S). (أ) تخيل أن أمواج (P) مثل الزنبرك، الذي ينفبض ويتمدد، إن مددته بصورة أفقية على سطح مستو بطول (3 cm)، ثم شدته من اليسار، فينتقل النطاق المتقلص باتجاه اليمين، مثلما هو واضح في الشكل، معدل انتشار أمواج (P) في الصخور كالجرانيت مثلاً، يساوي (6 km/s)، وانتشارها في السوائل أكثر بطءاً، حيث تصبح السرعة (1.5 km/s) في الماء. (ب) وتخيّل أمواج (S)، اربط حبلاً طوله (7 m) في حرسيين، أو استخدم حبل غسيل، شدّ الطرف الأيسر من الحبل إلى الأعلى ثم أتركه، ستتكوّن موجة، وتنتقل إلى اليمين صعوداً ونزولاً، وتكون الإزاحة في الأمواج (S) عمودية بالنسبة إلى اتجاه انتشار الموجة، بعكس الإزاحة الناتجة من أمواج (P)، التي تدفع وت سحب بالاتجاه نفسه لانتشار الموجة. إن النقاط (أ) و(ب) و(ج) نقاط محددة للموجة في أوقات مختلفة، وتنتقل أمواج (S) عبر الصخور (مثل الجرانيت) قرابة (3 km/s)، ولانتقل في السائل. (ج) الأمواج السطحية أو أمواج (R)، لاحظ أن الحركة الرأسية متعامدة مع اتجاه انتشار الموجة، وأن الحركة الدائرية معاكسة لاتجاه انتشار الموجة، وغالباً ما تكون أكثر الأمواج الزلزالية ضرراً.

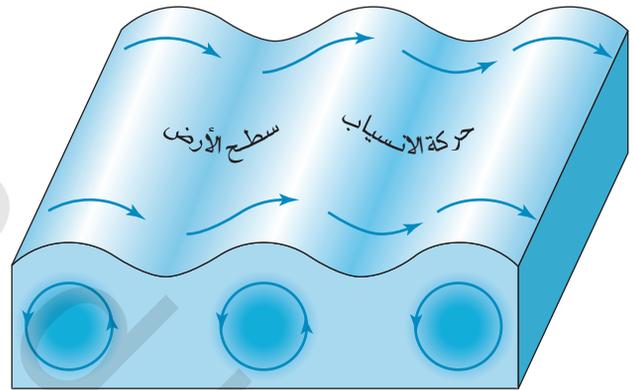
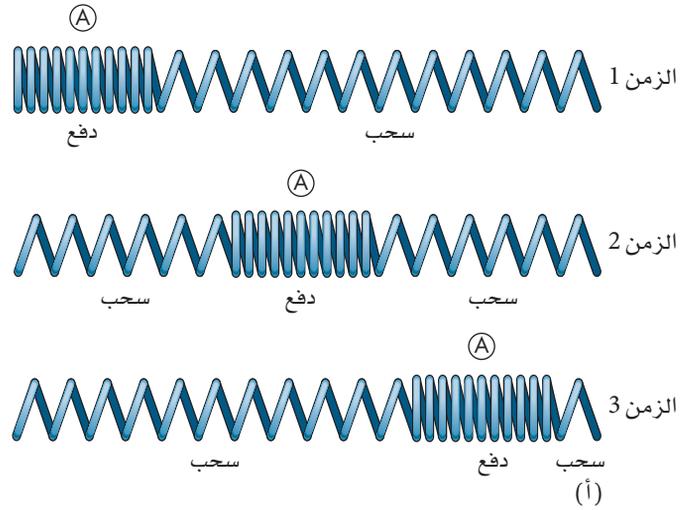
عرّفت هذه القيمة حسابياً، باستخدام الفرق بين قيمة (S-P) وسرعة الأمواج (P) وسرعة (S) التي ذكرت سابقاً، علماً بأن هذه الحسابات ليست مطلوبة، مع أن المسافة حُدّدت، وهي (420 km)، إلا أن الاتجاه الصحيح لموقع المركز السطحي للزلزال غير معلوم من جهاز الرصد، إذ يُحدّد الاتجاه عندما تُحلّل البيانات المسجّلة على عدد كبير من محطات الرصد، باستخدام نماذج حاسوبية، حيث يُستخدم النموذج لمعرفة العمق ولحساب زمن انتقال الأمواج الزلزالية من بؤرة الزلزال إلى كل من أجهزة الرصد، مثلما هو واضح في الشكل (8-13)، وتُعدّل بعد ذلك بيانات مسافة البؤرة وعمقها الواردة من الأجهزة جميعها، للحصول على أفضل تطابق للبيانات، ويمكن أيضاً تحديد موقع المركز السطحي للزلزال وعمق بؤرة الزلزال باستخدام عمليات التقريب.

تردد الأمواج الزلزالية

Frequency of Seismic Waves

من الخصائص المهمة الأخرى للزلازل والأمواج الزلزالية ترددها، ويُقاس بالدورة لكل ثانية أو هيرتز (Hz)، ولفهم تردد الموجة، تخيّل أن موجة من

الموجة (P): اتجاه الانتشار



الموجة (R): اتجاه انتشار موجة سطحية

(ج)

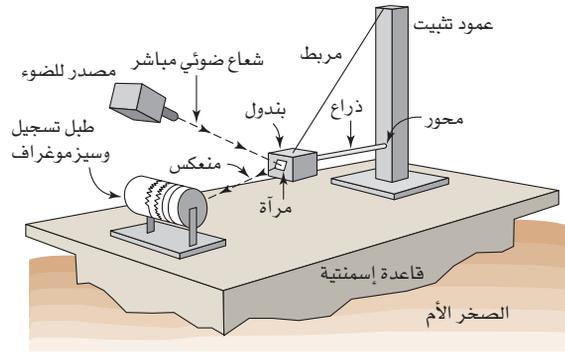
ثانية، وسبقت الأمواج السطحية (R) بدقيقة واحدة وأربعين ثانية، وتتميّز سعة الأمواج السطحية (R) بأنها أكثر الأمواج سعة، وهي غالباً ما تؤدي إلى أعلى الأضرار في الأبنية.

يظهر الشكل (8-12د) أثر المسافة على السيزموجرام المسجّل للزلزال نورث ريدج، كاليفورنيا (M6.7) الذي وقع عام 1994م، ويبين الشكل ثلاثة أجهزة رصد موجودة في مناطق باسادينا، وهي قريبة من المركز السطحي للزلزال، وتبعد عنه (38 km)، ومنطقة غولدمستون التي تبعد (195 km) عن المركز، ومنطقة نيدلز، وهي الأبعد عن المركز، حيث تبعد عنه (356 km)، إذ بدأت الاهتزازات بوصول الأمواج الأولية (P)، لاحظ أن الأمواج تصل أولاً إلى باسادينا بكثافة عالية، ثم تصل بعد ذلك إلى نيدلز.

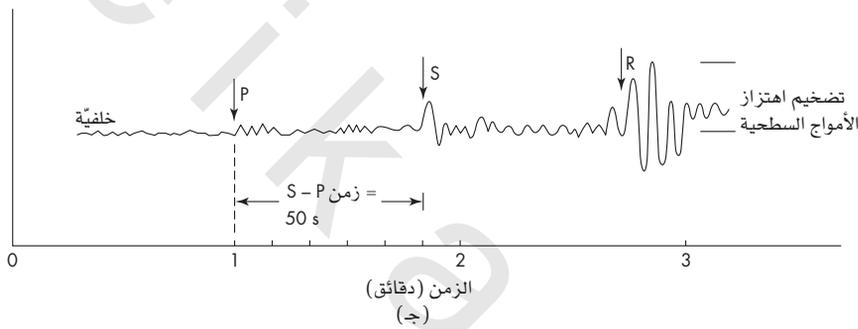
يستخدم الفرق في زمن وصول أمواج (S) وأمواج (S-P) (P) إلى أجهزة الرصد، لتحديد موقع المركز السطحي للزلزال، الذي يتطلب بصورة دقيقة الحصول على ثلاثة سيزموجرامات من ثلاثة مواقع مختلفة، فعلى سبيل المثال: تعني الخمسون ثانية التي ذكرت في الشكل (8-12ج)، أن المسافة بين المركز السطحي للزلزال وجهاز الرصد تبلغ قرابة (420 km)، وقد



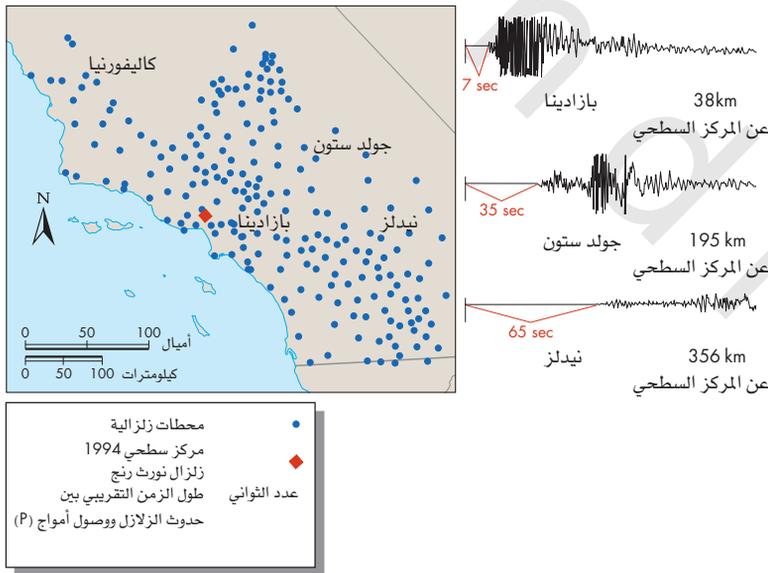
(ب)



(أ)



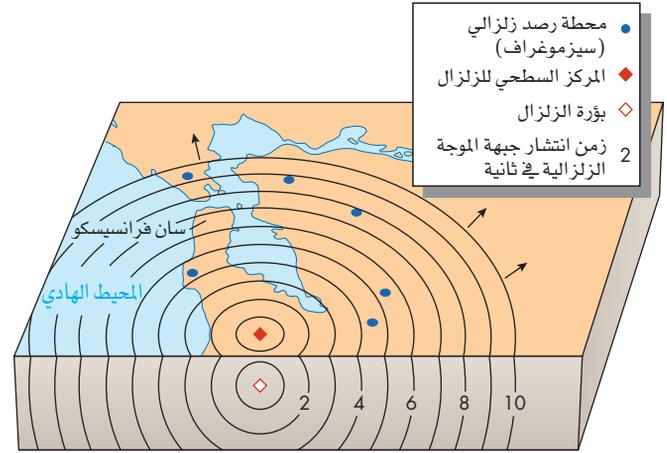
(ج)



(د)

الشكل (8-12): جهاز الرصد (سيزموغراف). (أ) يبيّن كيفية عمل جهاز سيزموغراف بسيط. (ب) جهاز سيزموغراف حديث في مركز المحيط الهادي لعلوم الأرض في كندا. زلزال سياتل (M 6.8) في 28 فبراير 2001م (Ian McKain / AP Wide World Photos). (ج) سيزموغرام مثالي لأحد الزلازل. سعة أمواج (R) أكبر من سعة الأمواج الأخرى (P) و(S)، ويخبرنا الزمن $(S-P)=50$ ثانية بأنّ المركز السطحي للزلزال يبعد (420 km) عن جهاز السيزموغراف. (د) الفرق في زمن الوصول وكثافة الاهتزازات، التي سجّلت في ثلاث محطات، تبعد عن المركز السطحي لزلزال نورث ريدج، كاليفورنيا من (38 km) وحتى (356 km). لاحظ أنّه كلما زادت المسافة زاد زمن وصول الاهتزازات، وقتلت سعة أمواج الاهتزاز (Modified from Southern California Earthquake Center).

لفهم الأخطار الناتجة عن الاهتزاز، وهما: (1) قد تتضرر كل من الأبنية المنخفضة والأبنية العالية، نتيجة الأمواج الزلزالية عالية التردد وقليلة التردد، بالقرب من المركز السطحي للزلزال. (2) كلما ابتعدنا عن المركز السطحي للزلزال، تضعف الأمواج الزلزالية عالية التردد أو تتلاشى، نتيجة لاضمحلالها (*Attenuation*)، حيث تتلاشى الاهتزازات الشديدة بسرعة كلما زادت المسافة، ولهذا يطلق على الزلازل القريبة مصطلح زلازل صادمة، ويطلق على الزلازل البعيدة زلازل تموجية، إذ تنتقل الموجات الزلزالية منخفضة التردد ($0.1 - 0.5$ Hz) مسافات طويلة، دون أن تضمحل، لذلك تستطيع أن تُوقع أضراراً في المباني العالية، البعيدة جداً عن مركز الزلزال، وهذه الحقيقة تعدّ مهمة جداً؛ من أجل التخطيط لتقليل أضرار الزلازل وخسارة الأرواح، فيجب أن تُصمّم المباني الشاهقة لتقاوم الاهتزاز الناتج عن الأمواج الزلزالية، حتى لو كانت بعيدة مئات الكيلومترات عن الصدوع الكبيرة، المرشحة لتكوين زلازل قوية وكبيرة.



الشكل (8-13): تحديد موقع زلزال. نموذج مثالي لمنطقة سان فرانسيسكو، كاليفورنيا، حيث تنتشر مقدّمة الموجة الزلزالية من بؤرة أحد الزلازل. يمكن أن يستخدم زمن وصول الموجة الزلزالية إلى محطات الرصد، في تحديد مكان المركز السطحي للزلزال، وعمق البؤرة باستخدام حسابات رياضية. (*US Geological Survey*)

الماء تنتقل عبر سطح المحيط، كأنها موجة زلزالية، فإذا كنت عند نهاية رصيف بحري، وسجلت الزمن اللازم لانتقال قمة كل موجة من عندك وحتى الشاطئ، فإنّ متوسط الفترة الزمنية بين قمتين يسمّى فترة الموجة، وتقاس عادة بالثانية، ولو عدت أنّ مرور كل موجة من عندك استغرق دورة واحدة، وأنّ مرور الموجة الواحدة من الرصيف وحتى الشاطئ استغرق (10) ثوانٍ، فتكون فترة الموجة (10) ثوانٍ، وبهذا يكون عدد الموجات (6) موجات/الدقيقة، أمّا تردد الموجات في الدورات لكل ثانية، فيبلغ دورة واحدة مقسومة على (10) ثوانٍ أو 0.1 Hz، ولو عدنا إلى الأمواج الزلزالية فإنّ تردد معظم موجات (P) وموجات (S) يكون بين 0.5 Hz و 20 Hz، أو $(2/1)$ دورة إلى (20) دورة في الثانية، وبذلك يكون تردد الأمواج السطحية أقلّ من تردد الموجات الأخرى، وغالباً أقلّ من 1 Hz.

لماذا يُعدّ تردد الموجة مهمّاً؟ تتكوّن في أثناء وقوع الزلزال أمواج زلزالية ذات مدى واسع من الترددات، ويلاحظ تكوّن اهتزازات كثيفة للأرض قريباً من المركز السطحي للزلزال كبير، حيث تؤدي الاهتزازات عالية التردد إلى اهتزاز الأبنية المنخفضة، فيما تؤدي الاهتزازات منخفضة التردد إلى اهتزاز الأبنية الشاهقة المرتفعة، وهناك نقطتان مهمتان

تضخيم المادّة للموجات الزلزالية

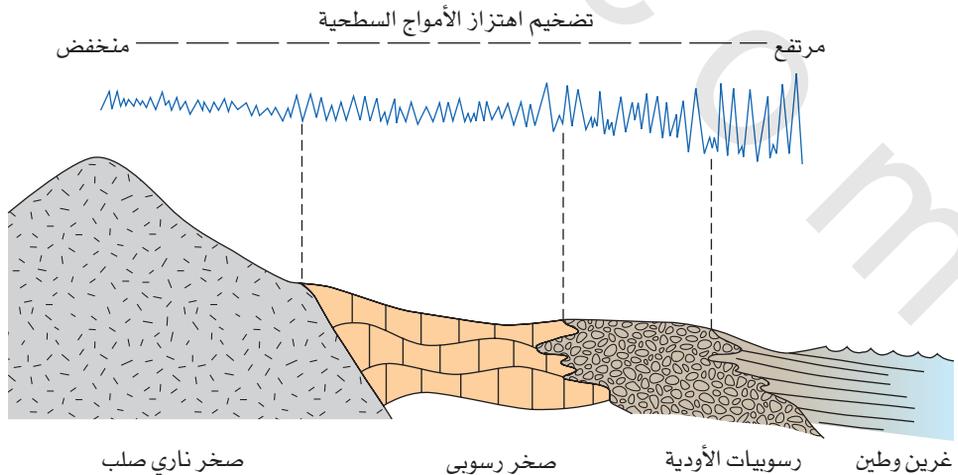
Material Amplification

تستجيب الموادّ الأرضية المختلفة، مثل الصخور والرسوبيات الحديثة (رمل وحصى) والغرين والطين للاهتزازات الزلزالية بطرق مختلفة، فعلى سبيل المثال: تكون شدّة الاهتزازات أو حركة الأرض القوية للرسوبيات غير المتماسكة، أشدّ خطراً من الصخر، ويبيّن الشكل (8-14) كيف تتزايد قوّة الاهتزاز الرأسي (تتضخّم) في الرسوبيات غير المتماسكة، مثل الغرين والطين، ويسمّى هذا التأثير تضخيم المادّة.

لقد أظهر زلزال مدينة مكسيكو ($M 8.1$)، أنّ المباني المقامة على موادّ قابلة لإبراز الاهتزازات الزلزالية وزيادتها أكثر تعرّضاً للزلازل، حتى لو كان مركز الزلزال بعيداً عنها مئات عدّة من الكيلومترات، وعلى الرغم من احتواء الأمواج الزلزالية الناتجة عن الزلازل البحرية على ترددات متعدّدة، إلّا أنّ ما يصل منها إلى المدينة، تلك التي لها ترددات ضعيفة ($0.1 - 0.5$ Hz)، ومن المتوقع أنّه لو ضربت موجات زلزالية قاع البحيرة تحت مدينة مكسيكو، فإنّ سعة تلك الأمواج ستزداد، عندما تصل إلى السطح بأربعة إلى خمسة أضعاف تقريباً. يظهر الشكل (8-15) خريطة جيولوجية للمدينة وموقع أكثر الأضرار، فقد أدت الاهتزازات الكثيفة المنتظمة إلى تآرجح المباني، وإلى انهيار كثير من الطوابق العليا ووقوعها فوق الطوابق السفلى، مشكلة ما يشبه "البان - كيك"⁽¹⁰⁾.

الشكل (8-14): تضخيم الاهتزاز. علاقة

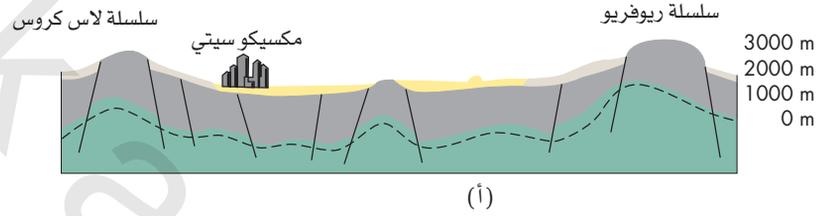
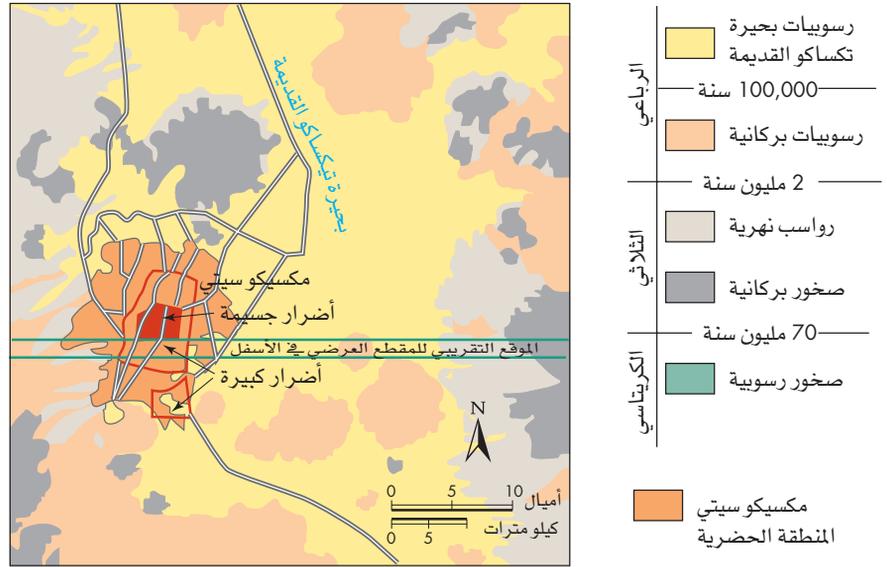
علاقة بين نوع الموادّ الأرضية السطحية وتضخيم الاهتزازات في أثناء حدوث زلزال.



الشكل (8-15): أضرار زلزال مدينة مكسيكو.

(أ) خريطة جيولوجية عامة لمكسيكو سيتي، تبيّن موقع رسوبيات بحيرة تيكساكو القديمة، حيث وقعت أضرار هائلة. يظهر النطاق الذي تعرّض لأضرار جسيمة باللون الأحمر، والنطاق الذي تعرّض لأضرار كبيرة باللون الأحمر الغامق. أحد المباني الكثيرة التي انهارت عام 1985م في أثناء الزلزال (M 8.1)

(Both courtesy of T. C. Hanks and Darrell Herd/ US Geological Survey)



أقل في أجزاء الطريق الأخرى، التي بُنيت على رسوبيات حديثة قديمة وقوية، ولذلك صمدت الإنشاءات فيها، وسُجّلت أيضًا أضرار جسيمة في المنطقة البحرية (Marina) في سان فرانسيسكو، انظر الشكل (8-18): لأنّها بُنيت أيضًا على ركام الخليج والطين، إضافة إلى الانقراض التي طمرت في الخليج، بعد إزالة الركام الذي نتج عن زلزال عام 1906م⁽¹¹⁾.

لقد أظهر زلزال لوما بريتا (M 7.1) أيضًا، الذي وقع في جنوب سان فرانسيسكو عام 1989م قابلية تضخيم الأمواج الزلزالية السطحية، لإحداث الضرر بنتائج مأساوية، ويبين الشكل (8-16) المركز السطحي للزلزال، والمناطق التي ضُخّمت الاهتزازات بصورة كبيرة، انهار طريق معلق على جزء من الطريق الرئيس، المقام على الطين وركام الخليج، ما أدى إلى مقتل (41) شخصًا، انظر الشكل (8-17)، وكان الاهتزاز

تسارع الأرض أثناء الزلزال

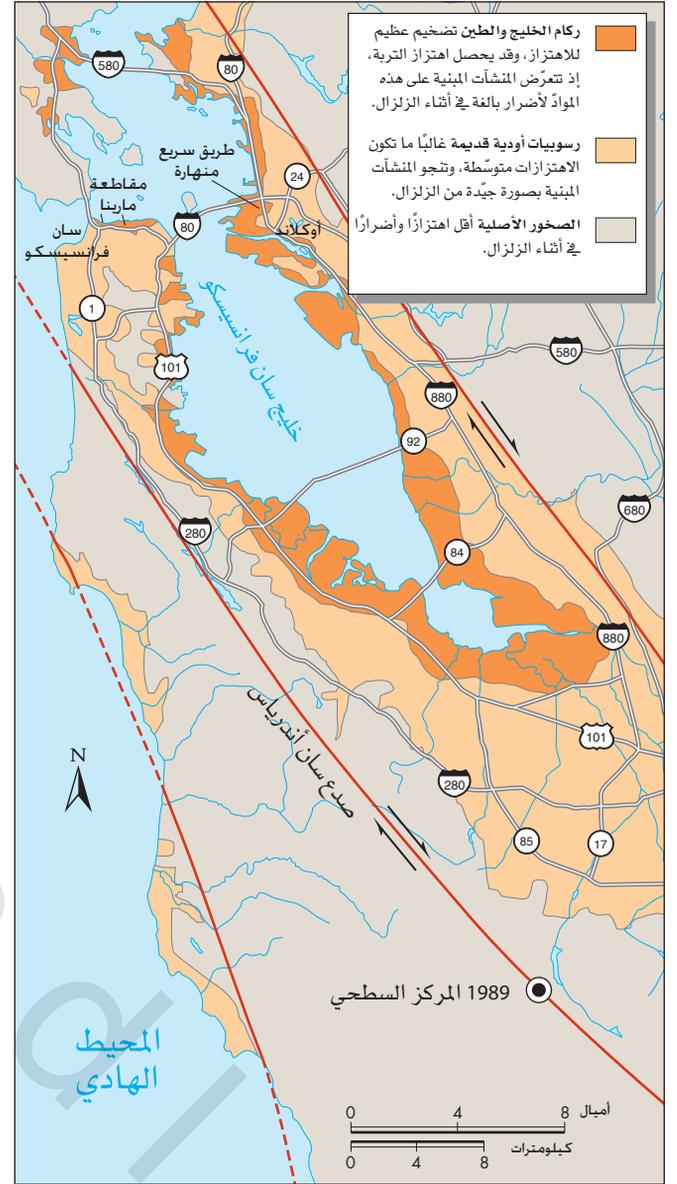
Ground Acceleration during Earthquakes

يمكن وصف حركة الأرض القوية الناتجة عن الزلازل في ضوء السرعة التي تنتقل فيها الأمواج (P) و(S) و(R)، خلال الصخور عبر سطح الأرض، حيث تنتقل هذه الموجات في العادة بسرعة كيلومترات عدّة / الثانية، وتشبه هذه السرعة الوحدات التي تستخدم لوصف سرعة قيادة السيارة، أي (100 km/hr) مثلًا، إلا أنّ سرعة الأمواج الزلزالية أسرع بكثير من سرعة قيادة السيارة، فتصل قرابة (20000 km/hr)، وهي تساوي سرعة دوران مركبة فضائية في مدار حول الأرض تقريبًا.

يعتمد الضرر الذي تتعرّض له المنشآت من اهتزازات الأرض على عاملين، هما: سعة الموجة الزلزالية السطحية، ومعدّل تغيّر سرعة الأمواج الزلزالية مع الزمن، الذي يطلق عليه مصطلح التسارع، وقد تعلّمت في الفيزياء، أنّ تسارع الجاذبية الأرضية يساوي (9.8) أمتار في الثانية لكل ثانية، ويكتب (9.8 m/s^2) ، ويعرف هذا التسارع بـ (1 g)، ولو أنّك هبطت بالمظلة من الطائرة في أثناء السقوط الحر لثوان عدّة، لاخترت معنى تسارع الجاذبية (1g)، فعند نهاية الثانية الأولى من السقوط تكون سرعتك (9.8 m/s) ، أمّا عند نهاية الثانية الثانية، فتكون سرعتك (20 m/s) تقريبًا، وأمّا في نهاية الثانية الثالثة، فتكون السرعة قرابة (30 m/s) ، هذه الزيادة أو معدّل التغيّر في السرعة مع الزمن يسمّى التسارع.

تؤدّي الموجات الزلزالية إلى تسارع الأرض رأسيًا وأفقيًا، مثلما هو الحال في السيارة، فلو أنّك ضغطت دعة البنزين، فستتسارع السيارة أفقيًا، تقوم أجهزة مصمّمة خصيصًا، تدعى أجهزة قياس التسارع بقياس تسارع الأرض وتسجيله في أثناء الزلزال، ويستخدم تسارع الجاذبية الأرضية في دراسات الزلازل بوصفه وحدة قياس للتعبير عن التسارع، أي إنّه لو كان تسارع الأرض (1 g)، فتكون قيمة التسارع (9.8 m/s^2) ، ولو كان تسارع الأرض (0.5 g)، فتصبح قيمة التسارع (5 m/s^2) تقريبًا، وهكذا.

إنّ السبب الوحيد لاهتمامنا بتسارع الأرض في أثناء الزلزال، هو أنّ المهندسين يصمّمون المباني لتحملّ الزلزال، وأنّ العامل الذي يؤخذ في الحسبان، هو مصطلح تسارع الأرض الأعظم، الذي يعبر عن التسارع الأفقي للأرض، والمسؤول عن معظم أضرار المباني، فمثلًا: ينتج عن زلزال بقوة (6.9 - 6.0 M) (معظم الزلازل القوية في جنوب كاليفورنيا) تسارع أرضي أفقي بقيمة تصل بين (0.3 - 0.7 g)، مع وجود قيم محدودة تصل (1.5 g) قريبًا من المركز السطحي، إذ يؤدّي التسارع الأفقي الذي يزيد على (0.3 g) إلى أضرار في بعض المباني، ويصبح الضرر شاملًا وعمامًا عند (0.7 g)، إلا إذا صمّمت المباني، وبيّنت لمقاومة الاهتزازات الأرضية القوية؛ لذلك، إن أردنا أن نصمّم مبنى يقاوم زلازل بقوة (6.9 - 6.0 M)، فيتعيّن علينا أن نصمّمها تقاوم -من باب الاحتياط- تسارعًا أرضيًا يصل بين (0.6 - 0.7)، خذ مثلًا المنازل التي تبني بالطوب، مثلما هو شائع في المكسيك وأمريكا الجنوبية والشرق الأوسط، فهي لا تقاوم الزلازل، وتتهار عند تسارع أفقي يبلغ (0.1 g) ، وإضافة إلى ذلك، تُعدّ المباني المبنية من الباطون الجاهز غير المسلح، عالية التعرّض للضرر على تسارع يصل بين (0.2 - 0.3 g)، وقد ظهر هذا بوضوح في زلزال ساخالين في روسيا عام 1995م بقوة (7.5 M) . فقد قتل (2000) من (3000) شخص، يعيشون في مدينة نيفيتجورسك، عندما انهارت (17) عمارة مبنية بالباطون الجاهز، وتحوّلت إلى ركام، انظر الشكل (8-20).



الشكل (8-16): زلزال لوما بريتا. منطقة خليج سان فرانسيسكو. يظهر الشكل موقع صدع سان أندرياس والمركز السطحي لزلزال 1989م بقوة (7.1 M). وقع معظم الاهتزاز العنيف في منطقة ركام الخليج والطين، حيث انهار الطريق السريع، وتضرّرت المنطقة البحرية. (Modified after T. Hall. Data from US Geological Survey)

التوجيه Directivity

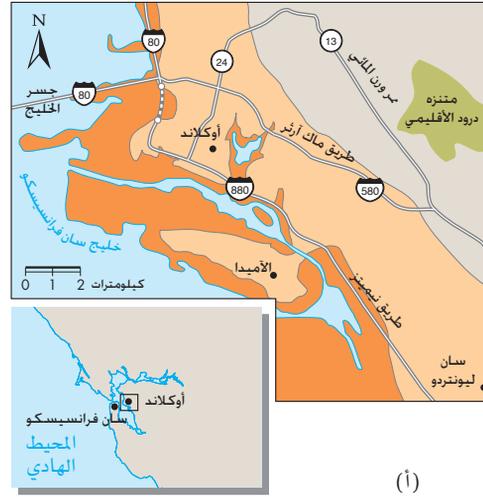
يبدأ الكسر في الصخور في نقطة على مستوى الصدع، ويتشعب، وينتشر منها، فكلما زادت مساحة الكسر كبر حجم الزلزال، ويُعدّ التوجيه أحد عوامل تضخيم الاهتزازات، الذي ينتج لأنّ سعة الاهتزاز الزلزالي تزداد في اتجاه الكسر الصدعي، فعلى سبيل المثال: كان اتجاه الكسر الصدعي لزلزال نورث ريدج عام 1994م صعودًا نحو الشمال، ثم في اتجاه الغرب، ما أدّى إلى حدوث أشدّ الاهتزازات الزلزالية في الشمال الغربي (الشكل 8-19)، ويعتقد أنّها نتجت بسبب إزاحة كتلة من الأرض (كتلة الجدار المعلق) إلى الأعلى وفي اتجاه الشمال الغربي⁽⁷⁾.

الشكل (8-17): انهيار الطريق السريع.

(أ) خريطة جيولوجية عاقة لجزء من خليج سان فرانسيسكو، تبين موقع ركام الخليج والطين ورسوبيات الأودية القديمة

(Modified after Hough, S. E., et al., 1990, Nature 344 (6269): 853-55. Copyright © Macmillan Magazines Ltd., 1990. Used by permission of the author).

-  انهيار مقطعين معلّنين من طريق نيمس السريع
-  ركام الخليج والطين تضخيم عظيم للاهتزاز، وقد يحصل اهتزاز التربة، إذ تتعرض المنشآت المبنية على هذه المواد لأضرار بالغة في أثناء الزلزال.
-  رسوبيات أودية قديمة غالباً ما تكون الاهتزازات متوسطة، وتنجو المنشآت المبنية بصورة جيّدة من الزلزال.



(أ)



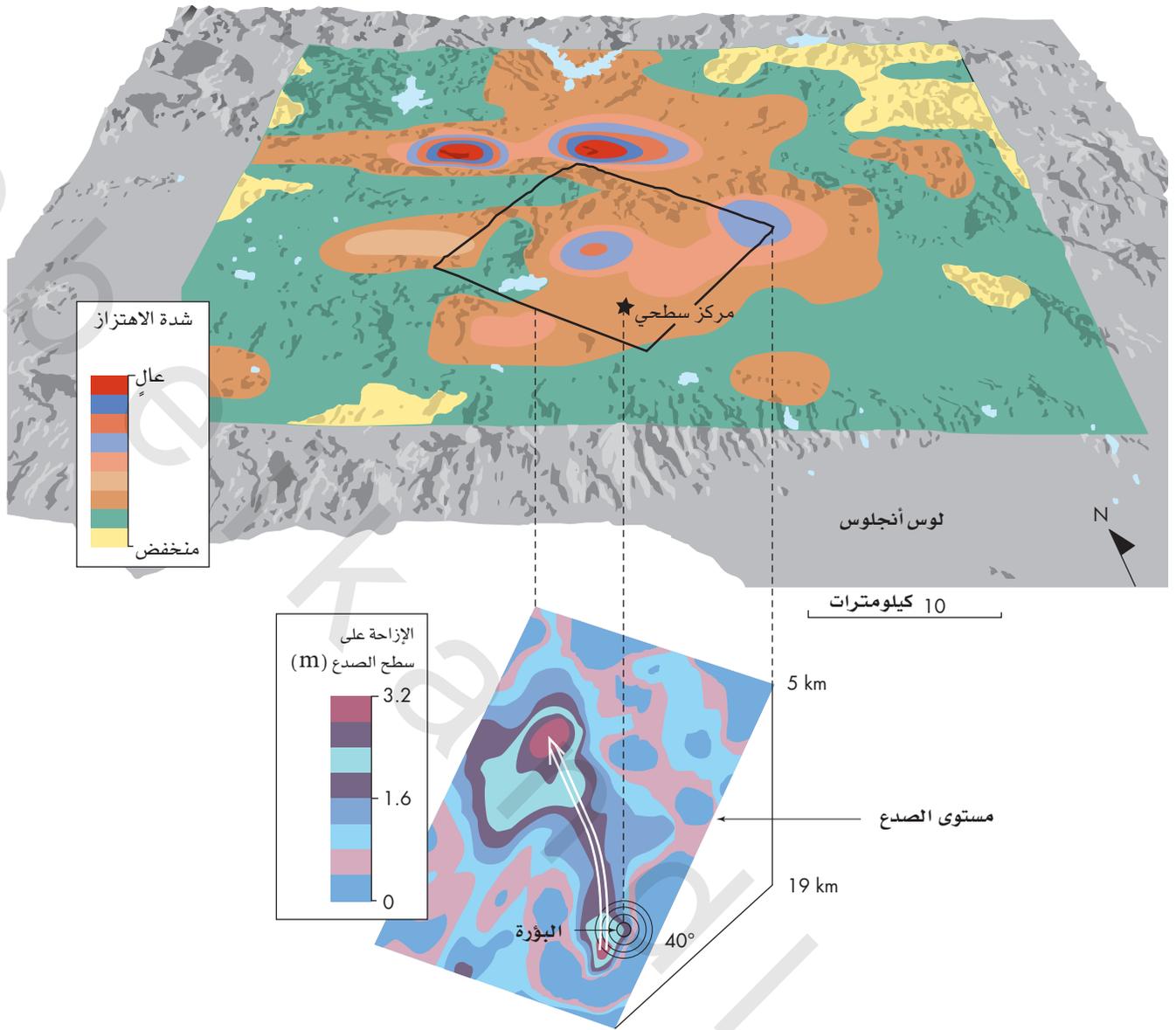
(ب)

الشكل (8-18): أضرار الزلزال. الأضرار التي تعرّضت لها

المباني في المنطقة البحرية في سان فرانسيسكو، الناتجة عن زلزال عام 1989م بقوة (M 7.1).

(Hohn K. Nakata/ Us Geological Survey).





الشكل (8-19): المركز السطحي للزلازل وممر الكسر. منظر جوي لمنطقة لوس أنجلوس من الجنوب. يبين موقع المركز السطحي للزلازل نورث ريدج عام 1994م بقوة (6.7 M). ويبين قيمة الاهتزازات الأرضية (cm/s)، ومستوى الصدع في وضعه تحت السطحي. يُظهر الشكل ممر الكسر ومقدار الإزاحة الناتجة (م) على امتداد مستوى الصدع، وكانت المساحة التي حدث عليها الكسر قرابة (430 km²). يميل مستوى الصدع (40°) في اتجاه جنوب - جنوب غرب، لاحظ أن الإزاحة العظمى والشدة العظمى سجّلت في الجهة الشمالية الغربية من المركز السطحي للزلازل. ويبدو أن الكسر قد بدأ أولاً عند البؤرة في الجزء الجنوبي الشرقي من مستوى الصدع. وتقدّم إلى الأعلى وإلى الشمال الغربي، كما تشير الأسهم. (US Geological Survey 1996 Response fan urban earthquake, Northridge 94, Us Geological survey open file report 96-263).

عام 2002م، ومن الواضح أن القصّ العظيم يحدث غالباً مصاحباً للزلازل صدوع الحركة الأفقية، التي تكسر على امتداد جزء طويل مستقيم، يصل طوله من عشرات عدّة إلى مئات عدّة من الكيلومترات.

عمق البؤرة Depth of Focus

تذكر أن البؤرة هي النقطة أو المنطقة في باطن الأرض، التي يبدأ عندها الكسر، انظر الشكل (8-1)، ويتراوح عمق البؤرة من كيلومترات قليلة إلى أعماق تصل إلى (700 km) تحت سطح الأرض، وتحدث أعمق الزلازل في نطاقات الغوص، حيث يغرق لسان الغلاف الصخري المحيطي في أعماق

القصّ الكامل Supershear

يحدث القصّ الكامل عندما تكون سرعة انتشار الكسر أعلى من سرعة موجات القصّ أو الموجات السطحية، وتكون النتيجة مشابهة لما يحدث عندما تخترق طائرة جدار الصوت، وتقوم سرعتها سرعة الصوت، ما يؤدي إلى حدوث انفجار صوتي، إذ يمكن أن تنتج عن القصّ الكامل أمواج اهتزازية، تؤدي إلى تحريك الأرض بقوة على امتداد الصدع، وقد تؤدي زيادة القصّ والاهتزاز إلى زيادة الضرر بصورة خطيرة من الزلازل الكبير، وقد تمّت ملاحظة القصّ العظيم أو تمّ الشك في حدوثه في عدد من الزلازل السابقة، مثل زلزال سان فرانسيسكو عام 1906م، وزلزال ديناالي في الأسكا

الشكل (8-20): مبانٍ منهارة في روسيا.

صفوف من بنايات مكوّنة من خمسة طوابق، بنيت من الباطون الجاهز غير المسلح، وقد دقرت بفعل زلزال عام 1995م، الذي ضرب جزيرة ساخالين في روسيا بقوة (M 7.5). (Tanya Makeyevka / AP / Wide World Photos).



يعرّف الإجهاد بأنه تشوّه الصخور نتيجة تعرّضها للجهد، ويعتقد أنّ الإجهاد المرن، هو التشوّه في الصخور غير الدائم، أي يعود الصخر إلى وضعه وصورته الأصلية بعد تحرير الجهد، وإذا زاد الجهد على الصخر إلى الحد الذي ينكسر فيه يصبح التشوّه دائماً، على سبيل المثال: لو شددت شريطاً مطاطياً، أو ثنيت قوساً نشاباً، واستمر الشدّ والثني، لانقطع الشريط المطاطي، وانكسر القوس النشاب، وعندما انقطع الشريط وانكسر القوس، فإنهما يرتدان إلى وضعهما السابق، وتتحرّر الطاقة الكامنة فيهما، يحدث مثل هذا التأثير بعد وقوع الزلزال، ويسمّى الارتداد المرن، انظر الشكل (8-22)، فعند الزمن (1): لا يوجد إجهاد على جانبي الصدع، ولا يوجد تشوّه، وعند الزمن (2): يبدأ بناء الإجهاد المرن، الذي تكوّن بسبب القوى التكتونية، التي تسحب الصخر في اتجاهين متضادين، ويسمّى جهد القصّ، ويبدأ الصخر بالانثناء، أمّا عند الزمن (3): فيتراكم الإجهاد المرن، وينثني الصخر، إلّا أنّ الصخر يبقى متصلاً؛ بسبب قوّة الاحتكاك، وعندما تنكسر الصخور المشوّهة أخيراً عند الزمن (4)، فيتحرر الجهد، ويتناقص الإجهاد المرن فجأة؛ وذلك بسبب كسر جانبي الصدع يحدث فجأة، وتعود إلى موقعها الجديد بعد تشوّهها الدائم، يأخذ الإجهاد المرن بعد حدوث الزلزال وقتاً كبيراً كافياً للبناء والتراكم من جديد لإنتاج كسر آخر⁽¹³⁾.

مراحل دورة الزلزال

Stages of the Earthquake cycle

يتوقّع أن تتكوّن دورة الزلزال النموذجية من (3) أو (4) مراحل، حيث تتملّ المرحلة الأولى فترة طويلة من الهدوء الزلزالي، يتبعها زلزال كبير يصاحبه تبعات زلزالية، وكذلك الزلازل التي تحدث في أيّ مكان بعد حدوث الزلزال الرئيس بدقائق حتى سنة، يتبع ذلك المرحلة الثانية، التي تتميز بزيادة النشاط، وتراكم الإجهاد المرن إلى الحدّ الذي يزيد على حدّ تحمّل الصخر، وينشأ عن الإجهاد المرن تصدّع الصخر وتكوّن الزلازل الصغيرة،

سحيقة، ويُعدّ زلزال سياتل/واشنطن عام 2001م بقوة (M 6.8) أحد الأمثلة على الزلازل العميقة نسبياً، علماً بأنه كان زلزلاً قوياً ومساوياً لقوّة زلزال نورث ريدج عام 1994م، إلّا أنّ بُورته كانت أكثر عمقاً، فقد وصلت إلى عمق (52 km) تقريباً تحت سطح الأرض، إذ كانت البُورة في صحيفة جوان دي فوكا الغاطسة، انظر الشكل (2-6). يجب أن تسير الموجات الزلزالية عبر (52 km) قبل وصولها إلى سطح الأرض، ما يؤدّي إلى فقدانها جزءاً كبيراً من طاقتها خلال الرحلة، ونتيجة لذلك يسبّب الزلزال أضراراً قليلة نسبياً مقارنة بقوّته، وعكس ذلك، معظم الزلازل التي وقعت جنوب كاليفورنيا، التي تصل بُورها إلى عمق بين (10-15 km)، مع أنه حدثت زلازل أكثر عمقاً من ذلك. تُعدّ الزلازل الضحلة أكثر تدميراً من تلك الزلازل العميقة، التي تتساوى معها في القوّة؛ وذلك لأنّها أكثر عمقاً، حتى لو نتجت عنها اهتزازات زلزالية قوية، نسبة إلى الزلازل الضحلة القادرة على إنتاج الاهتزازات الزلزالية القوية، فقد وقع في صحراء موجاف بالقرب من لاندروز/كاليفورنيا عام 1992م زلزال بلغت قوّته (M 7.5)، وعمق بُورته قرابة (10 km)، وكان الزلزال على امتداد صدع الحركة الأفقية، ما أدّى إلى كسر أرضي عظيم بطول (85 km)⁽¹²⁾، إذ بلغت قيمة الإزاحة الرأسية محلياً قرابة (2 m)، وقيست إزاحة أفقية واسعة بـ (5 m) تقريباً، انظر الشكل (8-21)، ولو وقع حادث لاودرز في حوض لوس أنجلوس، لكان الضرر الناتج واسعاً، وفقدان الأرواح كبيراً.

8-8 دورة الزلزال

EARTHQUAKE CYCLE

أدت الملاحظات التي توافرت عن زلزال سان فرانسيسكو عام 1906م، بقوة (M 7.7) إلى وضع فرضية تدعى دورة الزلزال، التي تقترح: أنه يحدث انخفاض في الإجهاد المرن بعد وقوع الزلزال، ليبدأ تراكم الإجهاد من جديد بعد ذلك إلى وقت حدوث الزلزال اللاحق.



(ب)



(أ)

الشكل (8-21): تكشف الأرض بفعل الصدوع. (أ) تشقق الأرض، وتضرر البناء بسبب زلزال لاندرز في كاليفورنيا بقوة (M 7.5). (ب) إزاحة السياج والطريق إلى اليمين (Photos by Edward A. Keller)

قليلة، ثم يتدفق الماء بعد ذلك داخل الشقوق المفتوحة، ما يؤدي إلى زيادة الضغط الخلالي، فتزيد السرعة الزلزالية، وتضعف الصخور، وقد يزداد تركيز غاز الرادون الذائب في الماء، ويؤدي إضعاف الصخر إلى تسهيل حدوث الحركة في الشقوق، فتسجل بصورة زلزال، يُضاف إلى ذلك أن الصخر يستعيد كثيرًا من خصائصه الأصلية بعد حدوث الحركة وتحزّر الجهد⁽¹⁴⁾.

يحيط نموذج التمدد والانتشار كثير من الشكوك حول صحته، فأحد مظاهر النموذج الذي يكتسب قبولاً كبيراً، هو دور ضغط السائل (القوة على وحدة المساحة الناتجة عن السائل) في الزلازل، وكلما تعلمنا أكثر عن الصخور في الأعماق المولدة للزلازل، تبين لنا وفرة المياه، ويتوقع أن يؤدي تشوه الصخور والعمليات الأرضية المتنوعة الأخرى إلى زيادة ضغط السائل مع زيادة العمق، ما يؤدي إلى انخفاض قوة تحمل الصخر للقص، وعندما يرتفع ضغط السائل بصورة كافية، فمن الممكن أن يسهل ذلك حدوث الزلزال، حيث توحى البيانات التجريبية المسجلة من عدد من البيئات، بما فيها نطاقات الفوص وأحزمة الطي النشطة إلى وجود ضغط سائل عالٍ في عدد من المناطق التي تحدث فيها الزلازل؛ لذلك زاد الاهتمام بدور حركة السوائل في الإزاحة على الصدوع وفي دورة الزلزال، إذ تفترض ميكانيكا قيمة الصدع (Fault-value mechanism) أن ضغط السائل (غالباً الماء) يزداد إلى أن يصل إلى حد الكسر، فينطلق الزلزال مع تدفق السائل إلى الأعلى. وهذا قد يفسر سبب تدفق الينابيع بعد بعض الزلازل، وجريان المياه في بعض الأودية، التي كانت جافة نتيجة خروج المياه الجوفية إلى السطح، فقد يزيد تدفق المياه الجوفية شهراً عدة بعد حدوث الزلازل الكبيرة.

أما المرحلة الثالثة فتتكون من سوابق الزلزال، وتبدأ قبل الزلزال اللاحق الكبير بساعات أو أيام، وهي زلازل صغيرة أو متوسطة، تحدث قبل الزلزال الرئيس، فمثلاً: يسبق الزلزال الرئيس بقوة (M 6) سابق زلزالي بقوة (M 4)، وفي بعض الحالات لا تحدث المرحلة الثالثة، وبعد حدوث الزلزال الرئيس، وهو المرحلة الرابعة، تبدأ الدورة من جديد، مع العلم أن دورة الزلزال دورة فرضية، وأن الزمن الفاصل بين الزلازل الرئيسة متغير، إلا أن المراحل حددت في أثناء حدوث الزلازل الكبيرة وإعادة حدوثها.

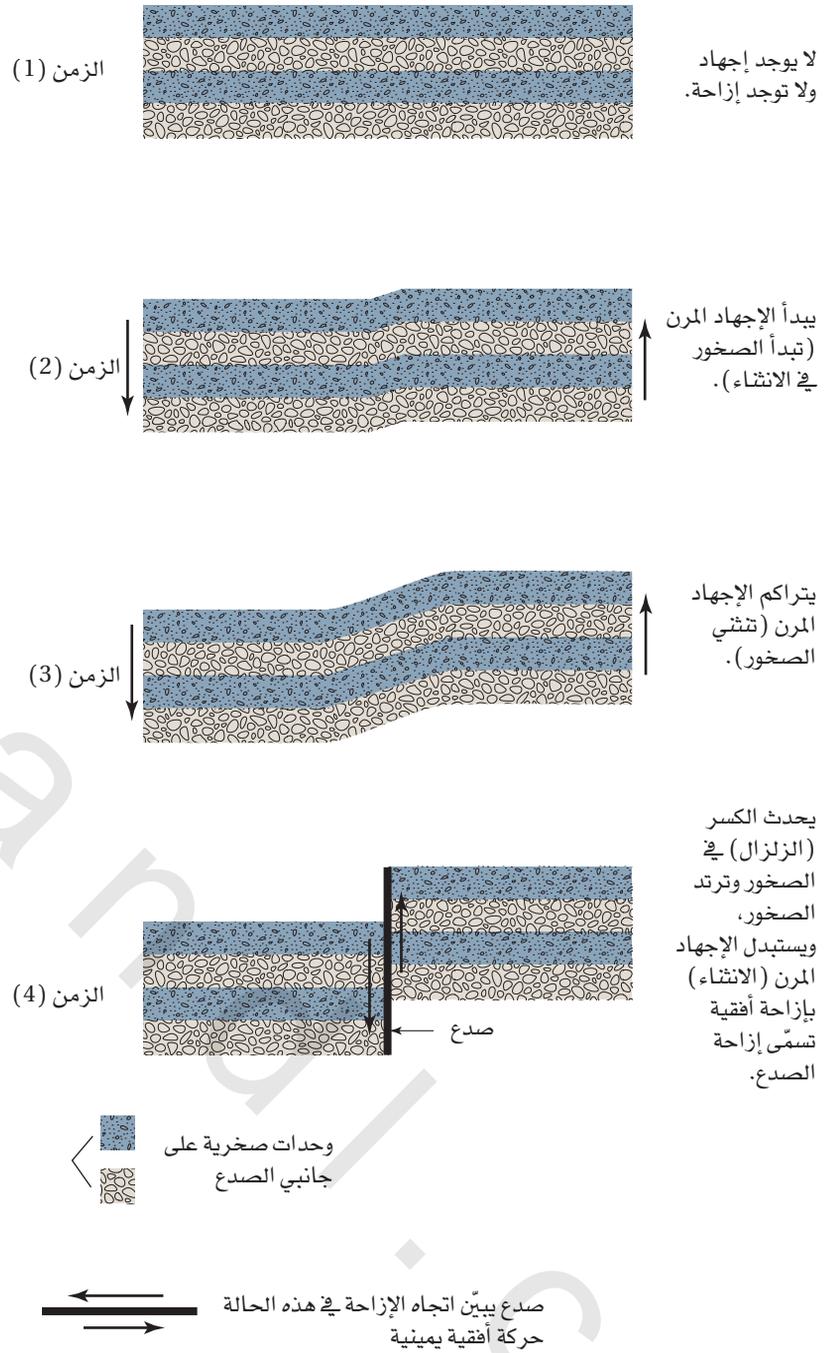
نموذج التمدد والانتشار

The Dilatancy-diffusion model

على الرغم من وجود كثير من المشاهدات التجريبية، الخاصة بالتغيرات الفيزيائية للصخور قبل الزلزال وخلالها وبعده، إلا أنه لا يوجد اتفاق في وضع نموذج فيزيائي يفسر هذه المشاهدات، ويفترض أحد هذه النماذج المعروف بنموذج التمدد والانتشار⁽⁹⁾،⁽¹⁴⁾، أنه في أثناء المرحلة الأولى من تطور الزلزال يزداد الإجهاد المرن في الصخور، وعندما يصل الجهد على الصخر نصف قوة كسر الصخر، فإنه يتمدد (زيادة غير مرنة في حجمه)، وتنشأ الشقوق المفتوحة في الصخر في أثناء التمدد، وقد تشير هذه التغيرات الفيزيائية الأولية في هذه المرحلة إلى إمكانية حدوث زلزال مقبل.

يفترض النموذج باختصار: أن التمدد والتشقق يكون أولاً مصاحباً لضغط ماء قليل نسبياً، وهذا يساعد على إنتاج سرعة زلزالية أقل (سرعة الموجات الزلزالية في الصخر عند الصدع)، وحركة أرضية أكبر، وأحداث زلزالية

الشكل (8-22): دورة الزلزال. نموذج مثالي يوضّح دورة الزلزال. قد تستغرق الدورة من الزمن (1) إلى الزمن (4) من مئات إلى آلاف السنين.



9-8 الزلازل الناتجة عن النشاط الإنساني

EARTHQUAKES CAUSED BY HUMAN ACTIVITY

من المعروف أنّ كثيراً من الأنشطة الإنسانية تؤدي إلى زيادة النشاط الزلزالي، أو تتسبب في حدوث الزلازل، التي تترك أضراراً كارثية، إلا أنّ الدروس المستفادة منها تساعد على مراقبة الزلازل الكارثية وإيقافها في المستقبل. ومن الأنشطة الإنسانية التي تتسبب في حدوث الزلازل ما يأتي:

- زيادة الثقل أو الأحمال على القشرة الأرضية، مثل بناء السدود والخزانات المائية.

الزلزالية الناتجة عن الخزانات المائية

Reservoir-induced Seismicity

بعد انتهاء أعمال بناء سدّ هوفر على نهر كولورادو في أريزونا ونيفاذا بعشر سنوات، حدثت مئات عدّة من الهزات المحلية، وكان معظمها هزّات صغيرة، إلا واحدة كانت قوّتها (M 5)، وقوّة اثنتين منها قرابة (M 4)⁽¹³⁾. وقد وقع زلزال في الهند بقوّة (M 6) تقريباً، وقتل (200) شخص تقريباً، بعد بناء خزان وتعبئته بالماء، ومن الواضح أنّه يمكن تنشيط نطاقات الشقوق عند

- التخلّص من النفايات في أعماق الأرض من خلال حقنها في آبار.
- التفجيرات النووية في باطن الأرض.

التفجيرات النووية Nuclear Explosions

وقعت كثير من الزلازل بقوة (M 5.0 – M 6.3)؛ بسبب التفجيرات النووية تحت السطحية، في موقع نيفادا للتجارب النووية، وقد أشار تحليل اللواحق الزلزالية (aftershocks) إلى أنّ التفجيرات أدت إلى تحرير الإجهاد التكتوني الطبيعي، ما أدى إلى نقاشات بين العلماء، حول استخدام التفجيرات للتخلص من الزلازل الكبيرة، عن طريق تحرير الإجهاد قبل أن يصل إلى الحد الحرج.

آثار الزلازل

10-8

EFFECTS OF EARTHQUAKES

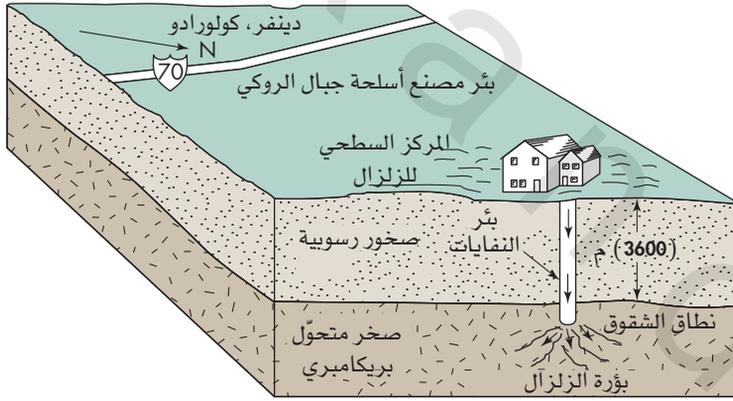
ليست الاهتزازات الناتجة عن الزلزال وحدها التي تؤدي إلى الموت والأضرار، إذ تسبب الزلازل الكارثية كثيراً من الآثار التدميرية، وتضم الآثار الأولية الناتجة عن حركة الصدع مباشرة، اهتزاز الأرض وأثرها في الناس والمنشآت، وتشقق سطح الأرض، أما الآثار الثانوية الناتجة عن

زيادة الأحمال الناتجة؛ بسبب إضافة وزن الماء على سطح الأرض، وزيادة ضغط الماء في الصخور تحت الخزان، ما يؤدي إلى تصدع الصخور.

التخلص من النفايات في الأعماق

Deep Waste Disposal

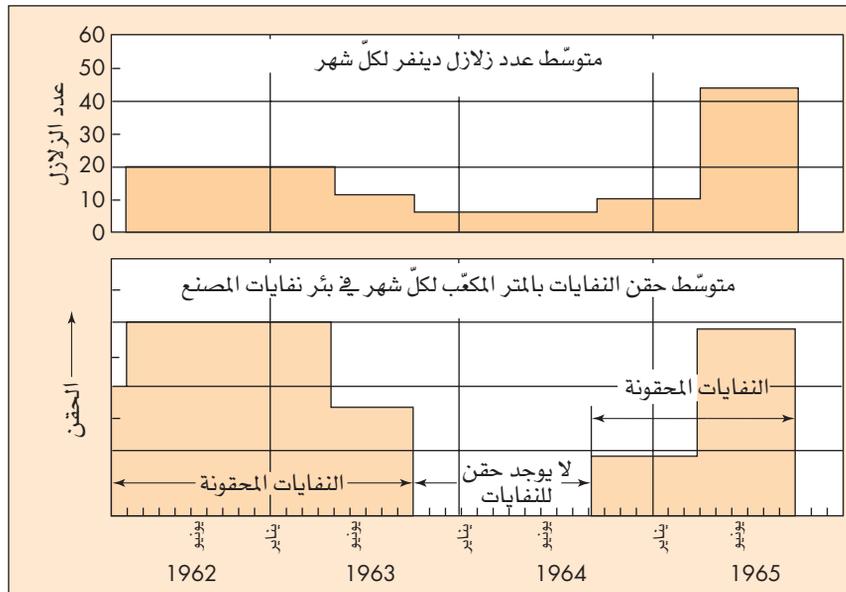
وقعت مئات الزلازل في الفترة من إبريل 1962م ونوفمبر 1965م في منطقة دينفر كولورادو، وكان أكبرها بقوة (M 4.3)، حيث أحدث اهتزازاً كافياً، لإيقاع الزجاجات الممتلئة عن الرفوف، وقد عُرِي السبب -أخيراً- إلى مصنع أسلحة جبال الروكي للحرب الكيميائية، فقد ضخت النفايات السائلة الناتجة عن عملية التصنيع إلى داخل بئر تصريف النفايات إلى عمق (3600 m)، وكان الصخر الذي يضخ فيه السائل صخراً متحولاً شديد التشقق، وذلك أدى إلى تنشيط الانزلاق على الشقوق، وقد كشفت دراسة النشاط الزلزالي عن وجود علاقة كبيرة بين معدل ضخ النفايات السائلة وحدوث الزلازل، فعندما توقفت ضخ السائل توقفت الزلازل، انظر الشكل (8-23)⁽¹⁶⁾، لقد عُدّ حدوث زلازل بسبب ضخ النفايات السائلة حدثاً مهماً؛ لأنه وجّه الأنظار إلى حقيقة ارتباط الزلازل بضغط السائل.



(أ)

الشكل (8-23): الزلازل الناتجة عن الإنسان. (أ) نموذج

عام يبين بئر مصنع أسلحة جبال الروكي. (ب) مخطط يبين العلاقة بين تردد الزلازل ومعدل ضخ النفايات السائلة (After Evans, D.M 1966, Geotimes 10, Re-printed by permission).



(ب)

الشكل (8-24): بروز الصدع. نتج بفعل زلزال لاندريز عام 1992م بقوة (M 7.5) في كاليفورنيا.

(Edward E Keller)



التميع Liquefaction

التميع هو تحوّل الموادّ الحبيبية والرسوبيات المشبعة بالماء، من الحالة الصلبة إلى الحالة السائلة، وقد ينشأ في أثناء الزلزال من الرسوبيات المدمجة؛ بسبب الاهتزاز العنيف، ويؤدّي تميع الغرين والرمل المشبعة بالماء القريبة من السطح إلى فقدان الموادّ قوتها وانسيابها، وقد تحني البنايات أو تغرق في الرسوبيات المائعة نتيجة لذلك، فيما تطفو الخزانات والأنابيب المعدنية المدفونة في باطن الأرض إلى السطح؛ بسبب قانون الطفو⁽¹⁷⁾.

الانزلاقات الأرضية Landslides

غالبًا ما تطلق الاهتزازات الزلزالية كثيرًا من الانزلاقات الأرضية، وهو مصطلح جامع يضمّ كثيرًا من الانهيارات على المنحدرات في مناطق التلال والجبال، حيث تكون هذه الأحداث شديدة التدمير، وقد تؤدّي إلى فقدان كبير في الأرواح، مثل زلزال بيرو عام 1979م، إذ قُتل بسببه (70,000) شخص، قتل منهم (20,000) شخص بسبب انزلاق أرضي عملاق، دفن مدينتي يونجان ورايراهيركا، وسبب زلزال آسكا عام 1964م وزلزال لوما بريتا عام 1989م أضرارًا ناتجة عن الانزلاقات الأرضية للأبنية والطرق والمنشآت الأخرى، وأطلق زلزال نورث ريدج عام 1994م والتبعات الزلزالية الناتجة عنه آلاف الانزلاقات الأرضية، وانطلق انزلاق أرضي عملاق من جانب الجبل نتيجة زلزال آسكا عام 2002م (الشكل 8-25)، إضافة إلى آلاف الانزلاقات الأخرى؛ بسبب الزلزال على المنحدرات الشهيقية لسلاسل جبال آسكا رانج.

دفن انزلاق أرضي كبير مصاحب لزلزال السيلفادور في 2001/1/13م، وبقوة (M 7.6) سكان لاس كوليناس، وقتل المئات منهم، والمؤسف في الأمر، أنّه كان بالإمكان تجنّب حدوث الانزلاق الأرضي، لو أُزيل الغطاء النباتي عن المنحدر، الذي انهار من أجل بناء المنازل الفاخرة.

التصدع والإهتزاز، فتضمّ تميع الأرض، والانزلاقات الأرضية، والحرائق، والأمراض، وأمواج السونامي، وتغيّر مستوى سطح الأرض.

الاهتزاز وتشقق الأرض

Shaking and Ground Rupture

يضمّ التأثير المباشر للزلزال المدمّر اهتزازًا عنيفًا لسطح الأرض، ويصاحبه تشقق وإزاحة واسعة لسطح الأرض، ويؤدّي التشقق السطحي، الذي ترافقه إزاحة رأسية إلى تكوين بروز الصدع، وهو انحدار خطي شديد يشبه حاجز الطريق، ويكون ارتفاع بروز الصدع غالبًا (1 m) أو أكثر تقريبًا، ويمتدّ إلى مسافة مختلفة من عشرات الأمتار إلى كيلومترات عدّة على امتداد الصدع، (الشكل 8-24). لقد نتجت عن زلزال سان فرانسيسكو عام 1906م بقوة (M 7.7)، إزاحة أفقية أو إزاحة الصدع بلغت (6.5 m) على امتداد صدع سان أندرياس شمال سان فرانسيسكو، وكانت الشدّة الزلزالية (11) درجة على مقياس ميركالي المعدّل، حيث يستطيع التسارع الأرضي عند هذه الشدّة اقتلاع شجرة من جذورها، وطرح الناس أرضًا، ويؤدّي الاهتزاز الناتج إلى الإضرار بالمباني الكبرى أو تدميرها، وكذلك الجسور والسدود والأنفاق وخطوط الأنابيب والمنشآت المتماسكة الأخرى، وتسبب زلزال آسكا الكبير عام 1964م بقوة (M 8.3) في أضرار بالغة لأنظمة المواصلات وخطوط السكك الحديدية والمطارات والمباني، وكان زلزال لوما بريتا عام 1989م أصغر بكثير من زلزال آسكا، ومع ذلك فقد أدّى إلى خسائر وأضرار تقدر بـ (5) بلايين دولار، وتوفي (57) شخصًا بسبب زلزال نورث ريدج عام 1994م، بقوة (M 6.7)، وأنزل أضرارًا تقدر بـ (40) بليون دولار، ما جعل هذا الزلزال إحدى الكوارث الكبرى، التي ضربت الولايات المتّحدة، وسببت أعلى الخسائر المادية؛ وسبب ذلك توافر الكثير من الأشياء القابلة للضرر، إذ يُعدّ إقليم لوس أنجلوس من المناطق المأهولة بكثافة سكانية عالية، أضف إلى ذلك أنّ الاهتزاز كان شديدًا.

الشكل (8-25): انزلاقات أرضية أطلقها الزلزال. كان هذا الانزلاق الأرضي العملاق أحد آلاف الانزلاقات الأرضية، التي أطلقها زلزال آلاسكا عام 2002م بقوة (M 7.9). وغطت الرسوبيات جزءاً من مثلجة بلاك رابيدس (US Geological Survey).



الشكل (8-26): زلزال الصين عام 2008م بقوة (M 7.9). نتج انزلاق أرضي كبير، أغلق أحد الأنهار، وكوّن بحيرة الزلزال، وشققت القنوات في السدّ الذي تكوّن من الانزلاقات الأرضية، لتخفيض مستوى المياه في البحيرة، وتقليل أخطار الفيضان الكامنة عند إغراق السدّ أو انجرافه. (Color China Photo/Associated Press).



المنازل والمباني الأخرى، مثل الأفران لتسريب الغاز؛ بسبب تعرّضها للعطب، وهذا قد يؤدي إلى الاشتعال، وقد يتضاعف تهديد الحرائق؛ بسبب عطل معدّات مكافحة الحرائق، وتكسّر تمديدات الماء بسبب الزلزال.

ترتبط الزلازل في كلّ من اليابان والولايات المتّحدة بحرائق مهلكة (الشكل 8-27)، وقد تکرّر إطلاق اسم حريق سان فرانسيسكو على زلزال سان فرانسيسكو عام 1906م، وفي الحقيقة، فإنّ (80%) من الأضرار التي نتجت عن الزلزال، كانت بسبب عواصف الحرائق، التي عصفت بالمدينة أياماً عدّة، وسبب زلزال لوما بريتا عام 1989م حرائق كبيرة في منطقة المارينيا في سان فرانسيسكو.

وسبب زلزال الصين عام 2008م، بقوة (M 7.9) كثيراً من الانزلاقات الأرضية الكبيرة جداً، التي دفنت القرى، وأغلقت مجاري الأنهار، وكوّنت بحيرة زلزال (الشكل 8-26)، ما سبّب أخطار الفيضان لو انهار السدّ، الذي نتج عن الانزلاق الأرضي؛ بسبب الحثّ أو الإغراق، وقد شققت القنوات لتصرف مياه البحيرة ببطء، وتقليل أخطار الفيضان⁽¹⁸⁾.

الحرائق Fires

يُعدّ الحريق من الأخطار الرئيسية التي تصاحب الزلازل، ويؤدي اهتزاز الأرض وحدوث الإزاحة السطحية إلى كسر خطوط الطاقة الكهربائية وخطوط الغاز، فتحدث الحرائق، وقد تتعرّض الأغراض الشخصية في

الشكل (8-27): الزلزال والحريق. حرائق مصاحبة لزلزال كوبي في اليابان عام 1995م، سببت أضراراً واسعة في المدينة (CORBIS).



11-8 السونامي TSUNAMI

تنتج أمواج السونامي بسبب الإزاحة الرأسية المفاجئة لمياه المحيط، والسونامي اسم ياباني يعني أمواج المرفأ⁽²¹⁾، وهي خطر طبيعي جدي، يمكنها أن تسبب كارثة على بعد آلاف الكيلومترات بعيداً عن مكان تكوّنها، من الممكن أن تنشأ الأمواج نتيجة لكثير من الأحداث الطبيعية مثل الزلازل الكبيرة، التي تؤدي إلى رفع أو هبوط مفاجئ في قاع البحر، أو انزلاق أرضي في قاع البحر تحت الماء أطلق بسبب الزلزال، أو انهيار جزء من أحد البراكين إلى البحر، أو انفجار بركاني بحري، أو صدم البحر بكويكب أو مذنب سقط من السماء، حيث يمكنه تكوين أمواج سونامي عملاقة أعلى بـ (100) مرة من تلك التي تنشأ بفعل الزلزال، وهي بهذا تعرض حياة مئات الملايين من البشر للخطر⁽²¹⁾، ولحسن الطالع، فإن احتمال صدم الأجسام السماوية بالمياه نادر جداً، ومن المسببات أنفة الذكر، تعدّ السونامي الناتجة عن البراكين أكثرها انتشاراً.

تعدّ أضرار أمواج السونامي عبر التاريخ شائعة الحدوث، وقد بقيت إلى وقت قريب محصورة في حوض المحيط الهادي، ومن الأمثلة الحديثة عليها:

- أطلق زلزال تشيلي عام 1960م (M 9+) أمواج سونامي، قتلت (61) شخصاً في هاواي، بعد أن سافرت (15 hr) عبر المحيط الهادي.
- سبب زلزال آلاسكا عام 1964م (M 8.3) أمواج سونامي قاتلة، قتلت (130) شخصاً في آلاسكا وكاليفورنيا.
- أطلق زلزال بحر اليابان عام 1993م (M 7.8) أمواج سونامي، قتلت (120) شخصاً في جزيرة أوكوشيرو اليابانية.
- أطلق زلزال بابوا نيو جويانا، وما نتج عنه من انزلاق أرضي في البحر أمواج سونامي، قتلت أكثر من (2100) شخص.
- نتج عن زلزال سومطرة عام 2004م (M 9) أمواج سونامي، قتلت (250.000) شخص (انظر إلى نظرة متفحّصة: أمواج سونامي الإندونيسية).
- نتج عن زلزال جزيرة ساموا عام 2009م (M 8) أمواج سونامي، قتلت (150) شخصاً.

المرض Disease

أثارت الانزلاقات الأرضية الناتجة عن زلزال نورث ريدج عام 1994م كمّيات كبيرة من الغبار، الذي حمل في مكّوناته أبواغ الفطر، التي أدت إلى انتشار حمى الوادي، حيث حملت الرياح الغبار والأبواغ إلى المناطق المأهولة، بما فيها سيمي فالي، فتفشّت حمى الوادي خلال فترة (8) أسابيع من الزلزال، إذ تمّ تشخيص ومعالجة (200) حالة، وهي أعلى بـ (16) مرة من معدّل العدوى الطبيعي، وأدخل (50) شخصاً منهم إلى المستشفى، وتوفّي (3) أشخاص⁽⁷⁾، يُضاف إلى ذلك أنّ الزلازل قد تؤدي إلى تدمير خطوط المياه وخطوط الصرف الصحي، ما يؤدي إلى تلوث المياه بالميكروبات المسببة للأمراض، ويؤدي إلى موت الحيوانات، ودفن الناس تحت الأنقاض إلى إمكانية تكوّن مشكلات صحيّة: بسبب تقشّي الأمراض.

التغيّرات الإقليمية في ارتفاع الأرض

Regional Changes in Land Elevation

من التأثيرات الأخرى للزلازل الكبيرة التشوّه الرأسي، سواء كان رفعاً أو هبوطاً، الذي يؤدي إلى تغيّرات إقليمية في مستوى المياه الجوفية، فقد أدى زلزال آلاسكا عام 1964م، بقوة (M 8.3) إلى رفع إقليمي وهبوط⁽¹⁹⁾، إذ وصل الرفع إلى (10 m)، والهبوط إلى (2.4 m)، وذلك أدى إلى إفساد الحياة البحرية الشاطئية أو قتلها، وإلى تغيّر مستوى المياه الجوفية، فقد أزيحت منازل الصيادين والعاملين في تليب الأسماك من أماكنها في مناطق الرفع بعيداً عن مناطق المدّ المرتفع، ما أعاق استخدام حوض السفن والمرافق الأخرى، وأدى الهبوط إلى حدوث الفيضانات في بعض التجمّعات السكانية، وأدى زلزال عظيم وقع بالقرب من كيب مونديسينو في شمال غرب كاليفورنيا عام 1992م إلى رفع خط الشاطئ قرابة (1 m)، ما أدى إلى قتل الكائنات البحرية، التي كشفت بسبب الرفع⁽²⁰⁾.

نظرة متفصّلة A CLOSER LOOK

خلال الأربعين سنة الماضية صبيحة يوم الأحد 26 ديسمبر 2004م (الشكل 8.ج)، متسبباً في حدوث أمواج سونامي، عُدت أكثر أمواج السونامي ضرراً في التاريخ المكتوب، لقد كان الزلزال بقوة (9) درجات (سُمي حادثة الدفع الضخمة megathrust)، وقد حدث على حدّ الصفيحة الهندية-الأسترالية العملاقة، التي تغوص قريباً من

سونامي إندونيسيا Indonesian Tsunami

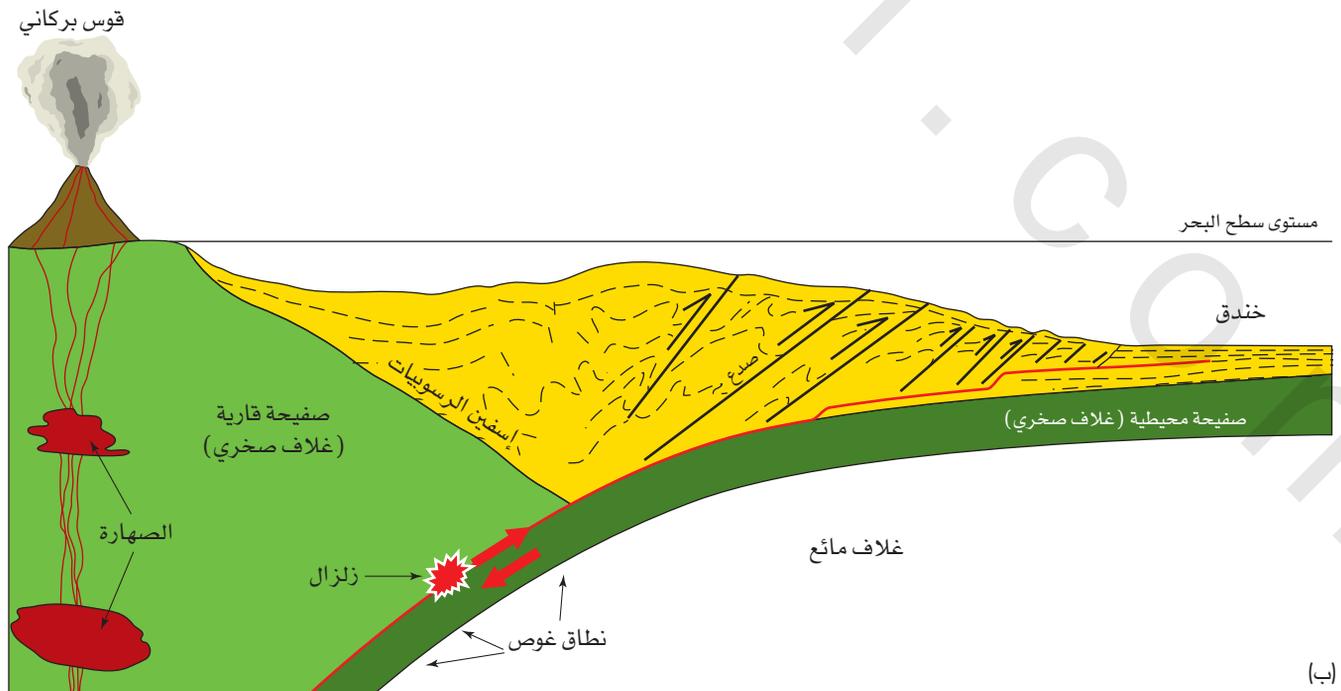
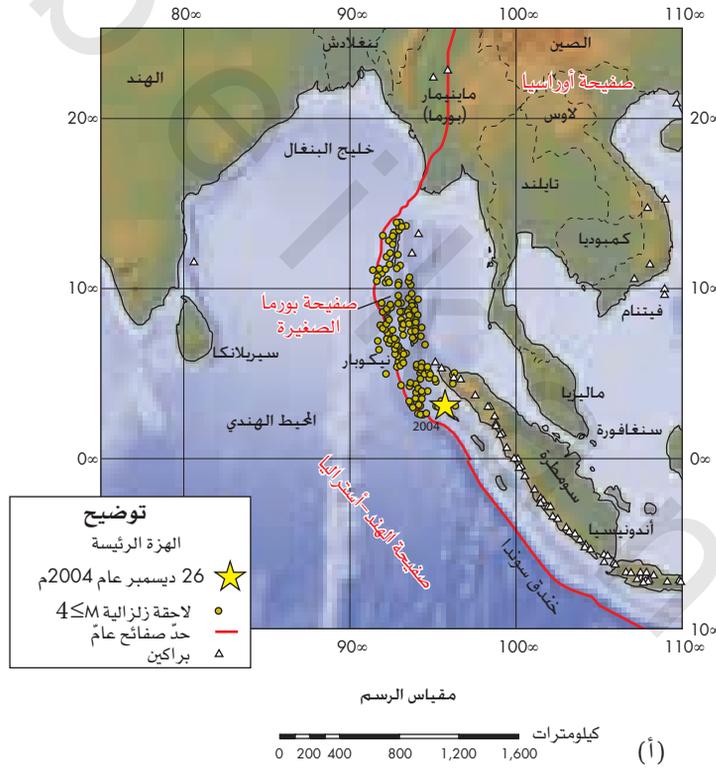
لقد جعلتنا أمواج السونامي الإندونيسية عام 2004م مهتمين بهذه الأمواج العملاقة والدمار الذي ألحقته، فكلما ضربت أمواج السونامي منطقة ساحلية تلو الأخرى عبر المحيط الهندي قتلت قرابة (250000) شخص، وشرّدت الملايين من منازلهم في فترة وجيزة لا تتجاوز ساعات عدّة.

بالقرب من الجزيرة الإندونيسية سومطرة، وقع أقوى زلزال على الأرض

الشكل (8 ج): الوضع الجيولوجي. (أ) الوضع الجيولوجي للسونامي

الإندونيسية (Modified after US Geological Survey). (ب) مقطع عرضي مثالي يبيّن موقع حدوث زلزال نطاق الغوص.

(Modified from United Kingdom Hydrographic Office).

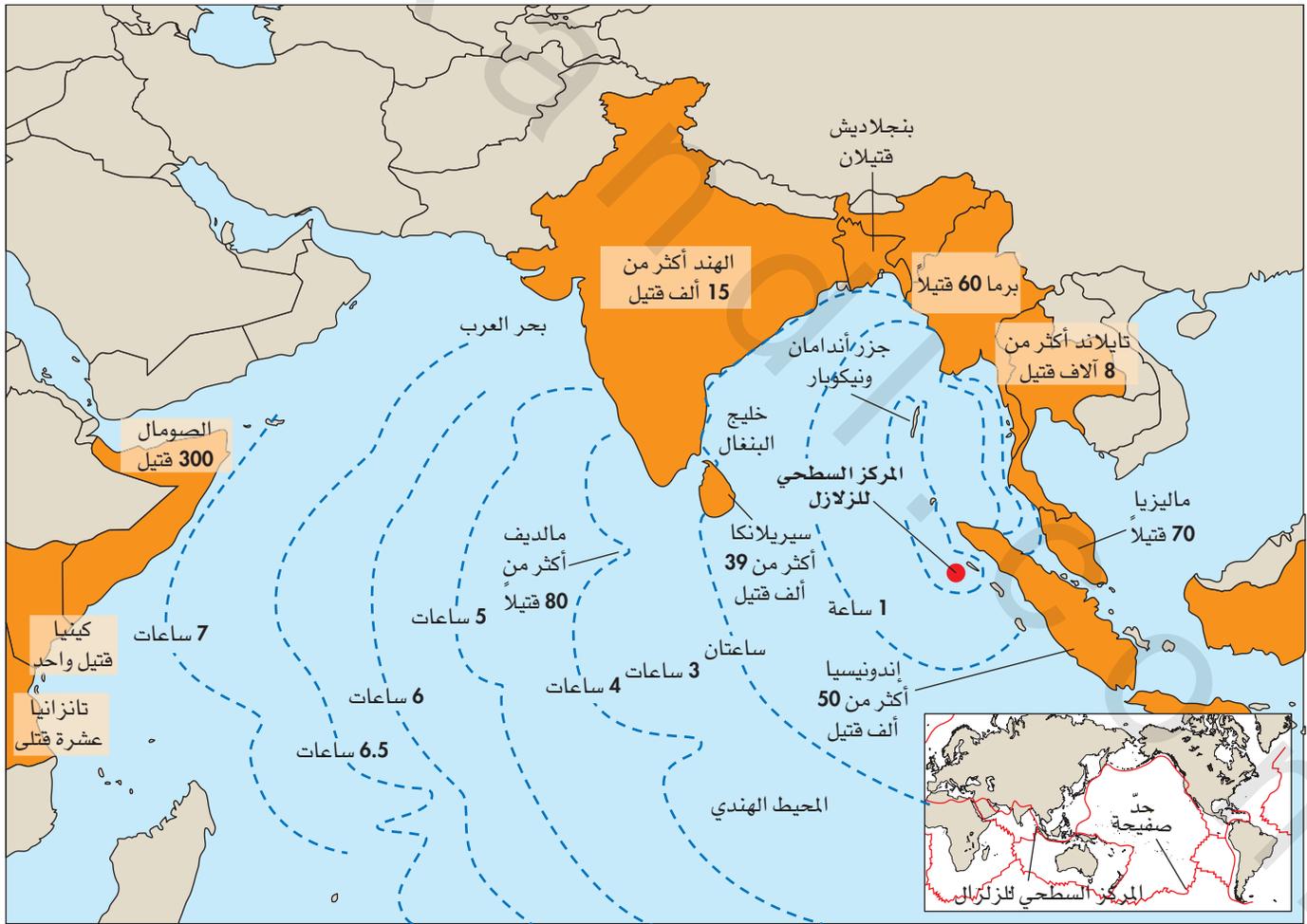


حكومتهم وحكومات أخرى في المنطقة عن إمكانية حدوث أمواج السونامي، عندما تيقنوا من حدوث زلزال عظيم جداً، إلا أنها مع الأسف كانت تحذيرات متأخرة، ولم تعطِ الفرصة للدول المعنية لعمل اللازم، وما زاد أمر التحذيرات تعقيداً، عدم إمكانية اتصال الولايات المتحدة مع بعض الدول في المنطقة، فلو قدر لتلك التحذيرات أن تصل، لأمكن إنقاذ آلاف الأرواح؛ لأن أمواج السونامي استغرقت ساعات عدّة في الوصول إلى الشواطئ التي قتل الناس عليها، ولو جاء التحذير قبل نصف ساعة فقط، لكان ذلك كافياً لإخلاء الناس من المناطق المنخفضة، ولأنقذت كثير من الأرواح. وقد وضع بعد ذلك أول جهاز حسّاس للتحذير في المحيط الهندي عام 2006م، وستبعه أجهزة أخرى، ووضعت الآن صفارات إنذار على بعض الشواطئ في المحيط الهندي؛ لتحذير الناس من أمواج السونامي مستقبلاً.

لقد كان ثلاثة أرباع القتلى من إندونيسيا، التي عانت الاهتزاز الناتج عن الزلزال وعن أمواج السونامي التي أعقبته. ويبين الشكل (8 د) موقع الزلزال بقوة (9) درجات، الذي أدى إلى حدوث السونامي، ويبين أيضاً ساعات وصول أمواج السونامي إلى الشواطئ وعدد الوفيات. لاحظ أن الزمن

سومطرة تحت صفيحة بورما الصغيرة، أما كسر الصدع، فهو من النوع الذي يدعى حادثة الدفع الضخمة، ويقع على نطاق الغوص الذي يميل بلطف قرابة (10°) إلى الشمال الشرقي، استمرّ الاهتزاز الناتج عن الزلزال دقائق عدّة، وأدى إلى إزاحة سطح الكسر (الصدع) بين الصفيحتين قرابة (15 m) ، وبلغ مجموع طول الكسر (1200 km) تقريباً، وقد أزيح قاع المحيط أفقيّاً (15 m) نحو الغرب وجنوب-غرب نتيجة الزلزال، وأزيح رأسياً أمتاراً عدّة. وأدت إزاحة قاع المحيط الهندي هذه إلى اضطراب المياه التي تعلوه وتحريكها، محدثة موجات متعاقبة من أمواج السونامي، وكان التأثير يشبه إلقاء حجر ضخّم في حوض الاستحمام، ومشاهدة أمواج الماء وهي تنتشر، إلا أن الضربة أتت من القاع في حالتنا هذه، والنتيجة واحدة، إذ انطلقت الأمواج بسرعة فائقة جداً عبر المحيط الهندي.

ومن المؤسف أنه لم يتوافر آنذاك نظام تحذير لأمواج السونامي على المحيط الهندي، مثل تلك المتوفرة على المحيط الهادي؛ لذلك فقد أخذ الناس على حين غرّة، وقد أطلق علماء الولايات المتحدة تحذيرات إلى



الشكل (8 د): قتلت أمواج سونامي في ديسمبر 2004م مئات الآلاف من الناس في إندونيسيا. تبين هذه الخريطة المركز السطحي للزلزال بقوة (9) درجات، الذي أنتج أمواج سونامي إندونيسيا. يظهر انتشار أمواج السونامي التي جلبت الدمار لكثير من المناطق المطلة على المحيط الهندي. لاحظ أن الأمواج استغرقت (7) ساعات لتصل إلى الصومال، حيث قتلت (300) شخص، تركزت معظم الوفيات في إندونيسيا، حيث وصلت الأمواج بعد ساعة من الزلزال (NOAA).

السّمك الأبيض (bleak): ففي شاطئين على الأقل، أنقذ قرابة (100) شخص، عندما سمعت طفلة بريطانية عمرها (10) سنوات صوت الإنذار، لإخلاء الشاطئ في أحد الشواطئ التايلندية، فقد سبق للطفلة مراجعة درس في المدرسة عن الصفائح التكتونية والزلازل والسونامي، وتعلّمت منه أنّ البحر يتراجع أحياناً قبل وصول أمواج السونامي، وهذا فعلاً ما لاحظته، فحدّرت أمّها، وبدأت أخيراً بالصراخ معلنة وجوب إخلاء الشاطئ؛ لأنّ الخطر قادم، وأقنعت أمها والآخرين على الشاطئ والأشخاص في الفندق، حيث كانوا ينتظرون، وأخلي الشاطئ بنجاح إثر ذلك، وصرّحت والدّة الطفلة لاحقاً: إنّها لم تكن تعرف السونامي، وإنّ درس ابنتها المدرسي أنقذهما. وفي حالة أخرى لاحظ أحد العلماء الذي كان يقيم في أحد فنادق سيريلانكا، أنّ موجة صغيرة ارتفعت، وأغرقت حوض السباحة، وتبع ذلك انخفاض في مستوى سطح البحر (7 m) تقريباً، فتوقّع أنّ موجة كبيرة قادمة؛ ولذلك

الفاصل بين فترة حدوث السونامي ووصولها إلى الصومال كان (7) ساعات تقريباً، وإلى الهند ساعتين، وأكثر أو أقل في دول أخرى، اعتماداً على قربها أو بعدها عن الزلزال.

لقد دمر شاطئ باندا أشي الإندونيسي تقريباً، كما هو ملاحظ من الصور التي التقطت قبل الحادث وبعده (الشكل 8 هـ)، وكان الدمار ناتجاً عن الاهتزازات الزلزالية وعن أمواج السونامي وعن هبوط الأرض، الذي نتج بسبب التشوّه عن الزلزال.

وقد ضربت المناطق السياحية في المنطقة بقوة، وخصوصاً في تايلندا، حيث قتل آلاف عدّة منهم. ويظهر الشكل (8 و) موجة سونامي تقترب من منطقة فوكيتا التايلندية، ويبدو أنّ بعض الناس قد بهتوا من اقتراب الموجة، فلم يتحرّكوا وولّى بعضهم هارباً هلعاً وخوفاً، لم يكن كل شيء هادئاً مثل



الشكل (8 هـ): دمار شامل تقريباً

نتج عن أمواج سونامي إندونيسيا عام 2004م. (أ) صورة لمنطقة باندا أشي قبل 23 ديسمبر 2004م (Digital Globe).

(ب) صورة أخذت بعد يومين من حدوث أمواج السونامي للعاصمة الإقليمية باندا أشي، الواقعة في المنطقة الشمالية لجزيرة سومطرة، حيث دمرت المناطق الحديثة كلّها تقريباً. لاحظ في أعلى الصورة تعرّض الشاطئ لعملية انجراف عالية، خلفت وراءها ما يشبه الجزر الصغيرة لما يتكوّن من شاطئ متصل. أدّى الهبوط الناتج عن الزلزال وأمواج السونامي إلى التدمير والتغيير في ارتفاع الأرض (Digital Globe).



الشكل (8 و): يركض السياح للنجاة

بأرواحهم. ينظر رجل في الخلفية إلى الوراء على أمواج السونامي، وهي مقبلة عليه بسرعة وبارتفاع المبنى. المكان هو فوكيت في تايلند. لم يتوقع الساكنون، وكذلك السياح أن الأمواج يمكن أن تغرق المناطق. حيث يوجدون. وعندما جاءت الموجة ظنوا أنهم يستطيعون الهرب من المياه المرتفعة. تمكن الناس في بعض الحالات من الهرب، ولكن الماء أغرق الغالبية العظمى منهم .

(ZUMA Press).



تحمل سيّاحًا، فقد قَطَّعت الجبال التي تربطها، وولّت هاربة نحو الجزيرة، ولم تستجب الفيلة التي تحمل السياح لساستها، وتسَلَّقت تلةً أمام الشاطئ السياحي، حيث قتل (4000) شخص، وعندما تَبَّه ساسة الفيلة إلى تقدّم أمواج السونامي نحوهم حملوا أعدادًا أخرى من السياح، وتحركوا نحو التلال، وقد تقدّمت أمواج السونامي آنذاك إلى قرابة كيلومتر واحد من الأراضي بعيدًا عن الشاطئ، إلى حيث المكان الذي توقّعت الفيلة لتوقّف الأمواج.

والسؤال هو، هل تعرف الفيلة شيئًا لا يعرفه الإنسان؟ أم هل تمتلك الحيوانات قدرات إحساس تختلف عن قدرات الإنسان؟ فقد تكون سمعت صوت الزلزال؛ لأنّ الزلازل تصدر أمواجًا صوتية بنغمات منخفضة تسمّى الأمواج الصوتية الدونية (أو التحتيّة) (infra sonic)، ويتمتع بعض الأشخاص بقدرة الإحساس بها، ولكنهم لا يدركون أنّها دليل خطر، فقد تكون الفيلة قد أحسّت أيضًا بالحركة الناتجة عن اهتزاز الأرض بسبب الزلزال، فهربت نحو اليابسة، وهو المكان الوحيد الذي يمكن أن تهرب إليه، يبدو أنّ هذا ما

أطلق جرس الإنذار، واستخدم مدير الفندق مكبّرات الصوت؛ لتحذير الناس ومغادرة الشاطئ، إلّا أنّ الفضول دفع عددًا منهم إلى التوجّه نحو الشاطئ لمشاهدة قاع البحر المنكشف، وعندما وصلت الموجة الكبيرة وارتفاعها (7 m)، كان معظم الناس قريبين من الدرج، فهربوا نحو الطوابق العليا، ولم يقتل أيّ من طواقم الفندق أو المقيمين فيه، إلّا أنّ الماء جرف عددًا منهم في الطابق الأرضي إلى الخارج، واستطاعوا النجاة؛ لأنّهم تمسّكوا بأشجار النخيل في حديقة الفندق⁽²²⁾.

تحفظ بعض قبائل إندونيسيا الأصلية بخبرة سابقة متراكمة عن السونامي، لذلك فقد تذكّر بعضهم هذه المعرفة عندما حدث الزلزال، وهربوا نحو المرتفعات، وذلك أنقذ بعض القبائل الصغيرة في بعض الجزر، وأنقذت الفيلة مجموعة صغيرة من السياح مكوّنة من (12) سائحًا في تايلندا من أمواج سونامي عام 2004م⁽²³⁾، حين بدأت الفيلة التي تقلّهم بإطلاق الأصوات في الوقت نفسه الذي ضرب فيه الزلزال (M 9) جزيرة سومطرة، ثم هاجت مرّة أخرى بعد ساعة من ذلك، أمّا الفيلة الأخرى، التي لم تكن

أما في المناطق البعيدة آلاف الكيلومترات، فلا يمكن الإحساس بالأمواج، إلا أن الأرض تقدّم لنا إشارات لما قد يحدث، والمثال على ذلك، طالبة المدرسة التي أوضحت الآتي بصورة واضحة: فأخبرت الناس أنه إذا تراجعت المياه فجأة، وكشفت قاع البحر بسرعة، فعليكم أن تتوقعوا أن المياه قادمة على صورة موجة سونامي، ما أعطاهم إنذاراً، للتوجّه بعيداً نحو الأراضي المرتفعة، ويجب إخبار الناس كذلك، أن أمواج السونامي نادراً ما تكون موجة واحدة، وهي في الحقيقة سلسلة من الموجات المتتالية، حيث إن الموجات المقبلة أكثر ضرراً من الموجات التي سبقتها، إن تعليم الناس القاطنين قريباً من مناطق نشوء السونامي مهمّ بصورة خاصة: لأن الأمواج تصل خلال (10-15) دقائق بعد الزلزال، وقد حذر الجيولوجيون من وقوع سونامي آخر كبير، نتيجة الزلازل في شواطئ إندونيسيا خلال العقود القليلة المقبلة.

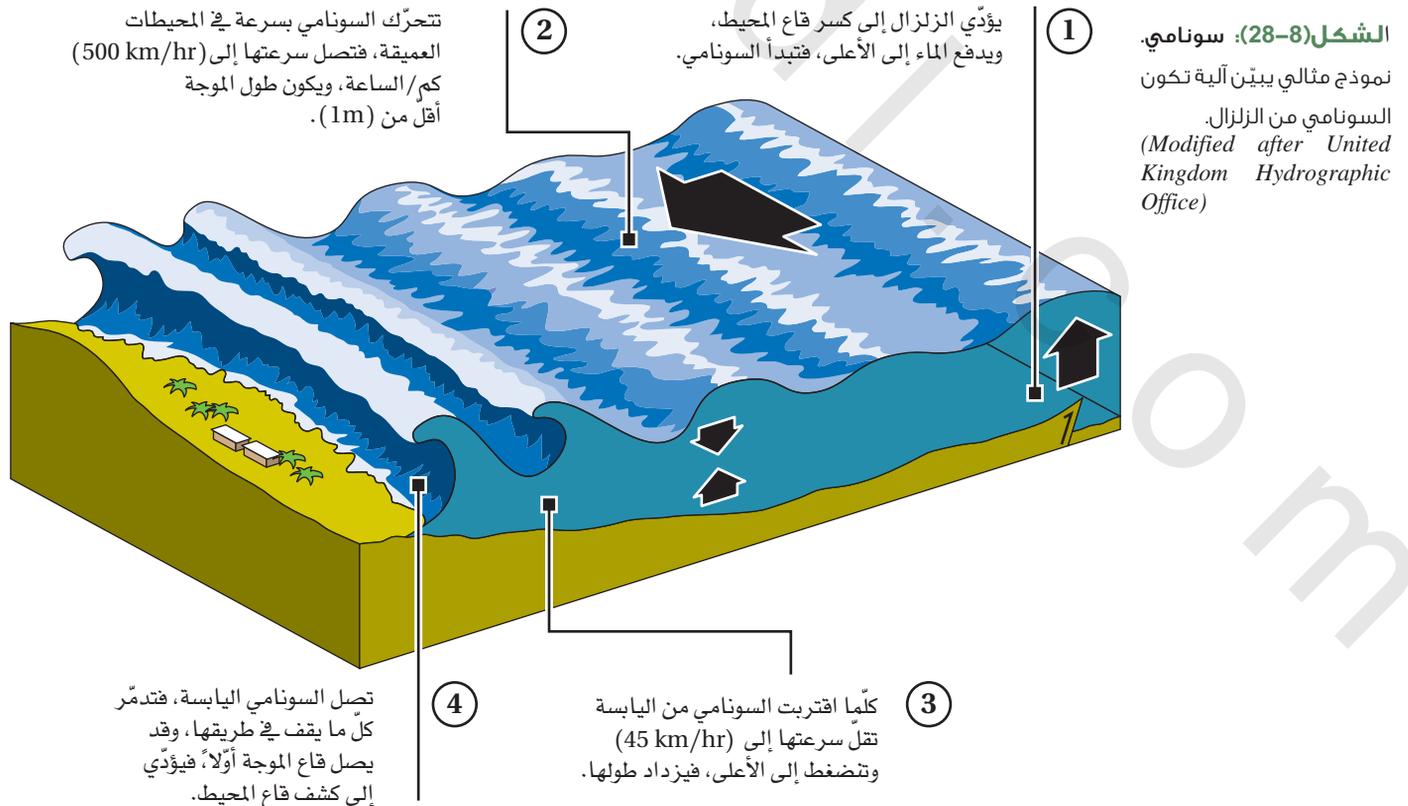
حدث، إلا أن الربط بين قدرة الفيلة على الإحساس وتصرفاتها يبقى مجرد توقع، وفي الأحوال كلّها، كانت النتيجة إنقاذ حياة بعض الناس⁽²³⁾. لقد أدت البيئة المدارية دوراً مهماً في تحديد أضرار السونامي، فحيثما تعرّض الشاطئ للأمواج السونامي الأشد تأثيراً؛ كان التدمير عظيماً، وكانت الأضرار في المناطق الأخرى غير منتظمة، فقد دمّرت بعض القرى الشاطئية، وتعرّضت قرى أخرى لأضرار قليلة، وحملت القرى التي نجت من التدمير من طاقة أمواج السونامي؛ لوجود الغابات الاستوائية المتشابكة، أو صفوف عدة من الأشجار المزروعة قلّلت من تأثير الأمواج⁽²⁴⁾. يُعدّ تثقيف القاطنين على الشواطئ المعرضة للسونامي أمراً مهماً، فقد كان بالإمكان إنقاذ أرواح كثيرة لو أنهم عرفوا من سلوك الأرض، أن أمواج سونامي يمكن أن تنشأ، فأولئك الذين لديهم تجربة مع الزلازل الكبيرة، يمكن أن يعلموا أن السونامي في طريقها إليهم، وأن عليهم الهروب إلى المرتفعات،

درجة أو أعلى، فعندما يؤدي الزلزال إلى كسر قاع المحيط ورفعه قريباً من اليابسة، يمكن أن تنشأ أمواج سونامي محلية وسونامي بعيدة المدى، أولاً: تؤدي الإزاحة والرفع الناتجة عن الصدع إلى رفع الماء إلى أعلى من مستوى سطح البحر، ما يُنتج طاقة كافية لتقود الحركة الأفقية للموجة، وتتفصل القبة المرتفعة من الماء في العادة إلى جزأين، وتتقل إحدى الموجات التي تدعى سونامي بعيدة المدى عبر المحيط بسرعة فائقة، ويمكن أن تنتقل آلاف الكيلومترات عبر المحيط، لتضرب شواطئ نائية دون أن تفقد الكثير من

كيف تؤدي الزلازل إلى حدوث السونامي؟

How do Earthquakes Cause a Tsunami?

يوضّح الشكل (8-28) كيفية نشوء السونامي من الزلازل، حيث يحدث التصدّع الذي يمزق قاع المحيط، ويزيح المياه التي تعلوه مطلقاً العملية، وعادة ما تنشأ أمواج سونامي المسببة للضرر عند حدوث زلزال بقوة (M 7.5)



عندما تضرب موجة السونامي الشاطئ، تضعف طاقتها في المياه الضحلة؛ لذلك يزداد طول الموجة بصورة كبيرة وغير مسبوق، وتأتي أمواج السونامي على صورة سلسلة من الأمواج، ويكون طول الأمواج المتأخرة أعلى من طول الأمواج المتقدمة، وعندما يتراجع ماء الموجة من اليابسة متدفقاً إلى البحر، فإن هذا التدفق يشكل خطراً، مثل خطر قدمها⁽²¹⁾.

يمكن تقدير زمن وصول أمواج السونامي بعد حدوث الزلزال بين (1,5±) دقيقة / ساعة من زمن الوصول، وقد استخدمت هذه المعلومات في إنتاج نظام تحذير سونامي في المحيط الهادي، حيث تساعد عوامة طافية متصلة بمجس في القاع، (الشكل 8-29) على تزويد البيانات الضرورية، لعمل خريطة تبيّن أزمنا الوصول حول المحيط الهادي، تبيّن الخريطة في الشكل (8-29ب) أمواج سونامي تنتقل من هاواي.

12-8 أخطار الزلازل والنتبؤ بها

EARTHQUAKE RISK AND EARTHQUAKE PREDICTION

تعزى الأضرار العظيمة وفقدان الأرواح المصاحب للزلازل في جزء منها إلى حقيقة، أنها غالباً ما تضرب دون تحذير، ويكسر جزء كبير من البحث العلمي لإحباط الزلازل ودفعها، ولعل أفضل ما يمكننا عمله في الوقت الحالي، هو استخدام طرق الاحتمالات، لتحديد الخطر المصاحب لمنطقة بعينها، أو لقطعة معيّنة من الصدع، حيث يكون تحديد الخطر هذا صالحاً للنتبؤ طويل الأمد، ويمكننا القول: إن زلزالاً بقوة معيّنة أو شدة معيّنة له

طاقتها، أما الموجة الثانية وتدعى السونامي المحلية، فتتوجّه نحو المنطقة المعاكسة إلى اليابسة القريبة، إذ تصل بسرعة بعد حصول الزلزال، بحيث لا تترك للمقيمين على الشاطئ أو السائحين وقتاً كافياً لتحذيرهم، فعندما تنقسم الموجة الأولية إلى جزأين (سونامي محلية وسونامي بعيدة المدى)، يكون ارتفاع كل منهما قرابة نصف ارتفاع قبة المياه الأولية.

وتكون موجة السونامي في أعالي البحر منخفضة نسبياً، بحيث يكون ارتفاعها أقل من (1 m)، ولكنها تنتقل بسرعة طائفة نفاثة، ويمكن توقع سرعة أمواج السونامي بحسب القانون الآتي:

$$V = (gd)^{1/2}$$

$v =$ سرعة الموجة التحتية التي تلامس قاع المحيط

$$v = \text{سرعة الجاذبية الأرضية} (9.8 \text{ m/s}^2)$$

$v =$ عمق المحيط

لو افترضنا أن متوسط عمق المحيط = 4000 m، فإن:

$$v = (9.8 \text{ ms}^{-2} \times 4000 \text{ m})^{1/2} = 198 \text{ m/s}$$

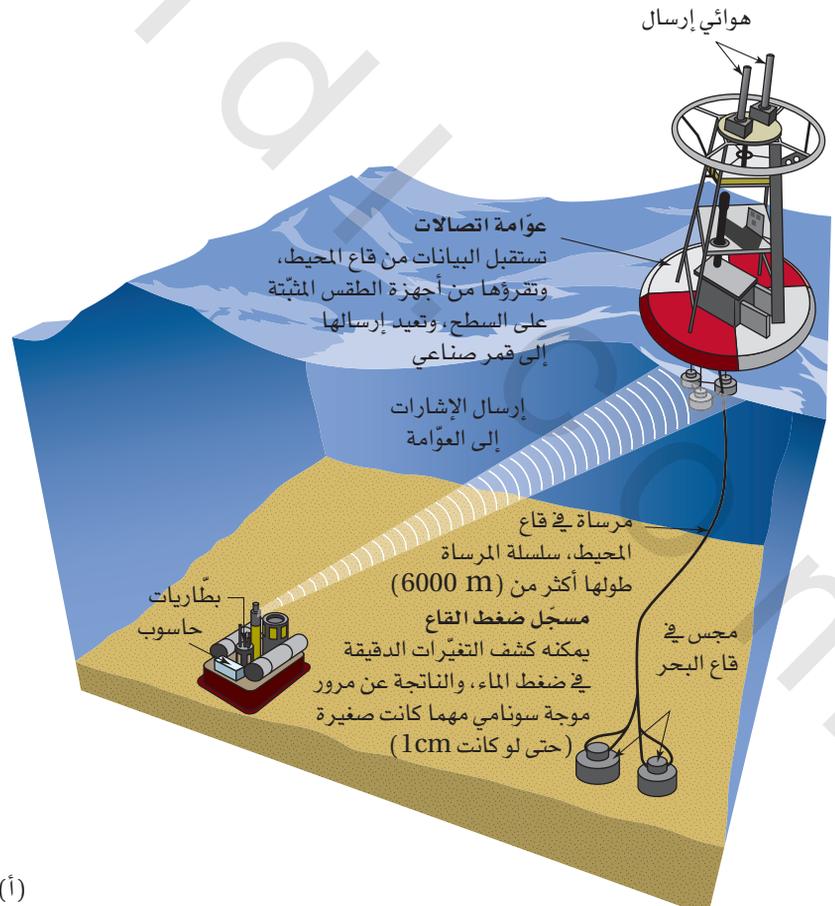
$$v = 712,800 \text{ m/hr} \text{ (كل ساعة تتكوّن من } 3600 \text{ s/hr)}$$

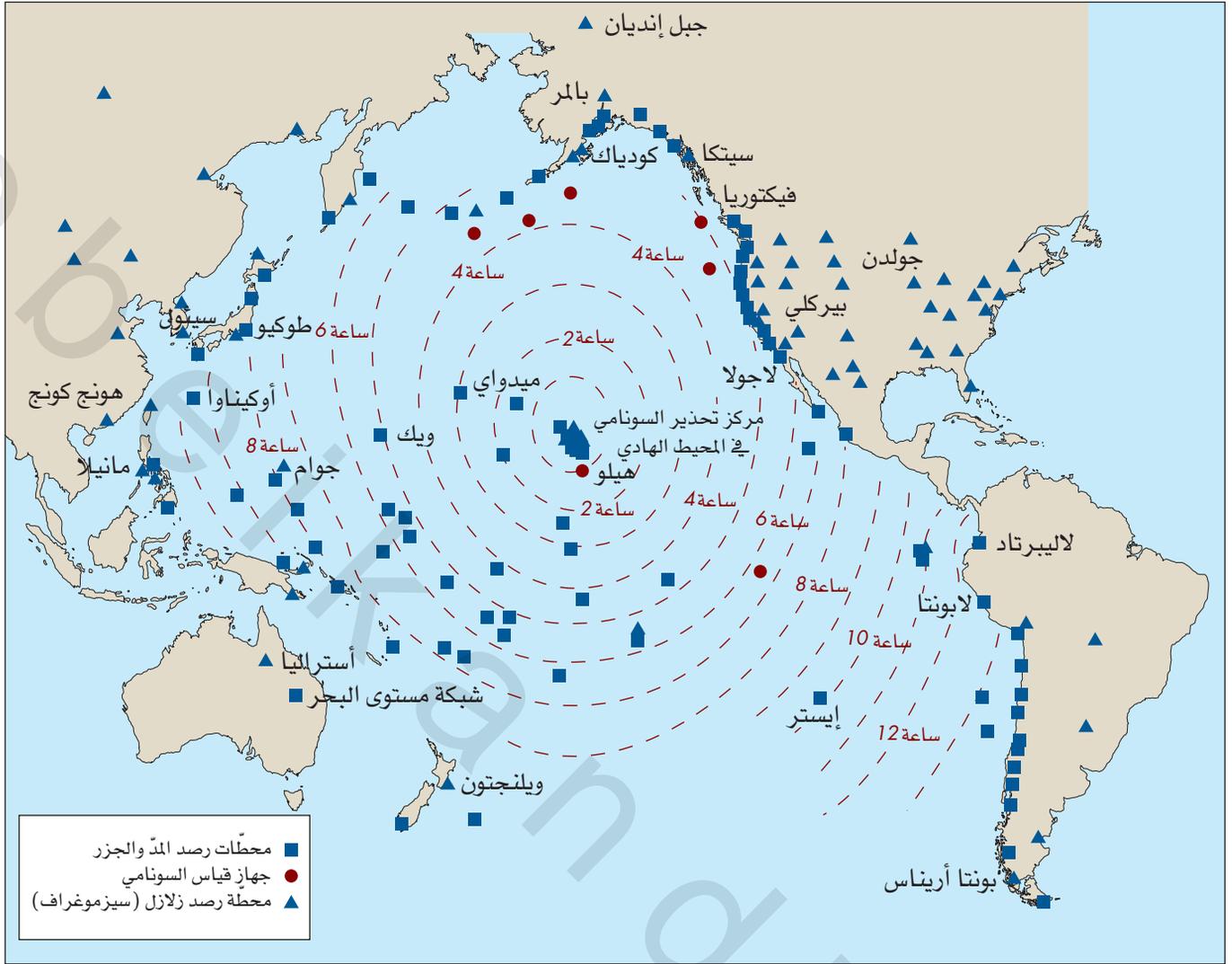
$$\approx 446 \text{ mi/hr أو } 713 \text{ km/hr}$$

وتقدّر المسافة الفاصلة بين جزيرة كودياك في ألاسكا وهيوفو هاواي، (الشكل 8-29) بقرابة (4300 km)، لذلك يكون الزمن اللازم لوصول أمواج سونامي نشأت في كودياك، وتتجه نحو هيولو $4300 \text{ km} \div 713 \text{ km/hr} = 6$ ساعات تقريباً. (تأكد من ذلك في الشكل (29-8).

الشكل (8-29): نظام تحذير السونامي. (أ) عوامة

سطحية ومجس في قاع البحر تستخدم للكشف عن السونامي. (ب) زمن انتقال أمواج سونامي نشأت في هاواي (كل حلقة تمثّل ساعة)، تصل الأمواج إلى لوس أنجلوس بعد (5) ساعات، وتأخذ قرابة (12) ساعة لتصل أمريكا الجنوبية. تعمل (6) أجهزة رصد سونامي، كما هو ظاهر، ويخطط لوضع أجهزة أخرى على المحيط الأطلسي والبحر الكاريبي (NOAA).





(ب)

الشكل (8-29): (تكملة).

الاهتزازات المحتملة التي قد تحدث. يعرض الشكل (8-30) توزيع الأخطار الزلزالية في الولايات المتحدة، التي أعدت على أساس احتمالية الاهتزازات الأرضية الأفقية، وتمثل المساحات الداكنة على الخريطة الأقاليم الأرضية عالية الأخطار؛ لأنها المناطق التي لها أعلى احتمالات التعرض لأعظم الاهتزازات الزلزالية، وتعدّ خرائط أخطار الزلازل الإقليمية قيمة، إلا أنّ معلومات كثيرة أخرى ضرورية لتقييم المناطق الخطرة؛ من أجل المساعدة على تطوير كودات البناء، وتحديد نسب التأمين. ويظهر الشكل (8-30) أنّ احتمالية حدوث زلزال واحد أو أكثر بقوة (M 6.7) أو أكثر خلال (30) سنة مقبلة في كاليفورنيا شبه مؤكّدة، واحتمالية حدوث زلزال بقوة (M 7.5) عالية أيضاً، واحتمالية حدوث زلزال بقوة (M 8) هي (1) من (25) (25) (26) (25)، وقد استخدمت أربعة مصادر للبيانات لحساب احتمالية الزلازل (25).

- الجيولوجيا (خرائط مواقع الصدوع وتسجيلات الإزاحة).
- الزلزالية القديمة (دراسة تاريخ الزلازل من الخنادق المحفورة عبر الصدوع لتحديد تواريخ الزلازل القديمة وقيمة الإزاحة الناتجة عنها).

احتمالية عالية للحدوث في منطقة ما، أو على امتداد قطعة صدع ما خلال فترة زمنية معيّنة، ويساعد هذا التنبؤ المخططين الذين يعتمدون معايير السلامة من الزلازل، وكذلك الناس لتحديد أماكن سكنهم، إلا أنّ التنبؤ طويل الأمد لا يفيد القاطنين في المناطق النشطة زلزالياً، حيث توقع الزلزال والإعداد له قبل حدوثه بأيام أو أسابيع فقط، فالتنبؤ قصير الأمد، الذي يحدّد وقت حدوث الزلزال ومكان حدوثه أكثر فائدة، إلا أنّ الوصول إليه بعيد المنال، ويعتمد التنبؤ بحدوث زلزال وشيك بقدر كبير على ملاحظة الظواهر التمهيدية المتدرة، أو التغيّرات التي تسبق الحدث.

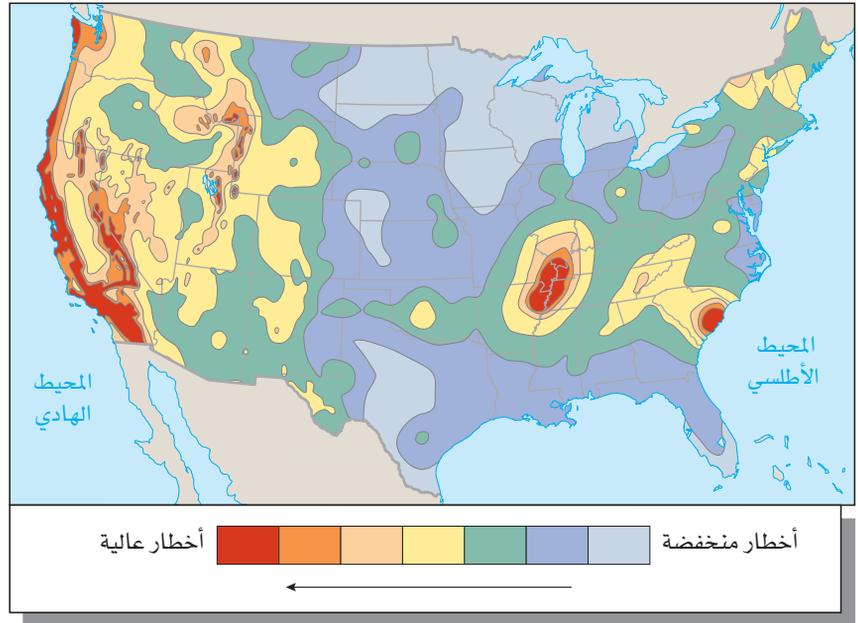
حساب الخطر الزلزالي

Estimation of Seismic Risk

يُعرض الخطر الزلزالي المصاحب لمنطقة بعينها على خرائط الخطر الزلزالي، التي يُعدّها العلماء، وتُظهر بعض هذه الخرائط الأخطار النسبية، بمعنى أين وقعت الزلازل بحسب قوتها، إلا أنّ الطريقة المفضلة لتقييم الخطر الزلزالي، هي حساب احتمالية حدوث زلزال بعينه، أو حساب قيمة

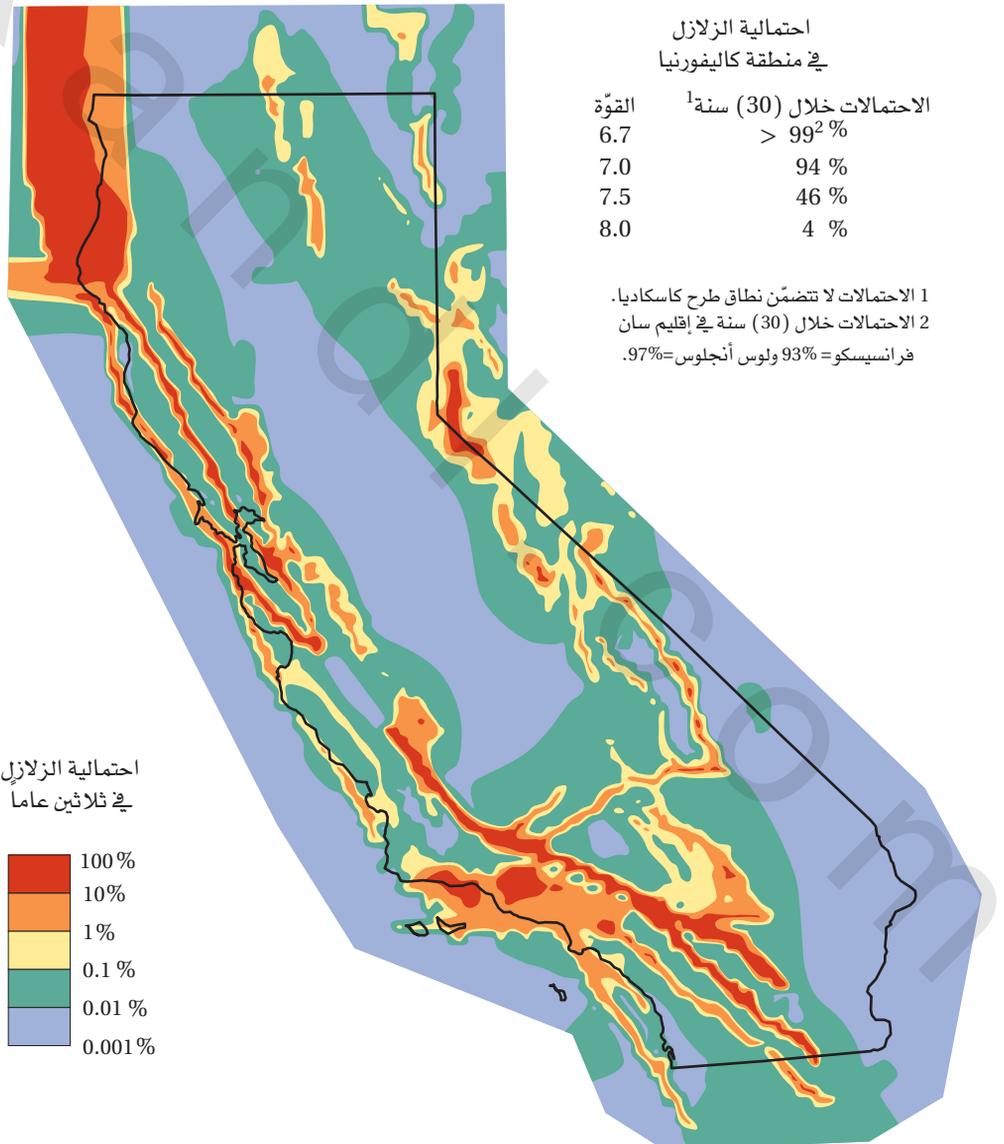
الشكل (8-30): خريطة الأخطار الزلزالية. (أ) وسيلة الاحتمالات للأخطار الزلزالية في الولايات المتحدة، تشير الألوان إلى مستوى الأخطار. (ب) احتمالية حدوث زلزال واحد بقوة (M 6.7) أو يزيد يحدث خلال (30) سنة على صدع بعينه.

(From U.S. Geological Survey Fact Sheet 2008-3027).



الشكل (8-30ب): احتمالية حدوث زلزال في كاليفورنيا خلال (30) سنة مقبلة.

Field, E H., Milner, K. R. and the 2007 Working Group on California Earthquake Probabilities, 2008, Forecasting California's Earthquakes-What can we expect in the next 30 years US Geological Survey Fact Sheet 2008-3027)?



تنشؤ سطح الأرض السابق للاهتزاز الزلزالي

Preseismic Deformation of the Ground Surface

قد تكون معدّلات رفع سطح الأرض أو هبوطه مهمّة في التنبؤ بالزلازل، خاصة إذا كانت سريعة وغير طبيعية، فقبل وقوع زلزال نيجاجاتا عام 1964م (M 7.5) في اليابان بأكثر من عشر سنوات، حدث رفع واسع للقشرة الأرضية بالقرب من بحر اليابان، وبلغ مقداره سنتيمترات عدّة، وقد حدث رفع عريض وبطيء شبيه به، وبلغ سنتيمترات عدّة خلال (5) سنوات قبل زلزال بحر اليابان عام 1983م بقوة (M 7.7)⁽¹⁴⁾.

وقد سبق عدداً من الزلازل اليابانية التي وقعت قبل صنع الأجهزة في الأعوام 1793م و1802م و1872م و1927م رفع لسطح الأرض قيمته من (1-2 m)، ومع أنّ عمليات الرفع هذه غير مفهومة جيّداً، إلا أنّها قد تكون مؤشّرات على أنّ زلزالاً وشيك الحدوث، وقد عُرِفَت عمليات الرفع عندما تراجع البحر عن اليابسة فجأة بما يصل إلى عدّة مئات الأمتار عن المرفأ، ففي صبيحة يوم زلزال عام 1802م مثلاً، تراجع البحر فجأة قرابة (300 m) عن المرفأ، استجابة لرفع قيمته (1 m) سبق الزلزال، وبعد ذلك بأربع ساعات ضرب الزلزال المنطقة، ودمر عدداً من المنازل، ورفع اليابسة أمتاراً عدّة أخرى، ما أدى إلى تراجع آخر كبير للبحر⁽²⁹⁾.

انبعاث غاز الرادون

Emission of Radon Gas

سُجِّلَت زيادة ملحوظة ومهمّة على مستويات غاز الرادون (وهو غاز مشع)، قبل حدوث بعض الزلازل، ومن المعتقد أنّه قبل حدوث الزلازل تتمدّد الصخور، وتتوسّع الشقوق، ويتدفّق الماء؛ ولأنّ الرادون متوافر بصورة طبيعية في الصخور فإنّه سيتحرّك مع الماء، وقد قيس ازدياد مهمّ لقيم غاز الرادون في آبار الماء قبل حدوث زلزال كوبي عام 1995م بقوة (M 7.2) في اليابان، وسُجِّل ذلك قبل شهر أو قرابة ذلك⁽³⁰⁾.

الفجوات الزلزالية Seismic Gaps

تعرّف الفجوات الزلزالية بأنّها مناطق لم يسجّل عليها أيّ نشاط زلزالي حديث، وتقع على امتداد نطاقات الصدع النشط أو داخل أقاليم مؤهلة لإنتاج زلازل كبيرة، ويعتقد أنّ احتجاب الزلازل، ما هو إلا عمل مؤقت، وأنّ المناطق تقوم حالياً بتخزين الإجهاد؛ لذلك فهي مرشّحة لحدوث زلازل قوية في المستقبل.

تعدّ الفجوات الزلزالية مهمّة في عمليات التنبؤ متوسط المدى، وقد تمّ التنبؤ بعشرة زلازل كبيرة بنجاح منذ عام 1965م من خلال الفجوات الزلزالية على امتداد حدود الصفائح، كان أحدها في ألaska وثلاثة في المكسيك، وواحد في أمريكا الجنوبية، وثلاثة في اليابان، وواحد في إندونيسيا، وقد رُصدت في الولايات المتّحدة فجوات زلزالية على امتداد صدع سان أندرياس، إحداها بالقرب من فورت تيجون/كاليفورنيا، الذي حدث آخر كسر عليه عام 1875م، وأخرى على امتداد كواشيليا فيلي، وهي قطعة من الصدع لم يحدث عليها زلزال عظيم منذ مئات السنين، ويعتقد أنّ الفجوتين الزلزالتين مرشّحتان لإنتاج زلزال عظيم خلال العقود القليلة المقبلة⁽¹³⁾،⁽³¹⁾.

- المساحة الأرضية (جيوديزيا) (تحديد سرعة حركة الصفائح الأرضية باستخدام نظام تحديد المواقع العالمي).
- علم الزلازل (مواقع الزلازل القديمة، التي رصدها أجهزة الرصد الموجودة في عدد من المواقع، التي تعرض زمن وقوع الزلزال وقوّته).

التنبؤ قصير المدى

Short-Term Prediction

يُعدّ تنبؤ الزلازل قصير المدى موضع بحث علمي، كما هو الحال في التنبؤات الجوية، إذ يحدّد التنبؤ بالزلازل فترة زمنية قصيرة، قد يحدث فيها الزلزال لتعدّد احتمالية الحدوث، ومن المعتقدات السابقة، أنّ توقّع الزلازل شيء سهل؛ ببساطة "أولاً - ثانياً - ثالثاً". أولاً: نشر أجهزة تكشف الإنذارات الكامنة لزلزال مستقبلي، ثانياً: كشف الإشارات وتعرّفها؛ لتحديد زمن وقوع الزلزال وقوّته، وثالثاً: إشهار نبأ توقّع الزلزال بعد مراجعة البيانات وتدقيقها، إلا أنّه تبيّن ولسوء الطالع، أنّ التنبؤ بالزلازل أكثر تعقيداً ممّا كان يُظنّ سابقاً⁽²⁷⁾.

قام اليابانيون بالمحاولات الأولى للتنبؤ بالزلازل، وحققوا بعض النجاح، مستخدمين تردّد الزلازل الخفيفة جداً (M) Microearthquakes أقل من (2)، ومستخدمين المسح المتكرّر لمستوى سطح الأرض والتغيّرات المحلية في المجال المغناطيسي الأرضي، لقد وجدوا أنّ الزلازل في المناطق التي درسوها ترتبط دائماً بحشد من الزلازل الخفيفة جداً، والتي تقع خلال أشهر عدّة من الزلزال الرئيس، ووجدوا أيضاً ارتباطاً قوياً بين تغيّر ميل سطح الأرض والنشاط الزلزالي.

وقام الصينيون بأولى التنبؤات الناجحة لزلزال رئيس عام 1975م، حيث وقع في الرابع من فبراير من عام 1975م زلزال هيتشينج بقوة (M7.3)، ودمر وسبب الأضرار لـ (90%) من مباني المدينة، التي يسكنها (9000) شخص، إذ اعتمد التنبؤ قصير المدى ابتداءً على سلسلة من السوابق الزلزالية، بدأت قبل أربعة أيام من حدوث الزلزال الرئيس، فقد وقع في الأول والثاني من فبراير عدد من السوابق الزلزالية بقوة أقل من (M 1)، وفي الثالث من فبراير وقبل حدوث الزلزال الرئيس بـ (24 hr) حدث سابق زلزالي بقوة (M 2.4)، وأعقب ذلك خلال (17 hr) لاحقة (8) اهتزازات بقوة تزيد على (M3)، سادت بعدها فترة هدوء نسبي دامت (6) ساعات، ثم ضرب الزلزال الرئيس⁽²⁸⁾، وقد أنقذت حياة (9000) شخص، وهم سكان هيتشينج بفضل إخلاء جماعي مكثّف من المنازل غير الأمانة قبل حدوث الزلزال.

ولسوء الطالع، فإنّ الزلزال الرئيس لا تسبقه دائماً سوابق زلزالية، فعام 1976م ضرب أحد أكثر الزلازل قتلًا للناس في التاريخ المسجّل بالقرب من مدينة تانشان التعدينية في الصين، وقتل مئات الآلاف من الناس، دون أن تسجّل سوابق زلزالية له.

إنّ التنبؤ بالزلازل ما زال مشكلة معقّدة، ومن المحتمل أن تضي كثير من السنوات قبل أن نصل إلى تنبؤ قصير الأمد يُعتمد عليه، وغالباً ما سيعتمد ذلك التنبؤ على الظواهر المنذرة، التي تشير لوقوع الزلزال، مثل:

- نمط الزلازل وتردّده، كالسوابق الزلزالية التي استخدمت للتنبؤ بزلزال هيتشينج.
- تنشؤ سطح الأرض الذي يسبق الاهتزاز الزلزالي.
- انبعاث غاز الرادون.
- الفجوات الزلزالية.
- السلوك غير الطبيعي لبعض الحيوانات.

ارتفاعها أمتار عدّة على امتداد (36 km) من نطاق كسور الصدع، ونتج عنه أيضاً عدد من الشقوق، والحقيقة المهمة، أنّ البروز والصدوع التي نتجت عن الزلازل تطبق على بروزات صدعية قائمة سابقاً، ما يثمن فائدة المسح الجيولوجي التفصيلي الدقيق للبروزات الناتجة عن الزلازل القديمة؛ وعليه أن نتذكر دائماً أنّه حيثما تكسّرت الأرض سابقاً، فإنّها غالباً ما تتكسر من جديد.

14-8 سلسلة الزلازل في تركيا:

هل يمكن لزلازل ما أن يطلق زلزالاً آخر؟

SEQUENCE OF EARTHQUAKES IN TURKEY: CAN ONE EARTHQUAKE SET UP ANOTHER?

يسود جدل كبير فيما يخصّ أنماط الزلازل المتكرّرة، بمعنى هل يوجد للزلازل على صدع ما فترة رجوع (تكرار) ثابتة نسبياً؟ وهل لها قوّة ثابتة نسبياً؟ أو هل تميل الزلازل إلى أن تتجمّع (تتعمد) خلال فترة زمنية من مئات إلى آلاف عدّة من السنين؟ (انظر نظرة متفحّصة: اثنا عشر قرناً من الزلازل على صدع سان أندرياس في جنوب كاليفورنيا)، هناك أدلة على أنّ بعض الصدوع تنتج زلازل متشابهة في قوّتها، وتتكرّر خلال فترات زمنية ثابتة، إلّا أنّه كلّما تعلّمنا أكثر عن الصدوع المنفردة، علمنا بوجود تغيّرات عظيمة في قوّة الزلازل وفترة التكرار لبعض أنظمة الصدوع، فمثلاً: حدثت سلسلة فريدة من الزلازل خلال القرن العشرين، بقوّة تزيد على (6.7) من الشرق إلى الغرب على امتداد صدع الأناضول الشمالي في تركيا، وأدت إلى كسر سطحي على امتداد جزء من الصدع طوله (1000 km) (الشكل 8-31)، ومن هذه السلسلة زلزال أزميت بقوّة (M 7.4)، وزلزال دوزيس بقوّة (M 7.1) عام 1999م، وهما زلزالان كارثيان، وسبباً خسائر ماديّة بلغت بلايين الدولارات، نتيجة تضرّر المباني، وأدّى إلى آلاف القتلى، لقد وصفت سلسلة الزلازل بسيناريو سلسلة وقوع حجارة الدومينو، بحيث يطلق الزلزال السابق الزلزال الذي يليه، ما يؤدّي أخيراً إلى كسر كامل على طول الصدع نتيجة سلسلة من الزلازل⁽³⁴⁾،⁽³⁵⁾، ويبدو أنّ مجموعات الزلازل التي تشكّل سلسلة متتالية من الأحداث، وتطلق في فترة قصيرة نسبياً، تكون مفصولة بفترة طويلة من الزمن خالية من الزلازل، تقدّر بمئات عدّة من السنين، وتوجد مجموعات زلازل متسلسلة مشابهة على امتداد صدع حدّ صفيحة سومطرة التي أنتجت سونامي عام 2004م، فقد سبق زلزال عام 2004م ثلاثة زلازل كبيرة بين عام 1600م وعام 1833م اكتشفت من السجل الجيولوجي، وتعقب زلزال عام 2004م زلزال عام 2005م بقوّة (M 8.7)، الذي قتل (1000) شخص، وزلزال عام 2007م بقوّة (M 8.5)، ثمّ زلزال عام 2009م بقوّة (M 7.6)، الذي قتل (1000) شخص⁽³⁾، ويُعدّ حصول أربعة زلازل كبيرة في خمس سنوات مسلسلاً زلزالياً فريداً، لذا، يُعدّ فهم العمليات المتعلقة بتعمد (تجمّع) الزلازل على امتداد صدع بعينه من الأمور فائقة الأهمية، إذا ما رغبتنا في التخطيط للمستقبل بخصوص الأحداث الزلزالية لمنطقة ما، وفي حقيقة الأمر، أنّه إذا لم يُسجّل زلزال عالي الأضرار خلال مئات عدّة من السنوات، فهذا غير كافٍ لاطمئناننا، كما كنا نظنّ في السابق.

عندما يفحص علماء الجيولوجيا الأنماط الزلزالية تبرز فكرتان: الأولى، هناك تناقص أحياناً في الزلازل الصغيرة والمتوسطة قبل حدوث زلازل أكبر، ومثال ذلك: قبل وقوع زلزال أوكاساكا عام 1978م في المكسيك بقوّة (M 7.8)، سادت فترة امتدّت (10) سنوات (1963م-1973م) من النشاط الزلزالي العالي (6-3 M)، أعقبها فترة سكوت زلزالي دامت (5) سنوات، ثمّ تجدد النشاط الزلزالي قبل الزلزال الرئيس بعشرة أشهر، وكان ذلك أساساً للتنبؤ الناجح⁽²⁹⁾، الثانية، قد يتخلّق عدد من الزلازل الصغيرة منطقة مؤهّلة لوقوع زلزال كبير، لقد لوحظت تلك الحلقة (الكعكة) قبل (16) شهراً من حدوث زلزال عام 1983م بقوّة (M 6.2) في منطقة كوالينجا في كاليفورنيا، ومع الأسف كان الإدراك المتأخّر أكثر وضوحاً من الإدراك السابق؛ لذلك لم تُلاحظ الحلقة أو تُحدّد إلا بعد حدوث الزلزال.

السلوك غير الطبيعي للحيوانات

Anomalous Animal Behavior

غالباً ما سُجّلت سلوكيات غريبة للحيوانات قبل حدوث الزلازل الكبيرة، وتضمّ التقارير نباح الكلاب بصورة غير اعتيادية، وامتناع الدجاج عن وضع البيض، وجري الخيول والمواشي بصورة حلقات، وبعود الفئران إلى أعمدة الطاقة، وخروج الأفاعي من جحورها في الشتاء والبرد، وكان هذا واضحاً قبل زلزال هايشينج⁽²⁸⁾، وقد أُقترح قبل سنوات: أنّنا سنكون في المستقبل قادرين على وضع سناجب أرضية، أو أفاعٍ في أقفاص على امتداد الصدوع، وبطريقة ما ستخبرنا متى يمكن أن يحدث الزلزال، بلا شك بعض الحيوانات أكثر إحساساً من الناس بحركات الأرض، وبالتغيّرات الأرضية الناتجة عن الزلازل أو الانزلاقات الأرضية، إلّا أنّ تقييم أهمية سلوك الحيوانات ومصداقيّته شديد الصعوبة، فالأبحاث العلمية العاملة لاستكشاف السلوكيات الغريبة للحيوانات في الولايات المتّحدة قليلة، إلّا أنّها ما زالت أحد الألباز المثيرة التي تحيط بالزلازل.

13-8 نحو التنبؤ بالزلازل

TOWARDS EARTHQUAKE PREDICTION

ما زلنا بعيدين جداً عن وضع منهجية عملية موثوقة للتنبؤ بالزلازل⁽³²⁾، إلّا أنّه تمّ جمع كمّ هائل من المعلومات تتعلّق بالظواهر التي تنذر بوقوع الزلازل، وأكثر الظواهر المنذرة فائدة حتى الآن، هي أنماط الزلازل وخاصّة السوابق الزلزالية والفجوات الزلزالية، ويعتقد العلماء المتفائلون حول العالم أنّنا سنكون قادرين في النهاية على القيام بتنبؤات طويلة المدى (عشرات السنوات إلى آلاف عدّة من السنوات)، وتنبؤات متوسطة المدى (سنوات عدّة إلى أشهر عدّة)، وتنبؤ قصير المدى (أيام أو ساعات عدّة) لمواقع الزلازل الكبيرة المضرّة وقوّتها.

ومع أنّ التقدّم في تنبؤ الزلازل القصير المدى (أيام - أشهر) لم يلبّ التوقعات، إلّا أنّ التنبؤ متوسط وطويل المدى (سنوات - عقود) سجّل تقدّماً فاق التوقعات، اعتماداً على احتمالات وقوع زلزال على صدع بعينه، وقد أُنشئ على قصة نجاح وتقييم الأخطار متوسطة المدى الناتجة في زلزال 28 أكتوبر عام 1983م في بورايك (M 7.3) في وسط أداهو، حيث اقترح التقييم السابق، أنّ صدع لوست ريفر صدع نشط⁽³³⁾، وقد قتل الزلزال شخصين، وسبّب أضراراً تقدّر بـ (15) مليون دولار تقريباً، ونتج عنه بروزات صدعية

A CLOSER LOOK نظرة متفصّلة

إثنا عشر قرنًا من الزلازل على صدع سان أندرياس في جنوب كاليفورنيا

Twelve Centuries of Earthquakes on the San Andreas Fault in Southern California

الصدوع في باليت كريك⁽³⁶⁾، ويظهر الشكل (8ح) جانبًا من جدار أحد الخنادق، ويبيّن إزاحة طبقات رسوبية غنية بالموادّ العضوية، ترتبط بزلازل وقعت سنة 1100 ميلادية تقريبًا.

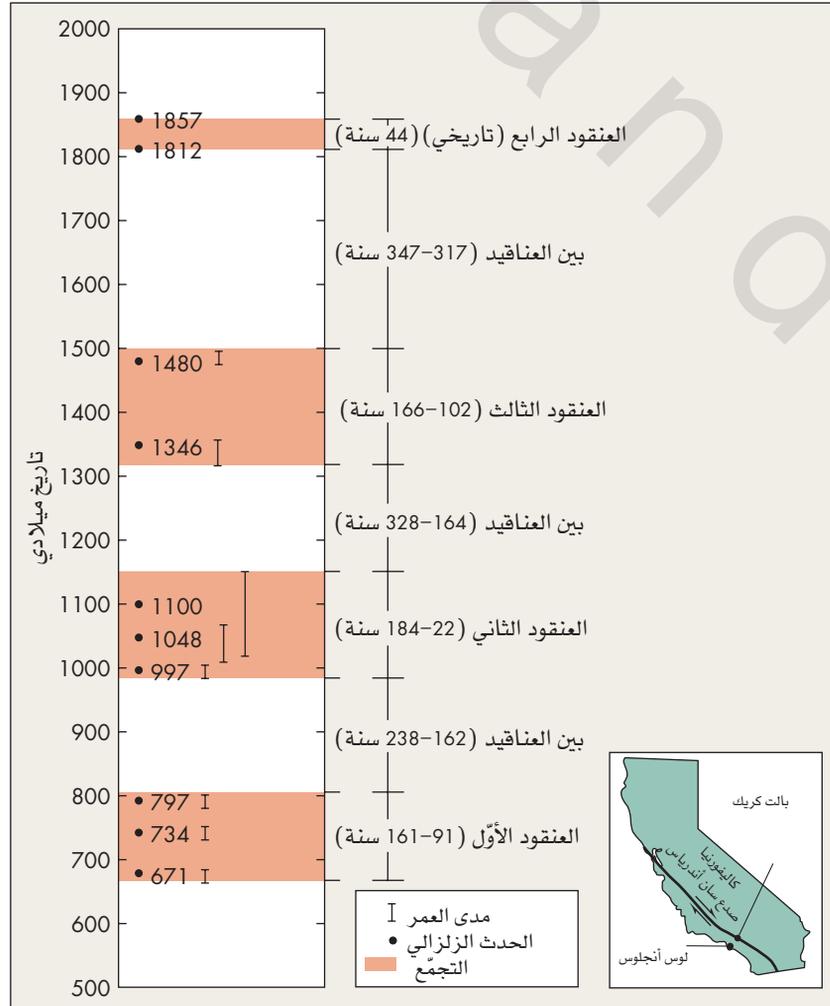
من الطبيعي أن نسأل السؤال الذي نتمنّى الإجابة عنه، وهو: متى سيقع الزلزال الكبير المقبل على صدع موجاف التابع لصدع سان أندرياس؟ وباستخدام الاحتمالات الشرطية، فإنّ الدراسات تشير إلى أنّ نسبة احتمالية حدوث الزلزال خلال (30) سنة القادمة (60%)، (انظر الشكل 8-30ب)، وإذا افترضنا أنّ الزلازل التاريخية كانت عنقودًا، وكان الفاصل الزمني بين العناقيد من (160) إلى (360) سنة، فإنّ الزلزال الكبير المقبل سيحدث في الفترة بين عام 2017م وعام 2207م، ومن جهة أخرى، فمع أنّ مجموعة البيانات التي جمعت من باليت كريك تُعدّ أكثر البيانات اكتمالًا فيما يخصّ أيّ صدع في العالم، إلّا أنّها لا تزال تمثّل دراسة لبيانات قليلة.

دون شك، فإنّ إحدى المناطق الفريدة في العالم للدراسات الزلزالية القديمة، هي باليت كريك التي تقع على بعد (55 km) تقريبًا شمال شرق لوس أنجلوس على صدع موجاف، وهو أحد أجزاء صدع سان أندرياس، ويحتوي المكان أدلة على حدوث (10) زلازل كبيرة: اثنتان منها زلازل تاريخية (1812م-1857م)، والباقي قبل التاريخ عودة إلى عام 671 ميلادي⁽³⁶⁾. وقد زودتنا تقنية استخدام الكربون المشعّ، بتحديد العمر المطلق لأعمار دقيقة للزلازل التاريخية الثمانية، فعندما رُسمت أعمار الزلازل وأخطاء القياس الممكنة على مخطط زمني، ظهر أنّ الزلازل لا تتوزّع بانتظام عبر التاريخ، ولكنها تتجمّع في مجموعات (الشكل 8ز)، إذ يتألف الزمن الذي يفصل الزلازل الواقعة ضمن عنقود واحد من عقود قليلة، ويتراوح الزمن الذي يفصل العناقيد عن بعضها من (160) إلى (360) سنة، وقد تمّ تحديد الزلازل وتعرّفها من خلال تقييم دقيق للتكشّفات الطبيعية وخنادق

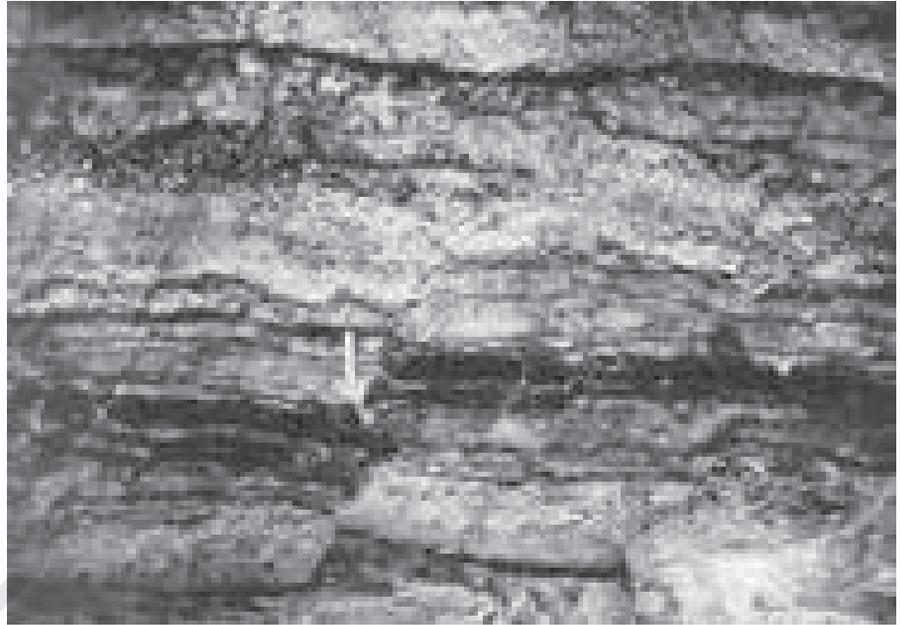
الشكل (8 ز): وقع قبل التاريخ زلازلان تاريخيان. وثمانية

زلازل على صدع سان أندرياس (باليت كريك).

Data from K. Sieh, M. Stuiver, and D. Grillinger, 1989, A more precise chronology of earthquakes produced by the San Andreas fault in southern California, Journal of Geophysical Research 94 (B1): 603-623.



الشكل (8 ج): جزء من جدار خندق يقطع صدع سان أندرياس في باليت كريك. تظهر إزاحة قيمتها (30 cm). لاحظ أنّ الطبقات التي تعلو المقياس (22 cm) في منتصف الصورة، لم تتأثر بالإزاحة. والطبقات المزاحة هي الطبقات الرسوبية بيضاء اللون، والطبقات العضوية الداكنة أريححت من زلزال وقع قبل 800 سنة من الآن (Courtesy of Carrie Sieh).



برامج التقليل من أخطار الزلازل

Earthquake hazard-Reduction

يقوم كلٌّ من المساحة الجيولوجية الأمريكية والجامعات وعدد من العلماء في الولايات المتّحدة بتطوير البرنامج الوطني للتقليل من أخطار الزلازل، وتتكوّن الأهداف الرئيسية لهذا البرنامج من (32):

■ تطوير فهم أفضل لمصدر الزلزال

يتطلب هذا فهم الخصائص الفيزيائية والسلوكيات الميكانيكية للصدوع، إضافة إلى تطوير نماذج كميّة لفيزياء العمليات الزلزالية.

15-8 الاستجابة لأخطار الزلزال

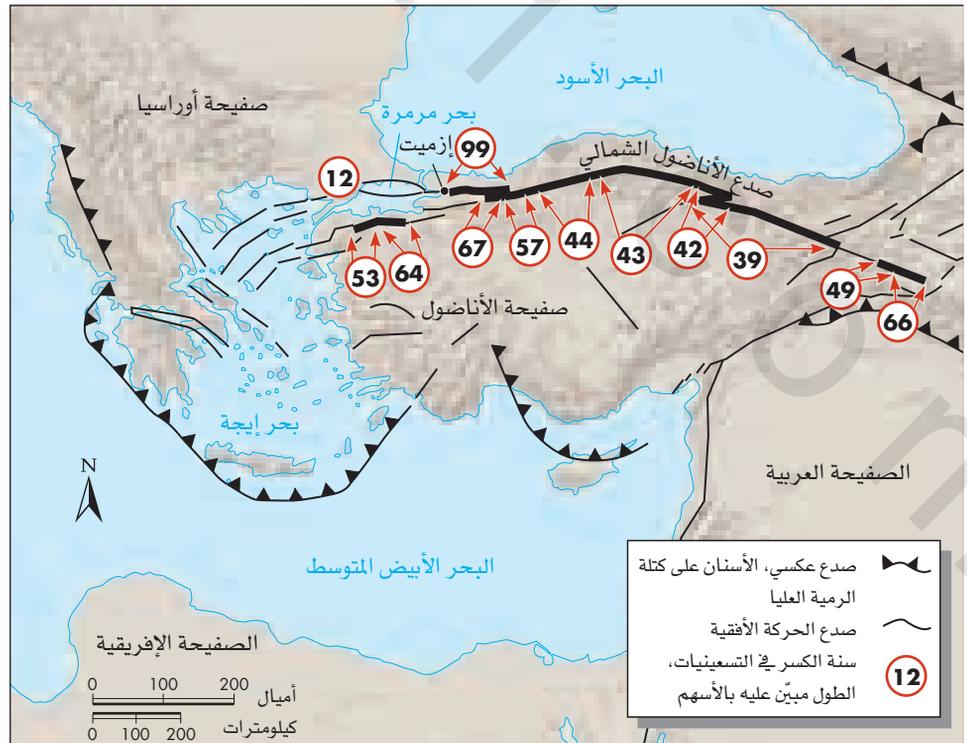
THE RESPONSE TO EARTHQUAKE HAZARDS

تتضمّن الاستجابة للأخطار الزلزالية في المناطق المعرّضة للزلازل الآتي: تطوير برامج تقليل الأخطار، ووضع المنشآت الحساسة في المناطق المناسبة بكلّ حرص، وتعديل استعمالات الأراضي، وإجراء تعديلات هندسية تلائم النشاط الزلزالي، وتطوير نظام إنذار، إذ يعتمد حدوث هذه الاستجابات جزئياً على مدى إدراك الناس للأخطار.

الشكل (8-31): متسلسلة الزلازل. الزلازل

التي قوتها أعلى من (M 6.7)، والتي وقعت على صدع أناتولي الشمالي خلال القرن العشرين. لم تظهر الزلازل التي وقعت عام 1992م، وعام 1951م، عام 1999م يظهر طول الكسر الذي نتج عن زلزالين (إزميت في شهر أغسطس ودوزيس في شهر نوفمبر).

(Modified after Reilinger, R., T. et al., 2000, 1999 Izmit Turkey earthquake was no surprise, GSA Joey 10 (1): 1-5).



(M 6.7)، ولكن فقد الأرواح والتدمير كان في أرمينيا مذهلاً، فقد قتل على الأقل (45) ألف شخص في أرمينيا مقابل (57) شخصاً في كاليفورنيا، وحدث تدمير كامل في بعض القرى القريبة من المركز السطحي، ومن الجدير بالذكر، أن معظم المباني في أرمينيا بُنيت من الأسمنت غير المسلح، التي تحوّلت مباشرة إلى ركام هشّ القاطنين فيها أو حتّجّهم تحته، وقد قتل زلزال باكستان عام 2005م (M 7.6) أكثر من (80,000) شخص، إذ حصلت معظم الوفيات؛ بسبب انهيار عمارات الشقق السكنية، التي بُنيت من الأسمنت قليل التسلح أو عديمه، فتحوّلت الشقق إلى كومة من الركام، وهذا لا يعني أن زلزال نورث ريدج لم يكن كارثياً، بل كان كذلك بالتأكيد، فقد ترك الزلزال قرابة (25000) شخص بلا مأوى، وتسبّب في انهيار عدد من جسور الطرق السريعة، وجرح قرابة (8000) شخص، وأدى إلى خسائر مادية تصل إلى بلايين الدولارات؛ بسبب أضرار المنشآت والمباني، (الشكل 1أ)، بينما نجا آلاف من الناس من الموت من زلزال نورث ريدج، في حوض لوس أنجلوس؛ لأنّ المباني بُنيت من ألواح الخشب أو الأسمنت المسلح.

■ تخطيط استعمالات الأراضي

ويضمّ إيجاد مواقع مناسبة للمنشآت الحساسة، مثل المدارس والمستشفيات ومراكز الأمن في مناطق بعيدة عن الزلازل النشطة أو المواد الأرضية الحساسة، التي قد تُضخّم الاهتزاز الزلزالي، ويتضمّن التخطيط أيضاً تقسيم الأراضي إلى نطاقات استجابة للاهتزازات الزلزالية على أساس قطعة قطعة، وهذا يُعدّ ضرورياً؛ بسبب تغيير الظروف الأرضية بصورة سريعة استجابة للاهتزازات، أضف إلى ذلك أنّنا نحتاج في المناطق المأهولة إلى إنتاج خرائط تفصيلية لاستجابة الأرض من أجل وضع النطاقات؛ وذلك لأنّ قيمة الممتلكات عالية جداً، وتقدر بملايين أو بلايين الدولارات للقطعة الواحدة، حيث تساعد هذه الخرائط المهندسين على تصميم المباني والمنشآت الأخرى، التي يمكنها الوقوف أمام الاهتزازات الزلزالية بصورة أفضل، ومن الواضح أنّ عمل النطاقات يتطلّب استثماراً لا بأس به في الوقت والمال، ولكن الخطوة الأولى، هي القيام بتطوير طرق مقبولة، تتوقّع اهتزاز الأرض نتيجة الزلزال في مكان ما.

■ تحديد إمكانية حدوث الزلزال

يتضمّن هذا التحديد إيجاد خصائص الأقاليم النشطة زلزالياً، بما في ذلك تحديد معدّلات تشوّه القشرة الأرضية، وتحديد الصدوع النشطة، والخصائص الزلزالية القديمة، وحساب تحرك الأرض القوي، ومعدّل الانزلاق، وفترة تكرار الزلازل، وحساب التنبؤ الاحتمالي طويل الأمد، وأخيراً تطوير وسائل للتنبؤ متوسط وقصير المدى للزلازل. (انظر إلى استخدام بعض الأرقام: تقييم الخطر الزلزالي).

■ تنبؤ آثار الزلازل

يتضمّن تنبؤ الآثار جمع البيانات اللازمة لتوقّع كسر الأرض واهتزازها، وتوقّع استجابة المنشآت التي بُنيت في المناطق المعرضة للزلازل، وتقييم الخسائر المصاحبة لأخطار الزلزال. (انظر إلى نظرة متفحّصة: زلزال آسكا 2002م، وقيمة حسابات احتمالية كسر الأرض).

■ تطبيق نتائج البحث العملي

يهتمّ البرنامج في تحويل المعرفة عن أخطار الزلازل ونقلها إلى الناس والمجتمعات والولايات والشعب كلّ، وتهتمّ هذه المعرفة بما يمكن أن تقوم به من أجل تخطيط أفضل للزلازل، وتقليل احتمالات الخسائر في الأرواح والممتلكات.

التأقلم مع النشاط الزلزالي

Adjustments to Earthquake Activity

ما زال فهمنا لميكانيكية الزلازل ضعيفاً، لذلك لا يُعدّ التكيف اعتماداً على أنظمة التحذير ومنع حدوث الزلزال بديلاً موثوقاً، إلا أنّ هناك وسائل حماية من الأضرار موثوقة يمكننا القيام بها، وهي:

■ حماية المنشآت

وتضمّن بناء المباني الكبيرة والمنشآت الأخرى، مثل السدود ومحطات الطاقة وخطوط الأنابيب، التي تكون قادرة على استيعاب الاهتزازات المتوسطة أو الكسر السطحي، وتعدّ هذه الوسيلة ناجحة نسبياً في الولايات المتحدة (انظر إلى نظرة متفحّصة: زلزال آسكا 2002م، وقيمة حسابات احتمالية كسر الأرض). لقد كان زلزال أرمينيا عام 1988م (M 6.8) أقوى قليلاً من زلزال نورث ريدج عام 1994م

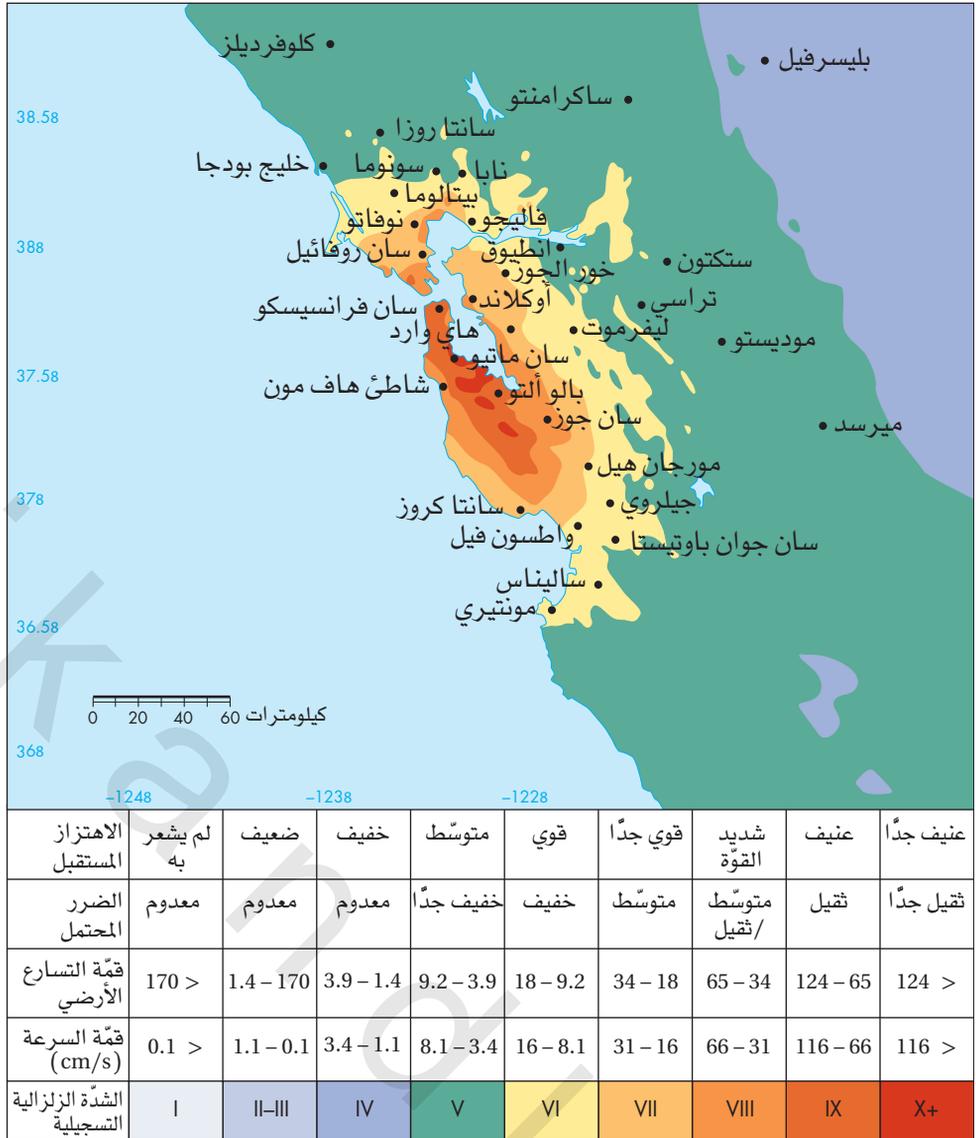
بعض التطبيقات الرقمية PUTTING SOME NUMBERS ON

تقويم خطر الزلزال Earthquake Hazard Evaluation

تظهر الحركة القوية (قمة التسارع الأرضي) لموجات زلزالية لها دورة قيمتها (0.3) من الثانية للمباني المكوّنة من طابق وطابقين، ولها دورة قيمتها ثانية واحدة للمباني التي تزيد على طابقين⁽³⁸⁾. وتملك المساحة الجيولوجية الأمريكية برامج تتوقّع قيمة قمة التسارع الأرضي وسرعة الاهتزاز، من خلال وضع سيناريو مخطّط زلزالي على صدع بعينه. ويظهر الشكل (ط8) سيناريو لزلزال بقوة (M 7.2) على صدع سان أندرياس في سان فرانسيسكو كاليفورنيا⁽³⁹⁾.

إنّ الهدف الأولي لتقييم خطر الزلزال، هو توفير الحماية ضد فقد الأرواح وانهيار المنشآت الرئيسية، بدلاً من تحديد الأضرار أو المحافظة على المظاهر الحيوية للمجتمع، مثل الطرق والخدمات⁽³⁷⁾، والفكرة الأساسية وراء تقييم الخطر الزلزالي هي الحصول على ما يسمّى "تصميم أساس حركة الأرض" (Design Basis Ground motion)، الذي يعرف بأنه الحركة الأرضية، التي فرصة عدم تجاوزها خلال (30) سنة تساوي نسبة (10%)، (وهي تساوي فرصة واحدة من (475) فرصة يتمّ تجاوزها في السنة)، وقد حددت في كاليفورنيا من خلال سلسلة من الخرائط، التي

الشكل (8 ط): سيناريو تخطيط الزلزال بقوة (M 7.2) لصدع سان أندرياس في سان فرانسيسكو/ كاليفورنيا. تشير شدة الزلازل التسجيلية إلى مقياس ميركالي (انظر الجدول 8-4)
(<http://earthquake.usgs.gov/research/hazmaps/scenario>)



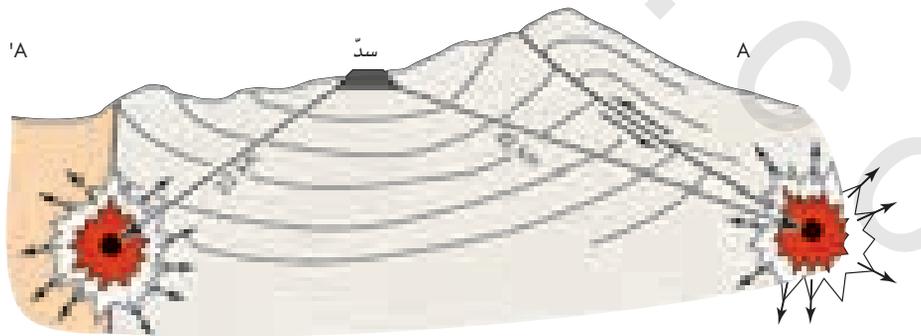
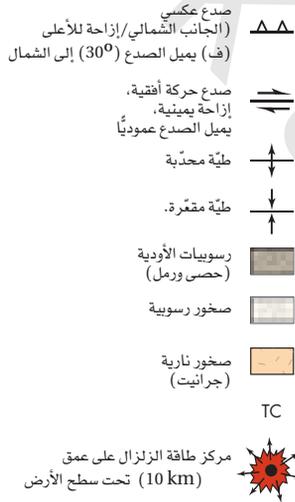
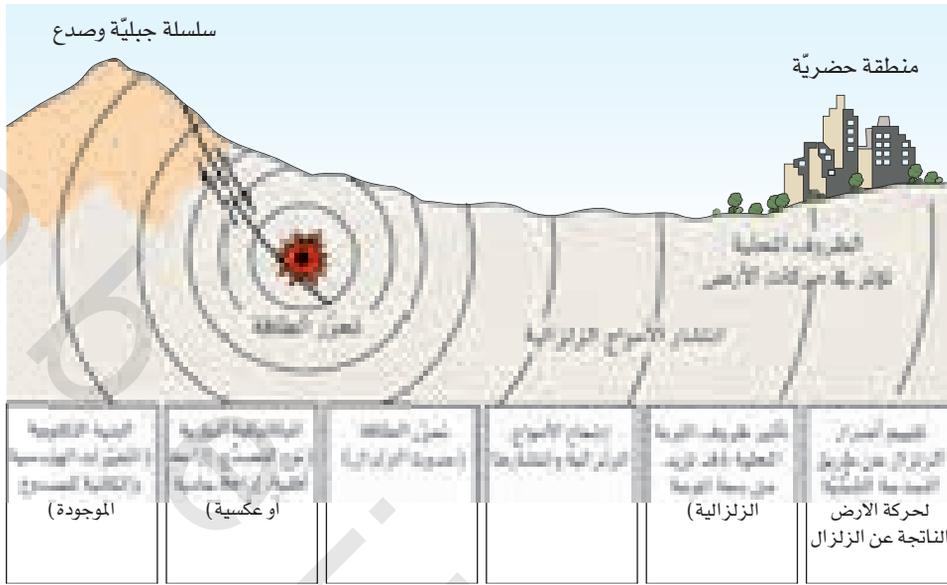
وقوع زلزال على عمق (10 km) تقريباً، فستكون المسافة الفاصلة بين السدّ والمصدرين الزلزاليين (وهما الصدع العكسي وصدع الحركة الأفقية) (42 km) و(32 km) على التوالي، لذلك سيكون الاحتمال في هذه المنطقة وجود ميكانيكيتين بؤريتين، وهما بؤرة الصدع العكسي، وبؤرة صدع الحركة الأفقية.

أما الخطوة الثانية في عملية التقييم، فهي تقدير قيمة أكبر زلزال يمكن أن يتكوّن على هذه الصدوع، افترض أنّ العمل الميداني في المنطقة قد كشف وجود كسر أرضي وأدلة أخرى عن حدوث صدوع في الماضي، وأشارت الأدلة إلى احتمال حدوث كسر على امتداد (50 km) تقريباً من صدع الحركة الأفقية؛ بسبب وقوع حادثة واحدة أدت إلى إزاحة أفقية يمينية قيمتها

يتضمّن تقييم أضرار الزلازل في منطقة ما، تحديد الوضع التكتوني (التوزيع الهندسي والنمط المكاني للصدوع والمصادر الزلزالية)، من أجل توقّع قيمة الإزاحة الزلزالية والحركة الأرضية (الشكل 8ي). ويمكن شرح كيفية توقّع قيمة الإزاحة الزلزالية والحركة الأرضية من خلال المثال الفرضي الآتي: يُظهر الشكل (8ك) (أ) مثالاً لموقع سدّ وبحيرة، والهدف هو توقّع الحركة الأرضية القوية على السدّ، التي قد تنتج عن عدد من المصادر الزلزالية (صدوع) في المنطقة، ويتألف الوضع التكتوني مثلما هو واضح من صدع عكسي يميل إلى الشمال، وتصاحبه طية محدّبة شمال السدّ، ويُظهر الشكل (8ك) (ب) مقطعاً عرضياً في السدّ، يشرح البيئة الجيولوجية، التي تتضمّن المواد الأرضية المختلفة والصدوع، ولو افترضنا

الشكل (8 ي): تقييم أضرار الزلازل بنمذجة الحركة الأرضية.

(After Vogel, 1988, In A.Vogel and K. Brandes (ed.), Earthquake Prognostics, Brann-schweig /weisbaden: Friedr. Vieweg&Sohn, 1-3)



عزم قوّة = 7 يتوافق مع كسر طولها
(50 km) وإزاحة طولها (2 m)

عزم قوّة = 6.5 يتوافق مع كسر طولها
(30 km) وإزاحة طولها (1 m)

(ب)

الشكل (8 ك): البنية التكتونية لموقع سدّ نظري. (أ) خريطة جيولوجية. (ب) مقطع عرضي (أ-أ) يبيّن المصدر الزلزالي والمسافة بين الكسور المحتملة وموقع السدّ.

الإحصائية، إلى أن عزم القوّة الزلزالية لا يرتبط بنوع الصدع⁽⁴⁰⁾.

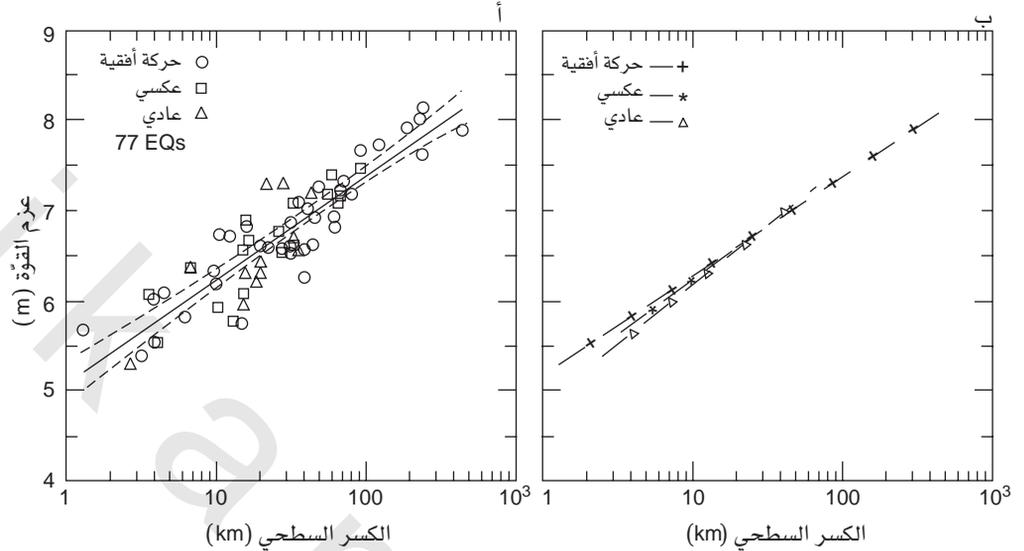
يمكن تقدير قيمة الإزاحة الرأسية ومتوسط الفترة التكرارية للزلازل من البيانات الجيولوجية، التي جمعت من خندق حُفِر ليقطع أحد الصدوع. ويظهر الشكل (8 م) توضع الطبقات المتكشّفة في الموقع الظاهر في الشكل (8 ك). حيث كانت قيمة الإزاحة الرأسية قرابة 1 mm/yr ($1 \text{ m}/1000\text{yr}$) ومتوسط الفترة التكرارية قرابة

(2 m)، وكشفت الدراسة الميدانية أيضًا أن طول أطول الكسور على الصدع العكسي كان (30 km)، وكانت قيمة إزاحته الرأسية (1.5 m)، فإذا أعطيت هذه البيانات والمعلومات، فمن الممكن تقدير القيمة المتوقعة لقوّة الزلازل، باستخدام منحنيات مثل تلك التي تظهر في الشكل (8 ل)⁽⁴⁰⁾. يتكوّن كسر أرضي طوله (50 km)؛ بسبب زلزال قوّته (M 7) تقريبًا، وكذلك الحال للصدع العكسي، فإن كسرًا سطحيًا طوله (30 km) يتكوّن؛ بسبب زلزال تقدّر قوّته (M_w 6.5). لاحظ أنّه في الشكل (8 ل) يمثل الخط الرجعي للبيانات صدوع الحركة الأفقية والصدوع العادية والعكسية، وتشير التحاليل

الشكل (8 ل): العلاقة بين عزم القوّة

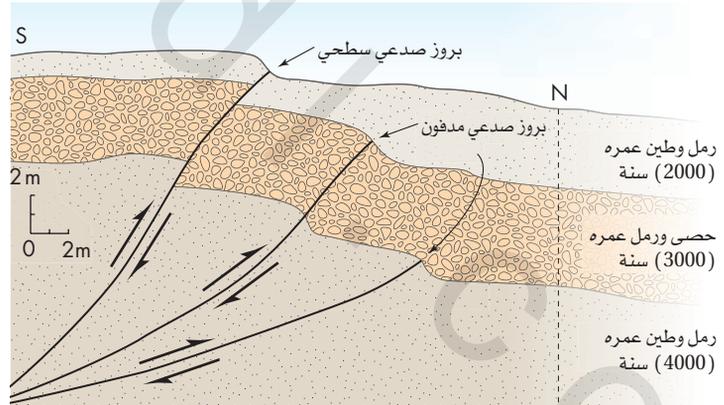
الزلزالية وطول الكسر السطحي. (أ)

أظهرت بيانات (77) زلزالًا. يمثل الخط المتصل خطّ أفضل مطابقة أو خطًا إحصائيًا رجعيًا للبيانات. وتمثّل الخطوط المتقطّعة حدود الخطأ بين الخطّين (After Wells and Coppersmith, 1994) [39]



الشكل (8 م): وصف مقطع ستراتيجرافي في الخندق الذي يظهر في الشكل (8 ك) (أ).

بلغ مجموع الإزاحة الرأسية خلال (4000) سنة قرابة (4 m)، أي إنّها تحركت (1 mm/yr ($1 \text{ m}/1000 \text{ yr}$)). أي معدّل الحركة للأحداث الحديثة جدًا قرابة (1.5 m) في (2000) سنة، أي (0.8 mm/yr). بلغ معدّل الحركة لأخر حدثين (2.8m) في (3000) سنة، أي (0.9 mm/yr).



بلغ معدّل الفترة التكرارية لثلاثة أحداث خلال (4000) سنة قرابة (1.3000) سنة

العامة لإعلان التنبؤ بكارثة، كما هو ظاهر في الشكل (5-12)، إذ تنتقل المعلومات من العلماء إلى مجلس التنبؤات للتحقق منها، ليتمّ إخبار المسؤولين الحكوميين والمحليين بالتنبؤ بحدوث زلزال ذي أضرار بقوّة معيّنة، في مكان محدد خلال فترة محدّدة من الزمن، ليعلن المسؤولون التحذير لعامة الشعب، واتخاذ الرد الدفاعي المناسب، ونأمل أن يكون ذلك قبل فوات الأوان، حيث تعتمد إمكانية الاستجابة على التنبؤ في الوقت المتاح، ولكن أيّامًا قليلة ستكون كافية لتحريك خدمات الطوارئ،

(1300) سنة.

■ ارتفاع التأمين ومعايير الإغاثة للمساعدة على التأقلم بعد الزلزال

كان مجموع مطالبات التأمين بعد زلزال نورث ريدج عام 1994م عاليًا جدًا، وقد ألغى التأمين ضد الزلازل من بعض شركات التأمين، ونأمل أن نكون قادرين على التنبؤ بالزلازل أخيرًا. يبيّن الشكل (8-32) الخطّة الفدرالية لنشر التنبؤات والتحذيرات، لاحظ مدى ارتباطها بالكيفيّة

نظرة متفصّلة A CLOSER LOOK

زلزال ألاسكا عام 2002م، وقيمة حساب إمكانية الكسر الأرضي

The Alaska Earthquake of 2002 and the Value of Estimating Potential Ground Rupture

يُتعرّض لإزاحة أفقية تبلغ (6 m)، إذا وقع زلزال قوّته (8) درجات، لذلك أدخلت هذه القياسات عند تصميم خطّ الأنابيب، الذي بُني على دعائمات فولاذية أفقية طويلة، وارتكز على عكازات مصنوعة من التيفلون. بحيث تسمح بانزلاق خطّ الأنابيب أفقيًا قرابة (6 m)، وقد صاحب ذلك استخدام نمط متعرّج للأنابيب، يتيح مع الدعائم الفولاذية إمكانية الإزاحة الأفقية (الشكل 8 ن). وقع زلزال عام 2002م في المنطقة التي تمّت دراستها ومسحها من الصدع، ونتج عنه إزاحة أفقية يمينية مقدارها (4.3 m). وتعرّض خطّ الأنابيب نتيجة لذلك للقليل من الضرر، ولم يحدث أيّ تسرّب للنفط، وقد بلغت تكاليف الدراسات الهندسية وأعمال البناء عام 1970م 3 ملايين دينار تقريبًا، وهي اليوم لا تساوي شيئًا مقابل (25) مليون دينار تقريبًا من النفط، تُنقل عبر خطّ الأنابيب يوميًا، فلو تعرّض خطّ الأنابيب للكسر، فستكون تكاليف عمليات تصليح الخطّ وأعمال تنظيف البيئة من

وإغلاق الآلات المهمّة، وإخلاء المناطق الخطرة.

وقع الزلزال ظهر يوم الثالث من نوفمبر عام 2002م، بقوة (7.9) على صدع دينالي جنوب وسط ألاسكا، ونتج عنه كسر سطحي طوله (340 km)، وصاحبه إزاحة أفقية يمينية تزيد على (8 m) (الشكل 8 ن). ضرب الزلزال منطقة نائية من ألاسكا، حيث يعيش عدد قليل من الناس، ومع أنّ الزلزال أدى إلى آلاف الانزلاقات الأرضية، وكثيرًا من أمثلة تمّيع التربة والاهتزاز العنيف، إلّا أنّ أضرار المنشآت كانت قليلة، ولم تحدث وفيات⁽⁴¹⁾.

لقد أوضح زلزال صدع دينالي أهمّية تقييم الأضرار الزلزالية، وقد دُرِس الصدع في بداية السبعينيات من القرن الماضي بوصفه جزءًا من تقييم خطّ أنابيب عبر ألاسكا، الذي يزوّد الولايات المتحدة الآن بقرابة (17%) من احتياجاتها النفطية الداخلية، وحدّد الجيولوجيون في موضع مرور خطّ الأنابيب عبر الصدع، أنّ عرض نطاق الصدع مئات عدّة من الأمتار، وأنّه قد



الشكل (8ن): خطّ أنابيب عبر ألاسكا نجى من زلزال بقوة (7.9 M). لقد صمّم خطّ الأنابيب ليقاوم أمتارًا عدّة من الإزاحة الأفقية على صدع دينالي. أدّى زلزال عام 2002م إلى كسر طوله (4.3 m) تحت خطّ الأنابيب. لقد تأقلم تصميم التعرّجات على دعائمات انزلاقية وعكازات من التيفلون عملية الكسر. وكان هذا تأكيدًا قويًا على قيمة حساب إمكانيات الكسر الأرضي، واتخاذ الإجراء اللازم لإزالة التهديد الكامن والضرر. (USGS)

هذا النظام من إعطاء تحذير (10) ثوانٍ أو أكثر لمدين ولاية كاليفورنيا، قبل وصول أمواج زلزال مدمر وقع على بعد مئات عدّة من الكيلومترات منها. يعتمد هذا النوع من الأنظمة على مبدأ إرسال الإنذار بأمواج الراديو عبر الأقمار الصناعية، بسرعة تفوق سرعة الموجات الزلزالية. يمتلك اليابانيون نظام إنذار منذ (20) سنة فيه (1000) جهاز رصد زلزالي،

التلوّث مئات الملايين من الدولارات⁽⁴²⁾.

أنظمة الإنذار الزلزالي

Earthquake Warning Systems

يُعدّ تطوير نظام إنذار للزلازل من الناحية الفنية عملاً مجديًا، إذا تمكّن

ثم يذاع إلى الدوائر الحساسة والمدارس والجمهور العام (الشكل 8-33)، وقد تتغير فترة الإنذار مما هو أقل من (10) ثوانٍ إلى ما لا يزيد على دقيقة واحدة، ويعتمد ذلك على بعد موقع المركز السطحي للزلازل، وقد تكون هذه المدة الزمنية كافية للناس، لإطفاء الماكينات والحواسيب والخروج⁽⁴³⁾،⁽⁴⁴⁾. تذكر أنّ نظام الإنذار هذا ليس وسيلة للتنبؤ، ولكنه تحذير بأن زلزالاً قد وقع.

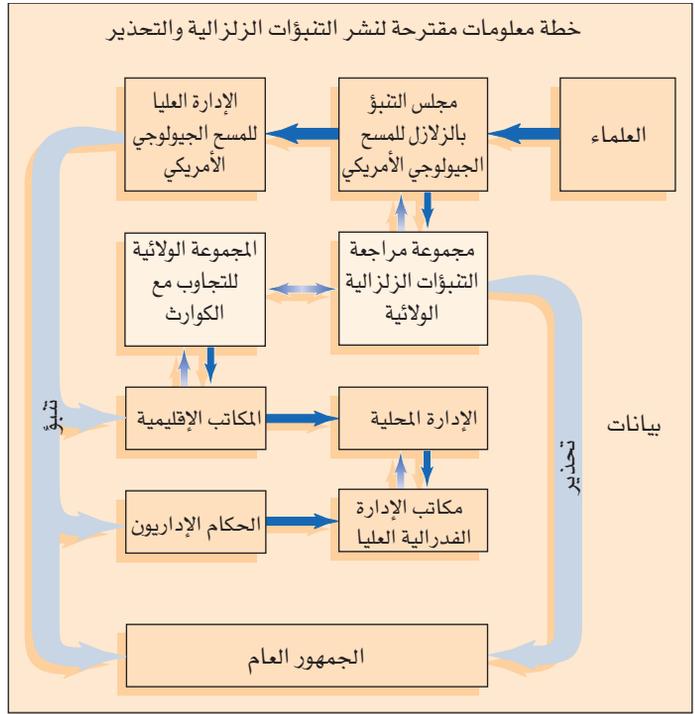
إنّ المشكلة الكامنة في نظام الإنذار هي فرصة حدوث إنذار كاذب، ففي نظام الإنذار الياباني كانت نسبة الإنذار الكاذب (5%)؛ ولأنّ زمن الإنذار قصير جداً، أظهر بعض الناس اهتماماً حول إمكانية وجود أفعال غامضة، وهناك اهتمام أيضاً حول المسؤولية القانونية الناتجة عن إنذار كاذب، أو فشل نظام الإنذار أو الأضرار والمعاناة الناتجة عن الأفعال التي اعتمدت بناء نتائج الإنذار الأولي الكاذب، والخطوة المقبلة بالنسبة إلى كاليفورنيا، هي تحديد مدى كبر شبكة الرصد الزلزالي اللازمة، وتركيب أجهزة الرصد الزلزالي الضرورية، وتطوير نظام الاتصالات، بحيث يرسل الإنذار بكلّ مصداقية⁽⁴⁴⁾.

إدراك أخطار الزلازل

Perception of Earthquake Hazard

حقيقة أنّ اليابسة ليست صلبة بما فيه الكفاية شيء محبط لأولئك الناس الذين اختبروا زلزالاً متوسّطاً، ويشهد عدد كبير من الناس، وخصوصاً الأطفال الذين عانوا آلاماً نفسية بعد زلزال سان فيرناندو، وزلزال نورث ريدج، على التأثيرات العاطفية والنفسية للزلازل، فقد كانت هذه الأحداث كافية، للتأثير في قرار عدد من الأسر للانتقال من لوس أنجلوس.

لقد أخذ حذر اليابانيين على حين غرة بزلزال كوبي عام 1995م، وقد وجّه اللوم للحكومة لعدم استنادها على استجابة سريعة وفعّالة، فلم تصل طواقم إنقاذ الطوارئ إلا بعد (10) ساعات من الزلزال! فقد اعتقدوا أنّ مبانيهم وطرقهم السريعة نسبياً في مأمن مقارنة بتلك التي هوت بسبب زلزال نورث



الشكل (8-32): إصدار التنبؤ أو الإنذار. خطة فدرالية لنشر التنبؤات

الزلزالية والإنذار. كيفية سريان المعلومات.

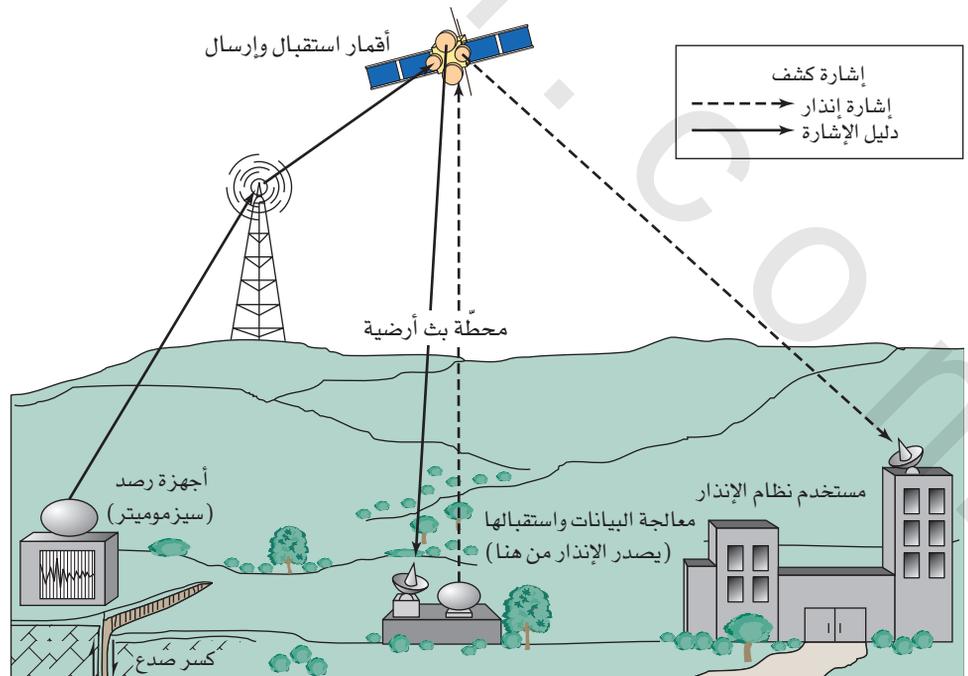
(From Mckelvey, V.E. 1976. Earthquake prediction-Opportunity to avert disaster. US Geological Survey Circular 729)

وهو يعطي إنذاراً بالزلازل للقطارات فائقة السرعة؛ لأنّ خروج القطارات عن خطوطها يؤدي إلى فقدان الأرواح، وتوجد خطة مقترحة لبناء نظام إنذار في كاليفورنيا، يتكوّن من شبكة من أجهزة الرصد (متوافر حالياً 300 جهاز)، والمرسلات على امتداد صدع سان أندرياس والصدوع الأخرى، إذ يستشعر هذا النظام أولاً الحركة المصاحبة لزلزال كبير، ثم يرسل الإنذار إلى لوس أنجلوس،

الشكل (8-33): إنذار الزلازل. نموذج

مثالي يبيّن نظام إنذار الزلازل. حالما يتم كشف الزلزال، ترسل إشارة تصل قبل وصول الاهتزازات الزلزالية لإنذار الناس والمنشآت. ويعتمد زمن الإنذار على بعد الموقع الذي حدث فيه الزلزال، وقد يكون الزمن كافياً، بحيث يستطيع الناس إطفاء الأجهزة الحساسة والهرب.

(After Holden, R., Lee, R. & Reichle, M., 1989, California Division of Mines and Geology Bulletin 101)



ريديج في كاليفورنيا قبل سنة.

وكما ذكر سابقاً، وقعت سلسلة من الزلازل المؤثرة في تركيا انتهت عام 1999م، وكان من ضمنها زلزالان كبيران جداً (الشكل 8-31)، حدث الأول في 17 أغسطس، وسوّى آلاف العمارات الأسمنتية بالأرض، وترك (600) ألف شخص دون مأوى، وقتل (38000) شخص تقريباً. تظهر في الصورة في (الشكل 8-34) بعض الأضرار الشديدة، التي تعرّضت لها بلدة جولكوك في غرب تركيا، لاحظ أنّ المسجد القديم جداً في يسار الصورة ما زال صامداً، في حين انهارت كثير من المباني الحديثة، ما يعني أنّ الأبنية القديمة أكثر مقاومة للزلازل من المباني الحديثة، مع أنّ تركيا تطبّق مواصفات عالية نسبياً للمباني الحديثة، بحيث تقاوم الزلازل، وتوجد مخاوف بأنّ البناء السيئ كان عاملاً في انهيار الأبنية الحديثة، نتيجة الاهتزازات الزلزالية الكثيفة، أدعي أنّ بعض المقاولين الأتراك جرفوا الركام الناتج عن الأبنية المنهارة مباشرة بعد حدوث الزلزال، ربما في محاولة لإخفاء الأدلة على رداءة البناء، ولو كان هذا الادعاء صحيحاً، فإنّ هؤلاء المقاولين قاموا بإشغال الجرافات بدلاً من استخدامها في المساعدة على إنقاذ الناس المحاصرين تحت الأنقاض.

كانت الدروس المستفادة من نورث ريديج وكوبي و تركيا وباكستان دروساً جيّدة، بيّنت قابلية تعرّض مجتمعاتنا الحديثة لخسائر كارثية؛ بسبب الزلازل الكبيرة، وأنّ الأبنية الأقدم التي بُنيت من الأسمنت غير المسلح، والتي لم تصمّم لمقاومة الاهتزازات الزلزالية القوية، ستكون أكثر عرضة للضرر، ففي كوبي تعرّضت الأبنية الحديثة التي بُنيت بعد عام 1990م من الأسمنت المسلح، والتي روعيت فيها كودات البناء المقاومة للزلازل، لأضرار قليلة مقارنة بتلك التي بُنيت في منتصف الستينيات أو قبل ذلك، وللتقليل من

الأخطار، فتحن في حاجة إلى إعادة التفكير من جديد فيها.

التدابير الشخصية والعامّة: قبل الزلزال، وفي أثناءه، وبعده

Personal and Community Adjustments: Before, During and After an Earthquake

تعدّ مجموعة من الأشخاص الذين يعيشون في منطقة محدّدة بالمجتمع، سواء كانوا في قرية أو بلدة أو مدينة، ومن المهمّ للناس الذين يعيشون في منطقة معرّضة للخطر للزلزالي، أن يكونوا مهيبّين للخطر من حيث ما يجب أخذه من تدابير قبل الزلزال وخلالها وبعده.

فعلى مستوى المجتمع، فإنّ أحد أهمّ المظاهر اللازمة في الاستعداد للزلازل، هو تقوية كودات البناء، مثل الكودة الموحّدة للبناء في كاليفورنيا، والهدف من الجزء الخاصّ بالزلازل من كودة البناء، هو تقديم الحماية ضد خسائر الأرواح، وفشل المنشآت الرئيسية من خلال السماح لها بمقاومة الاهتزازات الزلزالية بصورة أفضل، ومن الأهداف الأخرى على المستوى المجتمعي، تفقّد الأبنية القديمة وفحصها لتحديد فيما لو كانت إعادة المطابقة لها ضرورية، من أجل تقويتها لمقاومة الاهتزازات الزلزالية بصورة أفضل، وفي الحقيقة، قامت ولاية كاليفورنيا بتنظيم إعادة المطابقة للمباني، واستنتجت في دراسة حديثة، أنّ كثيراً من المستشفيات القائمة في جنوب كاليفورنيا في حاجة إلى عملية إعادة مطابقة كبيرة ومكلفة مادياً.

وتأتي أهميّة التوعية على مستوى استعداد المجتمع لمواجهة الزلزال، إذ تحضّر الحكومة والمحافظة والمؤسسات المحلية نشرات وأفلام فيديو



الشكل (8-34): انهيار المباني في تركيا.

أضرار في مدينة جولكوك غربي تركيا من زلزال (M 7.4) في أغسطس عام 1999م. بقي المسجد القديم في الناحية الغربية ثابتاً، بينما انهارت كثير من المباني الحديثة.

مقاومة بعض الاهتزاز.

قد يكون أهم عمل منطقي تقوم به قبل الزلزال، هو تحضير خطة عمل لما يتعين عليك عمله، فيما لو وقع زلزال كبير، بحيث تتضمن الآتي:

- علم أفراد العائلة كلهم على ”هرب - احتتم - امكث“، وحدد في غرف المنزل كلها المكان الآمن، مثل مكتب متين، أو طاولة، أو جدار داخلي قوي.
- أرشد من قد يكون في المنزل إلى كيفية إغلاق صمام الغاز في حال كشف تسربه، ويتم ذلك من خلال سماع صوت التسرب أو شم رائحة الغاز.
- بعد حدوث الزلزال، يكون الاتصال مع من هم خارج المنطقة أسهل من الاتصال مع من هم داخل المنطقة؛ لذلك حدد شخصًا خارج المنطقة يمكن الاتصال به.
- تأكد من أنه تتوفر لديك إمدادات كافية من الطعام والماء وأدوات الإسعافات الأولية ومصباح يدوي وبعض النقود؛ كي تتمكن من ترتيب أمورك خلال فترة الطوارئ، عندما يكون الحصول على الأشياء صعبًا.
- تعرّف جيرانك في الحي، وحدد كبار السن، وذوي الاحتياجات الخاصة، الذين قد يكونون في حاجة إلى المساعدة في حال حدوث الزلزال، وساعد على تعليم الآخرين من الحي على كيفية تحضير خططهم.

تحدّ الاهتزازات القوية من حركتك عند حدوث الزلزال، ونتيجة لذلك تكون إستراتيجيتك ”الهرب-الاحتتم-المكوث“ مستخدمًا معرفتك بالزلازل، ويمكن أن تحاول معرفة قوّة الزلزال وتوقع ما قد يحدث، فتعرف مثلًا: أنّ هناك أنواعًا مختلفة من الأمواج الزلزالية، وهي أمواج (P) وأمواج (S) وأمواج سطحية (R)، حيث ستصل أمواج (P) أولًا، ويمكنك أن تسمعها وهي قادمة، ستبعتها مباشرة أمواج (S) ثمّ أمواج (R)، التي تؤدي إلى الإزاحة الأكبر ومعظم الأضرار، وتتغير طول فترة الاهتزاز باختلاف قوّة الزلزال، ففي زلزال نورث ريدج عام 1994م مثلًا، استمرت قرابة (15) ثانية، إلا أنّها تكون في زلزال أعظم أكبر بكثير، فعلى سبيل المثال: استمرت الاهتزازات مدّة دقيقتين تقريبًا، نتيجة زلزال سان فرانسيسكو عام 1906م، وإضافة إلى إستراتيجية ”هرب-احتتم-امكث“، فأنت في حاجة إلى أن تبقى هادئًا في أثناء الزلزال، وتحمي نفسك من الأدوات والكتب والمواد الأخرى، التي قد تنزلق أو تتطاير في الغرفة، وقد تكون إستراتيجية جيّدة أن ترض تحت مكتب أو طاولة، أو تتمدّد تحت سرير، أو تثبت نفسك في مدخل باب قوي، وقد تحدث في أثناء الزلزال انفجارات وومضات ناتجة عن محوّل الطاقة وعن أعمدة الكهرباء؛ لذلك يجب أن تتجنّب أسلاك الكهرباء الساقطة، وعليك مقاومة الرغبة الطبيعية للفرع بكل ما أوتيت من قوّة.

خذ نفسًا عميقًا، عندما تتوقّف الاهتزازات، ورتّب أفكارك بما يتماشى مع خطة العمل التي وضعتها، وتقدّم أفراد أسرته والجيران، واستكشف عن تهريب للغاز أو حريق، واستخدم الهاتف في الحالات الطارئة، وتفقد أيضًا مدخنة المنزل؛ لأنّ المداخل أكثر عرضة للانفجار بسبب الزلازل، فقد تفصل المدخنة عن السقف أو الجدار على امتداد جانب المدخنة، وإن كنت

بخصوص أخطار الزلزال، وتساعد على التأكد من أنّ هذه المعلومات قد وُزعت على الجمهور، أضف إلى ذلك أنّها تعقد دورات وورشات عمل عن آخر المستجديات، فيما يخصّ كيفية تقليل أخطار الزلازل، وتقدّم للمختصين من المهندسين والجيولوجيين والمخططين، وتتوافر على المواقع الإلكترونية الكثير من المعلومات عن دور المجتمع من مصادر عدّة، بما فيها المساحة الجيولوجية الأمريكية والمنظّمات العلمية، مثل مركز جنوب كاليفورنيا للزلازل، ومؤسّسات أخرى مهتمة بتقليل أخطار الزلازل⁽⁴⁵⁾.

ومن الضروري أن يتمّ التمرّن في المدارس على ما يسمّى ”تمرين الزلازل“، بحيث يقوم الطلاب بتمثيل الخطوات التي يجب القيام بها لو تعرّضوا للزلزال، وهي ”هروب، احتتم، مكوث“، ويخرج الطلاب بعد (15-20) ثانية من أماكن هروبهم واحتتماتهم، ويأخذون نفسًا عميقًا وبطيئًا خمس مرّات، ويتدربون على أن يبقوا هادئين، ثم يمشون إلى منطقة معيّنة ومحدّدة آمنة.

تمّ تطبيق تمرين زلزال كبير في (13) من نوفمبر عام 2008م في إقليم لوس أنجلوس، وقد أطلق على ذلك التمرين اسم اهتزاز جنوب كاليفورنيا العظيم، وشارك فيه الملايين من الناس، وقد طبّقوا سيناريو الزلزال على جنوب صدع سان أندرياس، بقوّة (M 7.8)، الذي أدى إلى قتل (2000) شخص وجرح (50000) شخص، وخسائر تقدّر بـ (200) بليون دولار، وقد ساعد التمرين على تقييم استعداد الطوارئ لزلزال كبير، وجعل الناس يدركون أكثر أنّ ما نعرفه سوف يأتي، وسنعلم فيما إذا كان التمرين ناجحًا أم لا بعد حدوث زلزال حقيقي.

وقد قدّر أنّ بلايين الدولارات من أضرار الزلازل، يمكن تقاديتها على المستوى الشخصي في بيوتنا وشققنا لو أمّنت مبانينا ومحتوياتها، لتقاوم الاهتزاز الناتج عن الزلازل، ويجب على مالكي المباني أو المستأجرين إجراء فحص كامل للمبنى وباستمرار، قبل حدوث الزلزال، بما في ذلك الغرف والأساسات والكرجات والملاجئ (التسوية)، وفيما يأتي بعض الأشياء التي تتعيّن مراعاتها في فحص سلامة المباني⁽⁴⁵⁾:

- تأكد من تقوية المدخنة لتقاوم الاهتزازات الزلزالية، فقد كان انهيار المداخل في زلزال نورث ريدج عام 1994م من المشاهدات العامة للأضرار.
- تأكد أنّ بيتك مثبت بإحكام بالأساسات، ومن توافر ألواح من الخشب الرقيق بين القوائم الخشبية في الجدران، وتأكد أنّ الفتحات الكبيرة مثبتة بإحكام، مثل باب الكراج الذي يعلوه سقف.
- تأكد في داخل المنزل من تأمين وتثبيت أيّ شيء ثقيل قد يؤدي عند وقوعه، أو هشّ قابل للكسر أو شيء ثمين، تتوافر وسائل لتثبيت الأشياء الموجودة على الطاولات، وأجهزة التلفزيون، والأثاث الطويل وأبواب الخزائن.
- يمكن تغطية النوافذ الكبيرة والأبواب المنزلقة (بشريط بوليستر) لاصق لجعلها أكثر أمنًا، وتقليل الخطر من تطاير شظايا الزجاج المنكسر في أثناء الزلزال.
- تأكد أنّ غاز سخان الماء مثبت بالمبنى، بحيث لا يقع، ويؤدي إلى حريق، وإذا كان ضروريًا، فغيّره بتمديدات غاز مطاوعة، يمكنها

فهناك علاقة معروفة بين قوّة الزلزال الرئيس وتوزيع الزلازل الارتدادية، في الساعات والأيام والأشهر وأحياناً السنوات اللاحقة للزلزال، فإذا كانت قوّة الزلزال (7) درجات، فيتوقّع حدوث عدد من الزلازل الارتدادية بقوّة (6) درجات، وكثير منها بين (4-5) درجات، إذ يتناقص في العادة عدد الزلازل الارتدادية وقوّتها مع الزمن من لحظة انتهاء الزلزال الرئيس، وأكثر الفترات خطراً تلك التي تعقب الزلزال مباشرة بدقائق وساعات وأيام.

ومن الأنباء السارّة بخصوص العيش في منطقة زلزالية في الولايات المتّحدة، أنه يمكن البقاء في ظل الزلازل الكبيرة، فقد بُنيت المباني، كي تقاوم الاهتزازات الزلزالية، ونادراً ما تتهار المنازل المبنية من الأعمدة الخشبية، إلا أنّ المهمّ أن تكون مطلعاً وجاهزاً للزلزال؛ ولهذا السبب فمن المهمّ جداً أن تضع خطة شخصية، وأن تكون مدرّكاً لها، لما يجب أن تقوم به قبل الزلزال وخلاله وبعده.

الزلازل الكبيرة من أكثر الأحداث الطبيعية فجئاً وتدميراً، وتوجد معظمها في المناطق النشطة تكتونيّاً، حيث تتفاعل صفائح الغلاف الصخري مع بعضها على امتداد حدودها، وتحدث أيضاً بعض الزلازل عالية الأضرار

في مدرّجات أو قاعات مسرح، فمن الأفضل أن تبقى في مقعدك، وأن تحمي رأسك ورقتك بيديك، ولا تحاول المغادرة إلا بعد توقّف الاهتزاز، ابق هادئاً، وتقدّم ببطء، مراقباً بحرص الأشياء التي وقعت، أو من الممكن أن تقع.

لو كنت داخل مبنى تسوّق، فمن المهمّ أن ”تهرب-تحتمي-تمكث“ بعيداً عن الأبواب الزجاجية ورفوف عرض الكتب وغيرها من الأشياء التي قد تقع عليك، أمّا إن كنت في الخارج وحدث الزلزال، فمن الحكمة أن تتحرّك إلى مكان خالٍ، حيث تتجنّب سقوط الأشجار والأبنية وأعمدة الكهرباء وأي أخطار أخرى، وإن كنت في منطقة جبلية، فاحذر خطر الانزلاقات الأرضية؛ لأنّ الزلازل تولّد كثيراً من الانزلاقات الأرضية، وإن كنت في عمارة شاهقة الارتفاع فعليك ”الهرب-الاجتماع-المكوث“ مثلما لو كنت في المنزل، وتجنّب النوافذ الكبيرة، ومن المؤكّد أنّ الاهتزاز سيطلق صفارات الحريق، وأنظمة رشّ الماء الأوتوماتيكية، تُعدّ الشوارع التي تحيط بها البنايات الشاهقة أماكن خطيرة جداً خلال الزلزال، فغالباً ما يتكسّر زجاج النوافذ وتتطاير الشظايا، وتقع على الشارع في الأسفل، فتؤدّي الحوافّ الحادّة للزجاج إلى إصابات خطيرة أو موت الناس⁽⁴⁵⁾.

وأخيراً بعد الزلزال، كن مستعدّاً للواحق الزلزالية (الزلازل الارتدادية)،

ملخص SUMMARY

داخل الصفحة.

تظهر أماكن الاهتزازات القوية عالية الضرر الممكنة، إذ نحتاج إلى هذه المعلومات بسرعة؛ لمساعدة طواقم الطوارئ، وتُعدّ معرفة التسارع الأرضي في أثناء الزلزال من أهمّ المعلومات الضرورية، لتصميم المباني التي تستطيع مقاومة الاهتزاز.

تتكوّن دورة الزلازل المفترضة من أربع مراحل: الأولى هي مرحلة السكون الزلزالي، التي يُبنى من خلالها الإجهاد في الصخور على امتداد الصدع، ويتبعها فترة زيادة زلزالية المنطقة؛ بسبب تزايد الإجهاد محلياً بقوّة تحمّل الصخور، ما يتولد عنها صدع محلي وزلزال صغير، وتتكوّن المرحلة الثالثة التي قد لا تحدث دائماً، من السوابق الزلزالية، أمّا المرحلة الرابعة، فهي مرحلة الزلزال الرئيس، التي تحدث عندما تنكسر القطعة الصدعية، وينتج عنها ارتداد مرّن يولّد الأمواج الزلزالية.

أدّى النشاط الإنساني إلى ازدياد النشاط الزلزالي، عندما تُحمّل القشرة الأرضية بأوزان إضافية؛ بسبب الخزانات المائية الكبيرة، أو من خلال التخلّص من النفايات السائلة، بضخها في آبار النفايات العميقة، التي تؤدّي إلى زيادة ضغط السائل في الصخور، وتسهيل الحركة على الشقوق، أو بسبب إجراء التفجيرات النووية تحت السطحية. إنّ الأضرار الناتجة عن النشاطين الأول والثاني لا تذكر، وما تعلّمناه من كيفية تسبّبنا في حدوث الزلازل، قد تساعدنا على التحكم في الزلازل الكبيرة أو إيقافها.

تضمّ آثار الزلازل اهتزاز الأرض العنيف، الذي يؤدّي إلى تكوّن الشقوق التي قد تشقّق الأبنية والجسور والسدود والأنفاق، وغيرها من التراكيب الصلبة، أو تؤدّي إلى انهيارها. ومن الآثار الأخرى تمّيع التربة، وحدوث الانزلاقات الأرضية، والحرائق، والهبوط الواسع للكتل الأرضية والرفع، وكذلك التغيّرات الواسعة في مستوى المياه الجوفية، وتؤدّي الزلازل البحرية الكبيرة إلى توليد أمواج التسونامي المهلكة.

ويُعدّ التنبؤ بالزلازل موضوع دراسة وبحث جدّي، وحتى هذا التاريخ يُعدّ

الصدع هو كسر أو نظام كسر تعرّض الصخر على امتداده للإزاحة، ويتراكم الإجهاد في الصخور على جانبي الصدع، كلّما زاد السحب بعيداً، وتنكسر الصخور عندما يفوق الجهد قوّة تحمّلها، فتتشرّب أمواج زلزالية تهزّ الأرض، وينتج عن صدوع الحركة المضربية حركة أفقية يمينية أو يسارية، وينتج عن صدوع الحركة الرأسية حركة رأسية، وتبقى بعض الصدوع مدفونة، ولا يصل الكسر إلى السطح حتى لو نتج عن تحرّكها زلزال كبير. وقد اكتشفت حديثاً عملية أرضية أساسية تعرف بالزلازل البطيئة، التي قد يستمرّ عملها من أيام إلى أشهر، وتكون مساحة الكسر الناتج عن الصدع كبيرة، ولكن الإزاحة تكون قليلة.

يُعدّ الصدع نشطاً إذا تحرّك خلال العشرة آلاف سنة الماضية، ويُعدّ مرشّحاً للنشاط، إذا تحرّك خلال (1.65) مليون سنة الماضية. تُبدي بعض الصدوع زحماً تكتونياً، وهو الإزاحة البطيئة التي لا تنتج عنها زلازل محسوسة. يطلق على المنطقة في باطن الأرض، التي يحدث عليها كسر الصدع مصطلح بؤرة الزلزال، وقد يكون عمقها بين كيلومترات قليلة وقرابة (700 km)، وتسمّى المنطقة السطحية التي توجد فوق البؤرة مباشرة المركز السطحي للزلزال، وتطلق من البؤرة أمواج زلزالية متنوّعة بسرعات متفاوتة، تسبب الأمواج الزلزالية السطحية أكثر الأضرار الزلزالية، ويؤثّر تردد الأمواج الزلزالية ونوعية الموادّ الأرضية المتوافرة في شدّة اهتزاز الأرض والأبنية، إذ تكون الأبنية أكثر عرضة للأضرار الزلزالية، إذا أُقيمت على رسوبيات غير متصلبة أو على ركام وطلم؛ لأنّها تؤدّي إلى تضخيم الاهتزازات.

قوّة الزلزال هي مقياس لكمية الطاقة المتحرّرة منه، ويعتمد مقياس الشدّة الزلزالية (مقياس ميركالي المعدّل) على شدّة الاهتزازات، وتختلف تبعاً للمسافة عن المركز السطحي للزلزال واختلاف الجيولوجيا المحلية والمعالم الهندسية، وتجهّز خريطة الاهتزاز بعد وقوع الزلزال اعتماداً على البيانات الواردة من شبكة السيزموجرافات المنتشرة بكثافة، وهي

في زمن وقوعها، ثم تهدأ وتنطفئ فترة طويلة جداً من الزمن. يُعدّ التقليل من أخطار الزلازل برنامجاً متعدّد الوجوه، ويتضمن تعرّف الصدوع النشطة، والموادّ الترابية شديدة الحساسية للاهتزازات، وتطوير طرق حديثة للتنبؤ، والمراقبة والتأقلم مع الزلازل، بما فيها تصميم أبنية تقاوم الاهتزازات بأفضل ما يكون. وما زالت أنظمة الإنذار ومنع الزلازل بدائل غير موثوقة بعد، ولكن مجتمعات عدة تُطوّر خطط الطوارئ، استجابة للزلازل المفجعة المتوقعة منها أو المفاجئة. يُعدّ حصر نطاقات الزلازل والطرق الأخرى المتبعة للتقليل من الأضرار من المساحات النشطة في البحث العلمي، أمّا على المستوى الشخصي، فتوجد كثير من الخطوات اللازم اتّخاذها قبل وقوع الزلزال وخلالها وبعدها؛ من

التنبؤ طويل الأمد والتنبؤ متوسط الأمد اعتماداً على الاحتمالات وتحليلها، أكثر نجاحاً من التنبؤ قصير الأمد، إذ يزودنا التنبؤ طويل الأمد بمعلومات مهمة في تخطيط استعمالات الأراضي، وتطوير كودات البناء والتصميم الهندسي للمرافق الحساسة، ويعتقد بعض العلماء، أننا سنكون قادرين أخيراً على التنبؤ طويل ومتوسط وقصير الأمد، وذلك اعتماداً على: دراسة نمط الزلازل السابقة وترددها، إضافة إلى مراقبة تشوّه الأراضي، وتحزّر غاز الرادون، ووجود الفجوات الزلزالية، وعلى الرغم من عدم ملاحظتها جيداً، فإن التقارير تشير إلى أنّ السلوكيات الغريبة للحيوانات، قبل حدوث الزلزال، يمكن أن تقدّم مساعدة في التنبؤ بالزلازل، ومن المشكلات الكامنة بالنسبة إلى التنبؤ بالزلازل، تغيّر نسق حدوثها، حيث إنّها تتجمّع أو تتسلسل

المراجع REFERENCES

1. **Bahan, S. and Mooney, W.** 2008. The cause of China's devastation. *Earth*. 53(10):44-47.
2. **U.S. Geological Survey.** 2005. *Magnitude 7.6—Pakistan*. Earthquake Hazards Program. <http://www.earthquake.usgs.gov>. (Accessed 5/2/06.)
3. **Achenbach, J.** 2006. The next big one. *National Geographic* 209(4):120-47.
4. **U.S. Geological Survey.** 2003. *Shake map—A tool for earthquake response*. USGS Fact Sheet FS-087-03.
5. **Hamilton, R. M.** 1980. Quakes along the Mississippi. *Natural History* 89:70-75.
6. **Mueller, K., Champion, J., Guccione, M., and Kelson, K.** 1999. Fault slip rates in the modern New Madrid Seismic Zone. *Science* 286:1135-38.
7. **U.S. Geological Survey.** 1996. *USGS response to an urban earthquake, Northridge '94*. U.S. Geological Survey Open File Report 96-263.
8. **Melbourne, T. I., and Webb, F. H.** 2003. Slow but not quite silent. *Science* 300: 1886.
9. **Bolt, B. A.** 2004. *Earthquakes*. 5th ed. San Francisco: W. H. Freeman.
10. **Jones, R. A.** 1986. New lessons from quake in Mexico. *Los Angeles Times* (September 26).
11. **Hough, S. E., et al.** 1989. Did mud cause freeway collapse? *EOS, Transactions of the American Geophysical Union* 70(47):1497, 1504.
12. **Hart, E. W., Bryant, W. A., and Treiman, J. A.** 1993. Surface faulting associated with the June 1992 Landers earthquake, California. *California Geology* (January, February):10-16.
13. **Hanks, T. C.** 1985. *The national earthquake hazards reduction program: Scientific status*. U.S. Geological Survey Bulletin 1659.
14. **Press, F.** 1975. Earthquake prediction. *Scientific American* 232:14-23.
15. **Sibson, R. H.** 1981. Fluid flow accompanying faulting: field evidence and models in earthquake prediction. *An International Review, Maurice Ewing Ser.* vol. 4. D. W. Simpson and P. G. Richards, eds. Washington, DC: AGU. 593-603.
16. **Evans, D. M.** 1966. Man-made earthquakes in Denver. *Geotimes* 10:11-18.
17. **Youd, T. L., et al.** 1975. Liquefaction potential. *Studies for seismic zonation of the San Francisco Bay region*, R. D. Borchardt, ed. U.S. Geological Survey Professional Paper 941A. 68-74.
18. **Liu, J. G. and Kusky, T.** 2008. After the quake. *Earth*. 53(10):48-51.
19. **Hansen, W. R.** 1965. *The Alaskan earthquake, March 27, 1964: Effects on communities*. U.S. Geological Survey Professional Paper 542A.
20. **Oppenheimer, D., et al.** 1993. The Cape Mendocino, California, earthquakes of April, 1992: Subduction at the triple junction. *Science* 262: 433-38.
21. **U.S. Geological Survey.** 2005. *Magnitude 9.0 Sumatra-Andaman Island earthquake SAIE*. Earthquake hazards program EHP. <http://www.earthquake.usgs.gov>. (Accessed 1/13/05.)
22. **Chapman, C.** 2005. The Asian tsunami in Sri Lanka: A personal experience. *EOS, Transactions, American Geophysical Union* 86(2):13-14.
23. **Reuters, M. B.** Elephants saved tourists from tsunami. <http://www.savetheelephants.org>. (Accessed 6/13/06.)
24. **Danielsen, F., et al.** 2005. The Asian tsunami: A protective role for coastal vegetation. *Science* 310: 643.
25. **U.S. Geological Survey.** 2004. *Is a powerful quake likely to strike in the next 30 years?* USGS Fact Sheet 039-03, revised in 2004.
26. **Field, E. H., Milner, K. R. and the 2007 Working Group on California Earthquake Probabilities.** 2008. Forecasting California's Earthquakes—What can we expect in the next 30 years? *U. S. Geological Survey Fact Sheet*. 2008-3027.
27. **Scholz, C.** 1997. Whatever happened to earthquake prediction? *Geotimes* 42(3):16-19.
28. **Raleigh, B., et al.** 1977. Prediction of the Haicheng earthquake. *EOS, Transactions of the American Geophysical Union* 58(5):236-72.
29. **Scholz, C. H.** 1990. *The mechanics of earthquakes and faulting*. New York: Cambridge University Press.
30. **Silver, P. G., and Wakita, H.** 1996. A search for earthquake precursors. *Science* 273:77-78.
31. **Rikitakr, T.** 1983. *Earthquake forecasting and warning*. London: D. Reidel.
32. **Page, R. A., et al.** 1992. *Goals, opportunities, and priorities for the USGS Earthquake Hazards Reduction Program*. U.S. Geological Survey Circular 1079.
33. **Hait, M. H.** 1978. Holocene faulting, Lost River Range, Idaho. *Geological Society of America Abstracts with Programs* 10(5):217.

34. Reilinger, R., et al. 2000. 1999 Izmit, Turkey earthquake was no surprise. *GSA Today* 10(1):1–5.
35. Stein, R. S. 1999. The role of stress transfer in earthquake occurrence. *Nature* 402(6762):605–609.
36. Sieh, K., Stuiver, M., and Brillinger, D. 1989. A more precise chronology of earthquakes produced by the San Andreas fault in southern California. *Journal of Geophysical Research* 94(B1):603–623.
37. State of California Uniform Building Code. 1997. Chapter 16.
38. State of California. 2008. California Geological Survey—Probabilistic seismic hazards assessment—Peak ground acceleration. <http://www.conservation.ca.gov>. (Accessed 11/30/08.)
39. U. S. Geological Survey. 2008. Deterministic and scenario ground–motion maps. <http://www.earthquake.usgs.gov/research/hazmaps/scenario>.
40. Wells, D. L. and Coppersmith, K. J. 1994. New empirical relationships among magnitude, rupture length, rupture width, rupture area and surface displacement. *Bulletin of the Seismological Society of America*. 84:974–1002.
41. Eberhart-Phillips, D., et al. 2003. The 2002 Denali fault earthquake, Alaska: A large magnitude, slip-partitioned event. *Science* 300:1113–18.
42. Hendley, J. W., II, and Stauffer, P.H., eds. 2003. *Rupture in south-central Alaska—The Denali earthquake of 2002*. U.S. Geological Survey Fact Sheet 014–03.
43. Holden, R., Lee, R., and Reichle, M. 1989. *Technical and economic feasibility of an earthquake warning system in California*. California Division of Mines and Geology Special Publication 101.
44. Allen, R. 2008. At first jolt: Will we have warnings for the next big earthquake? *Earth*. 53(10):52–59.
45. Southern California Earthquake Center. 1995. *Putting down roots in earthquake country*. Los Angeles: University of Southern California.

المصطلحات المفتاحية KEY TERMS

مقياس ميركالي المعدّل، (Modified Mercalli Scale) (ص 209)	الفترة التكرارية، (recurrence interval) (ص 220)
عزم القوّة، (Moment Magnitude) (ص 206)	خريطة الاهتزاز، (shake Map) (ص 209)
الأمواج الأولية، (P waves) (ص 220)	معدّل الإزاحة، (slip rate) (ص 220)
الزلازلية القديمة، (Paleoseismicity) (ص 216)	الزلازل البطيئة، (slow earthquakes) (ص 220)
علم الزلازل القديمة، (Paleoseismology) (ص 216)	القصّ الكامل، (supershear) (ص 228)
صدع نشط، (Active fault) (ص 219)	الأمواج السطحية، (Surface waves) (ص 221)
تصميم أساس حركة الأرض، (Design Basis Ground Motion) (ص 248)	الأمواج الثانوية، (S waves) (ص 220)
التوجيه، (Directivity) (ص 226)	زحف تكتوني، (tectonic creep) (ص 220)
نموذج التمدد والانتشار، (Dilatancy-diffusion model) (ص 230)	الوضع التكتوني، (tectonic framework) (ص 249)
تمدد، (Dilate) (ص 230)	سونامي، (tsunami) (ص 235)
سونامي بعيدة المدى، (distant tsunami) (ص 219)	ميكانيكا قيمة الصدع، (fault-value mechanism) (ص 230)
زلزال، (earthquake) (ص 214)	نطاق الصدع، (fault zone) (ص 216)
دورة الزلزال، (Earthquake cycle) (ص 229)	ضغط السائل، (fluid pressure) (ص 230)
قطعة زلزالية، (earthquake segment) (ص 216)	البؤرة، (Focus) (ص 206)
مركز سطحي، (Epicenter) (ص 206)	التمجّع، (liquefaction) (ص 233)
صدع، (fault) (ص 214)	سونامي محلي، (local tsunami) (ص 241)
	تضخيم المادة، (Material amplification) (ص 224)

بعض الأسئلة للتفكير SOME QUESTIONS TO THINK ABOUT

المتاح للاستجابة للإنذار قد لا يكون طويلًا جدًا. فما رأيك؟ هل تعتقد أنّ مسؤولية المسؤولين الحكوميين توفير الدعم المادي لنظام التحذير، على فرض أنّ هذا النظام ذو جدوى؟ ما التبعات الممكنة إذا لم يُطوّر مثل هذا النظام، وحدث زلزال أدى إلى أضرار كبيرة، وكان من الممكن تجنبها لو توافر نظام التحذير؟

3. ترغب المدينة التي تعيش فيها في تطوير عناصر زلزالية جديدة، بوصفها جزءًا من التخطيط الآمن، وأحد الاهتمامات، هو استجابة الأبنية للاهتزازات، وخصوصًا مشكلة تضخيم المواد للاهتزازات. صمّم برنامجًا بحثيًا يُحدّد دور المواد الموجودة في المنطقة في تضخيم الاهتزازات. وكيف تجب دراسة هذه الظاهرة؟

أجل تقليل الأضرار والتعافي بسهولة.

1. افترض أنّك تعمل مع مؤسسات حفظ السلام في إحدى الدول النامية، حيث بُنيت معظم المنازل من الطوب واللبن غير المقوى، ولم يُسجل في المنطقة زلازل كبيرة منذ مئات السنوات، ووقعت قبل ذلك كثير من الزلازل، التي قتلت آلاف الأشخاص. كيف يمكنك عرض أضرار الزلازل على الناس الذين يسكنون في المنطقة التي تعمل بها؟ وما الخطوات اللازم اتّخاذها لتقليل الأخطار؟

2. أنت تعيش في منطقة يوجد فيها خطر زلزالي عالٍ، ويدور جدل حول جدوى تطوير نظام تحذير الزلازل، ويخشى بعض الناس من أنّ الإنذار الكاذب، سيؤدّي إلى عدد من المشكلات، وأشار البعض إلى أنّ الوقت

النشاط البركاني Volcanic Activity



يلوح بركان جبل رينير النشط في الأفق فوق مدينة تاكوما في واشنطن، وكذلك مدينة سياتل إلى الشمال. (Tim Richardson/CORBIS)

الهادي كثير من البراكين النشطة أو مرشحة للنشاط، وكثير منها قريب من مدن كبرى، انظر الشكل (1-9)، وبيّن الجدول (1-9) بعض الأحداث البركانية التاريخية والآثار الناتجة عنها.

1-9 مقدمة عن الأخطار البركانية

INTRODUCTION TO VOLCANIC HAZARDS

يُتور قرابة (50-60) بركاناً سنوياً في العالم، وتشهد الولايات المتحدة من واحد إلى ثلاثة انفجارات بركانية سنوياً معظمها في ألاسكا⁽¹⁾، وتقع غالباً في مناطق قليلة السكان من العالم، لذلك تكون الخسائر البشرية والاقتصادية قليلة أو معدومة، أمّا إذا كان الانفجار البركاني قريباً من منطقة مأهولة، فتكون النتائج مأساوية⁽²⁾، حيث يعيش مئات الملايين من الناس حول العالم على مقربة من البراكين، فكلما زاد عدد السكان، زاد عدد الذين يعيشون على جوانب البراكين النشطة أو البراكين المرشحة للثوران، فقد قتل في القرن الماضي قرابة (100,000) شخص بسببها، منهم (23000) تقريباً في آخر عقدين من القرن العشرين^{(1)·(2)}، وتعدّ الدول التي تشهد كثافة سكانية وبراكين نشطة، دائمة التعرّض لخطر النشاط البركاني، مثل اليابان والفلبين وإندونيسيا والمكسيك، وخصوصاً مدينة مكسيكو⁽³⁾، وفي الأجزاء الغربية من الولايات المتحدة، بما في ذلك ألاسكا وهاواي وشمال المحيط

2-9 النشاط البركاني (التبركن) والبراكين

VOLCANISM AND VOLCANOES

يرتبط النشاط البركاني (التبركن) مباشرة بالصفائح التكتونية (plate tectonics)، إذ تتوافر معظم البراكين النشطة بالقرب من حدود الصفائح⁽⁴⁾، كلما تفاعلت صفائح الغلاف الصخري المتباعدة أو الغاطسة مع المواد الأرضية الأخرى تنشأ الصهارة، وهي مصهور الصخور الذي يحتوي أيضاً على كميات قليلة من المذابة المكونة من بخار الماء وثاني أكسيد الكربون. يطلق على الصهارة التي تنبثق من البراكين إلى سطح الأرض اللابة. وتتركز نحو ثلثي البراكين النشطة في العالم فيما يسمّى بحلقة النار "fire circle" التي تطوّق المحيط الهادي، وهي منطقة تتطابق

الأهداف التعلّمية LEARNING OBJECTIVES

- هناك قرابة (1500) بركان نشط على القارات السبعة حول العالم، إضافة إلى وسط المحيط، وقد انفجر منها (400) بركان تقريباً في القرن العشرين، ما أدى إلى نتائج مأساوية.
- سنركّز في هذا الفصل على الأهداف التعليمية الآتية:
- تعرّف أنواع البراكين الرئيسية والصخور التي تنتج عنها وموقعها التكتوني.
- فهم أنواع النشاط البركاني الرئيسية وآثارها، بما في ذلك انسياب اللابة ونشاط الفتات البركاني وانسياب الركام والطين.
- فهم طرق دراسة النشاط البركاني، بما في ذلك النشاط الزلزالي والتغيّرات الطبوغرافية وانبعث الغازات والتاريخ الجيولوجي؛ وذلك من أجل التنبؤ الأفضل بالانفجارات البركانية وتقليل الأخطار.

الجدول (9-1): أحداث بركانية تاريخية مختارة.

البركان أو المدينة	السنة	التأثير
فيزوف / إيطاليا	79 ب.م (بعد الميلاد)	دمّر مدينة بومبي، وقتل (16000) شخص، طُمرت المدينة من النشاط البركاني، وأعيد اكتشافها عام 1595م.
سكابتر جوكول/ آيسلندا	1783	قتل (10000) شخص (مات معظمهم من المجاعة)، ونفقت معظم المواشي في الجزيرة، ودمّرت بعض المحاصيل حتى في أسكتلندا البعيدة.
تامبورا/ إندونيسيا	1815	برودة عالمية «سنة خالية من الصيف»
كراكاتوا/ إندونيسيا	1883	انفجار هائل، مات (36000) من السونامي.
مونت بيلي/ مارتينيك	1902	انسياب الرماد البركاني قتل (30000) شخص خلال دقائق عدّة.
لاسوفيري/ سانت فينيس	1902	قتل (2000) شخص، وأدى إلى انقراض الهنود الكاريبيين.
مونت لامينغتون/ بابوا غويانا الجديدة	1951	قتل (6000) شخص.
فيلارिका/ تشيلي	1964-1963	أجبر (30000) شخص على ترك منازلهم.
مونت هيلغ فيل/ جزيرة هيماي/ آيسلندا	1973	أجبر (5200) شخص على ترك منازلهم.
مونت سانت هيلين/ واشنطن/ أمريكا	1980	أدى انهيار الركام وانسياب الطين والانفجار الجانبي إلى قتل (54) شخصاً، وتدمير أكثر من (100) منزل.
نيفادو ديل رويز/ كلمبيا	1958	أدى الانفجار إلى انطلاق انسياب الطين الذي قتل قرابة (22000) شخص على الأقل.
مونت أوتزن/ اليابان	1991	انسياب الرماد والأنشطة الأخرى قتلت (41) شخصاً، وأحرقت أكثر من (125) منزلاً، وتمّ إخلاء أكثر من (10000) شخص.
مونت بيناتويو/ الفلبين	1991	انفجارات هائلة، انسياب الرماد والطين وصاحبه إعصار، أدى إلى قتل أكثر من (300) شخص، وإخلاء آلاف الأشخاص.
مونت سيرات/ الكاريبي	1995	ثوران انفجاري وانسياب الفتات البركاني، وإخلاء الجانب الجنوبي للجزيرة بما فيها العاصمة بليموث، ودمّرت مئات المنازل.
مونت نبراغونغو/ الكونغو/ إفريقيا	2002	انسياب اللابة على (14) قرية وجزء من مدينة غومو، إخلاء مئات الآلاف من الناس وتدمير (5000) منزل، وقتل (45) شخصاً.

المصدر: Ollier, C.1969, Volcanoes, and Cambridge, MA: MIT Press. Data partially derived from

3-9 أنواع البراكين

VOLCANO TYPES

لكل نوع من البراكين سمة مميزة من النشاط، وهي ناتجة جزئياً بسبب لزوجة الماغما، التي تعرّف بأنها ممانعة السوائل للتدفق، فإن كانت عالية، فإنّ ممانعة التدفق عالية، ومثال ذلك: لزوجة العسل أعلى من لزوجة الماء، حيث تعتمد لزوجة الماغما على درجة حرارتها، وعلى ما تحويه من سليكا (SiO_2)، التي تتراوح بين (50-70%)، فكلّما زادت كميّة السليكا في الماغما زادت لزوجتها، وكلّما زادت درجة حرارة الماغما قلّت لزوجتها،

مع نطاقات الطرح (subduction zones) على حدود صفيحة الهادي، انظر الشكل (9-2).

تشأ الماغما (المصهير) (magma)، وهي المصهور الصخري الذي يحتوي على كمّيات قليلة من الغازات المذابة المكوّنة من بخار الماء وثاني أكسيد الكربون، بتفاعل صفائح الغلاف الصخري المتباعدة أو الغاطسة مع المواد الأرضية الأخرى، وتعرف الماغما التي تنبثق من البراكين إلى سطح الأرض باللابة (الحمم) (lava).



الشكل (2-9): حلقة النار "The ring of fire". حلقة النار التي تحيط بصفحة الهادي.

تتألف براكين الدروع في معظمها من تدفقات اللابة الكثيرة، ولكنها قد تحتوي أيضاً على الفتات البركاني (التفرا *Tephra*)، الذي يحتوي على أنواع الفتات البركاني جميعها، التي يقذفها البركان في الهواء في أثناء انفجاره، وتتراوح حجوم الفتات البركاني من الرماد (*ash*) الذي يقل قطره عن (2 mm)، إلى الحصى البركانية (*Cinder*) التي يتراوح حجمها بين (4 mm) و(32 mm)، وإلى الجلاميد والمقدوفات البركانية وحجمها أكبر من (64 mm)، حيث يؤدي تراكم التفرا وتجمعه إلى تكوّن الرسوبيات البيروكلاستية (*pyroclastic*)، التي تصبح صخوراً بيروكلاستية عند تصلبها.

يكون انحدار البركان الدرعي معتدلاً جداً بالقرب من القمة، ويزداد عند الأطراف؛ وذلك بسبب تغير لزوجة اللابة المتدفقة، فعندما تدفع الماغما، خارجة من الفوهة (*vent*) في أعلى البركان تخرج ساخنة جداً، وتتدفق بسهولة، وتبرد بانتقالها إلى الأسفل على جوانب البركان، وتصبح أكثر لزوجة؛ لذلك تتكوّن انحدارات أعلى من اللابة كلما تقدّمت إلى الأسفل.

هناك طرق عدّة لانتقال اللابة بعيداً عن الفوهة، إضافة إلى تدفقها على جوانب البركان، حيث تتحرّك الماغما عادة كيلومترات عدّة تحت سطح الأرض داخل الأنفاق البركانية القريبة من السطح، التي تعزل الماغما وتحافظ عليها ساخنة وسائلة، وبعد أن تبرد اللابة، وتبلور بصورتها الصخرية، تبقى الأنفاق على صورة كهوف طويلة متعرجة، وتشكل أنفاقاً

إذ يمكن أن تميّز تأثير درجة الحرارة إذا فكّرت في العسل مرّة أخرى، فلو حفظت العسل في الثلاجة وجدت تدفّقه وخروجه من الحافظة صعباً، أما إذا سخّنت العسل قليلاً قبل تقديمه، فستجد أن تدفّقه سهل، لذا، تتور الماغما عالية اللزوجة غالباً بصورة انفجارية، عكس الماغما قليلة اللزوجة، التي تتدفّق، وتتساب.

يسرد الجدول (2-9) أنواع البراكين وخصائصها.

براكين الدروع Shield Volcanoes

تعدّ براكين الدروع التي تشبه صورتها القوس الخفيف أو الدرع، من أكبر البراكين على الإطلاق، وتشيع في جزر هاواي وجزيرة آيسلندا وبعض الجزر في المحيط الهندي، انظر الشكل (3-9)، وهي ضمن أعلى جبال الأرض، عندما تقاس من قاعدتها، التي غالباً ما توجد في قاع المحيطات، ويتميّز هذا النوع من البراكين باندفاعاته الهادئة الناتجة عن انخفاض كمية السليكا (≈ 50%) في الماغما، فعندما يثور بركان الدرع، تتدفّق اللابة إلى الأسفل على جوانب البركان، ولا تدفع بعنف في الهواء، أضف إلى ذلك أن الصخر الشائع المتكوّن من الماغما المنبعثة منه هو صخر البازلت، الذي يتكوّن من معادن الفلسبار والمعادن الغنية بالحديد والماغنسيوم. (انظر الفصل الثاني والملحق (أ) و(ب) لمراجعة المعادن والصخور).

الجدول (9-2): أنواع البراكين.

نوع البركان	الشكل	محتوى الماغما من السليكا	اللزوجة	الصخور التي تتكوّن	نوع الاندفاع	مثال
بركان الدرّوع	قوس خفيف أو بصورة الدرّع، له انحدار خفيف، يتكوّن من تدفّقات اللابة	قليل	قليلة	بازلت	تدفّق اللابة ونفث المقذوفات	مونالوا/هاواي الشكل (3-9)
البراكين المركّبة أو المتطبّقة	شكل مخروطي، جوانب عالية الانحدار يتكوّن من تعاقبات تدفّقات اللابة وطبقات الفتات البركاني	متوسّط	متوسّطة	أنديزيت	خليط من تدفّق اللابة والنشاط الانفجاري	جبل فوجي/اليابان الشكل (5-9)
القبة البركانية	شكل القبة	عالية	عالية	ريولايت	شديد الانفجار	جبل لاسين/كاليفورنيا الشكل (6-9)
مخاريط الرماد	شكل القمع، جوانب عالية الانحدار، لها غالباً حوض في قمة القمع	قليل	قليلة	بازلت	نفث المقذوفات وخصوصاً الرماد	سيرنجر/فيلي الشكل (7-9)

الشكل (9-3): بركان درعي (Shield)

(volcano) مظهر البركان الدرعي. لاحظ شكل المظهر عند القمة قليل التقوس بحيث يشبه درع المحارب. الجبل الذي يظهر في الشكل هو مونالوا/هاواي مثلما يُشاهد من مرصد البراكين في هاواي.

(John Shelton/University of Washington Libraries)



السليكا (قاربة 60%)، ولذلك تكون أكثر لزوجة من الماغما قليلة السليكا المنبثقة من براكين الدرّوع، أمّا أكثر الصخور المتشكّلة منها شيوغاً، فهي صخور الأنديزيت (andesite)، التي تتكوّن من فلبسار غني بالصوديوم والكالسيوم ومعادن الحديد والماغنسيوم والقليل من معدن الكوارتز.

تتميّز البراكين المركبة بتذبذب نشاطها بين الانفجار وتدفّق اللابة؛ ونتيجة لذلك فهي تسمّى البراكين المتطبّقة، حيث تتكوّن من تعاقبات طبقات البيروكلاستك وتدفّق اللابة، وتعزى شدة انحدار جوانبها إلى زاوية الارتكاز أو أقصى زاوية انحدار للموادّ المفكّكة، التي تقدّر بالنسبة إلى الموادّ البيروكلاستية بين (30-35%).

جمال هذه الجبال خادع؛ وذلك لأنّ نشاطها الانفجاري الشائع نسبياً مسؤول عن معظم الأخطار البركانية التي سبّبت الوفيات والدمار عبر التاريخ، فقد أحدث اندفاع جبل سانت هيلين عام 1980م انفجاراً أفقيّاً عظيماً، شبيهاً بالانفجار الصادر من البندقية؛ لذا يجب أن نعدّ مثل هذه البراكين مسلحة وخطرة.

طبيعية وممرّات للمياه الجوفية، انظر الشكل (9-4)، وقد تتسبّب في مشكلات هندسية عند تنفيذ المشروعات الإنشائية فوقها.

قد يصاحب براكين الدرّوع وجود أحواض في فوهتها تسمّى كالديرا (caldera)، وهذه الأحواض شديدة الانحدار، قطرها كبير يزيد على (10 km)، وتتشأ عندما تنهار فوهة البركان، وتتكوّن بحيرة اللابة، التي تتدفّق بحدوث الاندفاع البركاني، عبر شقوق طولية تسمّى نطاقات الخسف (rift zone) على جوانب البركان، ومثال ذلك: بركان كيلاوا الدرعي في أكبر جزر هاواي، حيث أسهم الانبثاق البركاني الخسفي الناتج عنه في إضافة أراضي جديدة إلى الجزيرة⁽⁴⁾.

البراكين المركّبة Composite Volcanoes

تشتهر البراكين المركبة بصورتها المخروطية الجميلة، انظر الشكل (9-5)، ومن أمثلتها جبل "سانت هيلين" وجبل "رينبير" في ولاية واشنطن في الولايات المتّحدة، وتتميّز الماغما المنبثقة منها بأنّها متوسّطة المحتوى من



الشكل (4-9) نفق اللابة (Lava tube) اندفاع
مونالوا عام 1984م في هاواي.
(Scott Lopez/Wind Cave National Park)

مخاريط الرماد Cinder Cones

وهي براكين صغيرة نسبياً، تتكوّن من المقذوفات البركانية (التفرا)، التي يتكوّن معظمها من الرماد البركاني والحبيبات الأكبر بما فيها القنابل البركانية، التي تتشكّل من اللابة السائلة المقذوفة في الهواء، ثمّ تلتوي لتأخذ الصورة المستديرة المغزلية، أمّا مخاريط الرماد فتتمو بسبب تراكم المقذوفات قريباً من الفوهة البركانية، وهي غالباً ما تتوافر على



الشكل (6-9) انفجار جبل لاسين في شهر يونيو عام 1914م.
(Courtesy of B.F. Loomis/Lassen Volcanic National Park)



الشكل (5-9) البركان المركّب () جبل فوجي في اليابان أحد البراكين المركبة، الذي يزهو بجمال سفوحه المنحدرة.
(John Arnold Images/Alamy)

القباب البركانية Volcanic Domes

تتميّز القباب البركانية بأنها ناتجة عن ماغما عالية اللزوجة، تحتوي على كمّيات عالية نسبياً من السليكا (70%) تقريباً، وأشهر الصخور التي تنتج عن مثل هذه الماغما صخر الريوليت (rhyolite)، الذي يتكوّن من فلسبار غني بالبوتاسيوم والصوديوم والكوارتز وكمّيات قليلة من معادن الحديد والماغنسيوم. يكون النشاط البركاني المصاحب للقباب البركانية عادة نشطاً انفجارياً، ما يجعلها شديدة الخطورة، ويُعدّ جبل لاسين في جنوب شرق كاليفورنيا مثلاً جيّداً عليها، فقد تضمّنت السلسلة الأخيرة لنشاط جبل لاسين في الفترة من (1914م - 1917م) انفجارات جانبية جبّارة، أُنّرت في مساحات شاسعة من الأراضي، انظر الشكل (6-9).

الشكل (7-9) مخروط الرماد (Cinder)

مخروط رماد له قُوه صغيرة في قمته. موجود بالقرب من سبرينجر فالي في أريزونا. تمثّل المادّة البنية المائلة إلى السواد، الظاهرة في الجزء العلوي الأوسط في الصورة والزواوية العليا اليمنى، تدفق اللابة التي نشأت من قاعدة مخروط الرماد.

(Michael Collier)



ارتفاعه يضاهي ارتفاع بناية من ثلاثة طوابق، واستمرّ خروج الصخور والرماد عاليًا بسبب الاندفاع، ليصبح ارتفاع المخروط بعد خمسة أيّام قرابة (30) طابقيًا، وفي يونيو من عام 1944م ظهر في المخروط الذي كان ارتفاعه (400 m) شقّ، انبثق منه تدفق لابة سميك، واجتاح قرية سان جوان باران غاريسوتيرو، فلم يبقَ منها إلا برج الكنيسة، انظر الشكل (8-9)، لم يقتل أحد من الرماد أو تدفق اللابة، وأصبح مخروط رماد باريكوتين بركانًا خامدًا، إلا أنه تسبّب في آثار محلية خطيرة سنوات عدّة بعد الاندفاع البركاني، إذ هلك المحاصيل، ومرضت المواشي وماتت، وانتقل بعض المزارعين إلى مناطق أخرى، وعاد بعضهم من جديد إلى المنطقة، حيث نشبت بينهم خلافات على الممتلكات؛ لأنّ تحديد حدود ممتلكاتهم وأراضيهم شديد الصعوبة، فقد طُمرت العلامات الفاصلة بينهم بالرماد واللابة⁽⁵⁾.

سفوح البراكين الكبيرة، أو على امتداد الصدوع العادية، أو امتداد الكسور والتصدّعات، انظر الشكل (7-9).

أعطى بركان مخروط الرماد باريكوتين في غرب مدينة مكسيكو في وسط المكسيك، فرصة نادرة لمشاهدة ولادة بركان ونموّه في مكان لم يكن موجودًا فيه (الشكل 8-9)، ففي العشرين من فبراير عام 1943م وبعد أسابيع عدّة من وقوع كثير من الزلازل، وبعد دويّ صوت يشبه الرعد قادمًا من باطن الأرض حدث شيء مذهل، فعندما كان ديونيسيو بوليدو يحضّر أرضه لزراعة الذرة، لاحظ وجود فجوة تتسع في أرضه، حاول ردمها في السابق أكثر من مرّة، ثم انتفخت الأرض المحيطة أمام عينيه وارتفعت قرابة مترين، وبدأ دخان كبريتي ورماد يُنفث منها، وأخذت تقذف في المساء قطعًا صخرية حمراء متوهجة إلى السماء، ثمّ نما المخروط في اليوم المقبل، وأصبح

الشكل (8-9) نمو سريع للبركان (Rapid)

growth of volcano) نفتت مخروط رماد باراكوتين الموجود في وسط المكسيك عام 1943م الرماد البركاني وتدفقت اللابة. دفنت اللابة سان جوان باران غاريسوتيرو، ولم يبقَ منها إلا برج الكنيسة.

(Courtesy of Tad Nichols)



هذا التجويف منبسط الأرضية أو مثل القمع، ويكون قطر الفوهة في العادة كيلومترات عدّة، أمّا الحوض البركاني (Caldera)، فهو حوض دائري تكوّن نتيجة انفجار ناتج عن اندفاع الماغما وانهيار الجزء العلوي من المخروط البركاني، وقد يصل قطر الكالديرا إلى (20 km) أو أكثر، حيث تحتوي على عدد من القصبات البركانية والقصبات الغازية والينابيع الحارة، وأمّا القصبات البركانية، فهي فتحات تشبه القناة الدائرية وبعضها شق طويل واحد أو شقوق صخرية متعدّدة (عادة ما تكون صدوعاً عادية)، تندفع اللابة والموادّ البيروكلاستية منها إلى سطح الأرض، وهي التي تكوّن الاندفاع البركاني والقباب أو المخاريط، وقد أدّت تدفّقات الشقوق الواسعة إلى إحداث تراكمات عالية، من تدفّقات اللابة البازلتية المستوية التي تسمّى البازلت الفيضي، إذ يُعدّ إقليم هضبة كولومبيا أحد أكثر تجمّعات البازلت الفيضي شهرة في الولايات المتّحدة، انظر الشكل (9-12)، حيث يغطي البازلت مساحات شاسعة في كلّ من واشنطن وأوريغون وإيداهو.

الينابيع الحارّة والمراجل

Hot springs and Geysers

وهي من المظاهر الهيدروجية التي تتشكّل في المناطق البركانية، حيث تسخن المياه الجوفية عندما تقترب من الصخور الحارّة، وفي بعض الحالات تخرج المياه الحارّة إلى السطح بصورة ينابيع حرارية، ويتضمّن نمط تسخين المياه وتحريكها في حالات نادرة انبعاث بخار الماء والمياه الساخنة إلى السطح بصورة دورية، مشكلاً ظاهرة المرجل البركاني، التي من أشهر حقولها تلك الموجودة في آيسلندا ونيوزيلندا وحديقة يلوستون الوطنية في ويومنج، (الشكل 9-13).

اندفاعات الكالديرا Caldera Eruptions

تنشأ الكالديرا من اندفاعات نادرة عنيفة جدّاً، إذ لم تحدث على الأرض خلال مئات آلاف السنوات الماضية، وقد سجّل حدوث عشرة منها في آخر مليون سنة من عمر الأرض، وقعت ثلاثة منها في أمريكا الشمالية، ومن الممكن أن يؤدّي اندفاع كالديرا كبير إلى قذف تفجيري يصل إلى (1000 km³) من حطام المقذوفات البركانية، الذي يتكوّن في معظمه من الرماد، وهي كمّية تفوق ما نفثه بركان جبل سانت هيلين عام 1980م بقرابة ألف مرّة، وقد يؤدّي الانفجار إلى تكوين كالديرا قطرها أكبر من (10 km)، ويغطي منطقة بالرماد مساحتها عدّة مئات آلاف الكيلومترات المربّعة، حيث يكون سمك الرماد عند طرف الفوهة (100 m) تقريباً، وقرابة (1 m) على مسافة (100 km) بعيداً عن الفوهة⁽⁶⁾، أمّا أحدث اندفاعات الكالديرا فقد وقعت في أمريكا الشمالية قبل قرابة (600,000) سنة في حديقة يلوستون الوطنية في ويومنج، وقبل (700,000) سنة في لونغ فال في كاليفورنيا. يوضّح الشكل (9-14) المظاهر البركانية وجيولوجية كالديرا لونغ فال، ويظهر الشكل (9-15) المناطق التي غُطيت بالرماد الناتج عن الاندفاع البركاني، الذي أدّى إلى تكوين كالديرا لونغ فال القريب من منتجع تزلج ماموث ماونتنت الشهير، ويوضّح الشكل (9-15ب) الخطر الكامن الذي قد ينشأ في المستقبل في حالة عودة الاندفاع البركاني في لونغ فال، إذ وقع آخر نشاط بركاني فيها قبل (400) سنة تقريباً، حيث تشير قياسات عمليات رفع الأراضي، التي ترافقها احتشادات زلزالية تصل قوتها (M 6) منذ

صفائح الغلاف الصخري، فعلى سبيل المثال تقع براكين هاواي داخل صفيحة الهادي، وليس بالقرب من حدود الصفائح، والاعتقاد السائد حالياً، أن بقعة ساخنة تحت صفيحة الهادي، حيث تنشأ الماغما، وتنتقل إلى الأعلى عبر الصفيحة، وتولّد في قاع المحيط براكناً، الذي من الممكن أن يصبح جزيرة في نهاية الأمر. تتحرّك الصفيحة التي تضمّ جزر هاواي إلى الشمال الغربي فوق البقعة الساخنة الثابتة؛ لذلك فإنّ سلسلة من البراكين قد تشكّلت في اتجاه شمال غرب - جنوب شرق (انظر الفصل الثاني)، فجزيرة هاواي تقع حالياً بالقرب من البقعة الساخنة، لذلك فهي في حالة نمو نشاط بركاني، إلا أنّ الجزر الواقعة في الشمال الغربي لجزيرة ملوكي وأهاو تحرّكت بعيداً عن البقعة الساخنة، ولم تعد البراكين الواقعة فيها براكين نشطة.

3. ترتبط البراكين المرّكبة بالصخور البركانية الأنديزيتية ونطاقات الطرح، وهي أكثر البراكين انتشاراً حول حوافّ المحيط الهادي، فعلى سبيل المثال: ترتبط براكين كاسيدي رانج في واشنطن وأوريغون وكاليفورنيا بنطاق طرح كاسيديا، انظر الشكل (9-11)، وتنشأ الصخور البركانية الأنديزيتية عند نطاقات الطرح، حيث تختلط الماغما الصاعدة مع الصفيحة المحيطية والصفيحة القارية، ولأنّ الصفيحة القارية تحتوي على كمّيات عالية من السيليكا مقارنة بالصفيحة المحيطية، فإنّ عملية الخلط هذه تؤدّي إلى تكوّن صخور تحتوي على كمّيات متوسّطة من السيليكا.

4. تكون الاندفاعات المشكّلة للكالديرا شديدة الانفجار والاضطراب، وهي ترتبط بالصخور الريوليتية التي تنشأ عندما تصعد الماغما إلى الأعلى، وتختلط مع القشرة القارية، وتحتوي الصخور الريوليتية على كمّيات عالية من السيليكا تفوق أنواع الصخور الأخرى جميعها؛ بسبب كثرة السيليكا في القشرة الأرضية، وعلى الرغم من عدم الارتباط الدائم بين القباب البركانية والاندفاعات المشكّلة للكالديرا، إلا أنّها تتكوّن دائماً في الجزء الداخلي من نطاقات الطرح، وتؤدّي إلى اندفاع ماغما ريوليتية غنية بالسيليكا.

لا تفسّر مناقشتنا الموجزة هذه الاختلافات جميعها بين مكّونات الصخور البازلتية والأنديزيتية والريوليتية وتواجدها، ولكنّها توضّح أهمّ أسس العلاقة بين تكتونية الصفائح والنشاط البركاني والصخور البركانية.

5-9 المظاهر البركانية

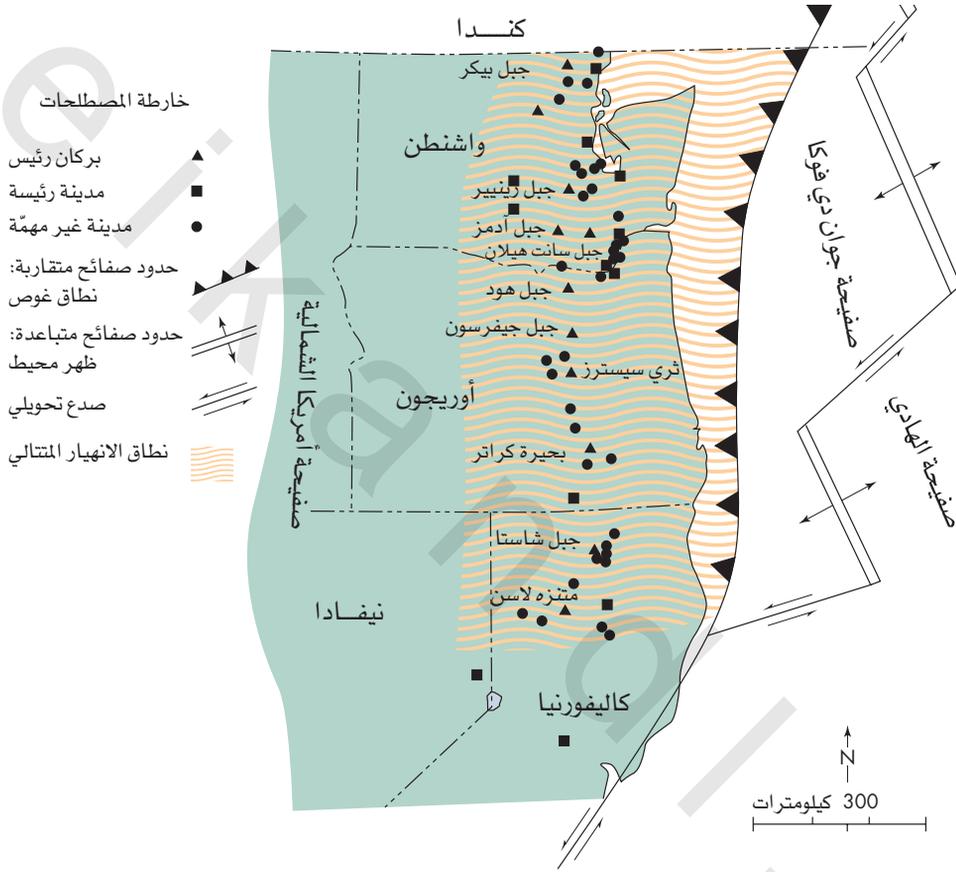
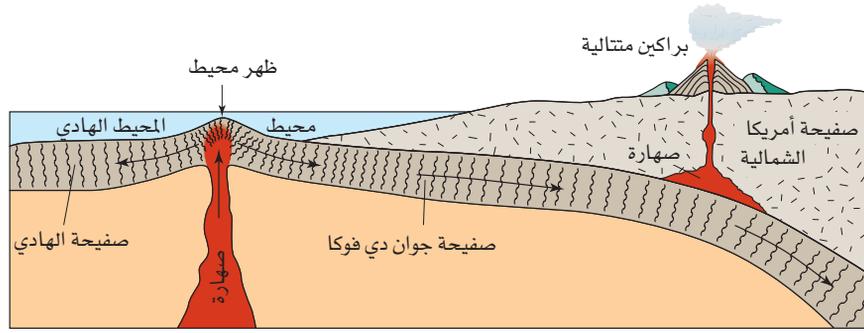
VOLCANIC FEATURES

تتضمّن المظاهر الجيولوجية التي غالباً ما ترافق البراكين أو المناطق البركانية الآتي:

فوهة البركان (Crater)، والحوض (Caldera)، والقصبية (Vent)، والمراجل (Geysers)، والينابيع الحارة (Hot springs).

الفوهات والأحواض والقصبات Crater, Caldera and Vent

يدعى التجويف أو المنخفض الذي يوجد في قمة البركان بالفوهة، ويتكوّن عند انفجار الجزء العلوي من المخروط البركاني أو انهياره، وقد يكون



الشكل (9-11) براكين كاسيدي وتكتونية الصفائح. خريطة سلاسل كاسيدي الجبلية ووضعها التكتوني، تبيّن مواقع

البراكين الرئيسية والمدن التي تجاورها.

(Modified after Crandall, D.R., and Waldron, H.H. 1969. Disaster Preparedness, Office of Emergency Preparedness).

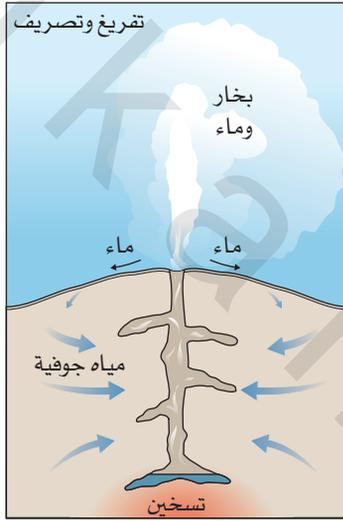
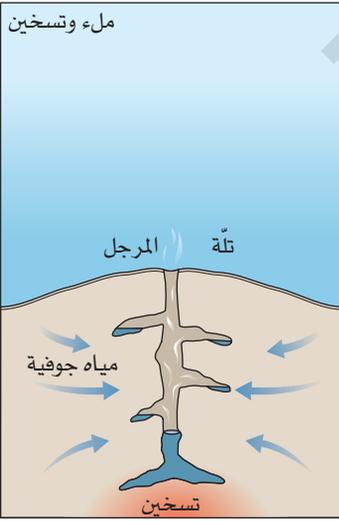
لنا حدث "لونغ فالي" خطرًا بركانيًا كامنًا، وفي الحقيقة، فإنّ الموقعين ما زالا قادرين على إنتاج نشاط بركاني؛ لأنّ الماغما ما زالت موجودة على أعماق متفاوتة تحت قعر الكالديرا، ويمكن القول: إنّ كلا الكالديرتين تشهدان طفرة جديدة؛ وذلك لأنّ قعريهما يتعرّضان للتقوّب البطيء إلى الأعلى منذ الاندفاع الانفجاري، الذي أدّى إلى نشوئهما، ومن المؤكّد أنّ الاندفاع المستقبلي في لونغ فالي أو يلوستون، سيكون أصغر بكثير من اندفاع الكالديرا العظيم، الذي وقع قبل مئات آلاف السنوات.

بداية الثمانينيات، إلى تحرك الماغما إلى الأعلى، ما دفع هيئة المساحة الجيولوجية الأمريكية إلى إصدار تحذير بوجود خطر بركاني كامن، وسرعان ما تمّ إلغاؤه بعد ذلك، غير أنّ مستقبل لونغ فالي ما زال مجهولًا.

يمكن أن يقع الحدث الرئيس في الاندفاع المؤدّي إلى تكوين الكالديرا بسرعة خلال أيام أو أسابيع قليلة، ويمكن أن تقع الاندفاعات البركانية المتكرّرة والأقلّ قوّة بصورة بطيئة خلال مليون سنة؛ لذلك فقد خُلف لنا حدث "يلوستون" يناهض ساخنة ومرجل بما فيها "أولد فيتمول"، بينما ترك

الشكل (9-12) البازلت الفيضي. يتكشف بازلت هضبة كولومبيا الفيضي على منحدرات نهر كولومبيا في مقاطعة بينتون/واشنطن.

(Calvin Larsen / photo Researchers Inc.)



(ب)

(أ)

تقوم المياه الجوفية بملء أنبوب المرجل تحت السطحي، وتسخن الماء حتى تتحول إلى بخار وتندفع.

يؤدي الاندفاع إلى تفرغ الأنبوب تحت السطحي، وتعاود المياه الجوفية عملية الملاء مرة أخرى، وتقوم المياه الجارية بترسيب معدن أبيض اللون غني بالسليكا يدعى جيزريت، وهو الذي يشكل تلة المرجل.

الشكل (9-13) كيفية عمل المرجل. (أ) اندفاع مرجل أولد فيثفول في حديقة يلوستون الوطنية / ويومنج، سمي المرجل نسبة إلى شدة انتظام اندفاعه الدوري والمتوقع. (James Randklev / Getty Images, Inc.) (ب) رسم توضيحي للمرجل يبين العمليات التي تؤدي إلى الاندفاع.

من تدفق الطمي (الحطام)، وتدفق الطين، والانزلاقات الأرضية (انهيار الحطام)، والفيضانات، والحرائق. وقد تؤدي الاندفاعات الكبيرة إلى تبريد عالٍ للغلاف الجوي سنة أو أكثر على مستوى الكوكب⁽⁶⁾،⁽⁷⁾.

تدفق اللابة Lava flows

وهي أهم النتائج المألوفة للنشاط البركاني، فعندما تصل الماغما إلى سطح الأرض تتدفق خارج الفوهة أو القصبه البركانية على جوانب البركان، وتسمى أنواع اللابة الرئيسية الثلاث، البازلتية التي تعد أكثرها انتشارًا،

6-9 الأخطار البركانية

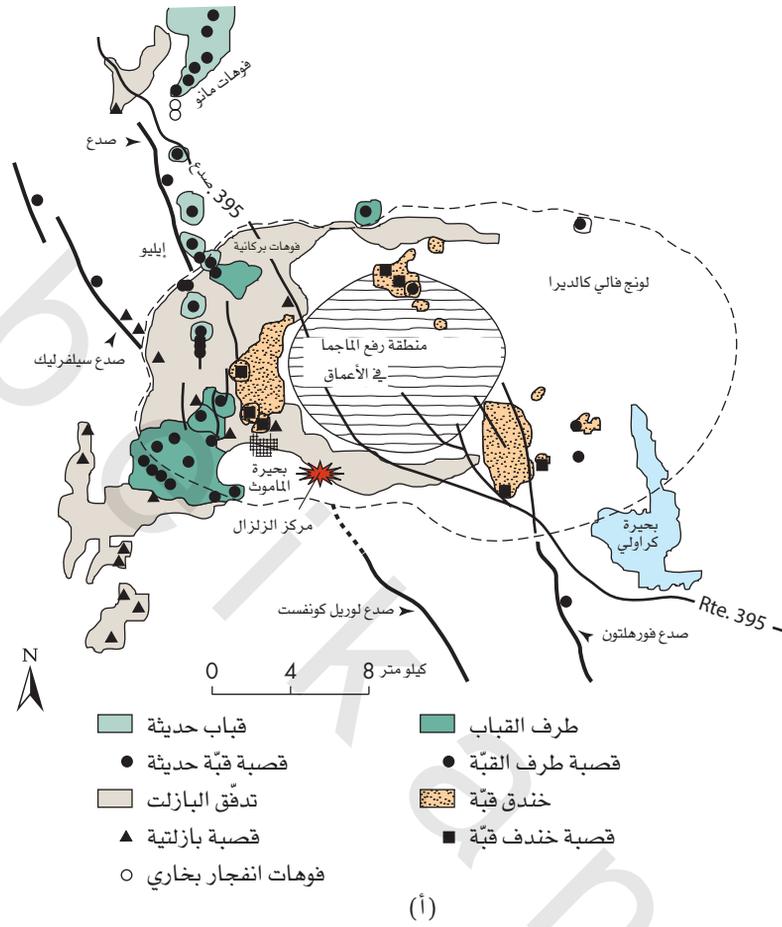
VOLCANIC HAZARDS

تتضمن الأخطار البركانية كلا من الآثار الأولية المصاحبة للنشاط البركاني، والآثار الثانوية التي قد تنتج من الآثار الأولية، حيث تتكون الآثار الأولية من تدفق اللابة، والنشاط البيروكلاستي، بما فيه من تساقط الرماد وتدفقه والانفجارات الجانبية وتحرير الغاز، الذي يتكون معظمه من بخار الماء، وقد تتسرب غازات أخرى سامة وضارة، أما الآثار الثانوية فتتكون

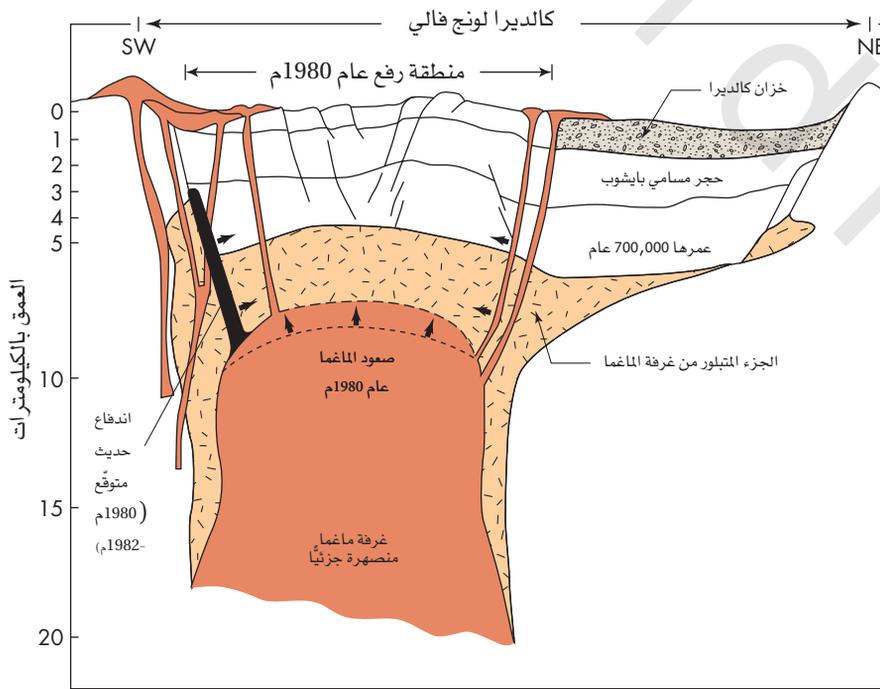
الشكل (9-14) جيولوجية الكالديرا (Caldera geology).

توضّح الخريطة (أ) والنموذج (ب) الأخطار البركانية بالقرب من بحيرات ماموث في كاليفورنيا، وتبيّن الخريطة موقع الاندفاع البركاني السابق والمنطقة التي يبدو أنّها تتعرّض لرفع الماغما في الأعماق، وأخيرًا المنطقة التي تحتشد فيها الزلازل بالقرب من بحيرات ماموث، ويبيّن المقطع الجيولوجي (ب) مقطعًا من الشمال الشرقي إلى الجنوب الغربي في كالديرا لونغ فاللي، وتظهر أيضًا العلاقات الجيولوجية التي تشير إلى صعود الماغما عام 1980م، وأدت إلى عمليات رفع، ووقوع حشد من الزلازل.

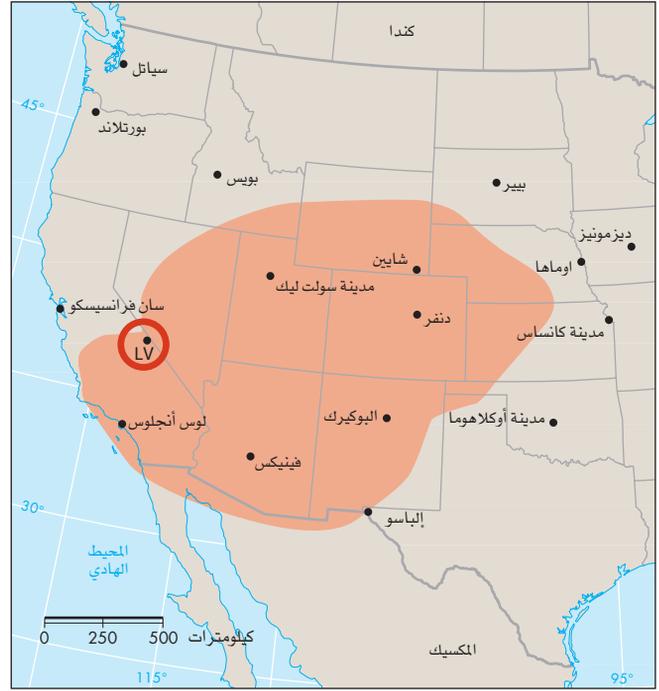
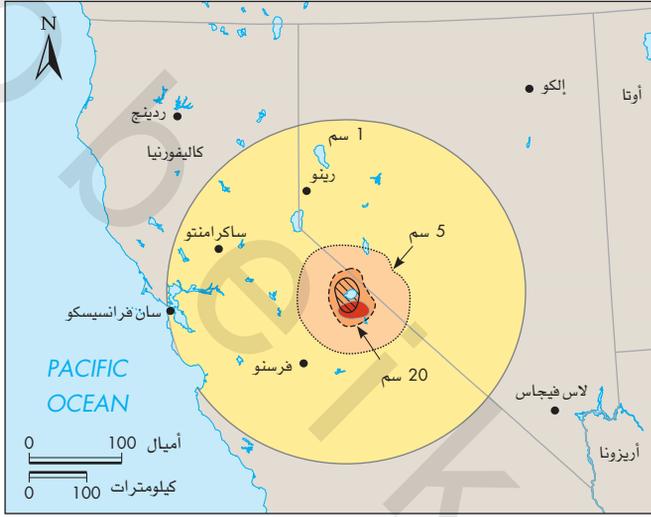
(From Bailey, R.A. 1983, Mammoth Lades earthquakes and ground uplift: Precursor to possible volcanic activity? In US Geological Survey Yearbook, Fiscal Year 1982).



(أ)



(ب)



الشكل (9-15) الأخطار الكامنة (Potential hazards) الأخطار الكامنة من اندفاع بركاني في كالديرا لونغ فالي بالقرب من بحيرات ماموث (كاليفورنيا).

(أ) منطقة مغطاة بالرماد البركاني، الناتج عن اندفاع كالديرا لونغ فالي قبل (700,000) سنة. تشير الدائرة حول لونغ فالي (LV)، التي يبلغ نصف قطرها (120 km) إلى المنطقة التي ستتعرض إلى تراكم (1 m) على الأقل من الرماد البركاني، فيما لو حدث اندفاع مشابه. إضافة إلى ذلك يتوقع ضمن هذه الدائرة حدوث تدفق الرماد الحار، وفي الحقيقة، أن المتوقع أن يتعدى هذا الحدود الدائرة. تشير الدائرة الحمراء والخطوط القطرية إلى خطر حدوث التدفقات إلى مسافة (20 km) تقريباً من الفوهات المعروفة. تمثل الخطوط المحيطة بمنطقة الأخطار توقعات بوصول سمك الرماد المتراكم إلى قرابة (20 cm) على بعد (35 km) (خطوط منقطعة)، و (5 cm) على بعد (85 km) (خطوط منقطعة)، و (1 cm) على بعد (300 km) (خطوط متصلة). وتفترض حسابات الأخطار هذه حدوث اندفاع انفجاري يعادل قرابة (1 km³) من موقع الفوهة حديثة النشاط.

(From Miller, C.D., et al., 1982, Potential hazards from future volcanic eruptions in the Long Valley Mono Lake area, east-central California and southwest Nevada-Aprelinay assessment. U.S. Geological Survey Circular 877).

بتناغم مع العمليات الشاطئية شاطئاً جديداً من الرمال السوداء، التي تنتج عندما تدخل اللابة المنصهرة مياه البحر الباردة نسبياً، ما يؤدي إلى تكسرها إلى حبيبات صغيرة بحجم حبات الرمل.

الطرق المستخدمة للسيطرة على تدفقات اللابة

Methods to Control Lava Flows

استخدمت كثير من الطرق لحرف مسار تدفق اللابة بعيداً عن الأماكن المأهولة أو المهمة، مثل التبريد المائي لها، أو بناء العوائق والجدران، وقد أظهرت - أحياناً - عملية ضخ الماء على مقدمة اللابة لتبريدها نجاحاً في تقليل الأضرار الناجمة عن الاندفاعات البركانية، حيث أنشئ أكثر برامج التبريد المائي طموحاً في العالم في يناير 1973م على جزيرة "هيماي الأيسلندية"، عندما اقتربت تدفقات اللابة البازلتية القادمة من (جبل هيل جافيل) من مرفأ المدينة الرئيس، في الجزيرة المسماة "فيست مانيجار"، وقد هدد استمرار استخدام الجزيرة بوصفه مرفأ الصيد الأيسلندي الرئيس، ما تطلب اتخاذ إجراءات سريعة.

وقد ساعدت ثلاثة ظروف على ذلك، هي:

(1) كان تدفق اللابة بطيئاً، ما سمح بإتاحة الوقت اللازم لبداية برنامج السيطرة.

والأنديزيتية، والريوليتية، وذلك نسبة إلى الصخور البركانية التي تشكلها. وقد يكون تدفق اللابة ذا سيولة عالية (لزوجة قليلة) فتسيل بسرعة كبيرة، أو قد تكون لزجة بصورة أعلى نسبياً فتتحرك ببطء، حيث تتكون اللابة البازلتية من قرابة (50%) سليكا، وتظهر مدى في السرعة، وتكون قليلة اللزوجة وحرارتها مرتفعة؛ لذلك فهي الأسرع حركة، إذ تصل سرعتها عادة إلى (1 m/hr)، وتكون أسرع بكثير عند المنحدرات الشديدة، يطلق عليها أيضاً اسم "باهوي هوي"، وهي ذات سطح أملس مجدول، عندما تبرد وتتصلب، انظر الشكل (9-16)، وتتحرك اللابة عالية اللزوجة والأكثر برودة بمعدل سرعة أقل يصل إلى أمتار عدة في اليوم، حيث تكون ذات نسيج كتلي عند تصلبها (الشكل 9-16ب) ويطلق عليها اسم "أه أه"، وباستثناء تدفقات اللابة عند المنحدرات الشديدة، فإن معظم تدفقات اللابة بطيئة بصورة كافية، تسمح للناس بالمغادرة والابتعاد عن طريقها كلما اقتربت.

بدأت تدفقات اللابة من اندفاعات أخدود في "كيلاوا" في هاواي عام 1983م، وعدت أكثر الاندفاعات طولاً وضخامة في التاريخ، انظر الشكل (9-17)، وقد بلغ عدد المنشآت التي دمرتها تدفقات اللابة حتى عام 2005م قرابة (100) منشأة في قرية "كالابانا" بما في ذلك مركز زوار حديقة الوطنية، فقد تدفقت اللابة عبر جزء من شاطئ رمال "كايمو" السوداء الشهير إلى المحيط، فاخضت قرية "كالابانا" في نهاية الأمر، وستمضي الأرض عقوداً عدة قبل أن تستعيد إنتاجيتها من جديد، لقد صنعت الاندفاعات البركانية



الشكل (9-16أ) تدفق لابة الباهوي هوي (Pahoehoe lava flow) تدفق لابة أه (Aa lava flow). تدفق لابة أه الكتلية يتلغ أحد الأبنية خلال اندفاع بركاني في جزيرة هيماي في آيسلندا. (Solarfilm HF)



الشكل (9-16أ) تدفق لابة الباهوي هوي (Pahoehoe lava flow) بنسجها الأملس السطح، تحيط بأحد المنازل في كالابونا في هاواي وتدقره عام 1990م، لقد دقر هذا التدفق قرابة (100) منشأة، بما في ذلك مركز زوار الحديقة الوطنية. يطلق على هذا النوع من التدفقات لابة الحبل أو الجدلة؛ بسبب نسج سطحها الذي يشبه قطعة من الحبال ممدودة جنباً إلى جنب وملفوفة ببعضها. (Paul Richard/UPI/CORBIS)

فهو انفجارات الغاز والرماد من أحد جوانب البركان، وتسبب تدمير جزء من الجبل، ومن الممكن أن تكون هذه الانفجارات شديدة التدمير، حيث تنطلق المواد المقذوفة، وتقطع مسافات بعيدة عن البركان بسرعات مذهلة قريبة من سرعة الصوت، وتكون تدفقات الفتات البركاني (الرماد) أكثر عناصر الاندفاعات البركانية قتلاً، وهي تيهورات من الفتات البركاني شديد الحرارة (رماد وصخور وزجاج بركاني وغازات) تُقذف من الفوهة، وتتحرك بسرعة عالية جداً على المنحدر البركاني، وتُعرف أيضاً بالتهورات الحارّة أو الغيمة المتوهجة. "انظر إلى نقاش ثلاث حالات تاريخية في الجزء (7-9)".

تساقط الرماد Ash Fall يمكن أن تغطي اندفاعات الرماد البركاني مئات بل آلاف الكيلومترات المربعة، وينشأ منها كثير من الأخطار، مثل:

- تدمير الغطاء النباتي بما في ذلك المحاصيل والأشجار.
- تلوث المياه السطحية بالرسوبيات، ما يزيد حموضة الماء مؤقتاً، وتستمر زيادة الحموضة بضع ساعات فقط بعد توقف الاندفاع.
- قد تتعرض الأبنية للضرر؛ بسبب زيادة الأحمال على أسقفها (الشكل 9-19) إذ يضيف ارتفاع (1 cm) من الرماد قرابة (2.5) طن من الوزن الإضافي على سقف معظم البيوت.
- الأخطار الصحية، مثل تحسّس جهاز التنفس والعيون، التي تتأثر بسبب ملامسة الرماد والأبخرة الكاوية المصاحبة⁽⁸⁾.
- احتراق محرّكات الطائرات؛ بسبب تغطيتها بطبقة رقيقة من الرماد المحتوي على السليكا المنصهرة، على سبيل المثال: سبب اندفاع بركان "ريدويت" عام 1989م في الأسكا غيمة اندفاع الرماد صادفت

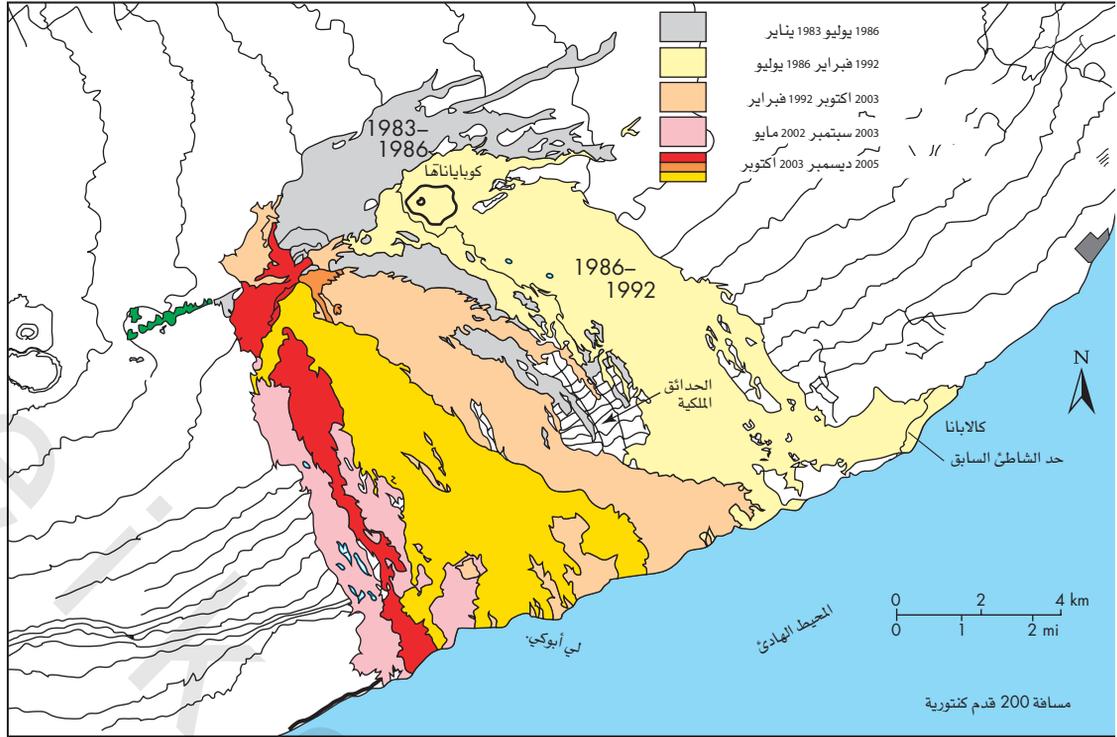
(2) أتاح النقل عبر البحر، ومن خلال شبكة الطرق نقل الأنابيب والمضخّات والمعدّات الثقيلة اللازمة.

(3) وجود كمّيات هائلة من المياه. فني البداية بُرد سطح التدفق وحافته بالماء، التي صُخّعت عبر كثير من خراطيم إطفاء الحريق، التي غُذيت بالماء من الأنبوب (الشكل 9-18)، ثم تحركت الجرافات نحو التدفق الذي يتقدّم ببطء، وشقّت طريقاً خلاله، بحيث تمّ وضع أنبوب بلاستيكي لم ينصهر؛ لأنّ الماء يتدفق منه، وقد ساعد وجود فتحات في الأنبوب على تبريد النقاط الساخنة على طول التدفق، ولم يكن ضغّ الماء بالقرب من مقدّمة التدفق ذا فعالية عالية في اليوم الأوّل، إلّا أنّ التدفق بدأ بالتباطؤ والتوقّف أحياناً.

كان للإجراء الذي اتخذ في آيسلندا دون شك تأثير مهمّ على تدفقات اللابة من جبل "هيل جافيل"، فقد هدف إلى تحديد حركة اللابة وتقليل أضرار الممتلكات في مدينة المرفأ؛ ولذلك بقي المرفأ مستخدماً بعد توقّف التدفق في يونيو عام 1973م، وقد تغيّرت صورة المرفأ، وأصبحت أفضل نتيجة الظروف التي تهيأت له؛ لأنّ الصخور الجديدة زادت حمايته من البحر.

النشاط البيروكلاستي (الفتاتي البركاني) Pyroclastic Activity

يصف النشاط البيروكلاستي التبركن الانفجاري، الذي تقذف فيه التيفرا من الفوهة البركانية إلى الغلاف الجوي، حيث يمكن أن تحدث أنواع عدّة منه، ففي أثناء الاندفاعات البركانية يقذف الرماد البركاني (انهمار الرماد ash fall) بكمّيات هائلة من الفتات الصخري وقطع الزجاج الطبيعي والغاز عالياً في الهواء في أثناء الانفجار البركاني، أمّا الانفجار الجانبي،



الشكل (9-17) تدفقات اللابة على جزيرة هاواي (1983م-2005م). (أ) خريطة التدفقات. (ب) تدفق اللابة إلى المحيط. الدخان الأبيض هو بخار الماء. يوضح الاندفاع عمليات البناء المستمرة في هاواي. (USGS Hawaiian Volcanic Observatory).



وقتل (30) ألف نسمة، ولم ينجُ من الحادث سوى شخصين: أحدهما سجين داخل القضبان، وتعرض لحروق شديدة وتشوهات مخيفة، وقد كتب عنه أنه أمضى ما تبقى من حياته يسافر مع السيرك، ويشارك في عروض جانبية باسم "السجين الناجي من سانت بييري"، وقد حدثت مثل هذه التدفقات أيضاً من براكين في شمال غرب الهادي واليابان، ويتوقع أن تحدث مستقبلاً.

طائرة في طريقها إلى اليابان، ففقدت أربعة محركات في الطائرة طاقتها، إلا أنها ولحسن الطالع عادت للعمل بعد (5) دقائق، وقد هبطت الطائرة إلى ارتفاع (10,000 ft) في أثناء محاولتها إعادة تشغيل المحركات، وتمكنت من الهبوط بسلام في "أنشورج" في ألاسكا، وقد بلغت أضرارها قرابة (80) مليون دولار⁽⁵⁾.

الغازات السامة Poisonous Gases

تبعث كثير من الغازات في أثناء النشاط البركاني، مثل بخار الماء (H_2O)، وغاز ثاني أكسيد الكربون (CO_2)، وثاني أكسيد الكبريت (SO_2)، وكبريتيد الهيدروجين (H_2S)، ويشكل بخار الماء وثاني أكسيد الكربون قرابة (90%) من مكوناتها، ومن النادر أن تصل أخطار الغازات البركانية إلى المناطق المأهولة بتراكمات سامة، ومن الاستثناءات المساوية التي حدثت

تدفقات الرماد Ash flows تدفقات الرماد أو الغيمة المتوهجة شديدة الحرارة، تبلغ مئات الدرجات السيلوسية، وتتحرك بسرعة تصل إلى (100 km/hr) تقريباً على جوانب البركان، فتحرق كل ما يقف في طريقها؛ لذلك فهي مفعجة في حال وجدت منطقة مأهولة في طريقها، وما حدث عام 1902م في جزيرة الهند الغربية في المارتينيك دليل على ذلك، ففي صباح الثامن من مايو، تحرك من جبل سانت بيلي تدفق حار مكون من الرماد المتوهج والبخار والغازات الأخرى، نحو قرية سانت بييري



(ب)



(أ)



(ج)

الشكل (9-18) يقاوم الناس تدفق اللابة. تدفقات جبل هيل غافيل في جزيرة هيماي/آيسلندا. (أ) منظر ليلي من منطقة المرفأ (Solarfilma HF) (ب) منظر من الجو نحو المرفأ. لاحظ تقدم تدفق اللابة والبخار الأبيض المتصاعد في الزاوية السفلى اليمنى. نتج البخار عندما أضيفت المياه إلى مقدمة التدفق. يظهر في الزاوية السفلى اليمنى مدفع ماء يعمل، ويشاهد تصاعد الأبخرة (ج) منظر جوي يظهر مقدمة لابة كتلية تتجاوز نحو المرفأ. توقّف التدفق بمحض المصادفة الحسنة عند نقطة، بحيث حُسن من وضع المرفأ من خلال تزويده بحماية أفضل من أمواج العواصف.

(James R. Andrews)



الشكل (9-19) الرماد البركاني على الأسطح. عندما يتوافر الرماد على المباني، فإنه يزيد الحمل على الجدران بأطنان عدة. تظهر هنا المباني التي تعرّضت للانهييار والاحتراق من الرماد الساخن واللابة، الناتجة عن أحد الاندفاعات البركانية في آيسلندا عام 1973م. (James Andanson/Sygma/Corbis)

يستطيع غاز ثاني أكسيد الكبريت التفاعل في الغلاف الجوي، وإنتاج مطر حمضي في الانفجاعات مع اتجاه الرياح، ويمكن أن يمتصّ التراكيز السامة من بعض المواد الكيميائية، التي تنطلق على صورة غازات داخل الرماد البركاني الذي يتساقط على الأرض، وفي نهاية الأمر يندمج المطر الحمضي والرماد السام بالتربة والنباتات التي يأكلها الإنسان والمواشي، وعلى سبيل المثال: يمكن أن ينطلق غاز الفلور على صورة حمض الهيدروفلوريك (HF)، الذي يمتصّ عن طريق الرماد، ثم يرشح إلى مصادر المياه⁽²⁾.

تتم مراقبة البراكين في اليابان من أجل الكشف عن تسريب الغازات السامة، مثل كبريتيد الهيدروجين، حيث تطلق صفارات الإنذار عند كشف التسرب؛ لتحذير الناس والانتقال إلى المناطق المرتفعة.

يمكن أن تنتج البراكين نوعاً من الضبخن، الذي يسمّى ضباب بركاني (ضبكاني Smog)، فمثلاً استمرّ انبعاث غاز ثاني أكسيد الكبريت والغازات البركانية من بركان كيلاوا/هاواي منذ عام 1986م، وفي بعض الأحيان تسافر هذه الغازات مع الرياح، وتتفاعل كيميائياً مع الأوكسجين والرطوبة في الغلاف الجوي، فينتج ضبكاني مختلط بالمطر الحمضي، وتُغطّى أحياناً المناطق الجنوبية الشرقية من هاواي ببساط سميك من الضباب الحمضي، ولذلك تطلق الإنذارات الصحية، حيث يُعدّ الضبكاني خطراً

ما وقع عام 1986م في بحيرة نيوس في الكاميرون /غرب إفريقيا، حيث تقع بحيرة "نيوس" في فوهة بركانية عمقها قرابة (200 m) في قمة بركان ساكن، ودون سابق إنذار باستثناء خشخشة مسموعة، أطلق البركان الذي بدا ساكناً غيمة كثيفة من الغاز، تتكوّن بنسبة كبيرة من غاز ثاني أكسيد الكربون، وهو غاز عديم اللون والرائحة وأثقل من الهواء الطبيعي، انتقلت غيمة الغاز مسافة (10 km) أسفل البركان على امتداد أحد الأودية ملاصقة الأرض، فخنقت (1700) شخص و(3000) رأس من الماشية، انظر الشكل (9-20أ، ب)⁽⁴⁾، واستمرّ تراكم غاز ثاني أكسيد الكربون في قاع البحيرة منذ عام 1986م وحتى الآن، ومن المتوقع أن يحدث انطلاق آخر له في أي وقت، ومع أنّ البحيرة مغلقة وممنوعة عن الناس كافة، إلا أنّ العلماء يدرسون أخطارها، بعد أن عاد آلاف المزارعين إلى مزارعهم وأراضيهم، حيث زرعو نظام إنذار في البحيرة يطلق صافرته عندما ترتفع قيم ثاني أكسيد الكربون، وقد ركّبوا أيضاً أنبوباً من قاع البحيرة، يعمل على تفرغ الغاز إلى السطح بصورة نافورة، انظر الشكل (9-20ج)، وذلك سمح لغاز ثاني أكسيد الكربون بالتحرّز تدريجياً إلى الغلاف الجوي، وبذلك خففت الأخطار قليلاً؛ لأنّ نافورة واحدة لتفريغ الغاز تؤدّي دوراً قليلاً في تحرير الغاز من البحيرة، ولا بدّ من إضافة خمس نوافير أخرى؛ لتقليل الأخطار بصورة كافية.



(ج)



(أ)

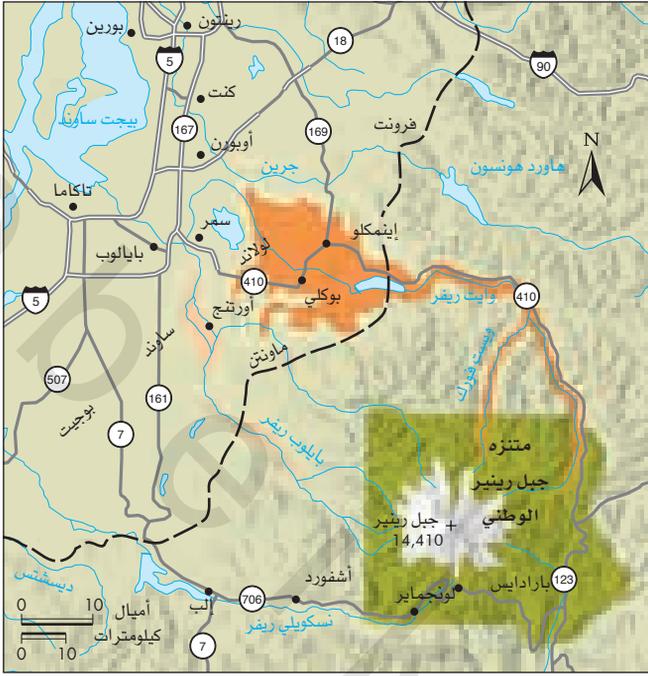


(ب)

الشكل (9-20) الغازات السامة المنبعثة من بركان ساكن. (أ) أطلقت بحيرة نيوس عام 1986م كميات كبيرة من غاز ثاني أكسيد الكربون.

(ب) قتل الغاز نتيجة الاختناق (1700) نسمة و(3000) رأس من الماشية. (Peter Turnley/CORBIS) (ج) تهريب الغاز وتفريغه عن طريق نافورة عام 2001م.

("Nyos degassing system conceived, designed and manufactured by a French company, Data Environment and the University of Savoie, France." Courtesy of J. C. Sabroux)



الشكل (9-21) التدفق الطيني. خريطة جبل رينبير والمناطق المجاورة تبين مدى انتشار تدفق "أوسيوولا" الطيني في منطقة وادي النهر الأبيض (اللون البرتقالي)، وانتشار تدفق "إليكترون" الطيني (البيج) في منطقة وادي نهر بيولوب.

(From Crandell, D. R., and Mullineaux, D. R., U. S. Geological Survey Bulletin 1238)

تحرك تدفق الطين هذا قرابة (80 km) من البركان، واشتمل على (109 km³) تقريباً من الركام، أي ما يوازي قرابة (13 km²) بسمك يزيد على (150 m)، ووصلت رسوبيات تدفق "إليكترون" الطيني الأحدث عمراً (عمره 500 سنة) مسافة (56 km) بعيداً عن البركان. يعيش مئات الآلاف من الناس حالياً في مناطق مغطاة بتلك التدفقات القديمة، ولا توجد ضمانات بعدم تكرار ما حدث سابقاً، يظهر الشكل (9-22) مناطق خطر كامن لكل من تدفقات الطين وتدفقات اللابة وتراكمات طمي الفتات البركاني من جبل رينبير، ولو وصف أحدهم تقدم التدفق، وهو مواجه له، لقال: إن حائطاً من الطين طوله أمتار عدة يتقدم بسرعة (30-50 km/hr)، ولو شاهد التدفق على مسافة (106) km، لاحتاج إلى سيارة تنقله بسرعة إلى المناطق المرتفعة؛ خوفاً من أن يدفن حياً⁽⁸⁾.

لقد طوّرت المساحة الجيولوجية الأمريكية حديثاً نظام كشف اللاهار، الذي يعمل أوتوماتيكياً بالطاقة الشمسية في براكين عدة في الولايات المتحدة (جبل رينبير) وإندونيسيا والفلبين والمكسيك واليابان، حيث تستطيع الكاشفات (مراقبات الاهتزازات الصوتية) الإحساس بالاهتزازات الأرضية الناتجة عن تحرك اللاهار، وتحذر من وجود تدفق يتحرك أسفل الوادي، فقد أصبحت هذه الكاشفات بديلاً عن نظام المراقبة البصرية أو أنظمة التصوير بالكاميرات، التي لا يمكن الوثوق بها في حالات الطقس السيئ أو في الليل والتي تتطلب الانتباه الشخصي المستمر، ومن الممكن أن تحدث اللاهار الخطرة بسرعة وبتحذيرات قليلة، والمهم في هذه الحالة، هو وقت تنفيذ الإخلاء، فعندما يطلق نظام الإنذار صوت التحذير بتقدم اللاهار، تطلق الإنذارات، وتمنح وقتاً كافياً للإخلاء إلى المناطق المرتفعة الآمنة⁽¹²⁾.

تقع أكبر الانزلاقات الأرضية على الأرض في هاواي، وتحرك هذه الانزلاقات

كامناً ليس على الناس فقط، وإنما على الكائنات الحية الأخرى، وقد قدرت آثار صحّية وخيمة في هاواي⁽¹⁰⁾،⁽¹¹⁾، إذ يمكن للهباء الجوّي الحمضي وغاز ثاني أكسيد الكبريت بتراكيز عالية، مثل تلك الموجودة في الضبكاني النفاذ إلى أعماق رتتي الإنسان، والتسبب في نوبات الربو ومشكلات تنفسية أخرى، حيث تزيد - أحياناً - تراكيز غاز ثاني أكسيد الكبريت، المنبعث في الغلاف الجوي من بركان كيلاوا عن التراكيز القياسية لنوعية الهواء، وقد سجّلت كثير من الأعراض على السكّان والزوّار عند تعرّضهم للضبكاني، ومنها: صعوبات التنفس والصداع وآلام الحلق ودمع العيون وأعراض تشبه الحمّى، وسجّل أيضاً عام 1988م مطر حمضي في نظام تجميع مياه المطر من أسقف المنازل، إذ كانت المياه ملوثة بعنصر الرصاص في (40%) تقريباً من المنازل، الذي نزع من موادّ الأسقف والأنابيب عن طريق المطر الحمضي، وعندما قيست نسبته في عيّنات دم بعض السكان تبين أنها عالية، ويتوقّع أن يكون السبب في ذلك استخدامهم المياه في الشرب⁽¹²⁾.

تدفق الطمي والطين

Debris Flows and Mudflows

تعدّ كل من تدفقات الطمي والطين من أهمّ التأثيرات الثانوية للنشاط البركاني، ويطلق عليها الإندونيسيون كلمة "لاهار"، وتنتج عندما تتشعب كمّيات كبيرة من الرماد البركاني المفكك والمقدوفات الأخرى بالمياه، فتصبح غير مستقرّة، ما يؤدي إلى تحركها وانحدارها بسرعات كبيرة، ويتمّ التمييز بين تدفقات الطمي وتدفقات الطين اعتماداً على حجم الحبيبات، فيكون حجم الحبيبات في الطمي أكبر بقراية (50%) من حجم الرمل قطرهما (2 mm)، (ارجع إلى الفصل السابع).

تدفقات الطمي Debris flows

تشير الأبحاث التي أجريت على عدد من البراكين، أنّ بمقدور الاندفاعات البركانية الصغيرة نسبياً، التي تحتوي على موادّ بركانية حارّة، أن تصهر كمّيات هائلة من الثلج والجليد بسرعة كبيرة، حيث تؤدي الكمّيات الغزيرة من المياه المنصهرة إلى تكوين فيضانات، تجرف أجزاءً من جوانب البركان ويمزجها بالرماد البركاني وغيره من الموادّ مشكلاً تدفقات الطمي، وهي تدفقات من مخاليط سريعة الحركة متماسكة، مثل الباطون الرطب مكوّنة من الرسوبيات والكتل الصخرية والماء، إذ يمكن لتدفقات الطمي أن تقطع كيلومترات عدّة عبر الأودية منطلقة من جوانب البركان⁽⁸⁾، على سبيل المثال: اندفع تدفق بيروكلاستي من جبل ريديوت البركاني في الأسكا عام 1990م في أثناء هبوطه عبر النهر الجليدي دريفت، وصهر الثلج والجليد بسرعة كبيرة، وذلك أدى إلى تدفق الطمي، الذي تكوّن من كمّيات هائلة من المياه والرسوبيات، وتحركه بسرعة أسفل الوادي بتدفق يضاها نهر المسيسيبي في أثناء فيضانه، ولحسن الطالع أنّ هذا الحدث كان في منطقة نائية، ولذلك لم يسجّل وفيات⁽²⁾.

تدفقات الطين Mudflows

نشأت تدفقات الطين العظيمة على جوانب البراكين في الباسيفيك نورث ويست (شمال غرب الهادي)⁽⁷⁾، وعادة ما يدعى تدفق الطين المكوّن من الرماد البركاني باللاهار، يظهر الشكل (9-21) ممّرات لتدفقين طينيين قديمين، تكوّنوا على جبل رينبير.

يبلغ عمر رسوبيات تدفق "أوسيوولا" الطيني قرابة (5000) سنة، فقد

رسوبيات الانزلاق عن (1000 km³) ، وغطى قاع البحر المقابل للشاطئ في شمال جزيرة تيناريفي بقرابة (5500 km²) من الرسوبيات، وهي مساحة تساوي ضعفي مساحة تلك الجزيرة⁽¹⁵⁾.

وهناك قلق بأن يؤدي انزلاق أرضي مستقبلي في جزيرة تيناريفي أو جزيرة لابالما (جزيرة أخرى في أرخبيل /جزر الكناري) إلى أمواج سونامي كبيرة تسمى السونامي العظمى، حيث يتوقع أن يصل ارتفاع أمواجها قرابة (100 m) ، وتسبب أضراراً هائلة في الشواطئ الشرقية للولايات المتحدة، بما فيها مدينة نيويورك، وعلى الرغم من أن احتمالية حدوث انزلاق أرضي هائل غير معروفة، إلا أنه لا يمكن استبعادها.

7-9 تاريخ ثلاث حالات

THREE CASE HISTORIES

جبل بيناتوبو MT. PINATUBO

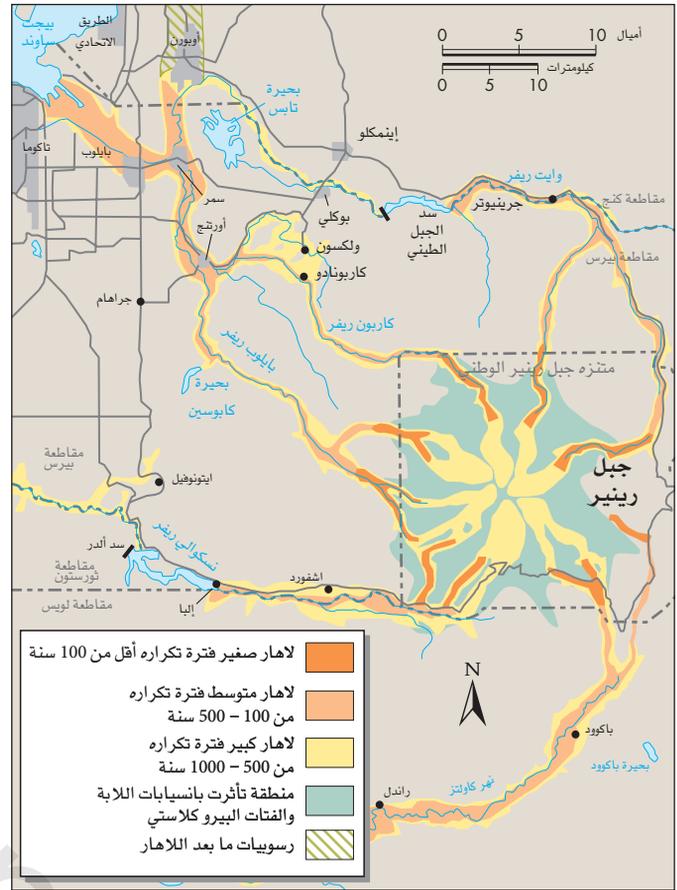
وقع في 15 و16 يونيو من عام 1991م ثاني أكبر اندفاع بركاني في القرن العشرين، في جبل بيناتوبو في جزيرة لوزون في الفلبين، انظر الشكل (9-24)، وقد أدى التأثير المشترك لكل من تساقط الرماد وتدفقات الطمي والطين والإعصار إلى قتل (300) شخص تقريباً، وكان السبب الرئيس لمعظم الوفيات انهيار الأبنية الناتج عن ثقل وزن الرماد البركاني الرطب، الذي صادف حدوثه مع وصول إعصار يونيا، حيث وصل سمك الرماد قرابة (30 cm) في مناطق تبعد (40 km) تقريباً عن البركان، وقد أخلي (250) ألف شخص تقريباً عن قراهم ضمن مساحة نصف قطرها (30 km) عن البركان، بما فيهم قاعدة عسكرية للجيش الأمريكي، ما أسهم في إنقاذ آلاف الأرواح، وتحدثت فرق من العلماء مع الناس والسلطات المحلية لتثقيفهم وإطلاعهم على أشرطة فيديو عن الاندفاعات البركانية والأخطار الكامنة المصاحبة لها، بهدف إقناع المسؤولين بإصدار أمر الإخلاء، وإقناع الناس المعرضين للخطر بإطاعة الأمر⁽¹⁶⁾.

أرسلت الانفجارات الهائلة من بركان بيناتوبو غيمة من الرماد، عرضها (400 km) وارتفاعها قرابة (34 km)⁽⁴⁾، وكما هو الحال في الأحداث المشابهة الماضية، فقد استمرت غيمة هباء الرماد وما فيها من ثاني أكسيد الكبريت في الغلاف الجوي مدة تزيد على سنة، وذلك أدى إلى تشتيت أشعة الشمس، نتج عنه تبريد طفيف للجو العالمي في السنة التي أعقبت الاندفاعات⁽³⁾·(16).

لقد تكللت عمليات إنقاذ الأرواح في أثناء اندفاعات جبل بيناتوبو عام 1991م بالنجاح، وذلك على العكس تماماً مما حدث عام 1985م، في اندفاع نيفادو ديل رويز (انظر الفصل الخامس)، ففي أرميرو تحول الخطر البركاني إلى كارثة ناتجة جزئياً عن سلسلة أخطاء بشرية، فلم يكن الاندفاع كبيراً، ولم يكن السبب سوء الطالع، وما حدث نتج بسبب عدم توصيل علم الأخطار بصورة فعّالة إلى الناس والمسؤولين المحليين، فلقد كان من الممكن تجنب هذه المأساة.

جبل سانت هيلين Mount St. Helens

يؤكد انفجار جبل سانت هيلين في 18 مايو عام 1980م، الذي حدث في الزاوية الجنوبية الغربية من واشنطن (الشكل 9-25) الأشكال المختلفة للأحداث البركانية، التي يمكن حدوثها من بركان كاسيدي



الشكل (9-22) احتمالية أخطار التدفق الطيني. خريطة جبل "رينبير" والمناطق المجاورة تبين الأخطار الكامنة "للاهار" ولتدفق اللابة وتدفق الفتات البيروكلاستي.

(Hoblitt et al., 1998 US Geological Survey Open File Report 98-428)

حالياً ببطء قرابة (10 cm/yr) ، ومن الممكن أن يصل عرضها إلى (100 km) ، وسمكها قرابة (10 km) وطولها (20 km) ، إذ تمتد من نطاق الأخدود البركاني على اليابسة إلى نقطة النهاية في قاع البحر، وتحتوي هذه الانزلاقات البطيئة على كتل صخرية يوازي حجمها جزيرة مانهاتن، ويخشى أن تصبح هذه الانزلاقات - مثل ما حدث في الماضي - انهيارات عظيمة تحت بحرية سريعة الحركة، وتولد أمواج مدّ عال (سونامي Tsunami) عظيمة، ترسب الركاب البحري على ارتفاع مئات الأمتار فوق مستوى سطح البحر في الجزر القريبة، وتسبب أضراراً هائلة حول المحيط الهادي، ولحسن الطالع، فإن مثل هذه الحوادث الكبيرة جداً لا تحدث إلا كل (100,000) سنة تقريباً⁽⁴⁾.

ومن الانزلاقات الأرضية العظيمة الأخرى وتيهورات الطمي المرتبطة بالبراكين، تلك التي سُجّلت في أرخبيل جزر الكناري الموجودة في المحيط الأطلسي قريباً من سواحل إفريقيا، وقد حدثت (6) انزلاقات أرضية في جزيرة "تيناريفي"، وهي أكبر الجزر، خلال ملايين السنين الأخيرة، كان آخرها قبل أقل من (150,000) سنة، انظر الشكل (9-23)، ويوجد جبل "تيدي" على ارتفاع (3.7 km) داخل حوض بركاني مخسوف يسمى كالدبرا كاند⁽¹³⁾·(14). لقد أدى الانزلاق الأرضي إلى تكوين أودية كبيرة طولية، يطلق على أكبرها اسم وادي "أورتوفا"، الذي يحتضن المدينة السياحية المهمة "بورتو ديلا كروز"، وهي مقصد رئيس للسياح المتقاعدين الأوروبيين، إضافة إلى أحدث الأودية المعروف باسم "أيكود" (الشكل 9-23)، وقد زاد حجم



(ب)



(أ)

قمة تيدي
كالديرا كاتاوا المنهارة

الشكل (9-23) انزلاق أرضي هائل على البركان. (أ) جزء من جزيرة تينيريفي من جزر الكناري. كالديرا كاتاوا المنهارة وقمة جبل تيدي بارتفاع (7,3 km). موقع الانزلاق الأرضي. (ب) انزلاق أرضي في وادي أوروتوفا. المدينة التي تظهر في الصورة هي مدينة بورتوديلاكروز.

(Jose Barea/España Instituto Geografico Nacional)

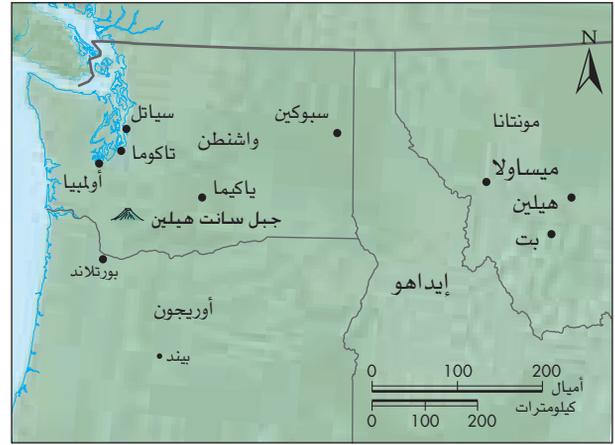


الشكل (9-24) الإخلاء. أُخلي آلاف المواطنين بمن فيهم قرابة ألف من قاعدة كلارك الجوية الأمريكية، في أثناء اندفاع الرماد وانفجار قمة جبل بيناتوبو في الفلبين في يونيو من عام 1991م.

(Carlo Cortes/Reuters/CORBIS)

الشكل (9-25) جبل سانت هيلين قبل وبعد. (أ) موقع جبل سانت هيلين. (ب) جبل سانت هيلين قبل اندفاع 18 مايو 1980م. (ج) بعد الاندفاع، نتيجة الاندفاع جزء كبير من الجانب الشمالي للبركان نفت بعيداً، وتناقص ارتفاع القمة قرابة (450 m) عما كان عليه.

(Photo [b] Bruce Spain hower/Washington State Turism Development Division. Photo [c] Harry Glicken/Washington State Turism Development Division)



(أ)



(ج)



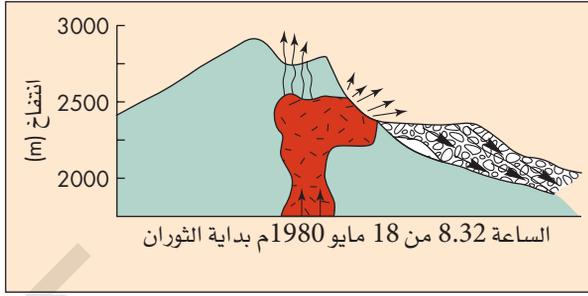
(ب)

بعد حدوث الانفجار الجانبي بساعة صعّدت غيمة كبيرة بسرعة وبصورة عمودية إلى ارتفاع (19 km) تقريباً، انظر الشكل (9-26د)، واستمرّ اندفاع العمود إلى الأعلى قرابة تسع ساعات، وتساقطت كمّيات كبيرة من الرماد البركاني على مساحات شاسعة من واشنطن وشمال إيداهو وغرب مونتانا ووسطها، وخلال تسع ساعات من الاندفاع كُنست كثيراً من تدفّقات الطين المنحدر الجنوبي للجبل البركاني، وبلغ مجمل كمّيات الرماد البركاني التي قذفت قرابة (1 km³)، وتحركت سحابة كبيرة من الرماد فوق الولايات المتّحدة وصلت بعيداً إلى الشرق حتى نيوانجلند، انظر الشكل (9-28)⁽¹⁸⁾. تكون أول تدفّقات الطين من خليط مكوّن من المياه والرماد البركاني والصخر والحطام العضوي كجذوع الأشجار، وقد حدث هذا التدفق بعد الاندفاع بدقائق، وتسابت بعدها التدفّقات والفيضانات المصاحبة إلى تشعّبات الأودية الشمالية والجنوبية لنهر "توتلي"، حيث بلغت سرعتها (29-55 km/hr)، مهدّدة أرواح الناس الذين يخيمون على امتداد النهر⁽¹⁸⁾.

في صبيحة (18) مايو عام 1980 م كان شائبان نائمان في أثناء رحلة صيد سمك على نهر توتلي على بعد (36 km) من بحيرة سبيريت أسفل التيار، وقد أفاق الشائبان على صوت عالٍ من النهر، الذي كان مغطى بالأشجار الساقطة، فحاولا الهرب في اتجاه سيارتهما، إلا أنّ مياه النهر المرتفعة غطت الطريق ومنعتهم من ذلك، وصدّمت كتلة طينية قادمة من الغابة

(Cascade volcano)، كان الانفجار مثل بقية الأحداث الطبيعية فريداً ومعقّداً والتعميمات فيه صعبة نسبياً، ومع ذلك فقد تعلّمنا منه الكثير.

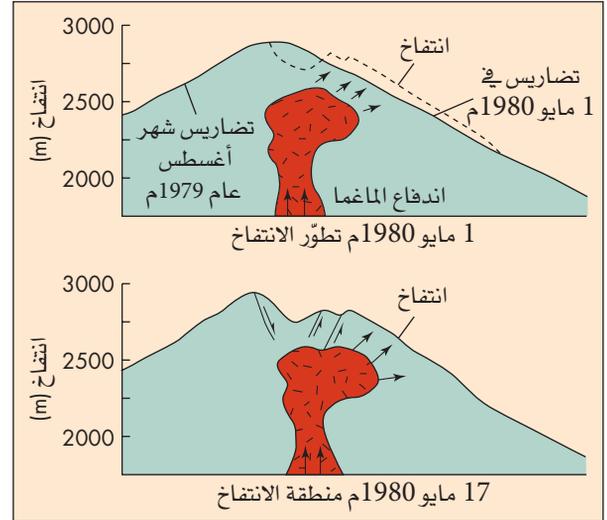
لقد استيقظ جبل سانت هيلين في فبراير عام 1980م بعد سبات دام (120) عاماً، بنشاط زلزالي وانفجارات صغيرة، عندما اتّصلت المياه الجوفية بالصخور الحارّة، ومع الأوّل من مايو ظهر انتفاخ واضح في الجناح الجنوبي للجبل، إذ كان ينتفخ بمعدّل (1,5 m) كلّ يوم، انظر الشكل (9-26أ)، وفي الساعة (8.32) صباحاً من يوم (18) مايو وقعت هزة أرضية بقوة (5.1) سجّلت في البركان، وأطلقت انزلاقاً أرضياً/تيهوراً (avalanche) طمياً كبيراً قرابة (2.3 km³) شمل المنطقة المنتفخة كلّها، انظر الشكل (9-26ب)، واقتلع الجناح الجنوبي من الجبل، وأزاح الماء في بحيرة سبيريت، وضرب المنطقة وتجاوزها، وظهر على بعد (8 km) إلى الشمال، ثم عمل استدارة مفاجئة، وتحرك قرابة (18 km) إلى الأسفل في اتجاه نهر توتلي. اندفع جبل سانت هيلين بانفجار جانبي من منطقة الانتفاخ مباشرة بعد انهيار الانتفاخ بثوانٍ، انظر الشكل (9-26ج)، وتحرك الانفجار بسرعة (1000 km/hr) إلى مسافة (30 km) تقريباً من مصدره، ودمّر منطقة مساحتها قرابة (600 km²). يظهر الشكل (9-27) منطقة تيهور الطمي والمنطقة الشجرية المدمّرة، والمنطقة الشجرية المحروقة، وتدفّقات البيروكلاست، وتدفّقات الطين.



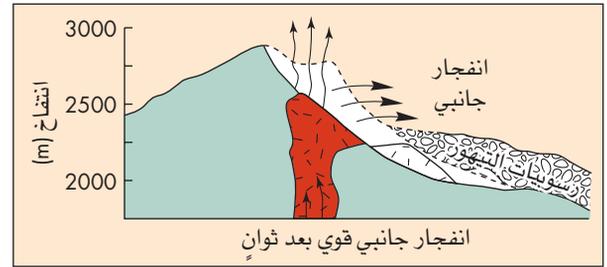
(ب) بدأ الاندفاع بتاريخ 18 مايو



(د) بعد ساعة من بدء الاندفاع



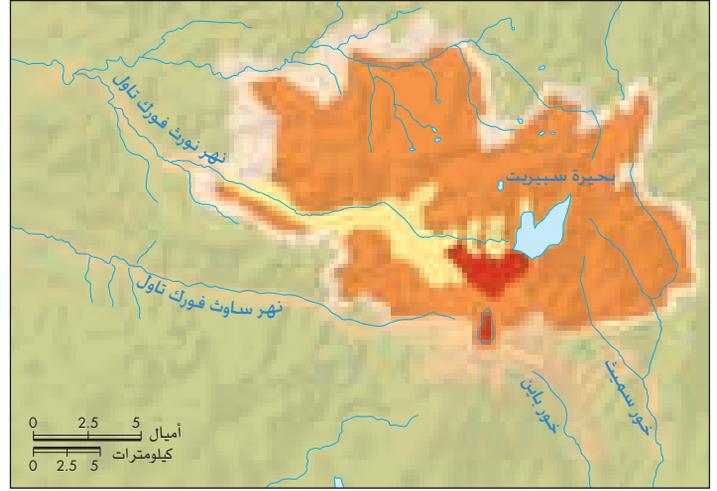
(أ) قبل الاندفاع من 1-17 مايو 1980 م



(ج) بعد ثوران بدأ الاندفاع

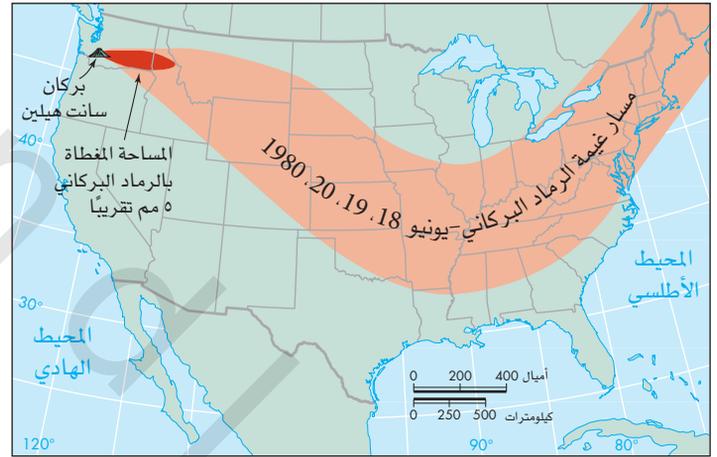
الشكل (9-26) اندفاع جبل سانت هيلين. يظهر المخططات والصور سلسلة الأحداث لاندفاع جبل سانت هيلين في 18 مايو عام 1980 م.

(Photographs [b] and [c] 1980 by Keith Ronnholm, the Geophysics Program, University of Washington, Seattle. Photograph [d] from Roger Werth/Woodfin Camp and associates).



(أ)

رسوبيات تيهور فتاتية
نطاق أشجار مدمرة
نطاق حرائق
رسوبيات تدفق بيروكلاستي
رسوبيات تدفق طين ومناطق مجروفة



(ب)

الشكل (9-28) المناظر الطبيعية القاحلة الناتجة عن الاندفاع. المناظر الطبيعية القاحلة المقفرة، التي تظهر هنا نتجت عن اندفاع 18 مايو عام 1980م لجبل سانت هيلين. يظهر هنا تيهور الركام وتدقق الطين الذي يتحرك في اتجاه نهر توتلي من الجزء الأوسط الأيسر من الصورة إلى الزاوية السفلى اليمنى. امتلاء كامل الوادي بالركام. مظهر الرسوبيات متموج وغير منتظم، ويتميز بانتشار الكتل البركانية الكبيرة وتشتتها.

John Shelton/University of Washington Libraries

الشكل (9-27) تيهور الركام وسحابة الرماد. (أ) رسوبيات تيهور الركام لجبل سانت هيلين، وتظهر نطاقات الأشجار المدققة والمحترقة، وتدققات الطين، والتدققات البيروكلاستية المصاحبة لاندفاع 18 مايو 1980م. (ب) ممر غيمة الرماد الناتجة عن اندفاع عام 1980م (البيانات مأخوذة من كثير من نشرات المساحة الجيولوجية الأمريكية، رسوبيات تيهور الركام، نطاق الأشجار المدققة، نطاق الحرائق، رسوبيات التدقق البيروكلاستيكي، رسوبيات تدقق الطين والمناطق المجروفة).

الانحدار في اتجاه الشمال، ثم ملئت بحيرة سبيريت بالرسوبيات، انظر الشكل (9-25ب) السفلي، والشكل (9-25ج)، دمر كل من تيهور الطمي والانفجار الجانبي وتدققات البيروكلاست وتدققات الطين منطقة مساحتها (400 km²)، وقتل (54) شخصاً تقريباً، ودمر قرابة (100) منزل بسبب الفيضان، وتم تسوية مساحة (1,89) مليون متر مربع من الأشجار الحرجية، وقد قدر إجمالي الأضرار بقرابة بليون دولار.

بعد حصول اندفاع جبل سانت هيلين الكارثي، أُسس برنامج لمراقبة النشاط البركاني، وتمت بحرص مراقبة عملية بناء قبة من تدققات اللابة داخل الفوهة، التي نشأت من اندفاع 18 مايو 1980م، وخلال ثلاث سنوات أعقبت الاندفاع المذكور حدث (11) اندفاعاً صغيراً، حيث أسهمت تلك الاندفاعات الصغيرة في بناء قبة اللابة بارتفاع (250 m) تقريباً، وفي كل من هذه الاندفاعات قُذفت اللابة قريباً من قمة القبة، وتدققت بصورة بطيئة نحو القاعدة.

سيارتها؛ لذلك صعد الشبان إلى سقف السيارة هرباً من الطين، وشعرا بالأمان مؤقتاً، قبل أن يستمر الطين في الضغط على السيارة وتحريكها إلى النهر، حينذاك قفزا إلى النهر، الذي تحول إلى كتلة متدرجة من الطين وجذوع الخشب وحاملات سكك القطار المنهاره وغيرها من الركام، وكانت درجة حرارة الماء تزداد أيضاً، وقد حوَصر أحدهم بين الجذوع، واختفى مرّات عدّة تحت التدقق، وأخيراً حمل التيار الشائين إلى الأسفل قرابة (105 km)، فأنقذتهما عائلة هناك.

بعد انتهاء الاندفاع لوحظ أن ارتفاع الجبل البركاني قد هوى قرابة (450 m) عن ارتفاعه الأصلي، وتحول الجبل إلى صورة مدرّج عظيم ذي حواف شديدة



(ب)



(أ)

الشكل (9-29) سنوات التعافي. (أ) أنتج اندفاع جبل سانت هيلين في 18 مايو 1980م مناظر طبيعية قاحلة. (ب) لقد تعافى بعد (10) سنوات في يوليو عام 1990م، تظهر أزهار نبات الترمس. (Gary Braasch/Woodfin Carp and Associations)

8-9 توقع النشاط البركاني

FORECASTING VOLCANIC ACTIVITY

يُعدّ توقع انفجار البركان بياناً احتمائياً، يتعلّق بوقت الانفجار البركاني ومكانه وخصائصه قبل حدوثه، وهو يشبه عملية توقّع الطقس في دقّته، ويُعدّ توقع الاندفاعات البركانية مكوناً رئيساً لهدف تقليل الأخطار البركانية. لا يُتوقّع في القريب العاجل الوصول إلى توقّع أغلبية النشاط البركاني بدقة، غير أنّ معلومات قيّمة جُمعت عن الظواهر التي تسبق الانفجارات البركانية، فإحدى المشكلات المتعلقة به، أنّ معظم تقنيات التوقّع في حاجة إلى خبرة مع اندفاعات حقيقية قبل فهم الآليات؛ لذلك فنحن قادرون على التنبؤ بانفجارات جزر هاواي أكثر من الأماكن الأخرى؛ لأنّ لدينا خبرة واسعة هناك.

وهي تتضمن طرق توقّع الاندفاعات البركانية الآتية:

- مراقبة النشاط الزلزالي.
- مراقبة الظروف الحرارية والمغناطيسية والهيدروولوجية.
- مراقبة طبوغرافية ميل البركان والانتفاخات البركانية.
- مراقبة انبعاثات الغازات البركانية.
- دراسة التاريخ الجيولوجي للبركان أو مركز البركان (2)·(16).

النشاط الزلزالي Seismic Activity

تشير خبراتنا مع البراكين، مثل بركان جبل سانت هيلين وتلك البراكين على الجزيرة الرئيسية في هاواي، إلى أنّ الزلازل غالباً ما تعطي التحذير الأولي الذي يهدّد بانفجار بركاني، فقد بدأ النشاط الزلزالي لجبل سانت هيلين في منتصف شهر مارس قبل انطلاق البركان في شهر مايو، حيث بدأ النشاط الزلزالي فجأة بصورة زلازل ضحلة شبه متصلة، ومع الأسف لم تلاحظ زيادة في الزلازل مباشرة قبل الانفجار في 18 مايو، أمّا في هاواي، فقد استخدمت الزلازل لمراقبة حركة الماغما، عندما تقترب من السطح.

وقعت انفجارات بخار صغيرة قبل ثوران بركان جبل بيناتوبو عام 1991م

إنّ عملية مراقبة نمو القبة وتشوّه قاع الفوهة، إضافة إلى استخدام تقنيات المراقبة الأخرى مثل الغازات المنبعثة، تفيد في التنبؤ بالاندفاعات، فقد أضافت الاندفاعات كثيراً من ملايين الأمتار المكعبة إلى حجم القبة (19)، وبعد (20) سنة من الانفجار الرئيس، أي عام 2000م عادت الحياة إلى الجبل والمناطق المجاورة، وعادت الخضرة مرّة أخرى، انظر الشكل (9-29) (17)، وما زال المنظر الطبيعي غير المستوي بصورة الربوات (hummocky) والناتج عن رسوبيات الانزلاقات الأرضية واضحاً، ومذكراً بالحادثة الخطيرة عام 1980م، وهو الآن جاذب للسياح، حيث زاره مليون سائح تقريباً (20).

جبل أونزين 1991م Mt. Unzen

يوجد في اليابان (19) بركاناً نشطاً، تتوزّع على معظم أجزائها، وقبل (200) سنة مضت تقريباً ثار بركان جبل أونزين، وقتل قرابة (15,000) شخص، ودخل البركان بعد ذلك في سبات دام (200) عام، ليثور بعنف بعدها في 3 يونيو 1991م، وأمّرت السلطات حينذاك بإخلاء آلاف الناس، ومع نهاية عام 1993م اندفعت اللابة، وخرجت آلاف التدفّقات من الرماد الحار، انظر الشكل (9-30)، يُعدّ جبل أونزين مركزاً لدراسة تدفّقات الرماد في العالم، فقد زوّد العلماء بمختبر طبيعي لدراسة التدفّقات (1-3)، وقد أنتج انفجار عام 1991م تدفّقات طينية ضارّة، وبُنيت قناة خصيصاً لاحتوائها، إلّا أنّ التدفّقات تجاوزتها، وأحرقت كثير من المنازل بالطين، انظر الشكل (9-31).

كان هاري غليكين ضمن (44) شخصاً قتلوا عندما ثار جبل أونزين، وهو من أحد العلماء الشباب الموهوبين، وقد نجا من الموت عام 1980م، عندما ثار بركان جبل سانت هيلين، فغالباً ما يخاطر علماء البراكين بأرواحهم، من أجل فهم البراكين بصورة أفضل، ومن أجل إنقاذ حياة الآخرين الذين يعيشون قريباً. أهدي هذا الفصل عن العمليات البركانية إلى هاري الذي أحب البراكين، والذي كان أحد أصدقائي.



(أ)



(ب)

الشكل (9-31) تدفق الطين. (أ) تضررت العديد من المنازل في شيمابارا في اليابان؛ بسبب تدفقات الطين الناتجة من جبل أونزين عام 1991م. خرجت تدفقات الطين خارج القنوات التي بنيت لاحتوائها. (ب) فاضت التدفقات على العديد من المنازل والبنائات. (Michael S. Yamashita).

نحو الاندفاع، انظر الشكل (9-32)، وحينما يتم تعرّف الميل تتبقي أيام عدّة قبل حدوث الانفجار، ولسوء الطالع، فإنّ مدة الإنذار القصيرة قد تكون غير كافية لإجراء عمليات إخلاء واسعة النطاق، ولذلك ولتحقيق التوقّع الصحيح للاندفاع، فإنّ من الأفضل استخدام النشاط الزلزالي بتناغم مع بوادر الاندفاع الأخرى التي ستناقش لاحقاً، ومن حسن الطالع أنّ البراكين بعكس الزلازل تزودنا بإشارات تحذيرية قبل حدوث الانفجار⁽²¹⁾.

مراقبة الحرارة والمغناطيسية والهيدرولوجيا

Therma, magnetic, and hydrologic Monitoring

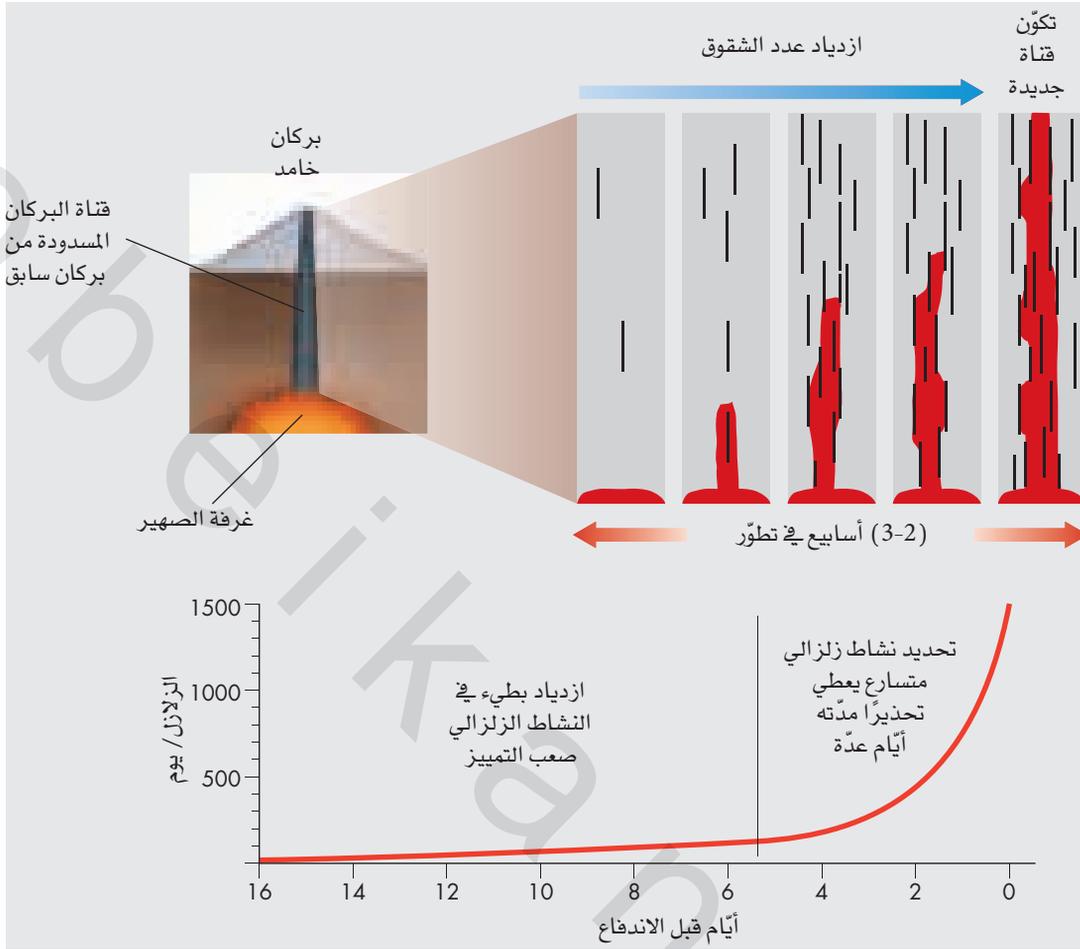
تعتمد مراقبة البراكين على حقيقة أنّ الماغما تتحرّك إلى الأعلى قبل حدوث الانفجار، إلى ما يشبه خزانات الانتظار التي تقع تحت البركان، وتغيّر هذه المادّة الساخنة الظروف المحلية، مثل الظروف المغناطيسية والحرارية والهيدرولوجية والجيوكيميائية، فعندما تسخن الصخور المحيطة تزداد درجة حرارة الصخور السطحية، ما يساعد على ملاحظتها أو الكشف عنها



الشكل (9-30) تدفق الرماد. انفجار جبل أونزين في اليابان في شهر يونيو عام 1991م. تتحرّك السحابة في المنطقة الجبلية بسرعة أسفل المنحدر بصورة تدفق الرماد. يركض أحد رجال الإطفاء للنجاة بحياته. (AP/Wide World Photos).

بأشهر عدّة، وبدأت الزلازل، كان جبل بيناتوبو بصورة ظهر متأكلاً، ولم يكن بصورته الكلاسيكية، وقد ظل خامداً مدّة (500) سنة، لذلك كان معظم الناس الذين يعيشون حوله يجهلون أنه بركان! وبدأ العلماء مراقبة النشاط الزلزالي ودراسة تاريخ النشاط البركاني، الذي حدّد بأنّه من النوع الانفجاري، وقد زادت أعداد الزلازل، وزادت قوتها قبل حدوث الانفجار الهائل، وتحرك مركز البؤرة من الأعماق تحت البركان إلى أن أصبحت البؤرة ضحلة تحت الفوهة⁽⁴⁾.

اقترح علماء الجيوفيزياء نموذجاً عاماً للنشاط الزلزالي، يساعد على التنبؤ بالاندفاعات البركانية، وينطبق على البراكين المركبة الانفجارية، مثل تلك الموجودة في جبال كاسادي، التي قد تستيقظ بعد مدة طويلة من السبات، انظر الشكل (9-32)، فعندما يعاود البركان الاستيقاظ بعد سباته، تشقّق الماغما الصخور المتصلبة سابقاً، التي تملأ غرفة الصهير وتكسرها من أجل الانطلاق إلى الأعلى نحو السطح، حيث يؤدّي الضغط قبل الانفجار بأسابيع إلى إحداث كثير من الشقوق داخل قناة البركان المسدودة فوق الغرفة، ويكون الارتفاع في البداية في الأحداث الزلزالية تدريجياً، ويحتاج عالم الزلازل إلى (10) أيام أو قرابة ذلك؛ ليتحقّق من وجود ميل مضطر



الشكل (9-32) بركان يفيق من سباته. تعدّ الزيادة في النشاط الزلزالي مؤشراً جيّداً على اقتراب حدوث الاندفاع البركاني. عندما يفيق البركان من سباته، تشقق الماغما الصاعدة إلى الأعلى الصخور التي فوقها. في البداية يزيد اتساع الشقوق من معدّلات النشاط الزلزالي، وتتسارع وتيرة اتساع الشقوق وشدّة النشاط الزلزالي قبل حدوث الاندفاع بأيّام.

Modified after Kilburn, C.R.J. and Sammonds, P.R.

(كابوهو) بجوانب البركان قرابة (45 km) بعيداً عن القمة، بناءً على ذلك أخلي القاطنون قبل حدوث الاندفاع، الذي تجاوز هذه المناطق، ودمّر معظم القرية⁽²³⁾، واعتماداً على الانتفاخ المميّز والنشاط الزلزالي قبل الاندفاع، يتوقّع العلماء، أن يستمروا في التنبؤ بالأنشطة البركانية لبراكين هاواي أكثر من غيرها، وأصبحت عمليات مراقبة الحركات الأرضية، مثل: الالتواءات والانتفاخات، وانفتاح الشقوق أو تغيّرات مستوى المياه في البحيرات في البراكين أو المناطق القريبة مفيدة لتعرّف التغيّرات، التي قد تشير إلى اقتراب الاندفاع، وتستخدم حالياً مستقبّلات الأقمار الصناعية التي تعتمد على الرادار وأنظمة تحديد الموقع العالمية (GPS)، لمراقبة تغيّرات البراكين، بما في ذلك التشوّهات السطحية، من أجل تجنب الناس الخطر⁽¹⁷⁾.

مراقبة انبعاثات الغازات البركانية

Monitoring Volcanic Gas Emissions

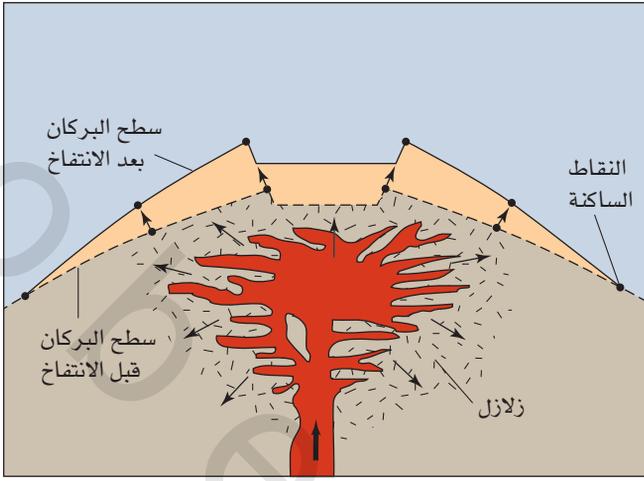
إنّ الهدف الأساسي لمراقبة انبعاثات الغازات البركانية، هو تعرّف تغيّرات التركيب الكيميائي للغازات، ويعتقد أنّ هذه التغيّرات (نسبة كل من بخار الماء وغاز ثاني أكسيد الكربون وغاز ثاني أكسيد الكبريت) ومعدّلات انبعاثات الغازات ترتبط ارتباطاً وثيقاً بالعمليات البركانية تحت السطحية، وقد تشير هذه العوامل إلى تحرك الماغما إلى الأعلى نحو السطح، والجدير بالذكر، أنّ هذه التقنية كانت مفيدة في دراسة جبل سانت هيلين وجبل

عن طريق الاستشعار عن بعد، أو التصوير الجوي باستخدام الأشعة تحت الحمراء، وقد تؤديّ زيادة الحرارة إلى انصهار حقول الثلوج أو الثلجات (glaciers)، فإنّ الاستشعار عن بعد الدوري لسلسلة من البراكين قد يساعد على الكشف عن نقاط ساخنة جديدة قد تشير إلى نشاط بركاني كامن، لقد استخدمت هذه الطريقة، وحقّقت بعض النجاح في جبل سانت هيلين قبل حدوث الانفجار الرئيس في 18 مايو عام 1980م، عندما تسخن صخور بركانية قديمة نتيجة ماغما جديدة، فإنّ خصائصها المغناطيسية التي ورثتها سابقاً قد تتبدّل، ويمكن فصل هذه التغيّرات وملاحظتها، إمّا من خلال المراقبة الأرضية أو الجوّية.

مراقبة طبوغرافية الأرض

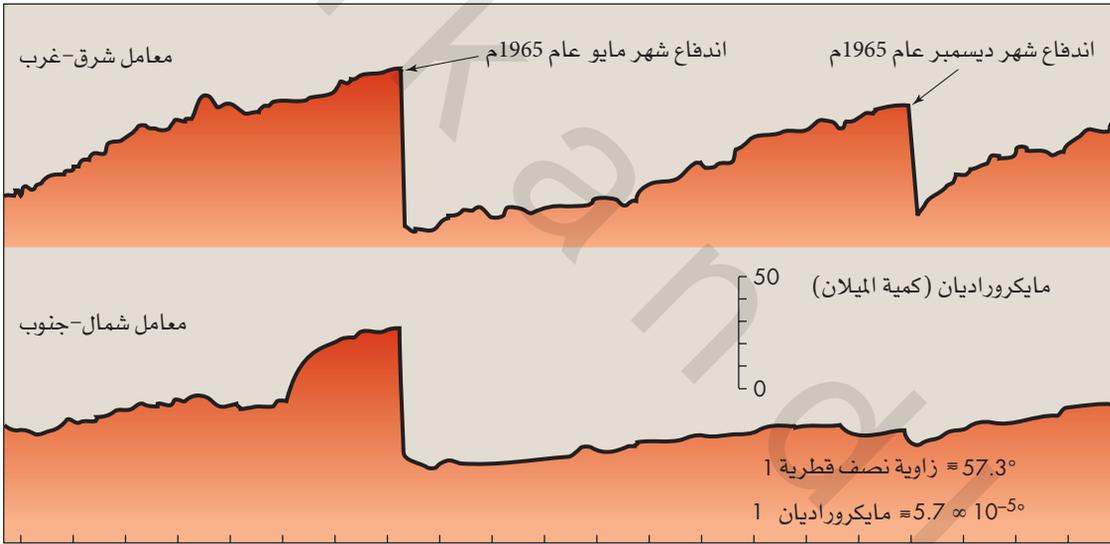
Topographic Monitoring

مراقبة التغيّرات الطبوغرافية وتغيّرات النشاط الزلزالي للبراكين مفيدة لتوقّع بعض الاندفاعات البركانية، وقد زوّدتنا براكين هاواي، وخاصة بركان كيلاوا بمعظم البيانات، فقمّة كيلاوا تنتفخ، وتنتهي قبل الاندفاع، وتهبط في أثناء السكون والانتفاء، انظر الشكل (9-33)، ويدخل كيلاوا أيضاً في حشود زلزالية تعكس حركة الماغما تحت السطحية واقتراب الاندفاع، فقد استعملت الانتشاءات في قمّة الفوهة وارتباطها بالحشود الزلزالية، بصفتها مؤشّرات للتنبؤ باقتراب الاندفاع البركاني، في المجتمعات الريفية المحيطة



(i)

الشكل (9-33) انتفاخ وانثناء قبل الاندفاع. (أ) نموذج مثالي لجبل كيلاوا. يظهر الانتفاخ والانثناء السطحي المصاحب للزلازل نتيجة صعود الماغما. (US Geological Survey Circular 1073, 1992) (ب) بيانات تخطيطية حقيقية. تظهر معالم الإلتواء الأرضي شرق-غرب وشمال جنوب المسجل من عام (1964م-1966م) لبركان كيلاوا/هاواي. لاحظ التغيرات البطيئة في التواء الأرض قبل الاندفاع والهبوط السريع بعد الاندفاع. (From Fiske, R.S., and Koyanagi, R.Y. 1968. U.S. Geological Survey Professional Paper 607)



أبريل مارس فبراير يناير ديسمبر نوفمبر أكتوبر سبتمبر اغسطس
1964 1965 1966

(ب)

متوافرة في السابق، لما بُنيت مدينة كالابانا التي دمرتها تدفقات اللابة عام 1990م، وتتبع الأهمية الحقيقية لأعمال المسح الجيولوجي وتحديد أعمار النشاط البركاني من أنها تسمح بتطوير خرائط الأخطار، التي تساعد على التخطيط لاستعمالات الأراضي، والتحصير للاندفاعات المستقبلية⁽²⁾، مثل هذه الخرائط متوافرة الآن لعدد من البراكين حول العالم.

التأهب والحذر من البراكين

Volcanic Alert and Warning

إلى أي مدى يطلب من الناس التأهب أو الحذر من انفجار بركاني قد يحدث؟ يُعد هذا سؤالاً مهماً يطرحه علماء البراكين، وفي الوقت الحالي لا توجد كودة قياسية، وتوجد واحدة استخدمت بتعديلات كثيرة، طورتها هيئة المساحة الجيولوجية الأمريكية، ويتكوّن النظام من كودات لونية لكل حالة، حيث يشير كل من الألوان (الأخضر، والأصفر، والبرتقالي، والأحمر) إلى

بيناتوبو، فقبل حدوث الانفجار بأسبوعين زادت انبعاثات غاز ثاني أكسيد الكبريت من جبل بيناتوبو قرابة (10) أضعاف⁽²⁾.

التاريخ الجيولوجي Geologic History

يُعدّ فهم التاريخ الجيولوجي للبركان أو النظام البركاني مفيداً في التنبؤ بأنواع الاندفاعات، التي يحتمل حدوثها في المستقبل، والوسيلة الأساسية المستخدمة لمعرفة التاريخ الجيولوجي للبركان، هي المسح الجيولوجي للصحور والرسوبيات البركانية، وقد أجريت محاولات عدّة لإيجاد عمر تدفقات اللابة والنشاط البيروكلاستي، لمعرفة وقت حدوثها؛ لأنها بيانات أساسية وضرورية، لإنتاج خرائط تحديد الأخطار البركانية في منطقة معينة.

أدى المسح الجيولوجي لكيلاوا/هاواي بالاشتراك مع تحديد عمر الرسوبيات البركانية إلى اكتشاف أنّ ما يزيد على (90%) من الأراضي غُطيت باللابة خلال (1500) سنة الماضية، ولو كانت هذه المعلومات

الجدول (3-9): السلوك الجيولوجي، حالات الكودات اللونية والاستجابة: خطة الاستجابة للأخطار البركانية، منطقة لونغ فال في كاليفورنيا.

السلوك الجيولوجي	الحالة	الاستجابة
الوضع الطبيعي المثالي منذ عام 1980م، ويضم: الحد الطبيعي: زلازل عدّة بين (10-20) زلزالاً صغيراً، قوتها (M) أقل من 3 /يوم ($M < 3$)، ونهوض في قبة بمعدل (2.54 cm/yr). نشاط ضعيف: (ويحدث مرّات عدّة في السنة تقريباً) مثل زيادة عدد و/أو قوّة الزلازل الصغيرة، أو وجود زلزال وحيد محسوس تزيد قوّته على 3 ($M > 3$). نشاط متوسط: (ويحدث مرّة واحدة في السنة تقريباً) مثل زلزال ($M > 4$) أو أكثر من (300) زلزال في اليوم.	الأخضر لا يوجد خطر قريب	مراقبة روتينية عادية، إضافة إلى اتّصالات لجمع المعلومات من مسؤول هيئة المساحة الجيولوجية الأمريكية، والهيئات على مستوى المدينة والمحافظه والولاية والاتحاد بخصوص الزلازل التي تمّ الشعور بها محلياً، والتغيّرات المشاهدة التي تتعلّق بالمعايير الواقعة تحت المراقبة الأخرى، مثل التشوّهات الأرضية، ونشاط الأبخرة وانبعاث الغازات.
نشاط مكثّف (قد يحدث مرّة واحدة كلّ عقد من الزمن) مثل عاصفة زلزالية فيها زلزال واحد على الأقلّ ($M5$) و/أو دليل على حركة الماغما في العمق، ويستشف من زيادة تشوّه الأرض.	الأصفر مراقبة وانتباه	مراقبة مكثّفة: وضع المحطّة الميدانية الرئيسة في لونغ فال في حالة الاستنفار، وإرسال رسالة التحذير إلى مسؤولي المساحة الجيولوجية الأمريكية في كاليفورنيا، الذين يقومون بدورهم بإبلاغ السلطات المحلية، إضافة إلى اتّصالات المعلومات المذكورة سابقاً.
احتمالية حدوث الاندفاع خلال ساعات أو أيام (قد يحدث كلّ 100 سنة) أدلّة قوية على حركة الماغما في الأعماق.	البرتقالي تحذير	إصدار تحذير الخطر الجيولوجي من قبل هيئة المساحة الجيولوجية الأمريكية إلى حكام ولاية كاليفورنيا ونيفاذا، وإلى الآخرين المسؤولين عن إعلام الجمهور (إضافة إلى استجابة المراقبة والانتباه).
الاندفاع البركاني اتّ في الطريق.	الأحمر التأهب	مراقبة موقعية مستدامة و اتّصالات المحافظة على المراقبة المكثّفة، ووضع السلطات المدنية بصورة الوضع باستمرار، ومع تطوّر الاندفاع وتقدّمه عن التطوّرات المستقبلية.

- تصنّف الظروف في كلّ موقع تبعاً لشدة مستوى النشاط الجيولوجي المسجل من قبل شبكة المراقبة.
- الاستجابة لحالة ما، تتضمن استجابة الجهة المحدّدة والمستويات الأدنى جميعها.
- يعتمد حساب الفترة التكرارية لحالة ما على حسابات الفترة التكرارية لدوران النشاط في كالديرا لونغ فال منذ عام 1980م، وسجّلات الزلازل في المنطقة مثل ما هو ($M4$) أو أكثر منذ عام 1930م، والسجل الجيولوجي للانديفاعات البركانية في المنطقة خلال آخر (50,000) سنة.
- انتهاء حالات الانتباه والحذر والتأهب: يبيّن هذا الجدول طول الفترة (بالأيام) التي تعطى لحالة ما، لتستمرّ بعد انخفاض مستوى النشاط إلى العتبة التي أدت إلى إطلاقه.

الحالة	تاريخ الانتهاء	الحالة المرافقة *
انتباه	14 يوماً	أخضر (لا يوجد خطر مباشر)
حذر (الاندفاع محتمل الحدوث)	14 يوماً	انتباه
تأهب (الاندفاع قادم)	يوم واحد	تحذير

*مع مستوى النشاط الذي سجّل في وقت انتهاء النشاط الأسبق، وفي حالة نهاية مرحلة النشاط البركاني (التأهب)، يبقى التحذير قائماً إلى ما بعد (14) يوماً، ويعتمد على حالة النشاط الفاعلة.

المصدر: معدّلة من هيئة المساحة الجيولوجية الأمريكية، 1997م.

9-9 التكيف مع الأخطار البركانية

وإدراكها

ADJUSTMENT TO AND PERCEPTION OF THE VOLCANIC HAZARD

يُعدّ الإخلاء التكيف الإنساني الأساسي مع النشاط البركاني، إضافة إلى التكيف النفسي مع الخسائر، ومن الأمثلة على الحالات النادرة المخالفة لذلك، ما ذكر سابقاً عن اتخاذ أهالي جزيرة هيماي قراراً بمكافحة الاندفاع بالتبريد الهيدروليكي للآلة، فالمعلومات المتوافرة عن كيفية إدراك الناس للأخطار البركانية محدودة.

زيادة الخطر (الشكل 3-9). صُمّم هذا الجدول تحديداً للكالديرا لونغ فال في كاليفورنيا، ثم طوّرت أنظمة مشابهة في مراحل التطوير لمناطق بركانية أخرى، بما في ذلك ألاسكا وجبال كاسيدي، ويُعدّ نظام الكودات اللونية بداية جيّدة، إلا أنّ السؤال الأصعب يبقى، وهو: متى يجب أن يبدأ الإخلاء؟ وما الوقت الآمن لعودة الناس إلى منازلهم؟ من المؤكّد أنّ الإخلاء ضروري قبل الوصول إلى حالة اللون الأحمر، ولكن متى يجب أن يبدأ بين اللونين الأصفر والبرتقالي؟

العنيفة وتدققات الركاب، وبثت برنامجاً تصويرياً وثائقياً عن هذه الأحداث بصورة واسعة في المنطقة قبل حدوث الاندفاع، ما ساعد على إقناع المسؤولين المحليين والسكان بأنهم يواجهون خطراً حقيقياً وفورياً⁽²⁾.

أصبح علم البراكين علماً معروفاً جداً، ولكن العلم الجيد ليس كافياً، ومن المحتمل أن تأتي القوة الدافعة العظمى (فيما يتعلق بتقليل الأخطار البركانية في المستقبل) من تزايد فهمنا للقضايا الإنسانية والاجتماعية، التي تنشأ في أثناء بزوغ أزمة بركانية محتملة، بمعنى أن ينشأ وضع يتوقع فيه العلماء احتمالية حدوث اندفاع بركاني في المستقبل.

تعدّ عملية تطوير وسائل اتصالات متطورة بين العلماء ومسؤولي الطوارئ والمدربين والإعلاميين والمواطنين العاديين مسألة مهمة، بحيث يكون الهدف منع حدوث أزمة بركانية ناتجة عن كارثة بركانية قادمة⁽¹⁷⁾.

ويعيش الناس قريباً من البراكين لأسباب متعددة، منها:

- (1) أنهم ولدوا فيها، وفي حالات بعض الجزر، مثل جزر الكناري، فإن الأرض على الجزيرة كلها أرض بركانية.
- (2) الأرض البركانية أرض خصبة وجيدة للزراعة.
- (3) الناس متفائلون، ويعتقدون أن الاندفاعات غير محتملة.
- (4) ليس لديهم خيار آخر ليعيشوا فيه، مثل أن يكونوا محدودودي الدخل.

وجدت إحدى دراسات فهم تقييم النشاط البركاني في هاواي، أن عمر الفرد وطول إقامته قريباً من الأخطار البركانية، تُعدّ عوامل حاسمة في فهم الفرد للنشاط البركاني وإمكانية التكيف معه⁽²⁴⁾، فلقد كان أحد أسباب نجاح إخلاء (60,000) فرد، قبل اندفاع جبل بيناتوبو عام 1991م، أن الحكومة أعدت برنامجاً تثقيفياً للمواطنين، حول الخطر الناتج عن اندفاعات الرماد

ملخص SUMMARY

وذكرنا الرفع الحديث والزلازل في كالديرا لونغ فالي في كاليفورنيا بهذه الأخطار الكامنة.

من النتائج الرئيسية للنشاط البركاني تدققات اللابة والأخطار البيروكلاستية وانبعثات الغازات السامة أحياناً، وقد استخدم التبريد الهيدروليكي (بالماء) وإنشاء الجدران، في محاولة السيطرة على تدققات اللابة، إذ لقيت هذه الطرق بعض النجاح، وتحتاج إلى المزيد من التقييم، وتتضمن الأخطار البيروكلاستية تساقط الرماد البركاني، الذي قد يغطي مناطق شاسعة ببساط من الرماد، وتدقّق الرماد أو التيهورات الحارة التي تسير بسرعة عالية تصل إلى (100 km/hr) على منحدرات جانب البركان، والانفجارات الجانبية التي قد تكون شديدة التدمير، وتتضمن التأثيرات الثانوية للنشاط البركاني كلاً من تدقّق الطمي وتدقّق الطين، الناتج عن انصهار الجليد والتلج أو اختلاط الأمطار مع الرماد البركاني، حيث يمكن لهذه التدققات أن تدمر مناطق بعيدة عن البركان بكيلومترات عدّة، وقد سجّلت هذه التأثيرات كلها في التاريخ المعاصر لكاسيدي رانج في شمال غرب الهادي، ولا يوجد أي سبب للاعتقاد بأنها لن تتكرّر في المستقبل.

إضافة إلى التكيف النفسي مع الخسائر، فإنّ التكيف الإنساني الرئيس للنشاط البركاني هو الإخلاء، ويرتبط فهم الأخطار الزلزالية بالعمر وطول فترة العيش قريباً من الأخطار، حيث لا يوجد خيار آخر لبعض الناس سوى العيش بالقرب من البركان، ويؤدي التعليم دوراً مهماً في إبلاغ الناس بأخطار البراكين.

يعتمد هدف تقليل الأخطار البركانية على التركيز على القضايا الإنسانية والاجتماعية من خلال الأتصال، بحيث يكون الهدف منع حدوث أزمة بركانية من أن تصبح كارثة بركانية.

غالباً ما تحدث الاندفاعات البركانية في مناطق سكنية متناثرة، ولكنها تمتلك احتمالية عالية لإحداث كارثة، عندما تحدث بالقرب من مناطق مأهولة بكثافة، وترتبط الأنشطة البركانية بشكل وثيق ومباشر بتكتونية الصفائح، حيث تقع معظم البراكين على حدود الصفائح؛ لأنّ الماغما تتكوّن نتيجة تفاعل صفائح الغلاف الصخري متباعدة أو مطروحة مع المواد الأرضية الأخرى. "حلقة النار ring of fire" هي منطقة تحيط بأغلب المحيط الهادي (صفيحة الهادي)، وتحتوي على ثلثي البراكين الموجودة في العالم.

أمّا اللابة فهي ماغما خرجت من البركان إلى السطح، ويتحدّد نوع النشاط للبراكين المختلفة نتيجة اختلاف كمية السليكا ولزوجة اللابة، وتتكوّن براكين الدروع على ظهور المحيطات، مثل آيسلندا وفوق البقع الساخنة في وسط الصفائح، مثل ما هو الحال في جزر هاواي، والصخر السائد المتكوّن منها صخر البازلت، وهذه البراكين تتميز بأنها تنتج تدققات اللابة غير الانفجارية، أمّا البراكين المركّبة فتوجد عند نطاقات الطرح، وخاصة حول حواف المحيط الهادي، مثل مناطق شمال غرب الولايات المتحدة، حيث تتألف بصورة كبيرة من الصخور الأنديزيتية، وتتميّز بأنها اندفاعات انفجارية وتدققات اللابة، وتحدث القباب البركانية في نطاقات الطرح في اتجاه القارّة، وتتشكل القباب البركانية بصورة كبيرة من الصخور الريوليتية، وهي شديدة الانفجار، ومن الأمثلة عليها جبل لاسين في كاليفورنيا.

تتضمن معالم البراكين كلاً من القصبية والفوهة والحوض (الكالديرا)، ومن المظاهر الأخرى للمناطق البركانية وجود الينابيع الحارة والمرجل. تكون الاندفاعات المسبّبة لتكوّن الأحواض البركانية العملاقة (الكالديرا) عنيفة، ولكنها نادرة الحدوث من الناحية الجيولوجية، وبعد ابتداء انفجارها فغالباً ما تنهض من جديد، وقد تشكّل خطراً كامناً لمليون سنة أو أكثر،

المراجع REFERENCES

1. Wright, T. L., and Pierson, T. C. 1992. *Living with volcanoes*. U.S. Geological Survey Circular 1073.
2. IAVCEE Subcommittee on Decade Volcanoes. 1994. Research at decade volcanoes aimed at disaster prevention. *EOS, Transactions of the American Geophysical Union* 75(30):340, 350.
3. Pendick, D. 1994. Under the volcano. *Earth* 3(3):34–39.
4. Decker, R., and Decker, B. 2006. *Volcanoes*. 4th ed. New York: W. H. Freeman.
5. Fisher, R. V., Heiken, G., and Hulén, J. B. 1997. *Volcanoes*. Princeton, NJ: Princeton University Press.
6. Francis, P. 1983. Giant volcanic calderas. *Scientific American* 248(6):60–70.
7. Office of Emergency Preparedness. 1972. *Disaster preparedness*. Washington, DC.: Office of Emergency Preparedness. 1, 3.
8. Crandell, D. R., and Waldron, H. H. 1969. Volcanic hazards in the Cascade Range. *Geologic hazards and public problems, conference proceedings*, R. Olsen and M. Wallace, eds. Office of Emergency Preparedness Region 7, Washington, DC 5–18.
9. Williams, R. S., Jr., and Moore, J. G. 1973. Iceland chills a lava flow. *Geotimes* 18: 14–18.
10. Tilling, R. I. 2000. Volcano notes. *Geotimes* 45(5):19.
11. U.S. Geological Survey. 1997. *Volcanic air pollution*. U.S. Geological Survey Fact Sheet 169–97.
12. U.S. Geological Survey. 1999. Pilot project Mount Rainier volcano lahar warning system. volcanoes.usgs.gov. (Accessed 8/29/06.)
13. Ancochea, E., et al. 1990. The volcanic evolution of the island of Tenerife (Canary Islands) in the light of new K-Ar data. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 44(3–4):231–49.
14. Cantagrel, J. M., et al. 1999. Repeated debris avalanches on Tenerife and genesis of Las Cañadas caldera wall (Canary Islands). *Geology* 27(8):739–42.
15. Watts, A. B., and Masson, D. G. 1995. A giant landslide on the north flank of Tenerife, Canary Islands. *Journal of Geophysical Research* 100(12):24487–98.
16. American Geophysical Union. 1991. Pinatubo cloud measured. *EOS, Transactions of the American Geophysical Union* 72(29):305–06.
17. Tilling, R. I. 2000. Mount St. Helens 20 years later. *Geotimes* 45(5):14–18.
18. Hammond, P. E. 1980. Mt. St. Helens blasts 400 meters off its peak. *Geotimes* 25: 14–15.
19. Brantley, S., and Topinka, L. 1984. *Earthquake Information Bulletin* 16(2).
20. Pendick, D. 1995. Return to Mount St. Helens. *Earth* 4(2):24–33.
21. Kilburn, C. R. J., and Sammonds, P. R. 2005. Maximum warning times for imminent volcanic eruptions. *Geophysical Research Letters* 32:L24313, doi 10.1029/2005GL024184.
22. Francis, P. 1976. *Volcanoes*. London: Pelican Books.
23. Richter, D. H., et al. 1970. Chronological narrative of the 1959–60 eruption of Kilauea Volcano, Hawaii. U.S. Geological Survey Professional Paper 537E.
24. Murton, B. J., and Shimabukuro, S. 1974. Human response to volcanic hazard in Puna District, Hawaii. *Natural hazards*, G. F. White, ed. New York: Oxford University Press 151–59.
25. Jones, D. K. C. 1992. Landslide hazard assessment in the context of development. In *Geobazards*, eds. G. J. McCall, D. J. Laming, and S. C. Scott, pp. 17–141. New York: Chapman & Hall.

المصطلحات المفتاحية KEY TERMS

تدفق الرماد، (ash flow)، (ص 269)	لاية، (Lava)، (ص 272)
اندفاع الكالديرا، (caldera eruption)، (ص 259)	تدفق اللابة، (lava flow)، (ص 272)
البراكين المخروطية، (cinder cone)، (ص 272)	ماغما، (magma)، (ص 267)
بركان مركب، (composite volcano)، (ص 262)	النشاط البيروكلاستيكي، (pyroclastic activity)، (ص 264)
لاهار تدفق الطين تدفق الركام، (debris flow/mudflow/lahar)، (ص 287)	بركان الدرع، (shield volcano)، (ص 263)
انفجار جانبي، (lateral blast)، (ص 264)	أزمة بركانية، (volcanic crisis)، (ص 276)
	قبة بركانية، (volcanic dome)، (ص 272)
	تساقط الرماد، (ash fall)، (ص 260)

بعض الأسئلة للتفكير SOME QUESTIONS TO THINK ABOUT

عن بركان بارز، حيث استأجرت شركتك لتقييم الخطر البركاني، ضع خطة عمل تمكّنك في النهاية من إعداد تقرير، تناقش فيه الأخطار الكامنة في الموقع.

(3) مستخدماً تقريرك عن تحليل الأخطار البركانية في السؤال (2)، كيف يمكنك تقييم خطر محدد في الموقع؟ وللمساعدة، طَبِّق المعادلة لتحديد الخطر المحدد، كما يأتي:

$$Rs = E \times H \times V$$

الخطر المحدد

(1) في أثناء عبثك في صناديق قديمة موجودة في منزل جدك، وجدت عيّنة من صخر بركاني جمعها والد جدك، ولا يعرف أحد من أين جُمعت، فأخذت العيّنة إلى المدرسة، وأخبرك مدرّس الجيولوجيا بأنها عيّنة من صخر الأنديزيت، بماذا يمكن أن تخبر جدك وجدتك عن نوع البركان الذي يحتمل أن تكون أخذت منه؟ وما بيئته الجيولوجية ونوع النشاط البركاني الذي أدّى إلى تكوّنه؟

(2) تنوي دولة في أمريكا الوسطى تطوير مدينة كبيرة تبعد قرابة (30 km)

(4) عند مناقشتنا موضوع التكيّف مع الأخطار البركانية وتفهمها، توصلنا إلى أن تفهم الناس، وما سيقومون به في حالة حدوث الاندفاع، يعتمد على مدى قربهم من الخطر، ومعرفتهم بالعمليات البركانية والتكيّف الضروري، وإذا وضعت هذا الترابط في ذهنك، فأعدّ برنامج علاقات عامّة، يستطيع تحذير الناس من الأخطار البركانية الكامنة. تذكر أنّ المأساة التي صاحبت اندفاع نيفادو ديل رويز (الفصل الخامس) كانت ناتجة (جزئياً) عن عوامل سياسية واقتصادية، بحيث أفرزت موقفاً لا مبالياً نحو خريطة الأخطار التي أعدت للمنطقة، فبعض الناس يخشون أن تؤدي خريطة الأخطار إلى تقليل قيمة العقارات في مناطقهم.

حيث إن:

$E =$ العنصر المعرض للخطر (قيمة الممتلكات والنشاط الاجتماعي والاقتصادي في المنطقة الواقعة).

$H =$ احتمالية وقوع حدث بقوة محدّدة (في فترة زمنية معيّنة).

$V =$ التعرّض، وهي نسبة تأثير العنصر المعرض للخطر (E)، والمتأثر بالحدث المحدد. وتتراوح قيمته Y بين صفر (لا يوجد ضرر) إلى واحد (دمار شامل).

مثلاً: إذا كانت قيمة منطقة مأهولة (100) بليون دولار، وكان احتمال وقوع الحدث (الاندفاع البركاني) في فترة عشر سنوات ($1/1000$) أو ($0,001$)، وكانت قيمة التعرّض (V) تساوي (10%)، فتكون قيمة (Rs):

$$Rs = 100 \times 10^9 \times 10^{-3} \times 10^{-1} = 100 \times 10^5$$

وبمجرد تحديد الخطر في المناطق المختلفة، يمكن تجميع المعلومات لإنتاج خريطة الأخطار البركانية.

تستخدم الطريقة المشروحة هنا لإنتاج خرائط الأخطار البركانية لأخطار أخرى، مثل الزلازل والانزلاقات الأرضية وحرارة الغابات والأعاصير.

الأخطار الساحلية: الحتّ الساحلي والأعاصير

Coastal Hazards: Coastal Erosion and Hurricanes



ثلاثة من سكان «كي ويست» يتماسكون في أثناء هروبهم من الرياح والأمواج في إعصار جورج، الذي حدث يوم الجمعة 25 سبتمبر 1998.

(Dave Martin/AP Wide World Photos)

للجبال خطّ ساحلي صخري ذو جروف بحرية، يُضاف إلى ذلك توافر شواطئ رملية طويلة إلا أنّها ليست بكثرة الشواطئ الموجودة في الساحل الشرقي.

تُعدّ آثار أخطار عمليات الساحل مهمّة؛ لأنّ الكثير من المناطق المأهولة واقعة على الساحل، ولعلّ معظم سكان الولايات المتّحدة يتمركزون على خط الشاطئ الوطني، الذي يمتدّ قرابة (150,000 km)، ومن ضمنها البحيرات الكبرى، حيث تقع معظم المدن الوطنية الكبرى، إذ يعيش قرابة (75%) من السكان في الولايات الساحلية⁽¹⁾؛ لهذا فإنّ المشكلات الساحلية في ازدياد، وستستمر أنشطتنا في تعارضها مع العمليات الطبيعية⁽²⁾! أضف إلى ذلك أنّ هذه الأخطار ستصبح مركّبة؛ بسبب الاحترار العالمي (global warming)، وما يصاحبه من ارتفاع في مستوى سطح البحر على المستوى العالمي، ما يزيد من مشكلة حتّ السواحل. (سيبحث التغيّر المناخي وارتفاع مستوى البحر في الفصل السادس عشر).

1-10 مقدمة عن الأخطار الساحلية

INTRODUCTION TO COASTAL HAZARDS

تُعدّ السواحل بيئات ديناميكية تتفاوت في تضاريسها ومناخها ونباتاتها، وتتلاقى العمليات القارّية والمحيطية في السواحل لإنتاج تضاريس قابلة للتغيّر السريع، فالساحل الشرقي للولايات المتّحدة حافة ساحلية مستقرّة بعيدة عن حدود الصفائح المتقاربة (convergent plate boundary barrier)، (انظر الفصل الثاني)، ويتميّز الخطّ الساحلي برصيف قارّي (continental shelf) عريض، ذي جزر حاجزية (boundary barrier) وشواطئ رملية فسيحة، وغالبًا ما تنحصر خطوط ساحل «روكي» بساحل «نيو إنجلاند»، حيث تدمج جبال الأبالاش بالمحيط الأطلسي، أمّا الساحل الغربي فهو قريب من حدّ التقارب بين أمريكا الشمالية وصفائح المحيط الهادي (حافة ساحلية نشطة)، وقد نتج عن الحركات البانية

الأهداف التعليمية LEARNING OBJECTIVES

- تعرّف العمليات الرئيسية المتعلقة بالحثّ الساحلي.
- فهم الطرق الهندسية المتنوّعة لحماية خطوط الشواطئ.
- فهم كيفية تأثير الأنشطة البشرية في حثّ السواحل.
- إجابة السؤال: لماذا نقف في مفترق الطرق في تكيفنا مع حثّ السواحل؟
- فهم ماهية الزواج المدارية (tropical cyclones) والأخطار التي تنتج عنها.
- إن الهدف الأساسي لهذا الفصل إزالة الغموض حول كيفية تشكيل المناطق الساحلية، وكيفية ترقيمها مع الاحتفاظ بروعتها، إذ نهدف إلى فهم الأخطار الناتجة عن الرياح والأمواج والعواصف، وتعلّم التعايش مع بيئة ساحلية دائمة التغيّر مع المحافظة على جمالها؛ لذا سنركّز على أهداف التعلّم الآتية:
 - تعرّف الأمواج ومصطلحاتها الأساسية وعملياتها.
 - تعريف مكّونات الشاطئ الرملي الأساسية.
 - فهم عمليات النقل الشاطئي للرواسب.
 - تعرّف ماهية تيارات التمزّق (rip currents)، ولماذا تشكل أخطاراً حقيقية على السباحين.

أكثر الأخطار الساحلية الحقيقية ما يأتي:

- تيارات التمزّق التي تتولّد على الشاطئ في نطاق تكسر الأمواج (surf zone).
- الحثّ الساحلي، الذي يؤدي باستمرار إلى إحداث الضرر بالمتلكات، والذي يتطلب تكيفاً بشرياً.
- السونامي (tsunami)، أو الأمواج البحرية الزلزالية (التي نوقشت في الفصل الثامن)، والتي تشكل خطراً على المناطق الساحلية للمحيط الهادي بوجه خاص.
- الزواج المدارية، وتدعى الأعاصير (hurricanes) في المحيط الأطلسي، وتايفون (typhoons) في المحيط الهادي، التي تُحدث كثيراً من الضحايا، وتؤدي إلى خسائر هائلة في الممتلكات سنوياً.

2-10 العمليات الساحلية

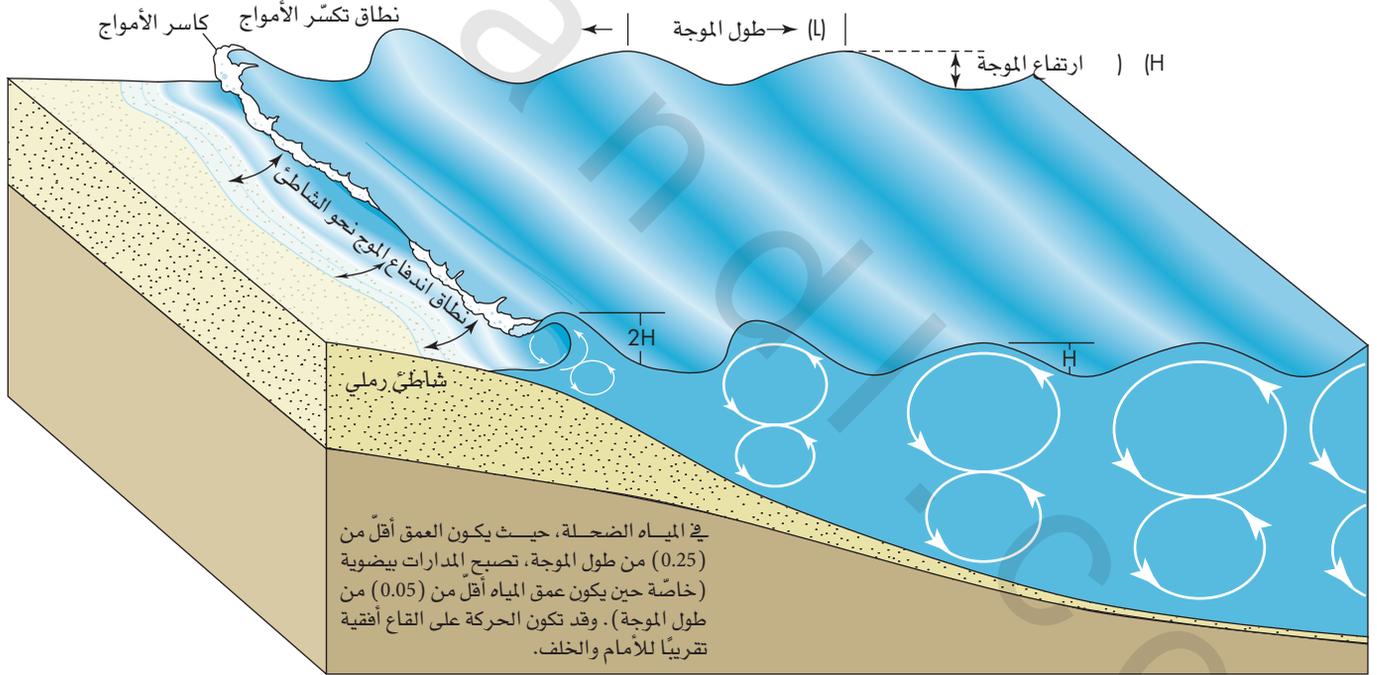
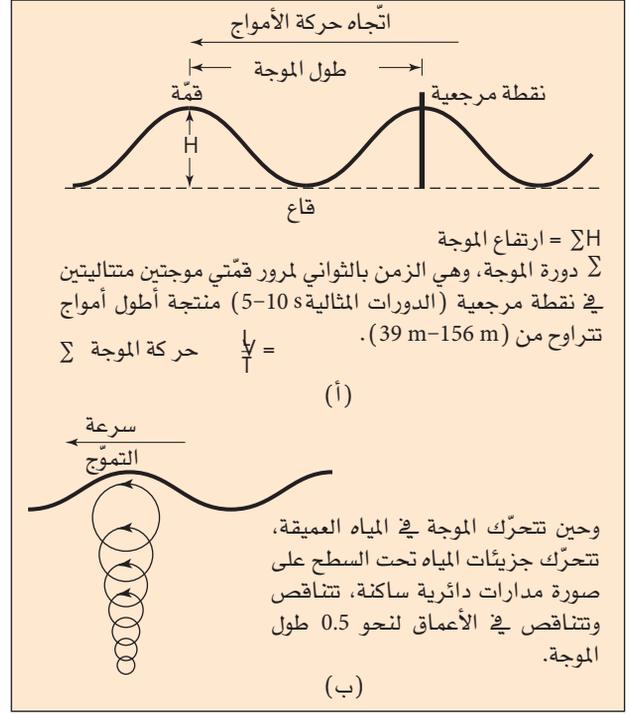
COASTAL PROCESSES

الأمواج Waves

تتولّد الأمواج التي تضرب السواحل بفعل العواصف في عرض البحر، على بعد آلاف الكيلومترات من الشاطئ أحياناً، حيث تفرغ طاقتها، فالرياح التي تهبّ فوق الماء تُنتج احتكاكاً على الحدّ الفاصل بين الهواء والماء، وحيث إنّ الهواء يتحرّك بسرعة أكبر بكثير من سرعة المياه، فإنّ جزءاً من طاقة الهواء المتحرّك ينتقل إلى المياه، فتتكوّن الأمواج، التي تقوم بدورها بإفراغ طاقتها على خط الشاطئ، ويتوقّف حجم الأمواج الناتجة على الآتي:

- سرعة الرياح (velocity)، فكلّما زادت سرعة الرياح كانت الأمواج أكبر.
- أمد الرياح (duration)، فالعواصف طويلة الأمد لديها الوقت لنقل طاقتها إلى المياه، وتكوين أمواج أكبر.

الشكل (10-1): الأمواج والشواطئ الرملية. (أ) شكل موجة مياه عميقة (يزيد عمق المياه على 0.5) من طول الموجة، وتعرف نسبة ارتفاع الموجة إلى طول الموجة بانحدار الموجة. فإن زاد ارتفاع الموجة (0.1-10%) من طول الموجة، تصبح الموجة غير مستقرّة، وتتكسر. (المبالغة في رسم ارتفاع الموجة لأسباب توضيحية). فانحدار الموجة في الرسم قرابة $(\frac{1}{3})$ أو (0.33)، وهو غير مستقرّ، ولا يستمر طويلاً في الطبيعة. (ب) حركة جزيئات الماء مرتبطة بحركة الموجة في المياه العميقة. (ج) حركة جزيئات الماء في مياه ضحلة يقلّ عمقها عن (0.25) من طول النموذج، وتتحرّك المياه على الشاطئ إلى الأعلى والخلف في نطاق تكسر الأمواج، وهي المياه الضحلة جداً على وجه الشاطئ الرملي.



مفتوح، ولفترة زمنية محدّدة، تعادل الطاقة الناتجة عن مفاعل نووي متوسط الحجم للفترة الزمنية نفسها⁽³⁾، إضافة إلى أنّ طاقة الموجة تتناسب طردياً مع مربع ارتفاع الموجة، أي إذا زاد ارتفاع الموجة إلى مترين، فإنّ طاقة الموجة تزداد بمعامل (2^2) أو (4)، وإذا زاد ارتفاع الموجة إلى (5m)، وهو ما يمثل ارتفاعاً مثاليّاً للعواصف، فإنّ الطاقة المفرّغة أو قوّة الأمواج تزداد (5^2) أو (25) مرّة أكثر من تلك الأمواج التي يبلغ ارتفاعها متراً واحداً.

في حالات المياه العميقة، لاستنتاج ارتفاع الموجة والدورة والسرعة، اعتماداً على المسافة السطحية (fetch)، وسرعة الرياح وطول زمن هبوب الرياح على المياه، ولهذه المعلومات نتائج بيئية مهمّة: فباستنتاج سرعة الأمواج وارتفاعها، يمكن تقدير زمن ارتطام أمواج ذات قدرة حتّ تولدت بفعل عاصفة بعيدة بالشاطئ (بعض التطبيقات الرقمية: الأمواج).

ذكرنا سابقاً أنّ الأمواج تفرّغ طاقتها حين وصولها إلى خطّ الساحل، ولكن، ما مقدار هذه الطاقة؟ إنّه عظيم بصورة مدهشة، فمثلاً: الطاقة المفرّغة من أمواج يبلغ ارتفاعها نحو متر واحد، على امتداد (400) km لساحل

PUTTING SOME NUMBERS ON بعض التطبيقات الرقمية

الأمواج Waves

يبين الشكل (1-10) الصفات العامة للأمواج: الطول (L)، والارتفاع (H)، والدورة (T)، والسرعة (V)، وعمق المياه (h).

المعادلة العامة للأمواج العميقة:

$$(1) \quad L = \frac{g}{2\pi} T^2 \tan h\left(\frac{2\pi h}{L}\right);$$

ولأمواج المياه العميقة:

$$\tan h\left(\frac{2\pi h}{L}\right) \cong 1 \quad (\text{hyperbolic tangent})$$

$g = \text{تسارع الجاذبية } (9.8 \text{ m/s}^2) \text{ ثم:}$

$$(2) \quad L = \frac{g}{2\pi} T^2 = 1.56 T^2 \quad (L \text{ الطول بالأمتار})$$

$$(3) \quad L = \frac{g}{2\pi} T^2 = 5.12 T^2 \quad (L \text{ الطول بالأقدام})$$

وللسرعة (V) (وأحياناً تدعى (C))، وهي بوجه السرعة (phase velocity)

$$V = \frac{L}{T} = \frac{\frac{g}{2\pi} T^2}{T} = \frac{g}{2\pi} T$$

$$(4) \quad V = 1.56 T \quad (\text{m/s})$$

$$(5) \quad V = 5.12 T \quad (\text{ft/s})$$

وللتحويل إلى كيلومترات أو أميال في الساعة:

$$(6) \quad V = 5.62 T \quad (\text{km/hr})$$

$$(7) \quad V = 3.5 T \quad (\text{mi/hr})$$

نستنتج أنه بزيادة الدورة (T) تزداد السرعة (v) وطول الموجة (L).
ويستخدم قياس (T) أو (L) لحساب السرعة.

معادلة طاقة الموجة:

$$(8) \quad E = \frac{1}{8} \rho g H^2 \quad (\text{طاقة لوحدة مساحة})$$

$$p = \text{وحدة كتلة الماء } (10^3 \text{ kg/m}^3)$$

$$g = \text{تسارع الجاذبية } (9.8 \text{ m/s}^2)$$

$$H = \text{ارتفاع الموجة}$$

إذا كانت دورة المياه العميقة (10) ثوانٍ (قيمة عامة)، فباستخدام المعادلات (2) و(8):

$$L = 1.56 T^2 = 156 \text{ m}$$

$$V = 5.62 T = 56.2 \text{ km/hr}$$

$$E = \frac{1}{8} \cdot \frac{10^3 \text{ kg}}{\text{m}^3} \cdot \frac{9.8 \text{ m}}{\text{sec}^2} H^2 \quad (H = 1 \text{ m افترض})$$

$$1.2 \times 10^3 \text{ jol/ m}^2 =$$

إذا كانت $H = 2 \text{ m}$ ، فإن E أكبر بـ (4) مرّات.

وفي المياه الضحلة جداً، تكون السرعة للموجة الانفرادية (المتكسرة) (V_s) هي:

$$(9) \quad V_s = \sqrt{g(h + H)}$$

تنتقل الأمواج في عرض المحيط بصورة مجموعات، حيث تكون سرعة المجموعة قرابة ($\frac{1}{2}$) من سرعة الموجة في مجموعة.

إذا ولدت عاصفة موجة دورتها (10s)، فتمتد ستصل الموجة إلى شاطئٍ يبعد (1000 km) ؟

سرعة الموجة $T = 10$ هو (56.2 km/hr) (من المعادلة (7))، لذا فسرعة المجموعة هي 28.1 km/cm. تذكر أن سرعة الموجة تساوي ($\frac{1}{2}$) وجه السرعة (Phase velocity) وزمن الوصول = المسافة / السرعة.

$$\frac{1000 \text{ km}}{28 \text{ km/hr}} = 36 \text{ hrs} =$$

وإذا افترضنا أن ارتفاع الموجة (H) قرب الشاطئ هي $T/10s$ ، وعمق المياه هو V_s ، (1.3 m) من المعادلة (9) هي:

$$V_s = \sqrt{9.8 \text{ m/sec}^2 (1.3 \text{ m} + 1 \text{ m})} = \sqrt{22.5 \text{ m}^2/\text{sec}^2}$$

$$V_s = 4.7 \text{ m/sec}$$

سرعة موجة (10 s) في مياه عميقة من المعادلة (5) هي (15.6 m/s) مشكلة للحل:

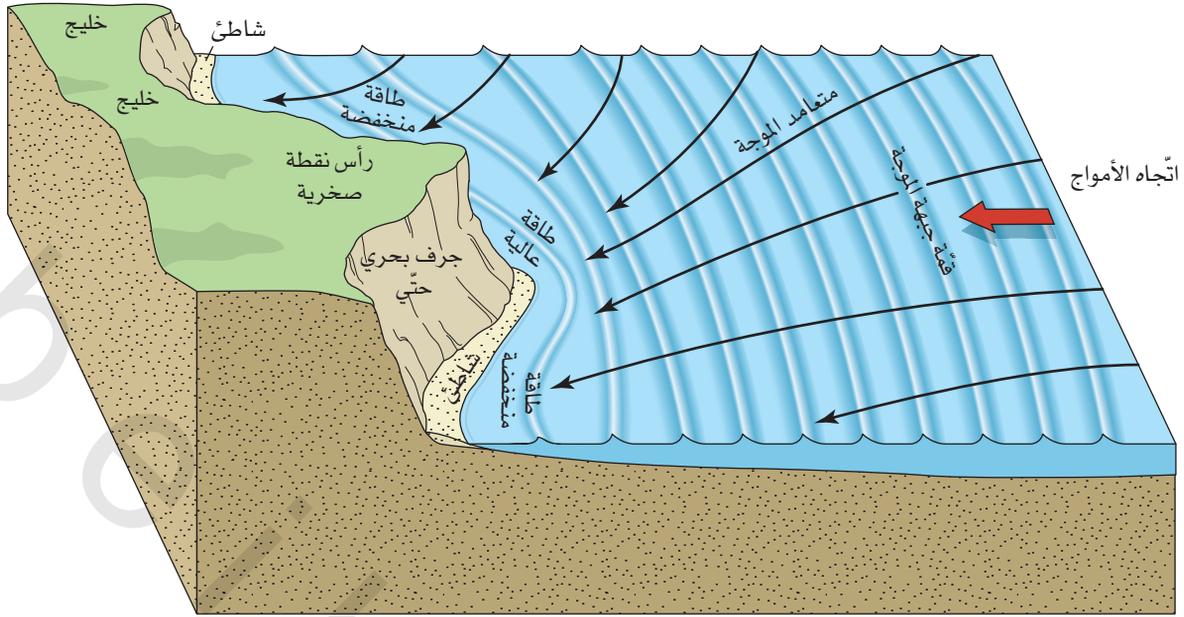
ولدت عاصفة بعيدة عن الشاطئ نحو 200 km أمواجاً بدورات (5-10 m/s)، ولتكن $T = (15, 10, 5) \text{ s}$ ، ثم ارسم بيانياً أزمنة الحركة بالساعة للأمواج $T = (15, 10, 5) \text{ s}$ ، لتصل الشاطئ على بعد (2000 km).

تذكر أن تستخدم سرعة المجموعة. ارسم دورة الموجة (T) على المحور الأفقي (Y)، وزمن الحركة على المحور الرأسي (X). كم سيتأخر وصول أمواج ألد (5) ثوانٍ عن وصول أمواج ألد (15) ثانية ؟

ويعتقد أن المظهر الأكثر إثارة للأمواج الداخلة إلى المياه الضحلة، حيث تتكسر، هو سرعة ازدياد ارتفاعها، الذي يبلغ قرابة ضعف ارتفاعها في المياه العميقة، انظر الشكل (10 ج). أما الأمواج القريبة من الشاطئ، خارج نطاق التكسر، فتصل إلى انحدار يجعلها غير مستقرّة، ما يؤدي إلى تكسرها، وتفريغ طاقتها على خط الشاطئ⁽⁴⁾.

وعلى الرغم من أن ارتفاعات الأمواج ثابتة بعيداً عن الشاطئ، إلا أن ارتفاع الموجة المحلي قد يزيد أو يقل، حين تصل جبهة الموجة (wave front)

ترتطم الأمواج بالقاع عند دخولها نطاق الساحل، حيث المياه الضحلة، وتصبح شديدة الانحدار، حيث يعرف انحدار الموجة بأنه: نسبة ارتفاع الموجة إلى طولها، فتكون الأمواج غير مستقرّة، عندما يكون الارتفاع أكبر من (0.1% - 10) من طول الموجة، وتبقى دورة الموجة ثابتة عند تحرك الأمواج نحو المياه الضحلة، وقيل طول الموجة وسرعتها، بينما يزيد ارتفاعها، وتتغير صورة الأمواج في المياه العميقة من قمة وقيعان مستديرة، إلى قمم مدببة وقيعان منبسطة نسبياً في المياه الضحلة قرب الشاطئ،



(أ)



(ب)

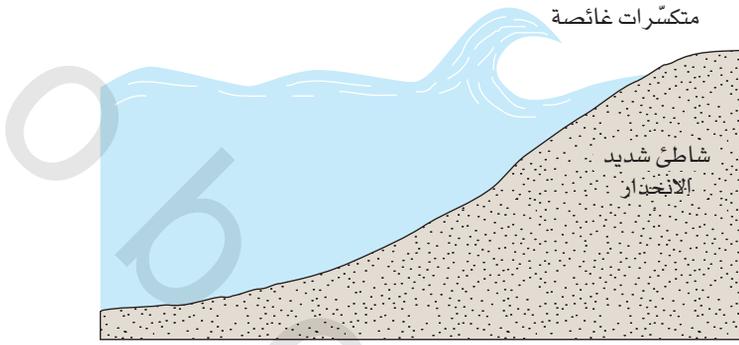
الشكل (10-2): تقارب طاقة الأمواج وتباعدها. (أ) شكل مثالي يبيّن عملية تكسر الأمواج، وتجمّع طاقتها على النقاط الصخرية، والرؤوس الأرضية. يؤدي انكسار جبهة الأمواج أو انثاؤها إلى تقارب متعامد الأمواج على النقاط الصخرية وتباعدها عند الخليج. (ب) صورة للأمواج كبيرة تصطم برأس أرضي صخري. (Douglas Faulkner/Photo Researchers, Inc)

تفريغ طاقة الأمواج على الشواطئ أيضاً، ويبيّن الشكل (10-2ب) أمواجاً كبيرة ترتطم بالرأس الأرضي الصخري، إذ يؤدي تفريغ الطاقة الكبير على مناطق الشاطئ البارزة إلى حتها بفعل الأمواج، وتحويل خط الشاطئ إلى الصورة المستقيمة، قد تكون طاقة الأمواج الكلية التي تصل إلى الساحل ثابتة في أثناء مدة زمنية محددة، إلا أن تنوعاً محلياً كبيراً يحدث لتفريغ الطاقة، عندما تتكسر الأمواج على خط الشاطئ، إضافة إلى ذلك، قد يصنع تكسر الأمواج قمماً حادة بصورة سريعة، تفوق أو تتدقق أو تتناثر ببساطة اعتماداً على الظروف المحلية، وذلك مثل شدة انحدار الشاطئ، وارتفاع الأمواج وطولها، التي تصل إلى خط الشاطئ من عاصفة بعيدة، انظر الشكل (10-3).

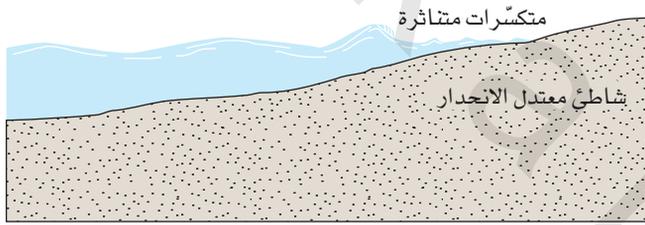
تكون المتكسرات الغائصة (*plunging breakers*) قليلة الانحدار، وتسهّل ترسيب الرمل على الشواطئ، بينما تؤدي المتكسرات الغائصة الكبيرة، التي تحدث في أثناء العواصف إلى حت الساحل الذي نشاهده.

إلى البيئة قرب الشاطئية، انظر (الشكل 10-2أ)، ويعزى هذا التغير إلى عدم انتظام التضاريس البعيدة عن الشاطئ، وشكل خط الساحل. يبيّن الشكل المثالي (10-2أ) بروزاً صخرياً، أو رأساً أرضياً بين نهايات مستقيمة من الساحل، فحين تصل جبهة الموجة إلى الساحل، تتغير صورة الجبهة لتصبح أكثر موازاة لخط الساحل؛ لأن سرعة الأمواج تتناقص أولاً، عند دخولها المياه الضحلة نحو الرأس الصخري، والنتيجة هي انثناء جبهة الموجة أو انكسارها.

وتعرف الخطوط المتعامدة مع جبهات الأمواج في الشكل (10-2أ)، وذات الأسهم التي تشير نحو خط الشاطئ بمتعامد الأمواج (*wave normals*)، لاحظ أنه نظراً لانتشاء جبهات الأمواج بفعل الانكسار، يحدث تقارب متعامدات الأمواج عند الرأس الأرضي (*headland*)، أو البروز الصخري، ويحدث تباعد لمتعامدات الأمواج على الشواطئ أو الخليجان، حيث يزداد ارتفاع الأمواج عند تقارب متعامدات الأمواج، ما يؤدي إلى زيادة



(أ)



(ب)



الشكل (10-3): أنواع المتكسرات. شكل مثالي وصور تبيّن (أ) متكسرات غائصة على شاطئ شديد الانحدار. (ب) متكسرات متناثرة على شاطئ معتدل الانحدار. (a. Peter code/Getty Images Inc.; b. Penny Tweedie).

(surf zone)، فهو جزء من بيئة الشاطئ البحري، حيث تتحرك الأمواج الانتقالية المتكسرة نحو الشاطئ، بعد وصول الأمواج المتكسرة، ويُعرّف نطاق التكسر (breaker zone) بأنه المنطقة التي تصبح فيها الأمواج القادمة غير مستقرّة، بحيث ترتفع مشكلةً قممًا حادة، ثمّ تتكسر، أمّا الحوض الممتدّ على طول الشاطئ (Longshore trough)، والحاجز (Longshore bar) الممتدّ على طول الشاطئ، فيمثّلان منخفضًا طوليًا مجاورًا لبروز من الرمل ناتج عن فعل الأمواج، وقد يحتوي الشاطئ الرمي وخاصّة إذا كان عريضًا ومعتدل الانحدار، على سلسلة من الحواجز والمنخفضات الممتدّة على طول الشاطئ، إضافة إلى نطاقات تكسر⁽⁴⁾.

نقل الرمال Transport of sand

الرمال على الشواطئ الرملية غير ساكنة، فحركة الأمواج على الشاطئ تجعلها متحرّكة في نطاق رغوة الأمواج واندفاعها نحو الشاطئ، وتنتج تيارات الشاطئ الطولي (longshore currents) بفعل الأمواج القادمة، التي عادة ما تضرب الساحل بزواية (الشكل 10-5)؛ وبسبب ذلك تكون مركبة طاقة الموجة موجهة على امتداد الشاطئ، فإذا وصلت الأمواج إلى الشاطئ، وهي في حالة موازية له، فلن تتولّد أيّ تيارات شاطئيّة طولية، فهذه التيارات قوية بصورة ملحوظة، مثل نهر من المياه الجارية، وهي بموازاة الشاطئ في نطاق رغوة الأمواج، فلو كنت تسبح في شاطئ رملي، وتعتبر نطاق رغوة الأمواج ذهابًا وإيابًا، فقد تلاحظ أنّه كلما زاد عبورك في منطقة رغوة

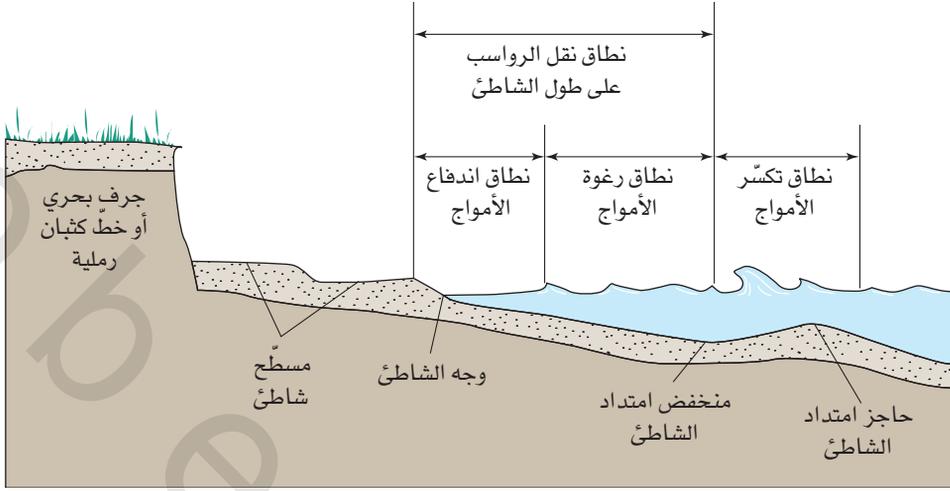
مظهر الشاطئ وعملياته

Beach Form and Beach Processes

الشاطئ الرمي (beach) معلم أرضي مكوّن من موادّ مفكّكة، مثل الرمل والحصى، تجمّعت بفعل الأمواج على خط الشاطئ، وقد يتكوّن من موادّ مفكّكة متنوّعة، يعتمد تركيبها على البيئة في نطاق الشاطئ، فكثير من الشواطئ الرملية لجزر المحيط الهادي تتكوّن من قطع صغيرة من الأصداف والمرجان، أمّا الشواطئ الرملية السوداء في هاواي فتتكوّن من فتات صخور بركانية، وتتوافر حبّات من الكوارتز والفلسبار على شواطئ كاليفورنيا الجنوبية، وينتهي امتداد الشاطئ الرمي نحو اليابسة حين يصادف تضاريس طبيعيّة وتغيّرًا في المعالم الطبيعيّة، مثل جرف بحري أو خطّ من الكتبان الرملية. يبيّن الشكل (10-4) المصطلحات الأساسية لبيئات مثالية قريبة من الشاطئ.

أما المسطّحات الشاطئيّة (berms) فهي مناطق خلف شاطئيّة (backshore) منبسطة لشواطئ رملية، تكوّنت بفعل ترسيب الفتات حين اندفاع الأمواج إلى الأعلى وتفرغ طاقتها النهائيّة، وتوجد هذه المسطّحات حيث يستمتع الناس بحماماتهم الشمسية، أمّا وجه الشاطئ الرمي (beach face)، فهو الجزء المنحدر من الشاطئ الرمي (beach) أسفل المسطّح الشاطئ، ويُعرف جزء وجه الشاطئ الرمي المعرض لاندفاع الأمواج بنطاق اندفاع الموج نحو الشاطئ (swash zone)، وأمّا نطاق رغوة الأمواج

الشكل (10-4): مصطلحات الشاطئ الرملي (Beach terms). المصطلحات الأساسية للمعالم الأرضية، وعمل الأمواج في الشاطئ الرملي والبيئة قرب الشاطئ.



على عمل الأمواج وعلى الاتجاه الذي تضرب به الشاطئ. تُعدّ كمّية الرمال المنقولة على الشاطئ الرملي، سواء تحدّثنا عن "لونج آيلاند" بنيويورك، أو لوس أنجلوس كاليفورنيا كبيرة بصورة مذهشة، وتقدر بقراءة عدّة مئات الآلاف من الأمتار المكعبة من الرواسب سنويًا، وبهذا تكون كمّية الرمال المنقولة في يوم ما أو أيام عدّة متباينة، فقد تنتقل كمّية قليلة من الرمال في أيام عدّة، في حين تكون كمّية المياه المنقولة في أيام أخرى أكبر بكثير، أضف إلى ذلك أنّ معظم الرواسب تنتقل بالأمواج الكبيرة في أثناء العواصف.

تيّارات التمّرّق Rip Currents

عندما تصل سلسلة من الأمواج إلى خطّ الساحل، وتتكسر على الشاطئ، فإنّ المياه تتراكم على الشاطئ، ولا تعود مثلما أتت، على امتداد خط الشاطئ، بل تتركز في نطاقات ضيقة تسمّى تيّارات التمّرّق (rip currents)، انظر الشكل (10-6)، ويطلق عليها السباحون ومنقذو السباحة مصطلح تيار مدّ

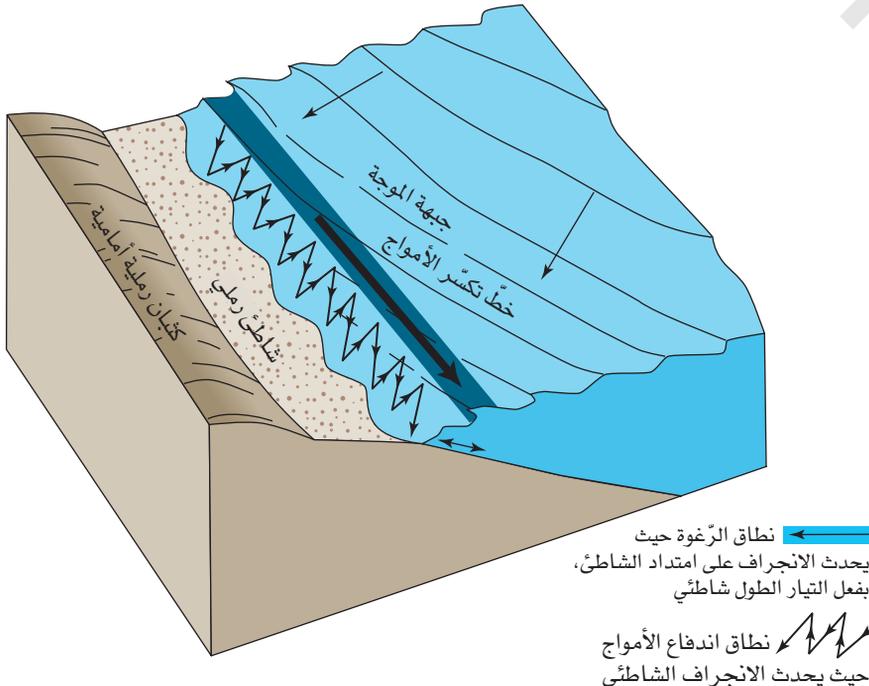
الأمواج، وجدت نفسك أكثر بعدًا عن نقطة البداية، حيث تركت منشفتك ومظلتك على الشاطئ الرملي، فكلّما تحركت داخل نطاق تكسر الأمواج ونطاق اندفاع الأمواج نحو الشاطئ وخارجهما، ستجد أنّ التيار يدفعك على امتداد الساحل، والرمال تتحرّك كذلك بالطريقة نفسها.

تسمّى العملية التي تنقل الرمال على امتداد الشاطئ عملية نقل الرواسب (Longshore sediment transport) وتتكوّن من مركبتين: (1) انتقال الرمال على الساحل عن طريق تيّارات الشاطئ الطولية في نطاق تكسر الأمواج. (2) ينتج عن حركة رمال الشاطئ إلى الأمام والخلف في منطقة اندفاع الأمواج نحو الشاطئ شكل مسار متعرج انظر الشكل (10-5). تنتقل معظم الرمال في منطقة تكسر الأمواج عن طريق التيّارات الطول شاطئيّة.

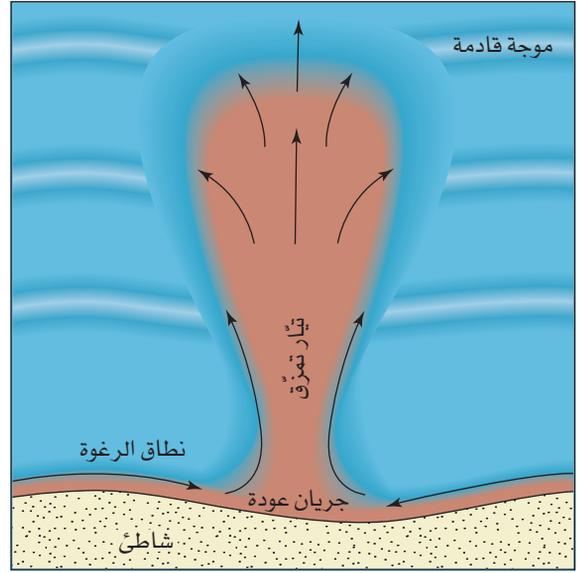
عادة ما يكون اتجاه نقل الرمال على الشواطئ الرملية في الولايات المتّحدة من الشمال إلى الجنوب، للشواطئ الرملية على السواحل الشرقية والغربية لها، وعلى الرغم من أنّ النقل يكون إلى الجنوب، إلاّ أنّه متباين، ويعتمد

الشكل (10-5): نقل الرواسب عبر الساحل (Transport of sediment along a coast).

شكل مجسّم يبيّن الانجرافات طول الشاطئ، التي مجملها تنقل الرمال عبر الساحل، في عملية تسمّى نقل الرواسب الطول شاطئيّة، وتتبع الرواسب المنقولة في نطاق تكسر ورغوة الأمواج مسارات تبيّنها الأسهم.



ضيقة، حيث يتراوح عرضها من بضعة أمتار إلى بضع عشرات من الأمتار، وسرعان ما تتبدد وتشتت في نطاق رغبة الأمواج، على مسافة عشرات إلى مئات الأمتار بعيداً عن الشاطئ، ولتفادي تيارات التمزق بأمان، يتعين على السباح تمييز نوع التيار، ثم السباحة بموازاة الشاطئ، حتى يصير خارج التيار، وفي هذه الحالة فقط، يمكن له أن يحاول السباحة إلى الخلف نحو الشاطئ، فطريق النجاة ليست الرعب، وإذا أردت السباحة في المحيط، فعليك بمراقبة الأمواج بضع دقائق قبل دخول الماء، وملاحظة المجموعات الموجية التي تصل إلى الشاطئ، سواء الصغيرة منها أو الكبيرة؛ لأن تيارات التمزق تتكوّن بسرعة بعد وصول مجموعة من الأمواج الكبيرة، ويمكن تمييزها بوصفها منطقة هادئة نسبياً في نطاق رغبة الأمواج، حيث تتكسر الأمواج القليلة، وقد تشاهد التيار بوصفه كتلة مائية تتحرك خلال نطاق رغبة الأمواج، أضف إلى ذلك أن مياه التيار قد تكون داكنة؛ بسبب حملها الرواسب العالقة، وحاول إذا احتجرت في تيار تمزق أن تتحلّى بالشجاعة، واسبح موازياً للشاطئ، إلى أن تجد نفسك خارج التيار، ثم عد إلى الخلف نحو الشاطئ.



3-10 الحث الساحلي COASTAL EROSION

نتيجة لارتفاع مستوى سطح البحر على المستوى العالمي، وانعدام التنمية المناسبة في مناطق الساحل، يصبح الحث الساحلي مميّزاً بوصفه مشكلة حقيقية وطنية وعالمية، إذ يُعدّ حثّ السواحل عملاً مستمراً وملحوظاً أكثر من غيره من الأخطار الطبيعية، مثل الزلازل والعواصف المدارية والفيضانات، وتُنفق مبالغ كبيرة في محاولة السيطرة عليه، أضف إلى ذلك، أنه سيصبح بالتأكيد مشكلة حقيقية، بزيادة تنمية المناطق الساحلية لقضاء الإجازات والاستجمام.

ميزانية الشاطئ Beach Budget

الميزانية هي مفهوم رقعة الشاطئ (Littoral cell) في العمليات الساحلية، التي تشمل على نقل الرمال من الشاطئ وإليه، وعليه، فرقعة الشاطئ قطعة من الساحل، تتضمن دورة كاملة من وصول الرواسب إلى الشاطئ (غالباً عن طريق الأنهار ونحت السواحل كذلك)، ونقلها على طول الشاطئ، وفقدان الرواسب من البيئات المجاورة له (كأن تسقط الرواسب في واد تحت بحري سحيق، لتبدأ في نطاق رغبة الأمواج، أو تنتقل إلى اليابسة، لتصبح جزءاً من الكتبان الرملية)، ولعلّ أسهل طريقة لتخيّل حثّ السواحل في شاطئ محدّد، أن تأخذ وجهة ميزانية شاطئية، تشبه الحساب المصرفي، حيث تودع نقودك في أوقات منتظمة أو غير منتظمة، لذا فإنّ بعض نقودك مدخرة (مخزونة)، وهي ميزانية حسابك، وسحبك منها مبالغ بصورة دورية هو الصادر، وكذلك عند تحليل الشاطئ، من منطلق الوارد من الرمال والمخزون والصادر أو الرواسب الأخضر، التي تتوافر على الشاطئ، وتحرك الرمال عبره، انظر الشكل (10-5)، أو إنتاج رمال من حثّ الجروف البحرية أو الكتبان الرملية على الجزء العلوي من الشاطئ، والمخزون من الرمال المتوافرة على الشاطئ، هو ما تراه حين تزود المواقع، أمّا الصادر من الرمال، فهو المواد التي تنتقل من الموقع عن طريق عمليات الساحل، المشابهة لتلك التي جلبتها إلى الشاطئ، فإذا زاد الوارد عن الصادر، ينمو الشاطئ، وبزيادة تخزين الرواسب سيزداد عرضه، أمّا إن كان الوارد

الشكل (10-6): تيارات التمزق. (أ) منظر بعين العصفور لنطاق الرغبة، يبيّن تيار تمزق، وهو جريان عودة المياه التي تنتج عن الأمواج القادمة. (ب) تيار تمزق في جزيرة «سانتا كروز»، (CA)، ويبيّن عشب البحر الطافي تيارات التمزق. (Edward Keller)

تمزق (riptides)، أو تيارات معاكسة لاتجاه التيار العام (undertow)، وهي ليست بالتأكيد تيارات مدّ، ولا تسحب الناس تحت الماء، إلا أنها قد تسحبهم إلى عرض البحر بعيداً عن الشاطئ، ففي الولايات المتحدة يُقتل (200) شخص تقريباً، ويُنقذ قرابة (20,000) شخص من تيارات التمزق سنوياً.

لذلك، فإنّ تيارات التمزق تشكل خطراً ساحلياً حقيقياً على السباحين، ما يؤدي إلى وفيات في الولايات المتحدة تُعدّ بالحسابات السنوية أكثر ممّا تصنعه الأعاصير أو الزلازل، فعدد الوفيات الناتجة عن تيارات التمزق تعادل تلك الناتجة عن فيضانات الأنهار، حيث يغرق الناس في تيارات التمزق؛ لأنهم لا يجيدون السباحة، أو لأنهم يرتعبون، ويحاولون مقاومة التيار بالهروب مباشرة إلى الخلف نحو الشاطئ، إن التغلّب على تيار التمزق يُعدّ مستحيلاً تقريباً؛ لأنّ سرعته تزيد على (6 km/hr)، وهي السرعة التي لا يتمكن حتى السباحين المهرة من التغلّب عليها، فالسباح الذي يحاول مقاومة تيار التمزق سرعان ما يعييه الجهد، وقد يفقد طاقته التي تمكّنه من مواصلة السباحة، ومن حسن الطالع أنّ تيارات التمزق عادة ما تكون

في توفير الرواسب؛ بسبب مهاجمة أمواج العواصف، تتسبب في تغييرات موسمية أو مرتبطة بالعواصف في توفير الرواسب للشاطئ. أما التغييرات طويلة الأمد في ميزانية الشاطئ فتنتج عن التغيير المناخي أو الأثر البشري، ما يؤدي إلى نمو طويل الأمد أو حت للشاطئ. (انظر إلى بعض التطبيقات الرقمية على ميزانية الشاطئ).

والصادر متكافئين تقريباً، فإن الشاطئ سيبقى في حالة توازن بالعرض نفسه، وأما إذا زاد الصادر عن الوارد، فإن الشاطئ سيجري حتّه، بحيث لا يبقى إلا القليل من الرواسب عليه؛ ولهذا نلاحظ أنّ الميزانية تمثل ميزانية الرمال على الشاطئ مدة زمنية من السنين، ولعلّ التغييرات قصيرة الأمد

بعض التطبيقات الرقمية PUTTING SOME NUMBERS ON

ميزانية الشاطئ A Beach Budget

قد يتساوى الحجم الكلي للرمال التي تضاف إلى قطعة من الشاطئ (الرياح) وتلك التي تُفقد، وهذا الذي يؤدي إلى ميزانية الشاطئ⁽⁴⁾.

- فإن كانت الخسارة أكبر من الرياح، فالنتيجة تكون الحتّ.
- وإن كانت الخسارة أقلّ من الرياح، فإنّ الشاطئ ينمو بتراكم الرمال.
- نحتاج إلى تقييم الميزانية على مدار فترات زمنية، مدّة سنة أو عشر سنوات.

وفي هذا المثال توضيح لطريقة حساب ميزانية الشاطئ (انظر الشكل 10 أ)، حيث تقدّر الميزانية قبل إنشاء السدّ وبعده، لتأكيد الحتّ الملاحظ على الشاطئ إلى الجنوب من الخانق تحت البحري، حيث تُهدّد المنازل.

مصادر الرمال لميزانية الشاطئ في المثال الآتي:

(+ = ربح؛ - = خسارة)

النشاط	الرمال (م ³ /سنة)
الشاطئ جنوب	210,000
النقل (+) شمال	20,000
الصافي	190,000

حتّ الجرف البحري (+) (scf) معدّل الحتّ (0.8 m/yr)، معدّل ارتفاع الجرف البحري (6 m)، الطول الكلي (3000 m). افترض أنّ (60%) من الموادّ التي حتّت بقيت على الشاطئ.

حتّ الجرف البحري

$$\text{scf} = (0.8 \text{ m/yr}) (6 \text{ m}) (3000 \text{ m}) = 8640 \text{ m}^3/\text{yr}$$

مصدر النهر (+) **Sr** افترض أنّ منطقة الصرف (800 km²) أنشئ السدّ منذ (15) سنة، حيث نقص حوض الصرف مؤرّد الرواسب للساحل إلى (100 km²).

لتقدير الرواسب التي تصل إلى الساحل من النهر، يمكننا استخدام معادلات ورسوم إقليمية⁽⁴⁾، وفي هذه الحالة، فإننا نستخدم الشكل (9-3)، الذي يمثّل حصيلة الرواسب السنوية للحوض النهري، من مختلف الأحجام لجنوب غرب الولايات المتّحدة، وعلى سبيل المثال: فإنّ مساحة الحوض المساهم في الرسوبيات قبل السدّ كانت (800 km²)، ويستنتج من الشكل (9-3) أنّ حصيلة الرسوبيات بلغت (330 m³/km²/yr)، إلا أنّ المساحة المساهمة في الرسوبيات تقلّصت بعد بناء السدّ إلى (100 km²)، بحصيلة (550 m³/km²/yr)، حيث إنّ سبب الزيادة لوحدة المساحة، هو أنّ الروافد الصغرى أسفل السدّ ذات حصيلة رسوبية أعلى (انظر الجزء (3.7)، "معدّل حتّ التربة" في الفصل الثالث).

افترض أنّ (30%) من الرواسب الواردة من النهر ستبقى على الشاطئ، وهي مكوّنة من أحجام رملية، وأكبر.

قبل السدّ:

مصدر النهر

$$\text{Sr (+)} = (3000 \text{ m}^3/\text{km}^2/\text{yr}) (800 \text{ km}^2) (0.3) \\ = 79,200 \text{ m}^3/\text{yr}$$

بعد السدّ:

مصدر النهر

$$\text{Sr (+)} = (550 \text{ m}^3/\text{km}^2/\text{yr}) (100 \text{ km}^2) (0.3) \\ = 16,500 \text{ m}^3/\text{yr}$$

الخسارة للكثبان الرملية (-) **Sd**:

افترض أنّ تقديم الكثبان (0.365m/yr) (0.1 cm/day)، ومتوسط ارتفاع الكثيب (6 m)، وامتداد الكثبان (1200 m).

$$\text{Sd} = (0.365 \text{ m/yr}) (6 \text{ m}) (1,200 \text{ m}) \cong 2.628 \text{ m}^3/\text{yr}$$

أسفل الخانق تحت البحري (-) **scn**

مقدار من ملاحظات بعيدة عن الشاطئ:

$$220,000 \text{ m}^3/\text{yr}$$

الميزانية قبل السدّ:

$$190,000 \text{ m}^3/\text{yr} + \text{SL (الانجراف الطول شاطئ)}$$

$$8,640 \text{ m}^3/\text{yr} + \text{Scf (حتّ الجرف)}$$

$$79,200 \text{ m}^3/\text{yr} + \text{Sr (النهر)}$$

$$2628 \text{ m}^3/\text{yr} - \text{Sd (كثبان رملية)}$$

$$220,000 \text{ m}^3/\text{yr} - \text{scn (خانق تحت بحري)}$$

الميزانية + 55,212 m³/yr، لذلك فإنّه لا يوجد حتّ شاطئ ساحلي عند النقطة (X) في الشكل (10 أ).

الميزانية بعد السدّ:

$$190,000 \text{ m}^3/\text{yr} + \text{SL}$$

$$8,640 \text{ m}^3/\text{yr} + \text{Scf}$$

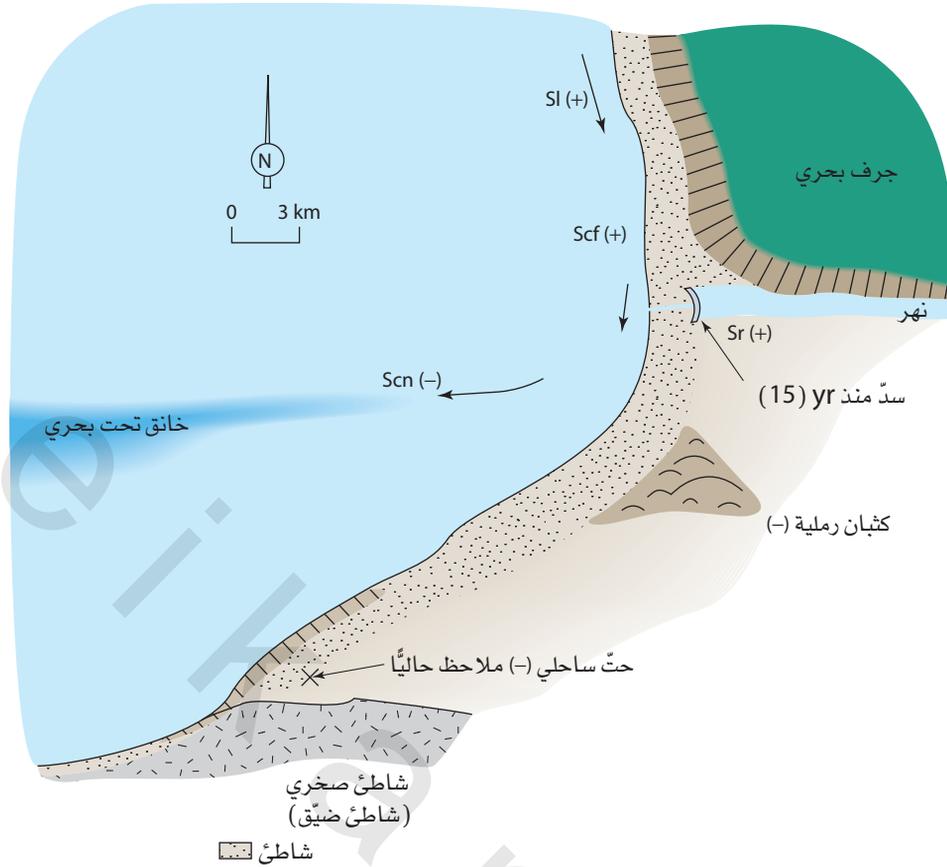
$$16,500 \text{ m}^3/\text{yr} + \text{Sr}$$

$$2628 \text{ m}^3/\text{yr} - \text{Sd}$$

$$220,000 \text{ m}^3/\text{yr} - \text{Scn}$$

الميزانية - 7,488 m³/yr، فالتحت يظهر عند النقطة (X) في الشكل (10 أ).

افترض أنّ هناك منازل شاطئية عدّة قرب النقطة (X). ما النصيحة التي ستوجّهها إليهم؟ ما ردّ فعلك، إذا كان هناك ارتفاع عالٍ في المنتجات السياحية قرب النقطة (X)؟



الشكل (10 أ): مثال على ميزانية الشاطئ. يلاحظ الحث الشاطئي حاليًا عند النقطة (X). انظر النصّ لحسابات ميزانية الشاطئ قبل إنشاء السد وبعده.

SI = نقل طول شاطئ
Scf = حثّ جرف بحري
Scn = حانق تحت بحري
Sr = نهر
Sd = كتبان رملية

- إذا أضافت رمال
للبيئة الساحلية
- إذا أزلت رمال من
البيئة الساحلية

عناصر الحثّ Erosion Factors حثّ الجرف الساحلي Sea Cliff Erosion

عندما يتوافر جرف بحري (جرف حاد الانحدار cliff) على خطّ الساحل، فإنّ مشكلات حثّ إضافية قد تحدث؛ لأنّ الجرف البحري معرّض لكلّ من عمل الأمواج وعمليات الحثّ الأرضية، من المياه الجارية والانزلاقات الأرضية، فقد تعمل هذه العمليات معًا على حثّ الجرف بمعدّل أعلى ممّا يعمل كلّ عامل بمفرده، وتتفاقم المشكلة أكثر، حين يتدخّل الإنسان في بيئة جرف البحر بالتنمية غير الملائمة.

يبين الشكل (10-7) بيئة جرف بحري مثالية في جنوب كاليفورنيا في أثناء المدّ المنخفض، فصخور الجرف غضارية شديدة ومطوية، وتتوافر قرب قاعدة الجرف طبقة رقيقة من الرمال والموادّ الأكثر خشونة، مثل الحصى والجلاميد، التي تغطي المسطح الذي تقطعه الأمواج، والذي يمثل مسطبة مستوية مقطوعة في الصخور بفعل عمل الأمواج، وهناك غلاف من الرمال بسمك (1 m) تقريبًا يغلّف الشاطئ في أثناء الصيف، حين تقوم تكسّرات الأمواج الطويلة المعتدلة ببناء سطيحة ضيّقة (berm)، في أثناء حماية الجرف البحري من حثّ الأمواج، أمّا في أثناء الشتاء فإنّ تكسّرات الأمواج الغاطسة، التي تمتلك قدرة عالية على حثّ الشواطئ، تُزيل الغلاف الرملي، ما يؤدي إلى تكشّف قاعدة الجرف البحري؛ ولهذا فمن غير المستغرب أنّ معظم عمليات حثّ الجروف في جنوب كاليفورنيا تحدث في أثناء فصل الشتاء.

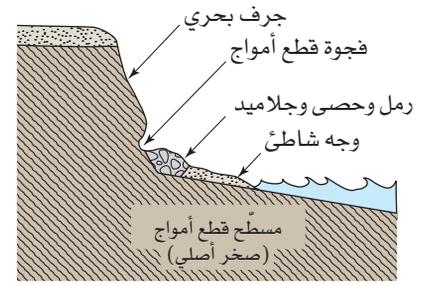
عناصر الحثّ Erosion Factors

تزوّد الأنهار المناطق الساحلية بالرمال الموجودة على كثير من الشواطئ الرملية، التي تأتي بها من مناطق منابع الأنهار، حيث تنتج بفعل عمليات التجوية للصخور الغنية بالكوارتز والفلسبار، حيث تدخّلنا في عملية تدفقّ هذه الموادّ الرملية، التي تأتي من اليابسة إلى الشاطئ، حين أنشأنا سدودًا تحجزها؛ ونتيجة لذلك، فقد أصبحت الشواطئ مجرّدة من الرواسب، ما أدى إلى حثّها.

ليست السدود هي السبب الوحيد للحثّ، فعلى سبيل المثال: فإنّ حثّ الشاطئ على الساحل الشرقي، هو نتيجة الزوايع المدارية (الأعاصير) والعواصف العاتية الشمالية الشرقية⁽³⁾، وارتفاع مستوى سطح البحر، والتدخّل البشري في عمليات الشواطئ الطبيعية⁽⁵⁾، فمستوى سطح البحر يرتفع على المستوى العالمي بمعدّل (2-3 mm) سنويًا، بمعزل عن الحركات التكتونية، حيث تشير الدلائل إلى زيادة في معدّل الارتفاع منذ الأربعينيات؛ بسبب انصهار الغطاءات الجليدية القطبية، والتمدّد الحراري لمياه المحيطات العليا، المدفوعة بالاحتراق العالمي والمرتبط جزئيًا بزيادة ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي، الناتج عن احتراق الوقود الأحفوري. إذ يمكن أن يرتفع مستوى البحر (700 mm) في القرن المقبل، فيصبح حثّ السواحل مشكلة أكبر ممّا هي عليه اليوم.



(ب)



(أ)

الشكل (10-7): جرف بحري وشاطئ. (أ) مقطع عرضي عام، (ب) صورة تبيّن جرفًا بحريًا، وشاطئًا ومسطح قطع أمواج، سانتا باربارا، كاليفورنيا.



(ب)

توضّعات انزلاق أرضي



(أ)



(ج)

الشكل (10-8): حثّ جرف بحري في سانتا باربارا، كاليفورنيا. (أ) الأنبوب في الصورة منذ أوائل التسعينيات، ينقل المياه الجارية من أعلى الجرف إلى أسفل الشاطئ، لاحظ أنّ المنزل على قمة الجرف البحري، يظهر بناء طبقة الأسمنت جزئيًا أسفل الشاطئ، ولاحظ أنّه يظهر بناء طبقة الأسمنت جزئيًا أسفل الجرف، الهدف من الأسمنت هو مقاومة الحثّ. (ب) ذات الموقع عام 2001م، لاحظ أنّ الانزلاق الأرضي الذي حدث أزال بعض الأسمنت والصخور من الجرف البحري. (ج) انزلاق أرضي بسيط على الحديقة الساحلية المبيّنة في الشكل (10-7) عام 2008م. (Edward Keller)

أُضيف إلى ذلك، أنّ الإنشاءات، مثل الجدران والمباني وبرك السباحة والأرصفت المقامة على حافة الجرف البحري، قد تقلل من الاستقرار، نظرًا لزيادة وزنها على المنحدر، ما يزيد من الانزلاقات الأرضية الصغيرة والكبيرة، انظر الشكل (10-9)، ولذلك، تحظر قوانين التنمية الصارمة معظم المنشآت الخطرة في مناطق عدة من نطاق الشاطئ، لكننا نبقى نعيش مع بعض أخطائنا السابقة.

يتباين حثّ الجرف البحري، والقليل من القياسات متوافر، فمعدّل حثّ جرف البحر في سانتابريارا، كاليفورنيا هو (15-30 cm) سنويًا، وتعدّ معدلات الحثّ هذه متوسطة، إذا ما قورنت بغيرها في مناطق أخرى من العالم، ففي ساحل «نورفولك» في بريطانيا مثلًا، معدلات الحثّ قرابة (2 m) سنويًا، إذ يعتمد معدّل الحثّ على مقاومة الصخور وارتفاع الجرف البحري⁽⁶⁾، ومن الممكن تحديد الحثّ الساحلي باستخدام تقنية الاستشعار عن بعد (انظر إلى نظرة متفحّصة: قياس التغيّر الساحلي).

إنّ حثّ الجروف البحرية عملية طبيعية لا يمكن السيطرة عليها بصورة كلية، إلا إذا استمرت أوقات طويلة، واستنفدت أموالًا كثيرة، ومع ذلك، لا يمكن ضمان وقف الحث؛ ولذلك، يبدو أنّه يتعيّن علينا أن نتعلّم كيف نتعايش مع بعض عمليات الحثّ، إذ يمكن الحدّ منها باستخدام تطبيقات للمحافظة، مثل ضبط المياه على المنحدرات، وعدم إنشاء منازل وجدران وأشجار كبيرة، وغيرها من المنشآت، التي تسهم في زيادة القوى المحرّكة بالقرب من حافة الجرف العليا.

4-10 الأخطار الساحلية والإنشاءات الهندسية

COASTAL HAZARDS AND ENGINEERING STRUCTURES

ويمكن أن تجمل محاولات تثبيت الشواطئ في طرق ثلاث، هي:

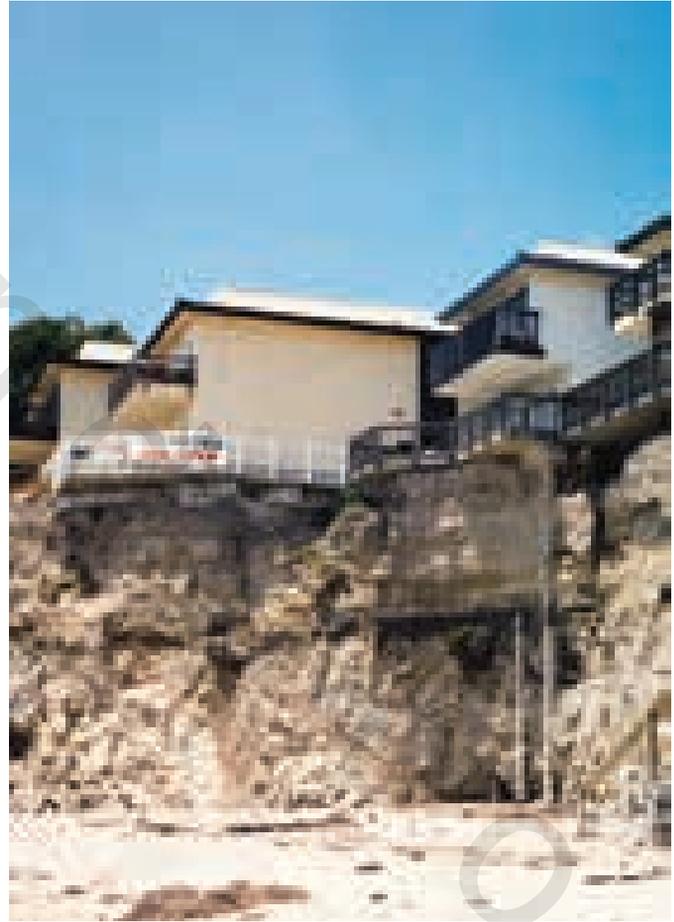
- تثبيت صلب: منشآت هندسية لحماية الشاطئ من الأمواج.
- تثبيت رخو: إضافة رمال إلى الشاطئ (تغذية الشاطئ).
- تراجع مخطط: التعايش مع حثّ الشواطئ، بخليط من التثبيت الصلب والرخو.

التثبيت الصلب Hard Stabilization

تصمّم الإنشاءات الهندسية في البيئة الساحلية، مثل الجدران البحرية، والأعمدة الطولية (groins)، وحواجز الأمواج (break waters)، وواقبات الموانئ من الأمواج (jetties)، من أجل تحسين الملاحة البحرية أو إعاقة الحثّ، وفي الأحوال كلّها، فإنّ الرغبة في التّدخل في عمليات نقل الرواسب الساحلية في الشواطئ بالإنشاءات، نجد أنّها كثيرًا ما تؤدي إلى ترسيب غير مطلوب وحثّ في مناطق الجوار.

الجدران البحرية Seawalls وهي جدران تُبنى موازية لخطّ الساحل للمساعدة على الحدّ من عمليات الحثّ، وقد تُبنى من الأسمنت المسلح والحجارة الكبيرة والأخشاب، وغيرها من الموادّ، وقد لا تكون الجدران البحرية المنشأة عند قاعدة الجروف البحرية غير فعّالة، فهناك حثّ كبير ينتج بسبب عمليات تبيّد الكتل، التي تحدث على الجرف نفسه، انظر الشكل (10-8ب)، وكذلك حثّ الأمواج عند قاعدة الجرف.

هناك أنشطة بشرية متنوّعة تُحدث حثّ الجرف البحري، فالمدينة مثلًا، تزيد من إنتاج مياه المجاري، وإذا لم تتظّم هذه المياه، وتجمّع بحذر، ويحوّل مسارها بعيدًا عن الجرف البحري، فإنّ حثًا حقيقيًا سوف ينتج، فأنايب المياه التي تُلقى بمياه المجاري من شوارع المدينة ومنازلها إلى الجرف البحري على وجه الشاطئ تقلل من الحثّ (الشكل 10-18أ)، إضافة إلى أنّ ريّ المزارع والحدائق على قمة الجرف البحري، يضيف كمّية كبيرة من المياه إلى المنحدر، ويمكن أن تنتقل هذه المياه من الأعلى إلى الأسفل، من خلال الجرف البحري نحو قاعدته، فعندما تخرج المياه من نرّازات صغيرة وينابيع من الجرف البحري، تقلل فعليًا من استقرار الجرف البحري، ما يسهل عمليات الحثّ، إضافة إلى الانزلاقات الأرضية الصغيرة المتعدّدة والكبيرة القليلة (الشكل 10-8ب)⁽⁸⁾، التي تنتج على امتداد الجرف البحري، نتيجة حثّ الأمواج عند قاعدة الجرف البحري (الشكل 10-8ج)، حيث تنتج الصورة غير المنتظمة المتعرّجة في أعلى الجرف البحري من الانزلاقات الأرضية الصغيرة المتعدّدة (انظر الشكل 10-7).



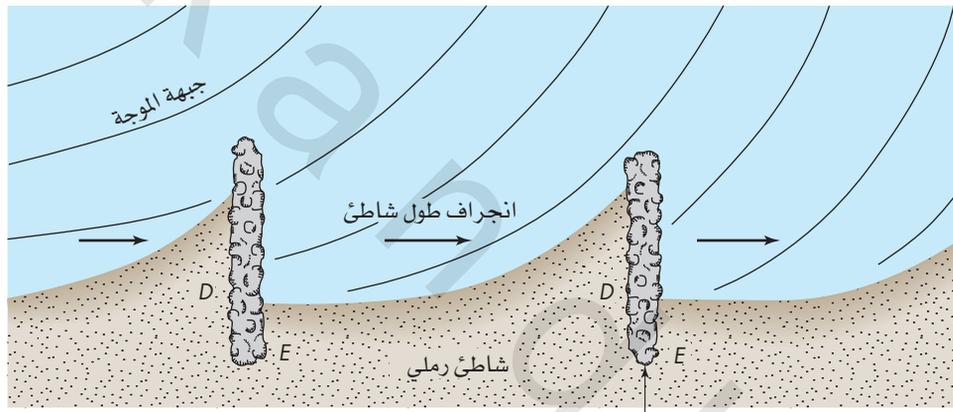
الشكل (10-9): طلبة يعيشون على الحافة. مبانٍ شفقية على حافة جرف بحري في منطقة جامعة «إيزلا فيزنا» في كاليفورنيا، وتشير اللوحة إلى أنّ السطح الخارجي مفتوح الآن، ولسوء الطالع، فإنّ السطح الخارجي ليس آمنًا؛ لأنّه معلق على الجرف بمقدار 1 m على الأقل (3,3 أقدام)، لاحظ الأعمدة الأسمنتية في الجرف البحري، التي كانت تهدف إلى المساعدة على تدعيم المنازل، هذه الأسطح ومباني الشقق معزّمة لخطر وشيك بالانهيار في البحر. (Edward Keller)

انجرافاً علوياً بالنسبة إلى العمود الطولي، والحت يحدث في اتجاه الانجراف السفلي؛ لذلك فإن العمود الطولي أو حقل الجدران الطولية يؤدي إلى تكوين شواطئ أكثر اتساعاً وأكثر حماية في المناطق المطلوبة، لكنها تتسبب في تكوين نطاق من الحت في الساحل السفلي المجاور للشاطئ، إذ ينتج الحت بسبب حجز الجدار الطولي للرواسب على جانبه العلوي، وبذلك تنتقل رمال الجدران هذه حولها من الجهة المعاكسة للشاطئ، لتواصل رحلتها نحو الشاطئ، ومن الممكن الحد من الحت بالتعبئة الصناعية لهذه الجدران، حيث تعرف هذه العملية بتغذية الشاطئ (beach nourishment)، التي تتطلب انتزاع الرمال من المحيط والمصادر الأخرى ووضعها على الشاطئ، وبهذه العملية، فإن الجدران الطولية ستجذب نسبة أقل من الرمال من نظام النقل الشاطئ الطبيعي، وبهذا يقل الحت في نطاق الانجراف السفلي⁽⁴⁾، وعلى الرغم من ذلك كله، فإن الجدران الطولية لا تزال تتسبب في حت غير مرغوب؛ لذا يتعين تقييم استعمالها بحذر.

حوائل الأمواج Breakwaters تحمي حوائل المياه وحوالها (Jetties) امتداد شاطئ محدود من الأمواج، حيث تصمم لاعتراض المياه وتوفير ميناء مثل مرسى السفن أو منطقة محمية من الأمواج، متصلة أو

إن الانتقاد في استخدام الجدران البحرية، أنها إنشاءات رأسية تعكس الأمواج القادمة، أو تردّها إلى الخلف من الشاطئ، ما يزيد من حت الشاطئ، وبمرور عقود عدّة من الزمن، ينتج عن ذلك شاطئ أكثر ضيقاً وأقل رمالاً، وإن لم يصمّم بحذر لإكمال استعمالات الأراضي الموجودة، فسيؤدي إلى تشويه جمال الساحل، وإضافة إلى أن الجدران البحرية تتسبب في تضيق الشاطئ، فقد تؤدي إلى نقصان التنوع الحيوي في الأنظمة البيئية الشاطئية (انظر الفصل الرابع)، لذا يجب أن تصمّم الجدران البحرية بحذر لتناسب مواقع محدّدة، ومما يجدر ذكره، أن بعض الجيولوجيين يعتقد أنها تتسبب في مشكلات أكثر من الحلول، ويجب استخدامها في حالات نادرة فقط⁽⁷⁾.

الجدران الطولية Groins وهي إنشاءات خطية أسمنتية طولية، توضع متعامدة مع الشاطئ، وعادة ما تكون في مجموعات تسمى حقول الجدران الطولية (groin fields)، (الشكل 10-10)، ويصمّم كل واحد منها، بحيث يحجز جزءاً من الرمال المتحرّكة في نظام النقل الساحلي، فتراكم بسيط للرمال، قد يؤدي إلى انجراف فوق كل خط أسمنتي من هذه الجدران، ما يؤدي إلى بناء شاطئ غير منتظم وأكثر اتساعاً، فالشاطئ الواسع يمنع الحت. المشكلة الأساسية في الجدران الطولية (groins) أن الترسيب يحدث



D = ترسيب، شاطئ عريض
E = حت، شاطئ ضيق

(أ) جدار طول شاطئي، حاجز للانجراف الطولي، مبني من كتل صخرية كبيرة أو من مواد أخرى



(ج)



(ب)

الشكل (10-10): جدران طولية شاطئية. (Beach groins). (أ) شكل يبيّن اثنين من الجدران الشاطئية الطولية. (ب) صورة مقرّبة لنطاق الانجراف السفلي للحت. (ج) ترسيب في اتجاه الانجراف العلوي (يمين) وحت في اتجاه الانجراف السفلي (يسار). الرواسب المتوضّعة تبني شاطئاً عريضاً في اتجاه الانجراف العلوي، وقد تحدث كثبة الرواسب القليلة المعرضة للنقل حثاً، في اتجاه الانجراف السفلي.

الانجراف العلوي للشاطئ المجاورة للحاجز بالاتساع، في حين تخضع منطقة الانجراف السفلي من الشاطئ للحث، وقد يؤدي الترسيب على الحواجز إلى ملء القناة، وتصبح عديمة الفائدة، بينما يلحق الحث أسفل الساحل الضرر بالتنمية الساحلية، إن شبك الرمال تقلل، لكنها تنهي جميع عمليات التوضّع والحثّ.

ولسوء الطالع، فإنّه من غير الممكن بناء حائل أو حاجز للأمواج، دون التداخل مع حركة نقل الرمال على طول الشاطئ؛ لذلك، يتحمّم التخطيط بمنتهى الحذر لبناء هذه المنشآت، إضافة إلى وجوب إدخال تدابير الحماية الأخرى، التي تقلّل التأثيرات المعاكسة أو تحدّها منها، إذ تشتمل هذه التدابير على تثبيت شبك ونظام ممرّ جانبي صناعي للرسوبيات، وبرنامج تغذية للشواطئ، وجدران بحرية، ووضع كتل صخرية ضخمة (riprap) أو مزيج منها جميعها.

التثبيت الرخو Soft Stabilization

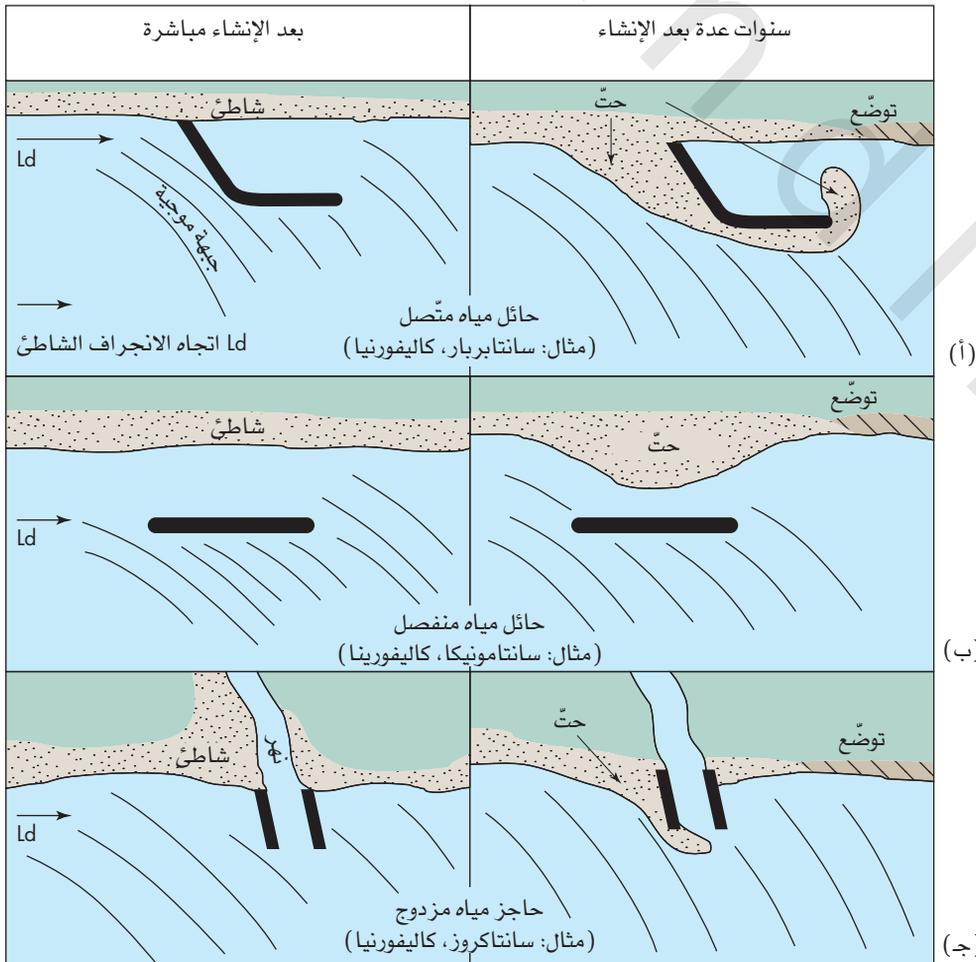
تغذية الشاطئ: بديل عن الإنشاءات الهندسية

Beach Nourishment: An Alternative to Engineering Structures

تطرّقنا في النقاش السابق إلى موضوع تغذية الشاطئ (beach nourishment) بوصفها عاملاً مساعداً للإنشاءات الهندسية في النطاق الساحلي، وقد تكون بديلاً للإنشاءات الهندسية، حيث تتمثل تغذية الشاطئ

مفصولة عن الشاطئ (الشكل 10-11أ، ب)، وفي كلتا الحالتين، فإنّ حائل المياه يمنع النقل الشاطئ الطبيعي للرمال الشاطئية، مؤدياً إلى تشكيل الساحل ليتغيّر مكانياً، بسبب نشوء مناطق جديدة للحثّ والترسيب، وإضافة إلى إمكانية التسبّب في مشكلات حثّ حقيقية في اتجاه الانجراف السفلي، فإنّ حوائل الأمواج تعمل على حجز الرمال، التي تتراكم في اتجاه الانجراف العلوي، وفي النهاية، فإنّ الرمال قد تمنع دخولها إلى الميناء بوصفها جسماً رملياً يطلق عليه مصطلح اللسان الرملي (sand pit) أو الحاجز (bar)؛ من الضروري إيجاد برامج الشبك (dredging program) ذات الممرّات الصناعية، لإبقاء الميناء مفتوحاً وخالياً من الرواسب، ويجب نقل الرمال التي أزلتها الشبك في حال عدم تلوّثها، بأنابيب مع مياه لتُطلق على جهة الانجراف السفلي لحوائل المياه على الشاطئ، في عملية تدعى الممرّ الجانبي الصناعي (artificial bypass)، لتندمج ثانية مع نظام النقل الشاطئ الطبيعي، وذلك يقلّل من مشكلة الحثّ.

حواجز المياه المزدوجة Jetties تُنشأ هذه الحواجز بصورة مزدوجة على مصبّ النهر (فم النهر) (river mouth)، أو على ممرّ بحري ضيق (inlet)، متّصل ببحيرة شاطئية (Lagoon) أو مصبّ نهري (estuary) أو خليج (bay) (الشكل 10-11ج)، حيث تصمّم هذه الحواجز من أجل تثبيت القناة ومنع توضع الرسوبيات فيها أو خفضها، وحمايتها من الأمواج الكبيرة⁽⁴⁾، إذ يعمل الحاجز المزدوج على منع نقل رواسب الشاطئ في أثناء عمليات النقل الشاطئية، ما يسمح لمنطقة



الشكل (10-11): المنشآت الهندسية في نطاق الرغبة تؤدي إلى التغيير. أشكال توضّع آثار حوائل المياه وحواجزها المزدوجة على النمط المحلي للحثّ والتوضّع.



(ب)



(أ)

الشكل (10-12): تغذية الشاطئ (Beach nourishment). شاطئ ميامي (أ) قبل تغذية الشاطئ، (ب) بعدها.

(Courtesy of U.S. Army Corps of Engineers)

يبين المقطع العرضي لتصميم المشروع المسطح الشاطئ العريض ونظام الكتبان الأمامية، الممثلة في خط من الكتبان الرملية مباشرة فوق خط المدّ العلوي، الذي يعمل بوصفه مصدًا لحدّ الأمواج وتدفع العواصف (الشكل 10-13)، وقد امتدّ شاطئ ميامي في أواسط - وأواخر الثمانينيات ليشتمل على ترميم للكتبان، يتضمن إقامة غطاء نباتي عليها، وأنشئت كذلك ممرات خشبية خاصة، تسمح بالمرور من خلال الكتبان، بينما بقية مناطق الكتبان محمية، وقد أثبت مشروع تغذية شاطئ ميامي نجاحًا فعليًا لأكثر من (20) سنة، حيث قاوم أعاصير عظيمة عامي 1979م و1992م⁽⁴⁾، وهو أنه بالتأكيد مفضّل على طرق السيطرة الجزئية على الحدّ السابقة.

لقد استفاد أكثر من (600 km) من ساحل الولايات المتحدة بصورة ما من تغذية الشواطئ، ولم تجد عمليات التغذية الآثار الإيجابية التي سجلها شاطئ "ميامي"، فعلى سبيل المثال، عام 1982م تمّت تغذية شريط شاطئ لمدينة "أوشن" "نيوجرسي"، بكلفة بلغت ما يزيد على خمسة ملايين دولار، وبعد سلسلة من العواصف التي ضربت الشاطئ، أزال الحدّ الرمال في مدة شهرين ونصف فقط، فقد حُتّت رمال شاطئ "ميامي" بكلفة أكبر بكثير، وبقيت عملية تغذية الشاطئ موضع خلاف، حتى إن البعض يعدّها "الرمال الضحية"، التي لا بدّ في نهاية المطاف من أن تزول بالحدّ الساحلي⁽⁷⁾، يعدّ شاطئ ميامي حالة استثنائية بالنسبة إلى نجاحه الظاهري، فقد بلغت التكلفة السنوية لتغذيته ثلاثة ملايين دولار، وتجلب السياحة الخارجية ما يزيد على بليون دولار سنويًا، من خلال (20) مليون سائح أجنبي تقريبًا يزورونه سنويًا، أي ما يعادل (650) ضعفًا لتكلفة التغذية.

تُعدّ المسائل الآتية مهمّة، ويجب تقييمها بحذر قبل أي مشروع تغذية، وهي: إيجاد رمال تناسب الموقع، وكيفية تغطية تكاليف التغذية، وإمكانية تدمير نظام التبيؤ الحيوي الشاطئي، فتغذية الشاطئ ليست ببساطة مجرد عملية نقل الرمال وردمها، بل يتعيّن التخطيط لها بمنتهى الحذر، فلو اختيرت رمال تغذية أكثر نعومة من رمال الشاطئ الأصلية مثلًا، فسوف تُنحت من الشاطئ

في وضع صناعي للرمال على الشواطئ، بهدف إنشاء ميزانية شاطئية إيجابية، فعندما تحسب ميزانيتك المالية، تتأمل في توافر ميزانية إيجابية، تسمح لك بمزيد من الأموال، وكذلك، فإنّ ميزانية الشاطئ الإيجابية تعني أن الرمال جميعها الداخلة إلى الشاطئ والخارجة منه، ستبقى على رمال تحافظ على الشاطئ نفسه، وتعني تغذية الشاطئ أحيانًا المثلثات الرخوة للسيطرة على حدّ الشاطئ، وهذا بخلاف التثبيت الصلب (hard)، مثل إنشاء الجدران الطولية والجدران البحرية، فتوافر الشاطئ المغدّى بالرمال يحمي الممتلكات الساحلية من هجوم الأمواج⁽⁴⁾، إضافة إلى كثير من الفوائد، منها: أنّها مفضّلة من الناحية الجمالية على كثير من الإنشاءات الهندسية، وتوفّر شاطئًا مناسبًا للاستجمام، إضافة إلى بعض الحماية للحدّ الشاطئ.

بدأت فرق المهندسين في الجيش الأمريكي عملها على شاطئ مدينة ميامي في فلوريدا، في أواسط السبعينيات، من أجل تحويل مشكلة حدّ شاطئية حقيقية، أزجعت المنطقة منذ الخمسينيات، وهدف البرنامج أيضًا إلى توفير حماية من العواصف، فقد أوّشك الشاطئ الطبيعي على الاختفاء في الخمسينيات، ولم يبق سوى جيوب صغيرة من الرمال، مرتبطة بإنشاءات شاطئية متعدّدة، تشتمل على جدران بحرية وجدران طولية، يضاف إلى ذلك أنّ مناطق المنتجعات السياحية، ومن ضمنها فنادق فاخرة، أصبحت عرضة لحدّ العواصف، عندما اختفى الشاطئ⁽⁸⁾.

لقد صمّم برنامج التغذية لإنتاج ميزانية شاطئ إيجابية، تزيد من اتساع الشاطئ، وتوفّر له حماية إضافية من أضرار العواصف، حيث بلغت تكلفة المشروع قرابة (62) مليون دولار، واستغرق إنشاؤه (10) سنوات تقريبًا، وتضمّن تغذية بالرمال تقدر بقرابة (160,000 m³) سنويًا، لملء ما يفقده بسبب الحدّ ثانية، ومع بداية الثمانينيات، نُقل قرابة (18) مليون m³ من الرمال، من مواقع في عرض البحر، حيث صُحّت إلى الشاطئ، لتوسيعه (200 m) تقريبًا⁽⁸⁾. يبيّن الشكل (10-12) شاطئ ميامي قبل التغذية وبعدها؛ ويظهر تغييرًا مذهلاً.

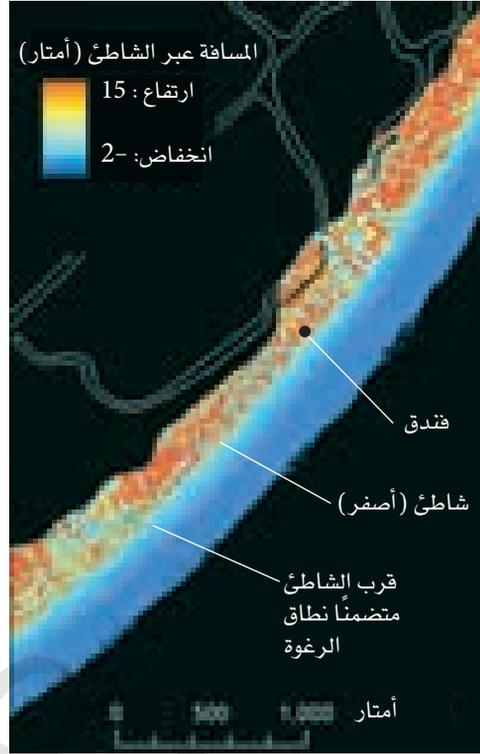
نظرة متفدصة A CLOSER LOOK

قياس تغيّر الشاطئ Measuring Coastal Change

بوضوح رأسي أفضل من (15 cm)، فبمجرد تسجيل مجموعة ارتفاعات الخط القاعدي (baseline)، ستمكّن الرحلات الجوية اللاحقة من التقاط التغيّرات في النطاق الساحلي، مثل تغيّر صورة الكثبان الساحلية الشاطئية أو الجرف البحري. ويبين الشكل (10 ب) نموذج ارتفاع رقمي تمّ تحديده عن طريق "جهاز ليدار (Li Dar)" لرأس هيلتون، جنوب كارولينا في المنطقة الساحلية بجوار أحد الفنادق القريبة جداً من شاطئ نشيط، ويبين الشكل (10 ج) بيئة جرف بحري قرب "باسيفيكا" في كاليفورنيا، حيث منزل مهتد بالخطر بعد العواصف الشتوية في بداية عام 1998م، ويبين الشكل (10 د) كمّية حثّ الجرف البحري التي قدّرها جهاز "ليدار" في المدة الزمنية الممتدة من شهر أكتوبر 1997م إلى إبريل 1998م، إذ بلغ الحثّ الكلي قرابة (10 m) في اتجاه اليابسة، وبلغ متراً واحداً أو اثنين على الشاطئ.

لقد وفّرت التكنولوجيا حديثاً طريق الاستشعار عن بعد، لقياس تغيّر البيئة الساحلية ومراقبته.

"ليدار" Light Detection and Ranging (LiDAR) هو نظام ليزري مثبت في طائرة، يمكنه تسجيل آلاف القياسات للارتفاعات في الثانية،



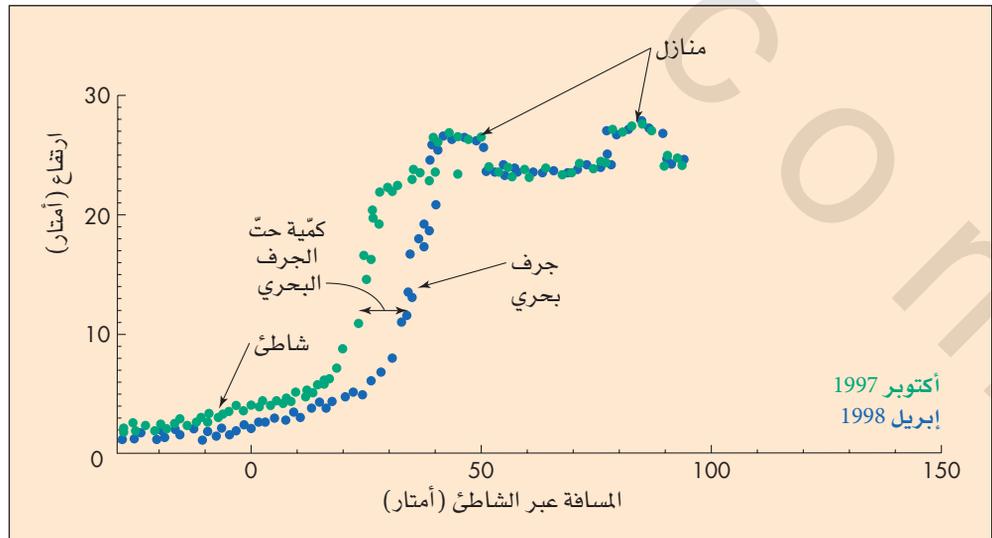
الشكل (10 ب): طوبوغرافية الساحل خريطة ارتفاع رقمية لجزء من رأس هيلتون، جنوب كارولينا. البيانات من جهاز ليدار (LiDAR)، وتقنية استشعار عن بعد ليزرية مثبتة على طائرة. الفندق قريب جداً من مصدر الشاطئ محور عن: NOAA, <http://www.csc.noaa.gov/products/sccoasts/html/tutlid.htm>

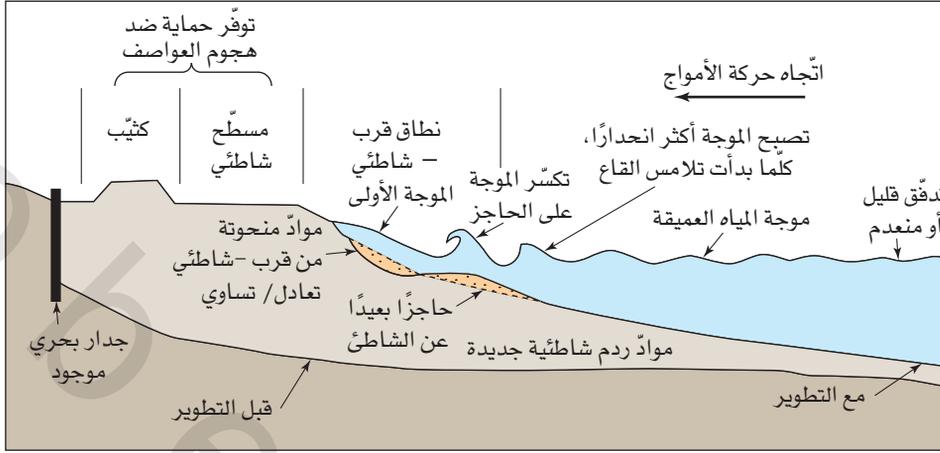


الشكل (10 ج): حثّ ساحلي عنيف قرب "باسيفيكا" كاليفورنيا، الذي حدث بداية عام 1998م.

(Courtesy of Monty Hampton, USGS, http://coastal.er.usgs.gov/lidar/AGU_fall98/)

الشكل (10 د): قرابة (10) أمتار من حثّ الجرف البحري قرب "باسيفيكا"، كاليفورنيا (بيانات ليدار). منازل عتة مهتدة بالدمار، وسبعة هتدّت محور عن: USGS, 1998, http://coastal.er.usgs.gov/lidar/AGU_fall98/





الشكل (10-13): شكل شاطئ ميامي بعد التغذية. مقطع عرضي في مشروع تغذية شاطئ ميامي. يوفّر نظام الكثبان ومسطح الشاطئ حماية ضد هجوم العواصف. (Courtesy of U.S. Army Corps of Engineers)



الشكل (10-14): الأرصعة الخارجية لشمال كارولينا التي تظهر في هذه الصورة من أبولو (9) بوصفها شريطاً رقيقاً من الرمل، جزر حاجزية مفصولة عن اليابسة «بيلميكو ساوند». واللون البني في الماء ناتج عن الرمال العالقة في المساه المتحركة في النظام الساحلي، لاحظ السحابة على صورة مروحة من الرسوبيات في اتجاه البحر من ممر «أوكراكوك». المسافة بين رأس «لوكاوت» إلى رأس «هايتراس» تبلغ (100 km) تقريباً.

(National Aeronautics and Space Administration)

مستقبلي، يؤدي إلى أضرار جسيمة في الجزيرة، وقد تكوّن الممر المائي في جنوب مدينة «أوشين» في أثناء إعصار 1933م، ولا تتوافر ضمانات لمنع تكوّن ممر مائي جديد، يدمر بالحثّ جزءاً من المدينة في المستقبل، سوى بعض محاولات تثبيت الممر المائي، بالطرق الهندسية الساحلية.

تقع جزيرة «أساتينغ» إلى الجنوب عبر ممر مدينة «أوشين»، حيث تشتمل على ثلثي ساحل ماريلاند، وبخلاف المدينة العالية في جزيرة «فينيك»، نجد أنّ جزيرة «أساتينغ» في حالة أكثر طبيعية، إذ تُستخدم للاستجمام، مثل الحمامات الشمسية، والسباحة، والمشي، وملاحظة الحياة البحرية، وفي الأحوال كلّها، فإنّ كلتا الجزيرتين تقعان في الخلية الشاطئية نفسها، ما

سريعاً، وقد تُحدث مشكلات تبيؤ حيوية غير متوقّعة، مثل تدمير الشعاب المرجانية (التي قد تُدفن بالرمال الناعمة، التي تُنقل من الشاطئ نحو عرض البحر) أو الحياة البرية، مثل السلاحف التي تحتاج إلى رمال بأحجام خاصّة، لتجهيز المأوى المناسب لنمو بيوضها، هذا إضافة إلى أنّ تغذية الشاطئ أصبحت طريقة مفضّلة لترميم شواطئ الاستجمام أو إنشائها، وحماية الشاطئ من الحثّ الساحلي حول العالم، وهذا الأمر يتطلّب حالات تاريخية إضافية للحكم على نجاح المشروعات أو فشلها، وتلزم أيضاً توعية أكثر للمجتمع، لمعرفة ما يمكن توقّعه من تغذية الشواطئ⁽⁴⁾.

5-10 النشاط البشري والحثّ الساحلي: بعض الأمثلة

HUMAN ACTIVITY AND COASTAL EROSION: SOME EXAMPLES

أدى التداخل بين أعمال البشر والعمليات الشاطئية الطبيعية إلى حثّ ساحلي كبير، إذ تبرز معظم المشكلات في المناطق الأكثر كثافة بالسكان والأكثر تنمية، وقد ذكرنا سابقاً: أنّ الحواجز المنشأة صناعياً عادة ما تعيق حركة الرمال، ما يتسبّب في نمو الشواطئ في بعض المناطق، وحثّها في مناطق أخرى، متسببة في أضرار لممتلكات قيّمة واقعة على الشاطئ الأمامي.

ساحل الأطلسي The Atlantic Coast

يتميّز ساحل الأطلسي من شمال فلوريدا إلى نيويورك بجزر حاجزية (barrier islands)، وهي جزر طويلة ضيّقة مفصولة عن اليابسة عن طريق جسم مائي، انظر الشكل (10-14)، وقد عدّل الكثير منها؛ لتكون أقلّ أو أكثر امتداداً، وفق الاستخدام والاهتمام البشري.

يوضّح ساحل الجزر الحاجزية في «ماريلاند» بعض آثار الأنشطة البشرية على العمليات الساحلية، إذ إنّ الطلب عال جداً على (50 km) من شاطئ جبهة المحيط في ماريلاند بالأطلسي، وتُستخدم مصادر محدودة موسميّاً من طرف سكان واشنطن، دي سي وبالتيومور وماريلاند، انظر الشكل (10-15). منحت جزيرة «فينيك» منذ أوائل السبعينيات سيادة مشتركة، لتنمية فنادق فاخرة على جبهاتها المائية، فأزيل نظام الكثبان الأمامية الطبيعية لهذه الجزيرة الضيّقة في مناطق عدّة، وذلك أدى إلى حدوث مشكلة حثّ شاطئ حقيقية، ومن سوء الطالع، أن احتمالاً قائماً ومؤكدًا لإعصار

الشكل (10-15): تؤدي التنمية المدنية بوجود منشآت حواجز مائية مزدوجة إلى زيادة حث الشاطئ. ساحل الحاجز الشاطئ لساحل ماريلاند. تشهد جزيرة «فينيك» تطوراً مدنياً سريعاً، ويخشى من أضرار إعصار متوقع. والذي سيحدث إذا تكوّن ممر مائي جديد أثناء الإعصار في موقع مدينة «أوشين»؟ الشكل الداخلي يبيّن تفصيلاً عن ممر مدينة «أوشين»، وأثار إنشاء الحواجز المائية المزدوجة على حث الشاطئ في جزيرة «أساتيج» إلى الجنوب.



لقد أصلح تدفق الرمال إلى جزيرة «أساتيج» في أوائل القرن الحادي والعشرين، بإيجاد مخطط لممر جانبي، يجمع الرمال مرتين سنوياً (الربيع والخريف)، من منطقة ممر مدينة «أوشين»، ويضعها على شواطئ جزيرة «أساتيج». وقد صمّم المخطط لترميم أكثر من مصدر طبيعي للرمال ومجموعة من العمليات الشاطئية، ويشبه تلك التي كانت قائمة على الجزيرة قبل إنشاء الحواجز المائية المزدوجة لمدينة «أوشين»⁽¹¹⁾.

The Gulf Coast ساحل خليج المكسيك

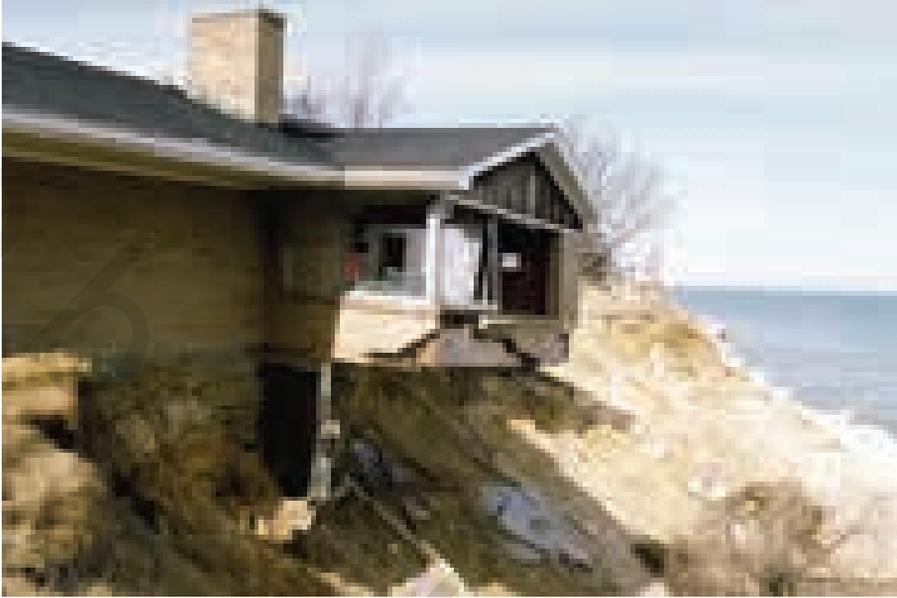
يعدّ الحثّ الساحلي مشكلة حقيقية على خليج المكسيك كذلك، فقد أدت التحويرات البشرية على النطاق الساحلي إلى تسريع الحثّ بنسبة (35%)، زيادة على معدل ما قبل التاريخ، وقد تمثّلت التحويرات البشرية، التي تظهر بأنّها المسؤولة في الغالب عن تسريع عملية الحثّ في إنشاءات هندسية ساحلية، مثل الهبوط نتيجة ضخّ المياه الجوفية والنفط، وسدّ الأنهار التي تزود الشواطئ بالرمال.

The Great Lakes البحيرات العظمى

الحثّ مشكلة دورية على سواحل البحيرات العظمى، وكان مزعجاً نوعاً ما وبوجه خاص على شواطئ بحيرة «ميتشيفان»، حيث يكون الضرر شديداً في أثناء الفترات الطويلة، التي يكون فيها مستوى البحيرة عالياً، الذي يلي الفترات الطويلة للتسريب فوق الطبيعي، وقد تمّ توثيق العلاقة بين التسريب ومستوى البحيرة منذ عام 1860م، عن طريق فريق الهندسة في

أعني أنهما تشتركان في المزوّد الرملي نفسه، وقد كانت كذلك على الأقلّ حتى عام 1935م، حين أنشئت حواجز مائية مزدوجة (jetties)، لتثبيت ممرّ مدينة «أوشين»، ومنذ ذلك الوقت، فإنّ معدل الحثّ في الكيلومترات القليلة، الواقعة شمال جزيرة «أساتيج» يصل إلى قرابة (11 m) سنوياً، وهو ما يعادل (20) ضعفاً على المدى الطويل، لتراجع ساحل «ماد سلاند»، وفي الوقت نفسه، صارت الشواطئ الواقعة مباشرة شمال الممرّ المائي أكثر اتساعاً، وتتطلب زيادة طول رصيف الاستجمام⁽¹⁰⁾.

ترتبط التغيّرات الملحوظة على ساحل ماريلاند الأطلسي بوضوح، بنمط انجراف الرمال طول شاطئ والتدخل البشري، فمعدل الانجراف طول الشاطئ السنوي نحو الجنوب قرابة (150,000 m³) وقد تدخل في ذلك إنشاء الحواجز المائية المزدوجة لممرّ مدينة «أوشين»، مع تدفق الرمال الطبيعي نحو الجنوب، وحول بعيداً عن الشاطئ نحو عرض البحر، بدلاً من السماح له بإكمال مسيرته جنوباً لتغذية شواطئ جزيرة «أساتيج»، وبسبب نقص الرمال، فقد عانت الأجزاء الشمالية من الجزيرة الحثّ الفعّال في أثناء الخمسين سنة الماضية، وقد عدّ هذا الحثّ الشاطئ المرتبط بالإنشاءات الهندسية، التي حالت دون نقل الرواسب الطول شاطئاً، الأكثر قسوة على الإطلاق في الولايات المتحدة⁽¹⁰⁾، ولذلك، فإنّ المبدأ الأساسي الذي يتضمّن الوحدة البيئية يعدّ الأرض نظاماً واحداً، بمجموعة مكونات تعمل بصورة مجتمعة، والتغيير في أيّ جزء من هذا النظام يؤثر في بقية الأجزاء.



الشكل (10-16): بحيرات تعاني مشكلة حثّ ساحلي. حثّ ساحلي على شواطئ بحيرة «ميتشيغان» دُمرت المنزل الذي تراه.
(Steve Leonard)

10-6 الأعاصير المدارية

TROPICAL CYCLONES

يطلق على أعاصير المحيط الهادي "تيفون typhoons"، وعلى أعاصير المحيط الأطلسي "هوريكان hurricanes"، حيث قتلت الأعاصير المدارية مئات الآلاف من البشر في عاصفة واحدة، فعام 1970م ضرب إعصار مداري شمال خليج البنغال في بنجلاديش، أدى إلى رفع مستوى سطح البحر بمقدار (6 m)، وتسبب الفيضان الناتج عن ارتفاع مستوى سطح البحر في مقتل (300,000) شخص تقريباً، وخسائر في المحاصيل تقدّر بقرابة (36) مليون دولار، ودُمرت (65%) من الطاقة الكلية لصيد الأسماك في الإقليم الساحلي⁽¹⁴⁾، وضرب إعصار مدمر آخر بنجلاديش ربيع عام 1991م، أدى إلى مقتل (100,000) شخص تقريباً، وألحق أضراراً تقدّر بقرابة بليون دولار، ويُعدّ إعصار ميتش (Mitch) أكثر أعاصير الأطلسي هلاكاً منذ عام 1780م، إذ كان مسؤولاً عن موت أكثر من (11,000) شخص في "هندوراس ونيكاراجوا" عام 1998م، وتسبب إعصار "كاترينا" عام 2005م في موت قرابة (2000) نسمة، ودمار يقدر بـ (100) بليون دولار تقريباً في "نيو أورليان" وساحل الخليج (انظر تاريخ حالة: إعصار كاترينا).

شكل الإعصار وعملياته

Hurricane Form and Process

من المحتمل أن يرجع أصل كلمة "هوريكان Hurricane" إلى كلمة هندية كاريبية (Caribbean Indian)، هي "الرياح العاتية big wind"، أو "روح شريرة evil spirit"، وهذه المصطلحات تلائم تماماً الرياح العاتية، وحتى يطلق عليها مصطلح إعصار (Hurricane)، يجب أن تولّد العاصفة رياحاً بسرعة (119 km/hr)، فالأعاصير أنواع منها المدارية، وهو المصطلح العام لسلسلة العواصف الرعدية المعقّدة العظيمة، التي تدور حول منطقة ذات ضغط منخفض، وتتكوّن فوق مياه محيطية مدارية دافئة.

الجيش الأمريكي، إذ تدلّ البيانات أنّ مستوى البحيرة تذبذب قرابة مترين في هذا الزمن، فهناك حثّ ساحلي كبير يحدث في أثناء مرحلة ارتفاع المياه، ونتيجة لذلك، دُمرت بنايات عدة وطرق وجدران استنادية وغيرها من المنشآت؛ بسبب حثّ الأمواج، انظر الشكل (10-16)⁽¹²⁾، وعلى سبيل المثال: تسبب ارتفاع مستوى البحيرة عام 1985م، بسبب عواصف الخريف، في أضرار قدرت بقرابة (15) إلى (20) مليون دولار.

أمّا في أثناء الفترات الزمنية التي يكون فيها مستوى البحيرة أقلّ من المعدل، فتتكوّن شواطئ واسعة، تبدّد طاقة أمواج العواصف، وتحمي الشاطئ، وفي الأحوال كلّها، يمكن القول: إنّ ارتفاع مستوى البحيرة، تصبح الشواطئ ضيّقة، ما يسمح للعواصف ببذل طاقة كبيرة على المناطق الساحلية، حتى أنّ ارتفاعاً قليلاً لمستوى بحيرة ذات شاطئ معتدل الانحدار، سيؤدّي إلى غمر قطاع واسع جداً من الشاطئ⁽¹²⁾.

يطلق على جروف شواطئ البحيرات مصطلح الجروف الساحلية (coastal bluffs)، وهي شبيهة بالجروف البحرية لشواطئ المحيطات، ويبلغ معدّل حثّها على المدى الطويل لمواقع عدة على بحيرة ميتشيغان (0.4 m) سنوياً تقريباً⁽¹³⁾، إذ تتوقّف شدّة الحثّ في الموقع المحدّد على العوامل الآتية:

- توافر نظام كثبان أمامي أو غيابه، فالجروف المحمية بالكثبان يكون حثّها بطيئاً.
 - اتجاه المياه الجوفية، حيث يتسبّب وجود النزّازات المائية أسفل الجرف الساحلي في عدم استقرار الانحدار، ما يزيد في معدّل الحثّ.
 - توافر منشآت حماية، قد تكون المنشآت مفيدة محلياً، لكنّها غالباً ما تسرع الحثّ الساحلي في المناطق المجاورة⁽¹²⁾،⁽¹³⁾.
- وفي السنوات الأخيرة أجريت محاولات لتغذية شواطئ بعض البحيرات العظمى، حيث أضيفت في بعض الحالات رمال أكثر خشونة من الرمال الطبيعية، أملاً في تقليل الحثّ.

إعصار كاترينا، الكارثة الطبيعية الأعظم في تاريخ الولايات المتحدة

Hurricane Katrina, Most Serious Natural Catastrophe in U.S. History

ونظام جدران الفيضان، لحماية المناطق المنخفضة من المدينة من إعصار كبير.

وفي حقيقة الأمر، فقد هبط الأقليم بمعدلات عالية متباينة، تتراوح بين (1-4 m) لكل (100) سنة، وفي هذا مساهمة إضافية لأخطار الفيضان، وفي فترات زمنية قصيرة، فإن (50-70%) من الهبوط في بعض المناطق كان طبيعياً، ونتاجاً عن عمليات جيولوجية (الحركة في الصدوع) أوجدت خليج المكسيك ودلتا نهر المسيسيبي⁽¹⁷⁾. وقد حدث هبوط بمقدار أمتار عدة في أثناء أُل (100) سنة الأخيرة، وارتفع في أثناء تلك الفترة مستوى البحر قرابة (20 cm)؛ بسبب الاحترار العالمي، فعندما تسخن مياه الخليج ومياه البحر، فإنها تتمدد، وتؤدي إلى ارتفاع مستوى البحر، لقد نتج الهبوط، جزئياً، بسبب عدد من العمليات البشرية، من ضمنها ضخ المياه الجوفية والنفط والغاز، وكذلك فقدان الأراضي الرطبة للمياه العذبة، التي تضغط وتغرق حين تحرم من رمال نهر المسيسيبي؛ ولأن نهر المسيسيبي جسوراً صناعية (وهي أرصفت ينشئها البشر)، فإنها لا تُعدّ قادرة على إيصال الرسوبيات إلى الأراضي الرطبة، ولذلك، فإن الأراضي الرطبة توقفت عن البناء إلى الأعلى بتراكم الرسوبيات، فقبل إنشاء الجسور على دلتا نهر المسيسيبي، كانت مياه الفيضانات ورسوبياتها تنتشر على الدلتا، ما يساعد على الحفاظ على تربة الأراضي الرطبة ونباتاتها.

أزيلت الأراضي الرطبة للمياه العذبة قرب «نيو أورليانز» في معظمها في أثناء العقود الزمنية الماضية، وحلّت مكانها أنظمة تبيؤ مياه مالحة، حين ارتفع مستوى البحر، واستمرت الأرض بالهبوط، إذ تُعدّ الأراضي الرطبة للمياه العذبة حاجزاً أفضل للرياح وأمواج العواصف، من الأراضي الرطبة للمياه المالحة، فالأشجار الطويلة مثل السرو، وغيره من نباتات الأراضي الرطبة للمياه العذبة (الشكل 10 ح)، توفر خشونة تقلل من سرعة مياه الأمواج العاتية أو اندفاعات العواصف نحو اليابسة، ومن المعلوم أنه من الوظائف الخدمية الطبيعية، التي تقدمها كل من الأراضي الرطبة الساحلية للمياه العذبة والمياه المالحة، حماية مناطق اليابسة من العواصف.



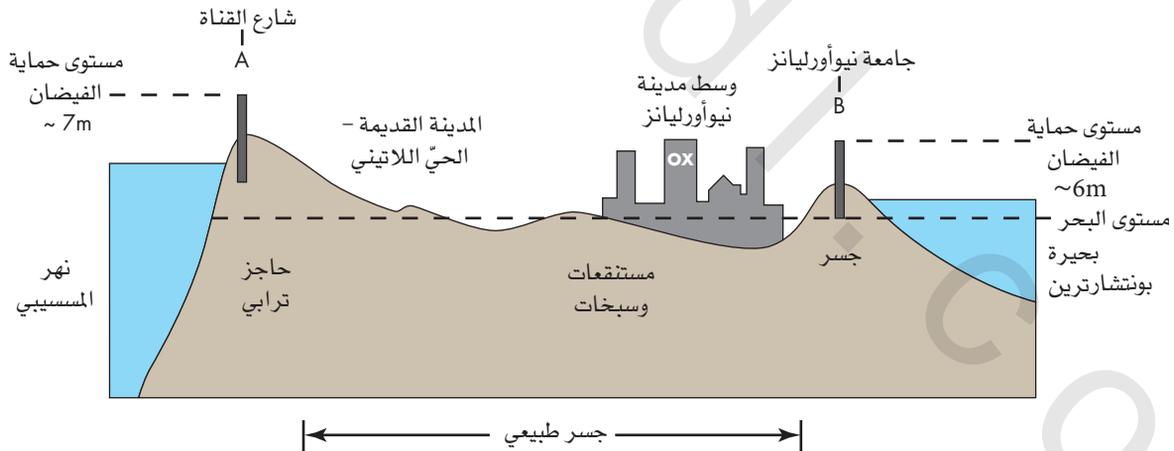
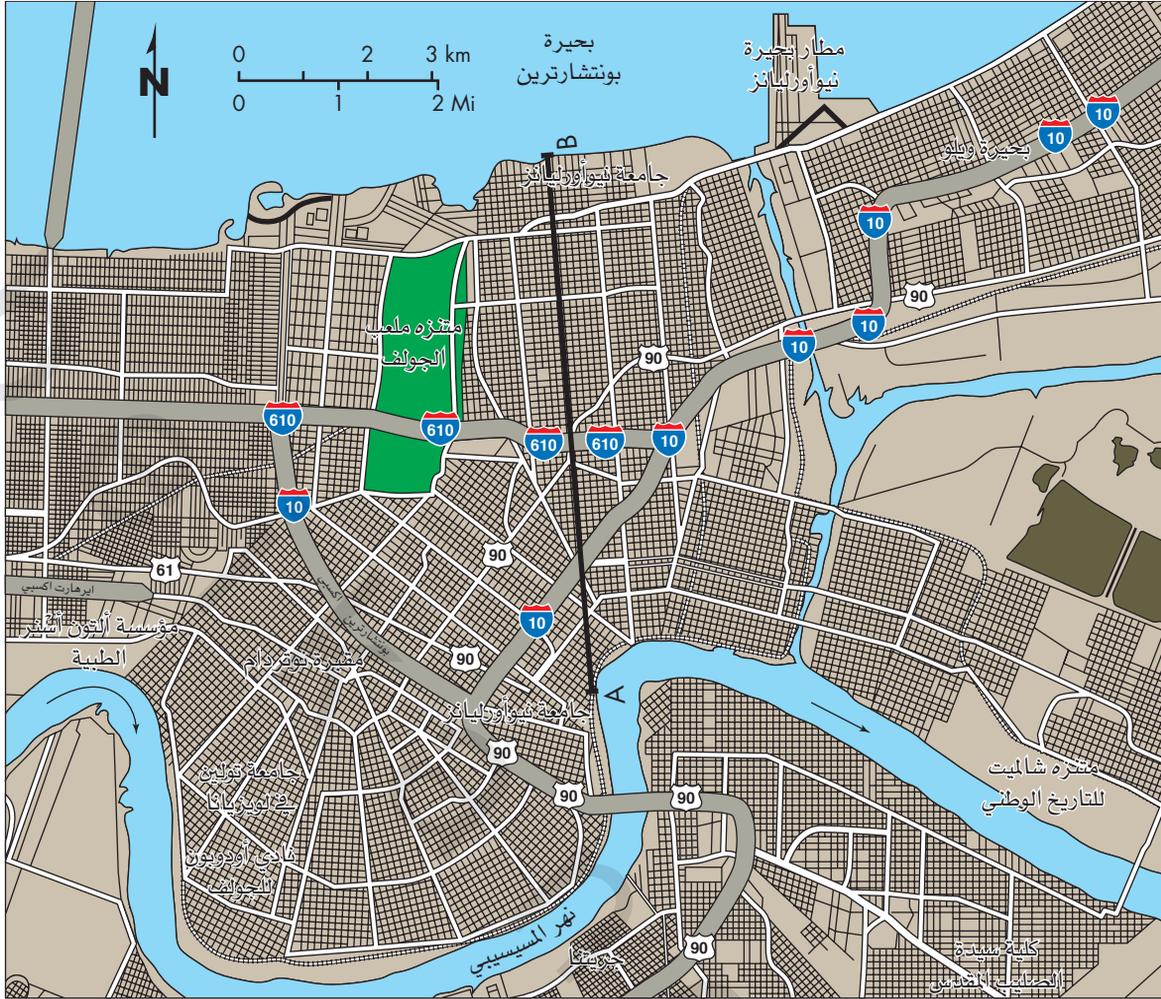
الشكل (10 هـ): فيضانات كاترينا على «نيو أورليانز» (Katrina floods New Orleans). فاضت «نيو أورليانز» حين انهارت دفاعات الفيضان في أثناء إعصار كاترينا. (N. Smiley / Pool ? Dallas Morning News/Corbis)

بلغ إعصار كاترينا اليابسة في المساء الباكر من يوم 29 أغسطس عام 2005م، على مسافة تبعد قرابة (45 km) إلى الشرق من مدينة «نيو أورليانز»، إذ كان على صورة عاصفة عاتية، تسببت في أضرار جسيمة على امتداد قرابة (160 km) من مركزها، وقد نتج عن العاصفة اندفاع لمرتفع من الماء نحو الشاطئ، بلغ (3 m) إلى (6 m)، ما أدى إلى دمار معظم سواحل «لويزيانا وميسيسيبي»، حين نُحِتت الجزر الحاجزية الشاطئية والشواطئ، إضافة إلى دمار المنازل، وقد قُدّرت أضرار الممتلكات الناتجة عن إعصار كاترينا وتكلفة إعادة تأهيل وبناء المنطقة بما يزيد على (100) بليون دولار، ما جعل منه الإعصار الأكثر تكلفة في تاريخ الولايات المتحدة، والجدير بالذكر أن أعداد الموتى تُعدّ بصورة مؤكدة؛ لأن الكثير من الجثث جُرفت بعيداً في البحر، أو دُفنت على أعماق، وكان من الصعب إيجادها، أما الرقم الرسمي للموتى فهو (1836) قتيلًا، وقد تسبب الإعصار، وما تبعه من فيضان في كثير من الأحداث، التي أدت إلى عواقب بيئية مهمة، لقد كانت خسارة الأرواح والممتلكات بسبب تدمير الرياح واندفاع عاصفة هائلة، فقد اختفت مجتمعات ساحلية بأكملها، بما فيها صناعة الأسماك.

ساد الاعتقاد للوهلة الأولى أن مدينة «نيو أورليانز» نجت منه، حيث إن الإعصار لم يضربها بصورة مباشرة، إلا أن الحالة تحوّلت إلى كارثة، حين فاضت مياه بحيرة «بونشارترين»، الواقعة إلى الشمال من المدينة المتصلة بالخليج، حيث غمرت المدينة، وانهارت الجسور المدعّمة بالجدران، التي أنشئت للمحافظة على المياه في البحيرة، ولحماية أجزاء المدينة ذات الموقع المنخفض، إذ وقع الانهيار في موقعين تدفقت منهما المياه، وانهار جسر آخر على جانب الخليج من المدينة مضيئاً، ما زاد في مياه الفيضان، ففرق قرابة (80%) من «نيو أورليانز» من عمق يصل إلى سنتيمترات عدة إلى قِمّة السطح أو أكثر عمقاً (الشكل 10 هـ). لقد وقعت الصدمة العظمى على أناس كان بمقدورهم الإخلاء ولم يفعلوا، وآخرين لم يتمكنوا من الإخلاء؛ بسبب عدم توافر وسائل المواصلات، وهناك جزء من المدينة لم يصله الفيضان، يقع في الربع الفرنسي (المدينة القديمة)، وهي منطقة «نيو أورليانز» الشهيرة بالموسيقا و«ماردي جراس»، أدرك الناس الذين بنوا مدينة «نيو أورليانز» قبل مئتي عام مضت، أن معظم المنطقة منخفضة الارتفاع، وأقاموا البناء على الجسور الطبيعية لنهر المسيسيبي (Natural Levees). وقد تكوّنت الجسور الطبيعية بفعل الترسيب الدوري فوق ضفاف النهر لآلاف السنين، حيث تكون موازية للنهر ومرتفعة بالنسبة إلى الأراضي المجاورة، موفرة حماية طبيعية من الفيضان.

وحيث صُرّفت المياه إلى المستنقعات والسبخات في المناطق المنخفضة، امتدت المدينة في المناطق المنخفضة مع أخطار فيضان كبيرة، وأصبح جزء كبير من المدينة أشبه بتجويف طبيعي، تقع أجزاء منها على عمق متر أو قرابة ذلك، تحت مستوى سطح البحر، (الشكل 10 ز).

من المعلوم ومنذ القدم أنه إذا ضرب إعصار كبير إحدى المدن ضربة مباشرة أو شبه مباشرة، فالنتيجة فيضان واسع وخسائر كبيرة، وعلى الرغم أنه لم يتم تجاهل التحذيرات كلياً، إلا أنه لم تخصص مبالغ للمحافظة على الجسور



الشكل (10 و): خريطة ومقطع عرضي "نيو أورليانز"، معظم المدينة تحت مستوى البحر بين نهر المسيسيبي وبحيرة بونشارترين.

أعدت فرقة الهندسة في الجيش الأمريكي، المسؤولة عموماً عن حماية مدينة "نيو أورليانز" من الفيضان، مسودة تقرير عام 2006م، يتعلق بالإعصار ونظام الحماية من الفيضان، واعترفوا بأن النظام تطوّر شيئاً فشيئاً في أثناء عقود عدّة، وأنه كان نظاماً بالاسم فقط، وعلى الرغم من ذلك، فقد بُنيت منشآت الحماية من أجل حماية المدينة، وأنّ انهيارها كان مسؤولاً عن معظم الفيضانات، التي نتجت عن إعصار كاترينا (2005م).

سيعاد بناء نيو أورليانز New Orleans Will Be Rebuilt

شعب "نيو أورليانز" مرن، وسيعيد هذه المدينة التاريخية الشهيرة إلى ما كانت عليه، وقد تعلمنا من هذا الحدث، وهناك تدابير أفضل اتخذت لتأكيد أنّ مثل هذا النوع من الكوارث، سيكون أقلّ حدوثاً في المستقبل، فعلى سبيل المثال: في بعض المناطق حيث فيضان المياه، على الرغم من انهيار الجسور مستقبلاً، ستكون أقلّ ارتفاعاً من طابق واحد، وسيعاد البناء، بحيث يشمل على مبانٍ مقاومة للفيضان، بإنشاء مناطق معيشية على الطابق الثاني.

الشكل (10 ز): أشجار السرو. الأراضي الرطبة للمياه العذبة على ساحل "لويزيانا".



■ جرى إصلاح نظام الحماية المقاوم لفيضان الأعاصير بكلفة بلغت قرابة (800) مليون دولار منذ كاترينا، وهذه هي الأجزاء الأقوى في الحماية من الفيضان، وفي الوقت الحاضر بقي مستوى الحماية على حاله قبل كاترينا.

■ وإنصاف الفرقة، فإنّ بنيات السيطرة على الفيضان كانت في الغالب قليلة التمويل، ومثلما هو الحال بالنسبة إلى "نيو أورليانز" فقد امتدّت الإنشاءات على مدى سنوات عدة. نأمل أن نكون قد تعلّمنا من كاترينا، وأن نبني نظام حماية ضد كاترينا أكثر فعالية لمدينة "نيو أورليانز"، وكذلك بالنسبة إلى مدن الولايات المتّحدة الأخرى، حيث يتوقّع حدوث الأعاصير.

■ والسؤال المهمّ هنا، هل سيتركّر حدوث الفيضان ثانية على الرغم من إنشاء دفاعات للفيضان أقوى وأعلى؟ بالتأكيد نعم - عندما تضرب عاصفة أكبر، فأضرار المستقبل أمر محتوم، وإذا أمكن إصلاح سيخات المياه العذبة، وسمح لمياه نهر المسيسيبي للجريان من خلالها ثانية، فإنّها ستساعد على تكوين طبقة حماية من الرياح والأمواج، ومثلما أسلفنا، فإنّ سيخات المياه العذبة توفرّ خشونة للأرض تقلل من سرعة الرياح، وتصدّ من تقدّم الأمواج من الخليج، إذ يمكن لكلّ (1.5 km) من أراضي السبخات، أن تخفّض الأمواج قرابة (25 cm).

■ وهناك حاجة لصرف مبالغ كبيرة من الأموال لجعل "نيو أورليانز" أكثر مقاومة لعواصف المستقبل، ففي ضوء البلايين الكثيرة من الدولارات إثر الأضرار الناتجة عن الكوارث، فيبدو أنّه من الحكمة صرف الأموال بطريقة فعّالة؛ من أجل حماية المصادر المهمّة، وخصوصاً في مدننا الرئيسيّة.

بعض استنتاجات التقرير⁽¹⁸⁾:

■ عدم الإسهاب في الرجوع إلى الماضي للحماية من الفيضان، بينما انهارت بنيات السيطرة الأولى على الفيضان، وتصميم محطّات الضخّ لإزالة مياه الفيضان في مكانها، ولم تصمّم للعمل في ظروف إعصار رئيسّ ذي فيضان كبير.

■ تجاوز إعصار كاترينا مقياس تصميم بنيات الحماية من الفيضان، فبعض الجسور وجدران الفيضان انهارت؛ بسبب تجاوزها بمياه الفيضان، بينما انهار بعضها الآخر دون أن تتجاوزها مياه الفيضان، وأنما بسبب الحثّ من الجهة الأمامية.

■ كان الهبوط الأقليمي أسرع من المتوقّع، فارتفاعات بنيات الحماية من الفيضان لم تكن معدّة للهبوط، وبعض جدران الفيضان والجسور كانت أقلّ بمترو واحد عن الارتفاع المصمّمة من أجله.

■ على الرغم من أنّ المعرفة العلمية عن الأعاصير واندفاعات العواصف قد ازدادت، إلّا أنّ خطّة السيطرة على الفيضان لم تُحدّث، وكان كلّ تكيف مجزئاً، بدل أن يكون ثابتاً ومنتظماً.

■ كانت توابع الفيضان مركّزة، فأكثر من (75%) من الموتى أعمارهم تزيد على (60 yr)، وقد وجدوا في المناطق الأكثر عمقاً في مكان الفيضان، ورقم الوفيات الأكبر حدث للمسنين والفقراء والعجزة؛ وذلك لعدم قدرتهم على إخلاء المكان بسرعة ودون مساعدة.

لتدخل بعد ذلك طاقة كامنة بصورة حرارة كامنة (Latent heat) إلى العاصفة، فالحرارة الكامنة للمياه، هي كمّيّة الحرارة اللازمة لتحويل المياه السائلة إلى بخار، والحرارة الكامنة واحدة من مصادر الطاقة الأساسية (معدّل زمني لإنفاق الطاقة) للأعاصير، فكلمّا ارتفع الهواء الرطب، يحدث التكاثف (المطر) حين تنطلق الحرارة الكامنة، ما يسخّن الهواء ويجعله خفيفاً، وحين يرتفع الهواء الخفيف، تنجذب إلى الداخل المزيد من الطاقة في المياه الدافئة، ويزداد حجم العاصفة وقوّتها وشدّتها، فإذا وصلت سرعة الرياح في العاصفة إلى (63 km)، فإنّ المنخفض يدعى عاصفة مدارية، ويطلق عليها اسماً.

تبدأ الأعاصير بصورة اضطرابات مدارية، ممثلة في مناطق شاسعة ذات طقس غير مستقرّ، بقطر يبلغ (600 km)، حيث تتوافر في هذه المنطقة كتلة من العواصف الرعدية المنتظمة ذات ضغط منخفض، تتضمّن دورة أولى ناتجة عن حركة العاصفة ودوران الأرض، وقد ينمو منخفض مداري في حجمه وقوّته واندفاعه، فينجذب معظم الهواء نحو المنخفض، ثم يبدأ بالدوران عكس عقارب الساعة في النصف الشمالي من الكرة الأرضية، ومع عقارب الساعة في النصف الجنوبي من الكرة الأرضية، حيث تزداد شدّة العاصفة؛ بسبب عملية تبخّر مياه البحر الدافئة وانجذابها إلى العاصفة، ويحدث هذه العملية تزداد طاقة العاصفة، وتتبخّر مياه البحر، وتحوّل من حالة المياه السائلة في البحر إلى بخار الماء (غاز) في جسم هواء العاصفة.

وحين تقترب الأعاصير من بلوغ اليابسة، وتنتقل فوق المياه الضحلة، فإنَّ سرعتها تتباطأ في العادة، لكنَّ شدَّتها تزداد حين تصادف مياهًا دافئة.

ليس الهواء بذاته هو أكثر مظاهر الأعاصير خطورة، على الرغم من أنَّ الرياح العنيفة تكون مهلكة، ففي الغالب، ما يتسبَّب في الفيضان وفقدان الأرواح هو اندفاع العاصفة (storm surge)، انظر الشكل (10-19)، وهو ارتفاع موضعي لمستوى البحر، ينتج عندما تدفع رياح الإعصار المياه نحو الساحل، وقد تصل اندفاعات العاصفة، مثل ارتفاع سريع في مستوى البحر، أو سلسلة من الأمواج التي قد تزيد من عمق المياه قرب الساحل بأمتار عدَّة، إلى ما يزيد على (10 m)، ويكون اندفاع العاصفة بوجه عام، هو الأعلى على جزء العاصفة الدوَّار، الذي يدفع نحو اليابسة، وعلى سبيل المثال: يكون اندفاع العاصفة وسرعة الرياح في خليج المكسيك في اتِّجاه الشرق أعلى منه في اتِّجاه الغرب (الربع الأمامي الأيمن للعاصفة)، حين يدور الإعصار في اتِّجاه عكس عقارب الساعة، وكان اندفاع العاصفة شرق "نيو أورليانز" في أثناء إعصار "كاترينا"، أعلى بوضوح منه في الجزء الأوسط أو الغربي من العاصفة، وإذا توافق وصول العاصفة مع المدِّ العالي، فإنَّ اندفاع العاصفة سيحدث ارتفاعًا عاليًا، فقد نتجت معظم حالات الوفاة في أثناء الأعاصير؛ بسبب اندفاعات العواصف، التي تؤدِّي إلى غرق الناس أو اصطدامهم ببعض الأجسام الصلبة في أثناء الاندفاع، وعندما يتحرَّك الاندفاع على الشاطئ، فلن يكون على هيئة خطٍّ مائي متقدِّم، بل على صورة ارتفاع مستمرٍّ في مستوى البحر مع بلوغ الإعصار إلى اليابسة، ويمكن القول: إنَّ اندفاع العاصفة الحقيقي، قد يظهر في بعض المناطق على صورة سلسلة من الأشكال الموجية التي تغمر اليابسة.

تتكوَّن معظم الأعاصير في حزام يقع بين (8) درجات شمالاً و(15) درجة جنوباً من خطِّ الاستواء، حيث تزيد درجة حرارة سطح المياه الدافئة على (C;27)، وفي أثناء المعدل السنوي، فإنَّ خمسة أعاصير تقريباً تتكوَّن، ومن الممكن أن تهدد سواحل الأطلسي والخليج.

الأعاصير عواصف ذات طاقة عالية، وحجمها يُعدُّ كبيراً بالمقاييس البشرية، ومن المعتاد في الصور الجويَّة ملاحظة إعصار متحرِّك نحو الولايات المتَّحدة، بمساحة تقدر بحجم خليج المكسيك، يمتدُّ من فلوريدا إلى تكساس ووراء ذلك.

يظهر في الشكل (10-17) شكل عامٌّ للإعصار والعمليات التي تحدث به، وقد يحتوي الإعصار على طبقات من العواصف سريعة الدوران، وخطايا رعدية بعين، حيث يهبط الهواء إلى المركز حول ما يسمَّى بجدار العين، وعندما يدور الهواء الرطب داخل العاصفة، تنتج طبقات مطرية شديدة، أمَّا عندما يتحرَّك الإعصار عبر الجزيرة، فإنَّه يُجرَّد من بعض طاقته، ما يُضعفه في الغالب، وعندما يبلغ الإعصار اليابسة على قارة، ثم يتحرَّك داخل الأراضي، فإنَّه يضعف ويموت في النهاية، إلا أنه من الممكن أن تؤدِّي العاصفة والأمطار إلى فيضان نهري خطر على اليابسة، وقد تولد الأمطار الشديدة على المنحدرات انزلاقات أرضية متعدِّدة، مضيِّفة أخطاراً إضافية. تصنف الأعاصير بحسب حجمها وشدَّتها، ويمثِّل الجدول (10-1) مقياس أعاصير سافير - سيمبسون، الذي يستخدم لتقدير أضرار الرياح الكامنة والفيضان، وفيه خمس فئات، تكون الفئة الأولى أصغرها، والفئة الخامسة أكبرها، إذ تكون أعاصير الفئة الخامسة قادرة على إحداث أضرار كارثية، أمَّا عاصفة الفئة الأولى، فتُعدُّ حادثاً جدياً وخطيراً.

نعرف الإعصار حين يأتي، حيث تُظهر صور الأقمار الصناعية والصور الجويَّة عالية الارتفاع مواقع المنخفضات المدارية والعواصف المدارية، التي يمكننا مراقبتها، لنرى إن كانت ستتحوَّل إلى أعاصير، وللتحقُّق من بيانات الأقمار الصناعية، تُحلَّق طائرات خاصة خلال العواصف، وتُسجَّل سرعة الرياح، ودرجة حرارة الهواء وضغطه، فعندما يتكوَّن الإعصار، تكون حركته المستمرَّة (وتسمَّى مساره) مراقبة. يظهر الشكل (10-18) مسارات لأربعة أعاصير عام 2005م.



الشكل (10-17): شكل الإعصار وعملياته. تتحوَّل الطاقة من مياه المحيط الدافئة إلى العاصفة، التي قد يصل قطرها إلى (600 km). المكونات الأساسية هي طبقات دوَّارة من العواصف الرعدية، والهواء الدافئ المرتفع حول العين في السماء الصافية مع الهواء الهابط، وجدار العين بوصفه حدًّا بين طبقات المطر الدوَّارة والعين.

الجدول (10-1): مقياس سافير - سيمبسون للأعاصير.

مقياس أعاصير "سافير - سيمبسون" يتدرج من (1 إلى 5)، اعتماداً على شدة الإعصار، ويستخدم لإعطاء تقدير لأضرار الممتلكات المحتملة، والفيضان المتوقع حدوثه على الساحل؛ بسبب بلوغ الإعصار، تُعدّ الرياح عامل التقدير في المقياس، حيث تعتمد قيم اندفاع العاصفة على انحدار الرصيف القاري في الإقليم، الذي يتوقع أن يبلغه الإعصار.	
إعصار الفئة الأولى	سرعة الرياح (119) إلى (153 km/hr). اندفاع العاصفة عادة (1.2 - 1.5 m) فوق المعتاد. ليس هناك ضرر لبنيات المباني، وتتضرر المنازل المتحركة عديمة الأساسات والشجيرات والأشجار، وبعض الضرر في اللافتات ضعيفة التثبيت. الفيضان على الطرق الساحلية، والحاق ضرر بسيط في الأرصفة البحرية كذلك. لقد عُدّ إعصارا أليسون 1995م، وداني 1997م من الفئة الأولى في أوج شدتها.
إعصار الفئة الثانية	سرعة الرياح (154 - 177 km/hr). اندفاع العاصفة عادة (1.8-2.4 m) فوق المعتاد. إلحاق الضرر بأسقف المباني وأبوابها ونوافذها. أضرار كبيرة للشجيرات والأشجار وخلعها. وأضرار كبيرة أيضاً للبيوت المتحركة واللافتات ضعيفة التثبيت والأرصفة. فيضان الساحل وطرق النجاة قبل ساعتين أو أربع ساعات من وصول مركز الإعصار. كسر مرابط صغيرة غير محمية. كان إعصار بوني عام 1998م من الفئة الثانية، حين ضرب شمال ساحل كارولينا، وكان إعصار جورج عام 1998م من الفئة الثانية أيضاً، حين ضرب «فلوريدا كيز» وساحل خليج المكسيك.
إعصار الفئة الثالثة	سرعة الرياح (178 - 209 km/hr). اندفاع العاصفة عادة (2.7-3.7 m) فوق المعتاد. إلحاق الضرر بأساسات المنازل الصغيرة ومباني الخدمات العامة، وقليل من انهيار الجدران. الإضرار بالشجيرات والأشجار وعصف أوراقها واقتلاع الكبيرة منها، وتدمير البيوت المتحركة واللافتات ضعيفة التثبيت. قطع طرق النجاة المنخفضة؛ بسبب ارتفاع المياه قبل ثلاث إلى خمس ساعات من وصول مركز الإعصار، يدمر الفيضان البنيات الصغيرة القريبة من الساحل، أما الكبيرة فتتضرر بسبب تعرضها للقصف بالقطع الفتاتية الطافية. تغمر الأرض دائماً الانخفاض لأقل من (1.5 m) فوق متوسط مستوى البحر، وقد تغمر اليابسة مسافة (13 km) أو أكثر. وقد يتطلب الأمر إخلاء سكان المناطق المنخفضة في مبانٍ شاطئية عدّة، كان إعصار «روكسان» عام 1995م من الفئة الثالثة عند بلوغه اليابسة على شبه جزيرة يوكاتان في المكسيك؛ وكان إعصار «فران» عام 1996م من الفئة الثالثة عند بلوغه شمال كارولينا.
إعصار الفئة الرابعة	سرعة الرياح (210-249 km/hr). اندفاع العاصفة عادة (4-5.5) المعتاد. انهيار شامل للجدران، مع انهيار كامل لبعض بنيات الأسقف والمنازل الصغيرة. اقتلاع الشجيرات والأشجار واللافتات. تدمير كامل للمنازل المتحركة جميعها، وضرر شامل للأبواب والنوافذ. قطع الطرق المنخفضة، بسبب المياه المرتفعة (3-5) ساعات قبل وصول مركز الإعصار. أضرار كبيرة في الطوابق السفلية للبنيات قرب الشاطئ. يمكن أن تغمر الأراضي الواقعة من (3.1 m) فوق مستوى البحر، وهذا يتطلب إخلاءً للمناطق السكنية كلياً إلى مسافة تصل (10 km) تقريباً. كان إعصار «لويس» عام 1995م من الفئة الرابعة، حين تحرك فوق جزيرة «ليوارد»، ووصل إعصار «فليكس وأوبال» عام 1995م إلى الفئة الرابعة، حين تحرك فوق جزيرة «ليوارد»، وقد وصل إلى الفئة الرابعة في أوج شدته.
إعصار الفئة الخامسة	سرعة الرياح تزيد على (249 km/hr). اندفاع العاصفة عادة أكثر من (5.5 m) فوق المعتاد. انهيار كلي لكثير من المباني السكنية والصناعية. مع عصف مباني الخدمة العامة الصغيرة، اقتلاع الشجيرات والأشجار واللافتات جميعها. تدمير كلي للمنازل المتحركة. تدمير شديد للأبواب والنوافذ. قطع الطرق في المناطق المنخفضة؛ بسبب ارتفاع المياه قبل ثلاث أو خمس ساعات من وصول مركز الإعصار. أضرار كبيرة في الطوابق السفلى من البنايات جميعها التي تقع على (4.6 m) فوق مستوى البحر، ضمن (458 m) من الشاطئ. إخلاء كامل للسكان في المناطق الواقعة في الأراضي المنخفضة بين (8-16 km) من الشاطئ. عُدّ إعصار «ميتش» عام 1998م من الفئة الخامسة في أوج شدته على غرب الكاريبي، وعُدّ أيضاً إعصار «جلبرت» عام 1988م من الفئة الخامسة في أوج شدته، وعُدّ الإعصار المداري الأطلسي الأقوى المسجل.
المصدر	
Modified after Spindler, T., and Beven, J., 1999., Saffir-Simpson Hurricane Center, National Oceanic and Atmospheric Administration, http://www.nhc.noaa.gov/aboutshs.html , (Accessed 5/23/01).	

- قد تتكوّن واحدة من ثلاثة مسارات للعاصفة:
1. عاصفة متّجهة نحو الساحل الشرقي لفلوريدا، تمرّ أحياناً فوق جزر، مثل «بورتوريكو»، وقبل أن تضرب الأراضي تتحرّك خارجاً في المحيط الأطلسي نحو الشرق.
 2. عاصفة تتحرّك فوق كوبا وعبر خليج المكسيك لضرب ساحل الخليج.
 3. تطوف العاصفة على امتداد الساحل الشرقي، وقد تضرب اليابسة من وسط فلوريدا إلى نيويورك.



الشكل (10-18): مسارات أربعة أعاصير عام 2005م، (National Hurricane Center)



الشكل (10-19): اندفاع العاصفة وأمواج عاتية نتجت عن إعصار «جلوريا» في 27 سبتمبر عام 1985م، في «نيوجرسي».
(Scott Thode / ImageState)

(1) الفيضان الذي ينتج عن هطل الأمطار الشديد، ونقل مياه المحيط نحو اليابسة عن طريق الأمواج التي تسوقها، ذكر سابقاً.

(2) اندفاعات العواصف⁽¹⁵⁾، يبين الشكل (10-21) احتمالية أن يضرب إعصار منطقة ساحلية، خصوصاً على بعد (80 km) من المحيط الأطلسي أو الخليج في سنة معينة، لاحظ أن الاحتمالات قد تكون عالية بوجه خاص في «فلوريدا» أو ساحل «لويزيانا».

تراقب العواصف التي قد تتطور إلى أعاصير عن طريق الأقمار الاصطناعية، وطائرات خاصة مصممة لتحلّق عبر العواصف.

تشتمل الأخطار الناتجة عن الأعاصير على رياح عاتية، قد تمزق الألواح والعوارض الخشبية من الأسقف، وتعصف بالأشجار وخطوط الخدمات العامة، وعادة ما تُحدث خراباً للبنيات التي أقامها الإنسان، أما العمليات التي تقتل معظم الناس، وتُحدث غالباً معظم الأضرار، فهي:

عشرين شخصًا، وعلى الرغم من ازدياد عدد السكان على سواحل الأطلسي والخليج، إلا أن خسائر الأرواح التي تسببها الأعاصير نقصت بصورة ملحوظة؛ بسبب تطوّر عمليات التنبؤ والتحذير، لكنّ كمّية الضرر بالملكيات ازدادت بصورة كبيرة.

والقلق في المدن الكبيرة، مثل "ميامي ونيو أورليانز" (خاصة بعد معاناة كاترينا عام 2005م)، من الإجراءات غير المرضية في طرق الإخلاء، ومجموعة قوانين البناء، والجاهزية للكوارث، التي قد تسهم في إحصار كارثي آخر على ساحل الأطلسي والخليج.

7-10 الإدراك والتكيف مع الأخطار الساحلية

PERCEPTION AND ADJUSTMENT TO COASTAL HAZARDS

إدراك الحثّ الساحلي

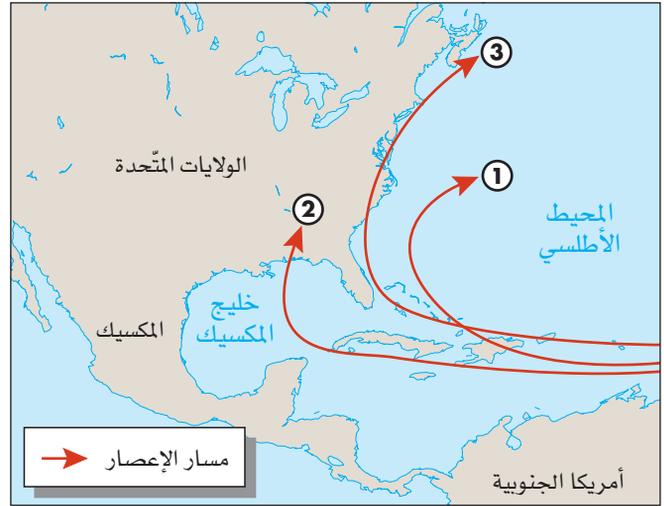
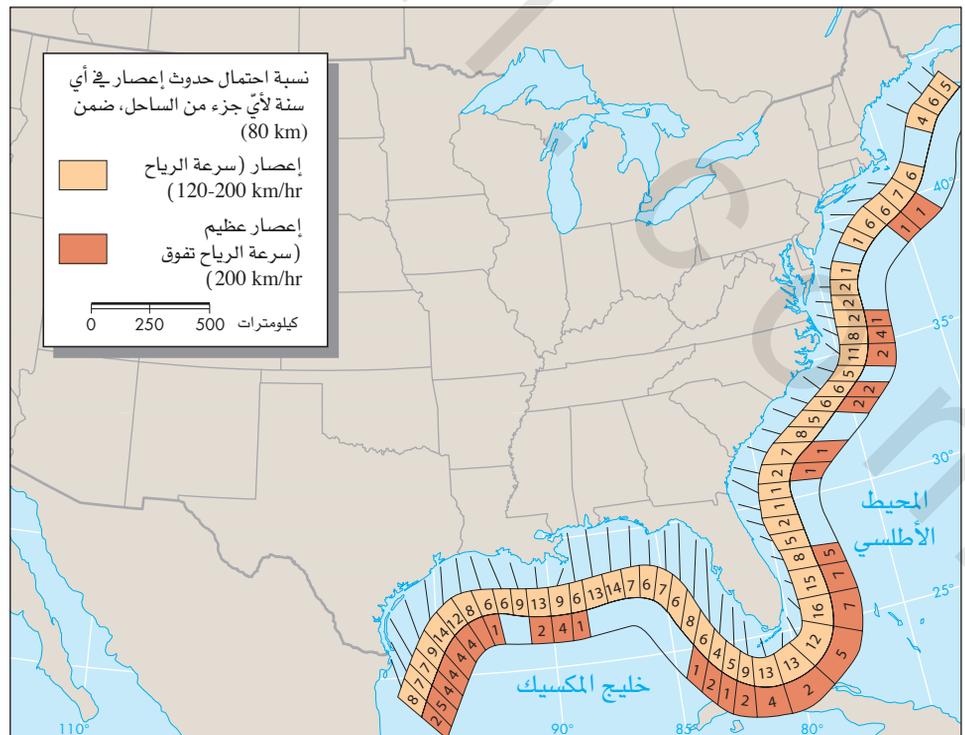
Perception of Coastal Erosion

إن خبرة الأفراد، وقربهم من الساحل، وإمكانية تعرّض ممتلكاتهم للأضرار، تعمل جميعًا بوصفها دورًا أساسيًا في إدراك أهمّية الحثّ الساحلي والأخطار الطبيعية. وقد بيّنت إحدى دراسات الحثّ الساحلي للجروف البحرية، قرب "بوليناز، كاليفورنيا" على بعد (24 km)، إلى الشمال من المدخل إلى خليج سان فرانسيسكو، أنّ الناس الذين يعيشون بالقرب من الساحل، في منطقة معروفة بتعرّضها للأضرار في المستقبل القريب، هم في العادة يعلمون بالحثّ، ويرون فيه تهديدًا حقيقيًا⁽¹⁶⁾، أمّا أولئك الذين يعيشون على بعد بضعة مئات من الأمتار عن الأخطار المحتملة، فعلى الرغم من أنّهم على دراية بالأخطار، لكنّهم يعرفون القليل عن تكرار حدوثها وشدّتها وإمكانية التنبؤ بها، وأبعد من ذلك، في اليابسة يكون الناس على دراية بوجود الحثّ الساحلي، لكن إدراكهم لأخطاره محدود.

الشكل (10-21): خريطة أخطار الإعصار.

احتمالية ضرب الإعصار لمنطقة تقع على (80 km) جنوب ساحل الأطلسي في سنة ما.

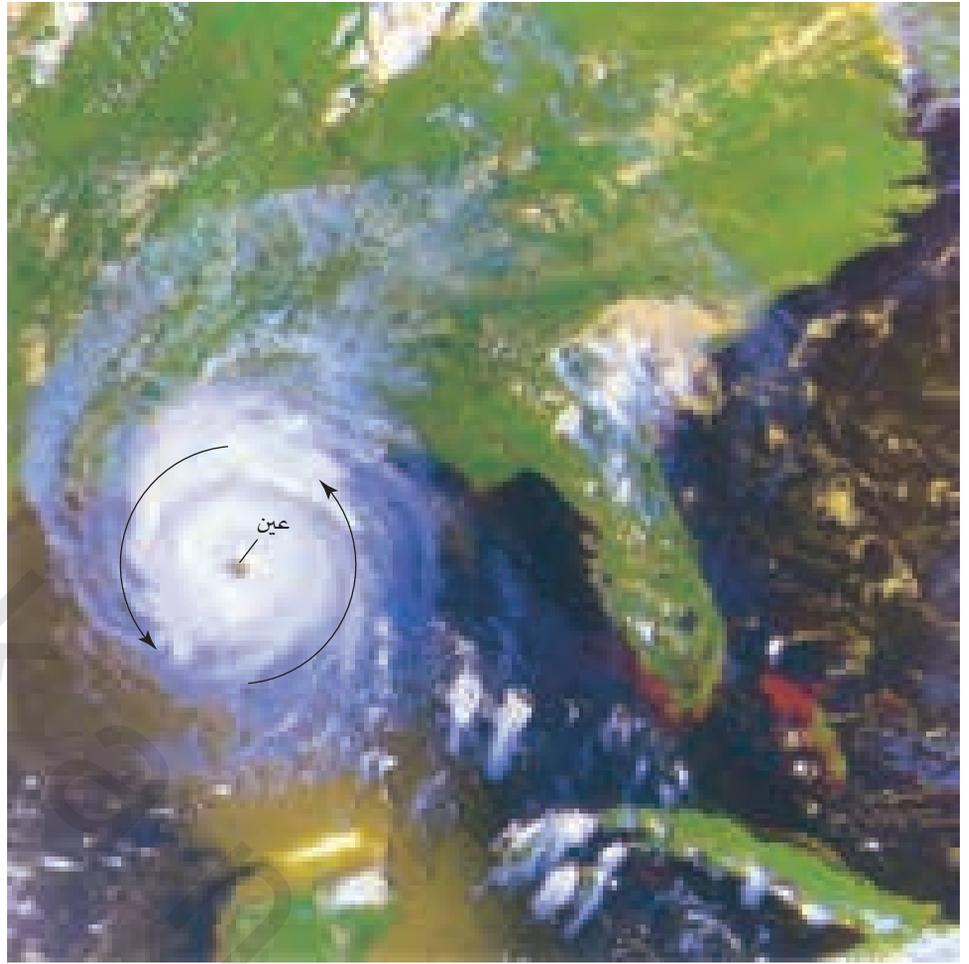
(From Council on Environmental Quality, 1981, Environmental trends)



الشكل (10-20): مسارات الإعصار. ثلاثة مسارات للأعاصير في المحيط الأطلسي.

قد تترنح أضرار الممتلكات بفعل الأعاصير (تذكر إعصار كاترينا)، وبوصفه مثالاً آخر، تأمل إعصار "أندرو"، الذي ضرب فلوريدا في أغسطس عام 1992م، فقد كانت العاصفة من أكثر العواصف كلفة في تاريخ الولايات المتحدة، حيث تجاوزت الأضرار (25) بليون دولار، وعدا عن عملية الإخلاء، فقد كان من النتائج المباشرة للإعصار فقدان (23) من الأرواح، وصار (25,000) نسمة بلا مأوى، وكانت أضرار المنازل والمباني شاملة، فقد دُمّر قرابة (25,000) منزل، وسُوّيت المناطق المجاورة في فلوريدا كليًا، انظر الشكل (10 - 22)⁽¹⁶⁾، ولحقت الأضرار بـ (10.000) بناية تقريبًا، من بينها مركز الإعصار الوطني في فلوريدا، حيث سقط هوائي الرادار المحمي داخل قبة عن السقف⁽¹⁶⁾، وضرب ساحل شمال كارولينا إعصاران في صيف عام 1996م، وقد تسببت العاصفة الثانية في أغسطس بأضرار بالممتلكات بلغت قرابة ثلاثة بلايين دولار، وأدت إلى مقتل أكثر من

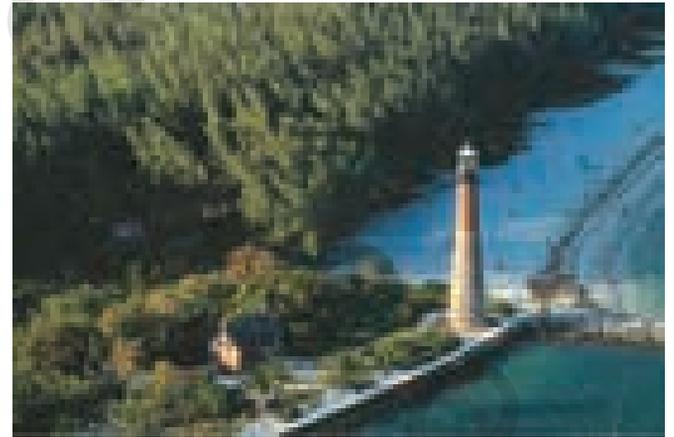
الشكل (10-22): إعصار عبر فلوريدا وخليج المكسيك. (أ) صورة متعددة الطيف، تبيّن إعصار أندرو في 25 أغسطس عام 1992م. غادرت العاصفة جنوب فلوريدا بعد أن خلّفت أضرارًا كبيرة، وتحركت نحو لويزيانا. (ب) منارة على رأس فلوريدا على خليج بيسكايني، ميامي، فلوريدا قبل وصول الإعصار. (ج) الساحل نفسه بعد الإعصار.



(أ)



(ج)



(ب)

العاصفة بالمرور من أسفلها، انظر الشكل (10-23)، ومن مظاهر تكيف المجتمع أيضًا، محاولة تعديل الخسائر، بتدعيم البيئة ببنيات حماية، وتثبيت أراضي، وتكييف مخطط استعمال أراضي أفضل، ووسائل إخلاء وتحذير أفضل⁽²⁰⁾، وقد تشتمل عمليات التكيف طويل الأمد على إعادة ترميم الأراضي الساحلية الرطبة، لتوفير مصدّة من أمواج العواصف واندفاعاتها.

الحتّ الساحلي Coastal Erosion يندرج التكيف مع السواحل عادة في ثلاثة أصناف، هي:

التكيف مع أخطار الساحل

Adjustment to Coastal Hazards

الأعاصير المدارية Tropical Cyclones يتكيف الناس مع أخطار الأعاصير المدارية، إمّا بعدم عمل أيّ شيء، وتحمل الخسائر، أو بأخذ بعض الإجراءات لتعديل الخسائر المحتملة، فعلى سبيل المثال: قد تُبنى المنازل في المناطق المعرضة للأعاصير، بحيث يُسمح لمياه اندفاع

الشكل (10-23): منزل مقاوم للإعصار. أحد المنازل في "فلوريدا كيز" مبني بقوالب قوية، لتصمد في وجه رياح الإعصار القوية، وبفراغ أسفل المبنى، للسماح بجريان مياه اندفاعات العاصفة فيها. (Edward A. Keller)



فإن الشواطئ ملك للناس جميعهم، ومن حقهم الاستمتاع عليها، وليست فقط لأولئك المحظوظين كثيرًا، القادرين على شراء ممتلكات في جبهة الشاطئ، لقد أخذت ولاية هاواي هذه الفكرة في القلب، وعدت الشواطئ جميعها ممتلكات وطنية، ولا يُحظر على أصحاب الملكية المحلية من الوصول إلى الأماكن الأخرى.

وبقبول فلسفة أنه مع تحفظات بسيطة، فإن تنمية النطاق الساحلي تُعدّ مؤقتة ومستهلكة، ويتعين أن تخضع أولاً لاعتبارات متطلبات القطاع العام، ويقتضي ذلك الموافقة على المبادئ الخمسة الآتية⁽²⁰⁾.

1. الحث الساحلي عملية طبيعية، وليست خطرًا طبيعيًا، وتنتج مشكلات الحث حين يبني الناس في النطاق الساحلي، وهو منطقة ترتبط فيها العمليات الطبيعية بالأموال والرواسب المتحركة؛ ولأن هذه البيئة تحتاج إلى درجة معينة من الحث الطبيعي، فإن أفضل استعمال الأراضي، هي تلك التي تتسجم مع التغير، حيث تشمل أنشطة استجمام، مثل السباحة وصيد الأسماك.

2. أي إنشاءات على الشاطئ تتسبب في التغيير، فالبيئة الشاطئية فعّالة، وأي تدخل مع العمليات الطبيعية يؤدي إلى تغييرات ثانوية وثلاثية، ومعظمها ذات عواقب عكسية، تحدث بوجه خاص، إذا استخدمت المنشآت الهندسية، مثل الجدران الطولية والجدران البحرية، التي تؤثر في تخزين الرواسب وتدفعها على امتداد المنطقة الساحلية.

3. تثبيت النطاق الساحلي عن طريق منشآت هندسية، يحمي ملكية خاصة لعدد محدود من الناس على حساب القطاع العام، فالهدف من المنشآت الهندسية على خط الشاطئ هو حماية الممتلكات والمنشآت، وليس الشاطئ في حد ذاته، وهناك من يزعم أن مصالح الأشخاص ذوي الممتلكات الشاطئية، لا تتسجم مع المصلحة العامة، وأنه من غير الحكمة أن تصرف مبالغ كبيرة من الأموال العامة، من أجل حماية ملكية بعض الأشخاص.

■ تغذية الشاطئ، التي تهدف إلى محاكاة العمليات الطبيعية (الحلّ الرخو).

■ تثبيت الشاطئ بينات، مثل الجدران الطولية (groins)، والجدران البحرية (seawalls) (الحلّ الصلب).

■ تغيير استعمال الأراضي، في محاولة تقادي المشكلة، وذلك بعدم البناء في مناطق الأخطار أو إنشاء مبانٍ مهددة.

من العمليات الأولية لأيّ توجه في إدارة الحث الساحلي تقدير معدلات الحث، وتستند تقديرات الحث المستقبلي على تغير الشاطئ تاريخيًا، أو على تحاليل إحصائية للبيئة المحيطة مثل الأمواج والرياح والإمداد بالرسوبيات، التي تؤثر في الحث الساحلي (بعض التطبيقات الرقمية على ميزانية الشاطئ)، ثمّ توضع التوصيات المتعلقة بالارتدادات (setbacks)، التي يعتقد أنها تمثل معايير الحد الأدنى لبرامج إدارة الحث الساحلي المحلي أو الولائي، الارتداد (setback) هو المسافة من خط الشاطئ إلى حيث مناطق التنمية التي يُسمح بها ببناء المنازل مثلاً، وهناك عدد قليل من الولايات (من بينها فلوريدا، ونيوجرسي، ونيويورك، وكارولينا الشمالية)، التي تتخذ ارتداداً للمباني بحسب معدل الحث (انظر إلى نظرة متفحّصة: خطوة ونطاقات (E. Lines and E-zones)، مفهوماً الارتداد ذو ميزة في إدارة حث الساحل، وهو في قلب تخطيط استعمال الأراضي، من أجل تخفيض الأضرار الناتجة عن حث الساحل.

نصف اليوم على مفترق طريق بالنسبة إلى التكيف مع حث الساحل، ولا بدّ من طريق تؤدي إلى الزيادة المستمرة في الدفاعات الساحلية، في محاولة للسيطرة على عمليات الحث، والطريق الثانية تتضمن تعلمنا كيفية العيش مع الحث الساحلي، من خلال تخطيط بيئي مرن، واستعمال أراضٍ حكيم في النطاق الساحلي (انظر تاريخ حالة: جدلية المنارة)، وتتبع الطريق الأولى تاريخ محاولتنا للسيطرة على الحث الساحلي، من خلال إنشاءات هندسية، مثل الجدران البحرية، وفي الطريق الثانية، فإنّ الإنشاءات في النطاق الساحلي مع تحفظات على تسهيلات مهمة في منطقة محدّدة، تعدّ مؤقتة ومستهلكة، إذ يُفترض أن تكون التنمية في النطاق الساحلي وفق مصلحة الأمة، وليس وفق مصلحة مجموعة من الأفراد المستفيدين من تنمية واجهة المحيط، تُعدّ هذه الفلسفة غريبة عن وجهة نظر التنميين، الذين يعدّون النطاق الساحلي "أعلى جدًّا من الأيبي"، وفي الحقيقة، فإنّ المشكلة ليست في التنمية في النطاق الساحلي، بل هي في التنمية غير الملائمة للمناطق الخطرة، والمناطق التي ينبغي استعمالها لأموال غير البناء، وبمعنى آخر،

نظرة متفصّلة A CLOSER LOOK

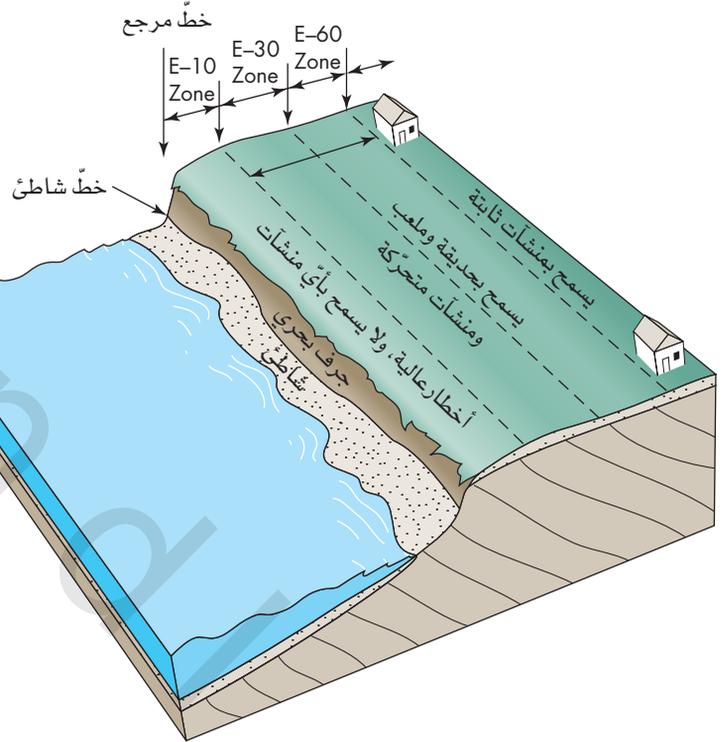
■ إنّ خطوط (E-) ونطاقات (E-) المعتمدة على معدّلات الحتّ، يجب أن ترسم خرائطها (الشكل 10 ح). وصمود (E) في وجه الحتّ، مثلاً خطّ (E-10) يمثّل الموقع المتوقّع حتّه في (10) سنوات، يُعدّ نطاق (E-10) خطراً وشيك الحدوث، حيث يجب عدم السماح لأيّ منشآت سكنية، وتعتمد مسافة الارتداد على معدّل الحتّ، على سبيل المثال: إذا كان المعدّل (1 m) سنوياً، فإنّ ارتداد (E-10) هو (10 m).

الشكل (10 ح): نطاقات أخطار الحتّ. شكل مثالي يبيّن مفهوم خطوط (E-) ونطاقات (E-)، بالاعتماد على الحتّ الساحلي من نقطة مرجعية، مثل جرف بحري أو خطّ كثبان. يعتمد عرض النطاق على معدّل الحتّ، ويحدّد مسافة الارتداد. بالطبع، وعلى الرغم من الارتداد المعتمد على (60) سنة من الحتّ المتوقّع (خطّ E-60)، فإنّ (60) سنة أسفل الطريق، ستكون المنشآت أقرب بكثير إلى خطّ الشاطئ، وستكون عرضة للحتّ. إنّها نوع من المخطّط. (من مجلس البحث الوطني، 1990م، إدارة حتّ السواحل، واشنطن DC: المطبعة الأكاديمية الوطنية).

خطوط E- ونطاقات A - E-Lines and A-Zones

طوّرت لجنة خاصّة من مجلس البحوث الوطني (NRC)، بناءً على وكالة إدارة الطوارئ الفدرالية (FEMA) توصيات لإدارة نطاق الساحل⁽²³⁾، ومن بينها ما يأتي:

■ يجب تقدير معدّلات الحتّ في المستقبل، بالاعتماد على تغيّر خطوط الشواطئ عبر التاريخ، أو التحليل الإحصائي للبيئة المحيطة (التي تشمل، الأمواج والرياح والإمداد الرسوبي، الذي يؤثّر في حتّ الساحل).



تُعدّ توصيات (NRC) المتعلقة بالارتدادات، المعايير الدنيا لبرامج إدارة حتّ الساحل المحلي والولائي، واستخدم عدد قليل من الولايات (ومن بينها فلوريدا، ونيوجرسي، ونيويورك وكارولينا الشمالية) ارتداداً يعتمد على معدّل الحتّ؛ ومعظم الولايات لا تطلب هذا النوع من الارتداد، وبجانب هذا، فإنّ لمفهوم خطوط (E-) ونطاقات (E-) ميزة حقيقية في إدارة النطاق الساحلي، تعتمد على الارتدادات المصمّمة للحتّ والإنشاءات المسموح بها.

■ يسمح بالمنشآت المتحركة في نطاق الخطر متوسط وبعيد الأمد (E-10 إلى E-60) (انظر الشكل 10 ح).

■ يسمح بالمنشآت الكبيرة الدائمة على ارتداد يزيد على خطّ (E-60).

■ أما المنشآت الجديدة التي بُنيت في اتجاه البحر عند خطّ (E-60)، باستثناء تلك الموجودة على الجروف العالية والجروف البحرية، فيجب أن تُقام على دعائم مقاومة للحتّ، ومرتبطة بعواصف عالية القوّة ومتكرّرة الحدوث في مدّة (100) سنة.

5. وبمجرّد إنشائها، فإنّ المنشآت الهندسية الشاطئية تنتج اتجاهًا لتنمية الساحل الذي يصعب انعكاسه أو يستحيل، وغالبًا ما تؤدّي المنشآت الهندسية إلى إصلاحات إضافية أو إنشاءات أكبر بتكلفة أعظم، ونجد في بعض المناطق، أنّ تكلفة الإنشاءات قد تتجاوز في النهاية قيمة الممتلكات

4. إنّ المنشآت الهندسية المصمّمة من أجل حماية الشاطئ قد تحطّمه في النهاية، وقد تحوّر المنشآت الهندسية البيئية الساحلية في الغالب، لدرجة جعلها تكاد بصعوبة تشبه الشاطئ، فمثلاً، إنشاء جدران بحرية كبيرة يتسبّب في ارتداد الأمواج واضطرابها، ما يضيق الشاطئ في النهاية.

جدلية المنارة Lighthouse Controversy

لحتّ الساحل، فإنّ المنارة ستبقى آمنة في موقعها الجديد حتى أواسط أو أواخر القرن الحادي والعشرين، إذ ضرب إعصار "دينس" الجزيرة عام 1999م بعد نقل المنارة، ولم يتضرّر هيكلها التاريخي كثيراً.

معركة أخرى تلوح في الأفق لمنارة على الساحل الشرقي، فهناك مئات من المنازل والمباني على ساحل جزيرة "لونج"، نيويورك، قريبة حاليًا إلى الشاطئ الذي يتعرّض للحثّ بشدّة، ومن بينها منارة "مونتوك" الشهيرة، التي بُنيت عام 1746م، على جرف مكوّن من رواسب جليدية خلفتها الأنهار الجليدية، حين تراجعت عن المنطقة منذ (15,000) سنة مضت، وقد كانت المنارة، حين أنشئت على بعد قرابة (100 m) عن المحيط، وأصبحت الآن على بعد قرابة (25 m) فقط عن المحيط، فاقترحت إحدى المجموعات، إنشاء بناء صلب بكلفة ملايين Z عدد من الدولارات بطول (280 m)، على صورة جدار صخري طويل (جدار بحري صخري)، لحماية قاعدة الجرف من الحثّ، بينما اقترحت مجموعة أخرى، نقل المنارة نحو اليابسة، وذلك يُعدّ تحدّيًا، أمّا الجدار الصخري فقد يؤدّي إلى تغيير في الساحل، ويؤدّي إلى مشكلات أخرى في المناطق المجاورة، إن حثّ الجرف يوفر إمدادًا بسيطًا من الرمال إلى الخلية الشاطئية لجزيرة "لونج"، لكنّ تخفيض الإمداد الرملي عند حماية الجرف بالصخور، قد يؤدّي إلى مشكلات حثّ للشواطئ بناحية الانجراف السفلي غربًا، وقد تضيق الشواطئ في أثناء فترة من السنين، بوصفه إحدى عواقب بناء الجدران البحرية، إضافة إلى أنّ الحلّ الصخري قد يكون سابقة لأعمال السيطرة بالإنشاءات الصلبة على حثّ الشواطئ، على جزيرة "لونج" وغيرها من المناطق الساحلية الشرقية، وخيار حماية المنارة ببناء إنشاءات، هي سياسة الولاية في حماية الخطّ في مواجهة الطبيعة، أمّا نقل المنارة فيبعث برسالة أنّ الناس يمكنهم إنقاذ المنارة، والتكيّف مع حثّ الساحل بطريقة طبيعية جدًّا، وبهذا يمكن المحافظة على البيئة الشاطئية بطريقة أفضل.

لقد شهدت كارولينا الشمالية تعارضًا حقيقياً في الأفكار المتعلقة بحثّ الشاطئ، وقد التزمت كارولينا الشمالية تاريخياً، بفلسفة أنّ الحثّ عملية طبيعية، لا يمكن لسكانها إلا أن يتعايشوا معها، وقد اختُبرت هذه الفلسفة عندما بدأ الحثّ يهدّد منارة رأس هايتراس التاريخية (الشكل I.10 أ)، التي تقع قرب بكستون، على حجاز جزر كارولينا الشمالية، الذي يعرف بالأرصفة الخارجية، فعندما أنشئت المنارة أصلاً في أواخر القرن التاسع عشر، فقد كانت على بعد (0.5 km) عن البحر، لكنّها أصبحت مع بداية التسعينيات على بعد (100 m) فقط عن البحر، وعرضة لخطر الدمار بفعل عاصفة هوجاء، فقد كان على المسؤولين أن يحسبوا الخيارات الآتية: السيطرة على الحثّ الساحلي بالطرق الاصطناعية في الموقع، ومخالفة سياسة الولاية في الاستجابة للحثّ، وكان فريق هندسة الجيش الأمريكي قد اقترح أصلاً حماية المنارة، بإنشاء جدار بحري بكلفة (5,6) ملايين دولار حول القاعدة⁽²⁾.

■ عدم القيام بأيّ شيء، وعليه، تُفقد المنارة التي هي معلم أمريكي تاريخي مهمّ.

■ نقل المنارة نحو اليابسة. مع أنّ كثيرًا من السكان قد عارضوا هذا المخطّط؛ خوفًا من انهيار المنارة، إن تمّ تحريكها⁽²⁾.

وبعد نقاش مستفيض وجدال وتعارض في الآراء حول ما يجب عمله، أُخذ القرار من طرف "خدمة الحديقة الوطنية" بنقل المنارة نحو اليابسة مسافة (500 m) من الشاطئ الشرقي لجزيرة "هاتراس"، بتكلفة بلغت قرابة (12) مليون دولار، وقد اعتمد قرار نقل المنارة على عوامل عدّة، هي: أنّها كانت متوافقة مع فلسفة التخطيط المرن مع النطاق الساحلي لتفادي نطاقات الخطر، بدلاً من محاولة السيطرة على العمليات الطبيعية. وكانت متوافقة كذلك مع سياسة كارولينا الشمالية في المحافظة على المعالم التاريخية، (المنارة مثلاً)، لتستمتع بها أجيال المستقبل، وقد نُقلت المنارة بنجاح في صيف عام 1999م (الشكل 10-1 ب). وبحسب معطيات المعدّل الحالي



(ب)



(أ)

الشكل (10 ط): منارة منقولة. (أ) منارة رأس "هايتراس" قبل نقلها. (ب) منارة رأس "هايتراس" بعد نقلها في صيف عام 1999م. (reuters)

فإذا كنت تطمح إلى شراء أراضٍ في النطاق الساحلي، فعليك أن تتذكر هذه الدلائل⁽²²⁾: (1) ترك ارتداد مناسب عن الشاطئ أو الجرف البحري. (2) أن تكون على ارتفاع كافٍ فوق مستوى البحر لتفادي الفيضان. (3) إنشاء مبانٍ مقاومة لحالات الطقس المناوئة، وخصوصاً الرياح العاتية. (4) إن كانت الأعاصير ممكنة، فعليك التأكد من توافر طرق ملائمة للإخلاء. تذكر أنه من الخطر دائماً شراء ممتلكات في الأماكن التي تلتقي فيها اليابسة بالماء.

ملخص SUMMARY

الساحلي، إذ تميل الرمال للتراكم في ناحية الانجراف العليا من المنشأة، وتحت في ناحية الانجراف السفلي منها، وتحدث معظم المشكلات في المناطق ذات الكثافة السكانية العالية، أضف إلى ذلك، أن المناطق قليلة الكثافة السكانية، على امتداد الأرصفة الخارجية لكارولينا الشمالية، تعاني مشكلات الحث الساحلي، وقد كان لتغذية الشواطئ بالرمال نجاح محدد، في إعادة إصلاح الشواطئ وزيادة عرضها، ويُنتظر مراقبة ما إذا كانت ستجفع على المدى الطويل.

تعدّ الأعاصير المدارية من أكثر الأخطار الساحلية الكارثية، ويطلق عليها تيفون وهوريكان، وهي عواصف عنيفة، تجلب الرياح العاتية، واندفاعات العواصف، وفيضانات الأنهار، وهي أيضاً مستمرة في حصد آلاف الأرواح، والتسبب في أضرار بالممتلكات، تقدر ببلابين الدولارات.

يعتمد إدراك أخطار الحث الساحلي على خبرة الأفراد وقربهم من الأخطار، ويسعى المجتمع والأفراد إلى التكيف مع الأعاصير المدارية في العادة بتجوير البيئة، وذلك ببناء منشآت حماية مصممة للحد من الأضرار المحتملة، أو لتشجيع تغيير الأراضي، بوضع انتظام في النطاقات، والإخلاء والتحذير.

وغالباً ما يكون التكيف مع الحث في المناطق التنموية "بالتثبيت التقني"، أي ببناء الجدران البحرية، والطولية البحرية والمنشآت الأخرى، وحدثاً، استُخدمت تغذية الشواطئ، وقد أدت توجّهات تثبيت الشواطئ هذه إلى نجاح مختلط، وقد تؤدي إلى مشكلات إضافية في المناطق المجاورة. تُعدّ المنشآت الهندسية باهظة التكاليف، وتتطلب صيانة، وحين تُنبت في مكان ما، فإنه من الصعب إزالتها، وقد تؤدي مثل هذه المنشآت إلى تدمير الشواطئ المراد حمايتها، وسوف تستفيد إدارة حث السواحل من التخطيط الحذر لاستعمالات الأراضي، التي تؤكد إقامة ارتدادات وإنشاءات مسموحة، تمّ تحديدها بناءً على معدلات الحث الساحلي.

الشاطئية ذاتها، لهذه الأسباب وغيرها، فإن ولايات عدّة فرضت حديثاً قيوداً قاسية على المنشآت الهندسية، المنوي إقامتها من أجل تثبيت الساحل. وباستمرار ارتفاع مستوى البحر والانتشار الأوسع لحت الساحل، فإن البدائل غير الإنشائية لحل المشكلات، يجب أن يستمرّ إيلاؤها الاهتمام المناسب من أجل الضرورة المالية، والإقرار بأن أناة نطاق الساحل يجب أن تبقى سليمة، من أجل أن تستمتع بها الأجيال القادمة.

تعدّ البيئة الساحلية إحدى المناطق الأكثر فعالية على وجه الأرض، والتغير السريع من سماتها الدائمة، ويمثل نزوح السكان نحو المناطق الساحلية اتجاهاً مستمرّاً، حيث إن (75%) من سكان الولايات المتحدة يقطنون الولايات الساحلية.

تتولد الأمواج المحيطية عن طريق العواصف في البحار، وتنتشر طاقتها على الشاطئ، ويُعدّ عدم انتظام خط الساحل مسؤولاً عن الاختلافات المكانية في حثّ الأمواج، وتعدّ تعرجات الساحل هذه مسؤولة عن تحديد صورة الساحل، وتتكوّن الشواطئ عادة بسبب تراكم الرمال والحصى، التي رسبتها الأنهار على الساحل، ثم شكّلتها حركة الأمواج، وفي الواقع، أن الشواطئ قد تتشكل من أي موادّ مفكّكة، مثل الفتات الناتج عن تكسر الأصداف والمرجان والصخور النارية، الموجودة في نطاق الشاطئ، وينتج نقل الرواسب الشاطئية على امتداد الشاطئ (Longshore) عن ارتطام الأمواج بالشاطئ بزواوية.

تعدّ تيارات التمزّق (rip currents) خطراً كبيراً على السباحين، حيث تقتل سنوياً قرابة (200) شخص في الولايات المتحدة، ومن الممكن تمييزها وتقادها، والنجاة منها شريطة ألا تصاب بالذعر.

وعلى الرغم من أن الحث الساحلي يؤدي إلى أضرار محدودة في الممتلكات مقارنة بالأخطار الطبيعية الأخرى، مثل: فيضان الأنهار، والزلازل، والأعاصير المدارية، إلا أنها تشكل مشكلة حقيقية على امتداد سواحل الولايات المتحدة جميعها، ومن ضمنها شواطئ البحيرات الكبرى، ومن العوامل التي تسهم في حثّ السواحل سدّ الأنهار، والعواصف العاتية، وارتفاع مستوى البحر على المستوى العالمي.

إن تدخّل البشر في العمليات الساحلية الطبيعية، مثل بناء الجدران البحرية، والجدران البحرية الطولية، وحوائل الأمواج، وحواجز المياه البحرية، تكون أحياناً ناجحة، لكنّها تسبّب في معظم الحالات في الكثير من الحثّ

المراجع REFERENCES

1. Coates, D. R., ed. 1973. *Coastal Geomorphology*. Binghamton, NY: Publications in Geomorphology, State University of New York.
2. McDonald, K. A. 1993. A geology professor's fervent battle with coastal developers and residents. *Chronicle of Higher Education*, 40(7):A8-89, A12.
3. Davis, R. E., and Dolan, R. 1993. Nor'easters. *American Scientist* 81:428-39.
4. Komar, P. D. 1998. *Beach processes and sedimentation*, 2nd ed. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall.
5. El-Ashry, M. T. 1971. Causes of recent increased erosion along United States shorelines. *Geological Society of America Bulletin* 82:2033-38.
6. Norris, R. M. 1977. Erosion of sea cliffs. *Geologic hazards in San Diego*. P. L. Abbott and J. K. Victoris, ed. San Diego, CA: San Diego Society of Natural History.

7. Flanagan, R. 1993. Beaches on the brink. *Earth* 2(6):24–33.
8. Carter, R. W. G., and J. D. Oxford, 1982. When hurricanes sweep Miami Beach. *Geographical Magazine* 54(8):442–48.
9. U.S. Department of Commerce. 1978. *State of Maryland coastal management program and final environmental impact statement*. Washington, DC: U.S. Department of Commerce.
10. Leatherman, S. P. 1984. Shoreline evolution of North Assateague Island, Maryland. *Shore and Beach*, (July), 3–10.
11. Schupp, C. A., Bass, G. P., and Grosskopf, W. G. 2007. Sand bypassing restores natural processes to Assateague Island, Maryland. Proceedings of the Sixth International Symposium on Coastal Engineering and Science of Coastal Sediment Processes. N.C. Kraus and J.D. Rosati, eds. New Orleans, Louisiana: American Society of Civil Engineering.
12. Larsen, J. I. 1973. *Geology for planning in Lake County, Illinois*. Illinois State Geological Survey Circular 481.
13. Buckler, W. R., and Winters, H. A. 1983. Lake Michigan bluff recession. *Annals of the Association of American Geographers* 73(1):89–110.
14. White, A. U. 1974. Global summary of human response to natural hazards: Tropical cyclones. *Natural Hazards: Local, National, Global*. G. F. White, ed. New York: Oxford University Press. 255–65.
15. Office of Emergency Preparedness. 1972. *Disaster preparedness*, 1, 2. Washington, DC.
16. Lipkin, R. 1994. Weather's fury. *Nature on the rampage*. Washington, DC: Smithsonian Institution. 20–79.
17. Dokka, R. K. 2006. Modern-day tectonic subsidence in coastal Louisiana. *Geology* 34:281–84.
18. U.S. Army Corps of Engineers. 2006. *Performance evaluation of the New Orleans and southeast Louisiana hurricane protection system*. Vol. 1. Executive Summary and Overview. Washington, DC.
19. Rowntree, R. A. 1974. Coastal erosion: The meaning of a natural hazard in the cultural and ecological context. *Natural Hazards: Local, National, Global*. G. F. White, ed. New York: Oxford University Press. 70–79.
20. Baumann, D. D., and Sims, J. H. 1974. Human response to the hurricane. *Natural Hazards: Local, National, Global*. G. F. White, ed. New York: Oxford University Press. 25–30.
21. Neal, W. J., et al. 1984. *Living with the South Carolina shore*. Durham, NC: Duke University Press.
22. Pilkey, O. H., and Dixon, K. L. 1996. *The Corps and the shore*. Washington, DC: Island Press.
23. National Research Council. 1990. *Managing Coastal Erosion*. Washington, DC: National Academy Press.

المصطلحات المفتاحية KEY TERMS

- | | |
|--|---|
| (ص 295) | شاطئ (Beach) ، (ص 295) |
| تيار تمزق (rip current) ، (ص 296) | ميزانية الشاطئ (beach budget) ، (ص 297) |
| جرف بحري (sea cliff) ، (ص 299) | حائل المياه (Breakwater) ، (ص 303) |
| جدار بحري (sea wall) ، (ص 302) | جدران طويلة بحرية (Groins) ، (ص 302) |
| اندفاع عاصفة (storm surge) ، (ص 313) | إعصار (Hurricane) ، (ص 308) |
| إعصار مداري (تيفون) (tropical cyclone (typhoon)) ، (ص 308) | حاجز مياه (Jetties) ، (ص 303) |
| | خليئة شاطئية (Littoral cell) ، (ص 297) |
| | نقل رسوبيات طول شاطئ (Longshore sediment transport) ، |

بعض الأسئلة للتفكير SOME QUESTIONS TO THINK ABOUT

1. هل تعتقد أن النشاط البشري زاد من مشكلة حث الساحل؟ ضع برنامج بحث لاختبار فرضيتك.
2. هل توافق على مقولة: إن المنشآت في النطاق الساحلي جميعها (ما عدا تسهيلات حساسة) يجب أن تُعد مؤقتة ومكلفة، وأن أي تنمية في المنطقة الساحلية، يجب أن تكون في المصلحة الأفضل للقطاع العام، وليس للقلائل الذين يقومون بالتنمية في جبهة المحيط؟ وضح موقفك.
3. تتعرض حديقة للحث الساحلي، وهناك من يرغب في حماية الحديقة بمطاعمها، ومواقف السيارات، والمنازل (outhouse) ، والأراضي المختصرة بأي تكاليف – دون خسارة شريحة نباتية، ما يتطلب إنشاء جدار بحري، بينما يريد آخرون صيانة الشاطئ الرملي، واستخدام أسلوب أكثر مرونة مع الحث، ويقترحون عمل تغذية الشاطئ بالرمال
4. ما حكمك على الفرضيات الآتية:
 - (1) قد تؤدي المنشآت الهندسية المصممة لحماية الشاطئ إلى تدميره في نهاية المطاف.
 - (2) سيؤدي إنشاء منشآت هندسية شاطئية إلى توجيه التنمية السواحل، تصعب مخالفته إن لم يكن ذلك مستحيلاً.

الفصل الحادي عشر

ارتطام الأجسام الكونية Impact of Extraterrestrial Objects



ارتطام سيبريا، حادث تونجوسكا (صورة فنية) قبل الانفجار الجوي بقليل، الذي بلغت قوته عشرة ملايين طن من المواد المتفجرة (المكافئة ل تي ن تي)، وتدمير كيلومترات عدّة بفعل نيزك قطره (30 m)، سوى الانفجار وحرق ما يزيد على (2.000 km²) من الغابات، ولم يترك فوهة. (Joe Tucciarone)

كويكبات من موادّ صخرية، أو موادّ معدنية، أو خليط منهما (معدنية-صخرية)، ولا تتشكل تهديداً، للأرض ما دامت في حزام الكويكبات، إلا أنّ جزءاً منها لسوء الطالع يدور في مدارات تتقاطع مع مدار الأرض، وتصطدم ببعضها، وذلك يؤدي إلى انشطارها إلى جسيمات أصغر تعرف بالنيازك (meteoroids)، (الجدول 1-11)، التي تتراوح في حجمها من جسيمات غبارية إلى أجسام يصل قطرها إلى بضعة أمتار، لتدخل بعد ذلك في الغلاف الجوي للأرض فيما يُعرف بالشهب (meteor) المشعة في الغلاف الجوي، وتسمى أحياناً النجوم المنطلقة (shooting stars)، التي تحدث ضوءاً ناتجاً عن حرارة الاحتكاك، إذ يقع عدد كبير منها أحياناً، منتجاً ما يطلق عليه زخات الشهب (meteor showers).

تتقاطع أحياناً مدارات المذنبات (Comets) التي يتراوح حجمها من بضعة أمتار إلى بضع مئات من الكيلومترات، ومع مدار الأرض، ويعتقد أنّ المذنبات مكوّنة من لبّ صخري محاط بالجليد، ومغطى بغبار غني بالكربون، ويعتقد أيضاً أنّها نشأت بعيداً في النظام الشمسي، فيما وراء نيبتون في حزام كويبر (Kuiper) وسحابة أورت (Oort Cloud)، انظر الشكل (2-11)،

1-11 موقع الأرض في الفضاء

EARTH'S PLACE IN SPACE

قدّمنا لمحة تاريخية عن أصل الكون والأرض في الفصل الأوّل، وقد تحتاج إلى مراجعتها، فالقصة رائعة، بعد أن أُزيل معظم الغموض، والمعجزة مستمرة، إنّها قصة تكوّن الأرض التي هي بيتنا، من كوكب قاحل عديم الحياة إلى كوكب مفعم بالحياة (الشكل 1-11)، إنّها قصة التغيّر، بوصفها مسرحية دورية نتجت عن استمرار ارتطام الموادّ من الفضاء الخارجي (1)، (2).

الكويكبات والنيازك والمذنبات

Asteroids, Meteoroids, and Comets

تتوافر فعلياً تريليونات من الأجسام في نظامنا الشمسي، وتتراوح في أحجامها بين الغبار الذي قطره جزء من المليمتر إلى أجسام أكبر، مثل الكويكبات (asteroid)، التي يتراوح قطرها من (10m – 1000km)، حيث يتوافر الجزء الأعظم منها في حزام الكويكبات (asteroid belt)، في منطقة تقع بين المريخ والمشتري، انظر الشكل (2-11)، حيث تتكوّن

الأهداف التعلُّمية LEARNING OBJECTIVES

- تعرّف الفرق بين الكويكبات والنيازك والمذنبات.
- فهم العمليات الفيزيائية المتعلقة بالانفجار الجوّي وفوهات الارتطام.
- فهم الأسباب المحتملة للانقراض الجماعي.
- استمرّ ارتطام الأجسام الفضائية بالأرض منذ ولادتها، وقد ارتبط بعض هذه الارتطامات بانقراض كثير من الأنواع ومن ضمنها الديناصورات، وتستمرّ أخطار هذه الارتطامات حتى يومنا الحاضر؛ لذا تشمل الأهداف التعليمية لهذا الفصل على الآتي:

الشكل (1-11) بزوغ الأرض من القمر.
الأرض الكوكب الأزرق، مقارنة بالقمر
عديم الحياة.
(World perspectives/Stone/Getty Images)

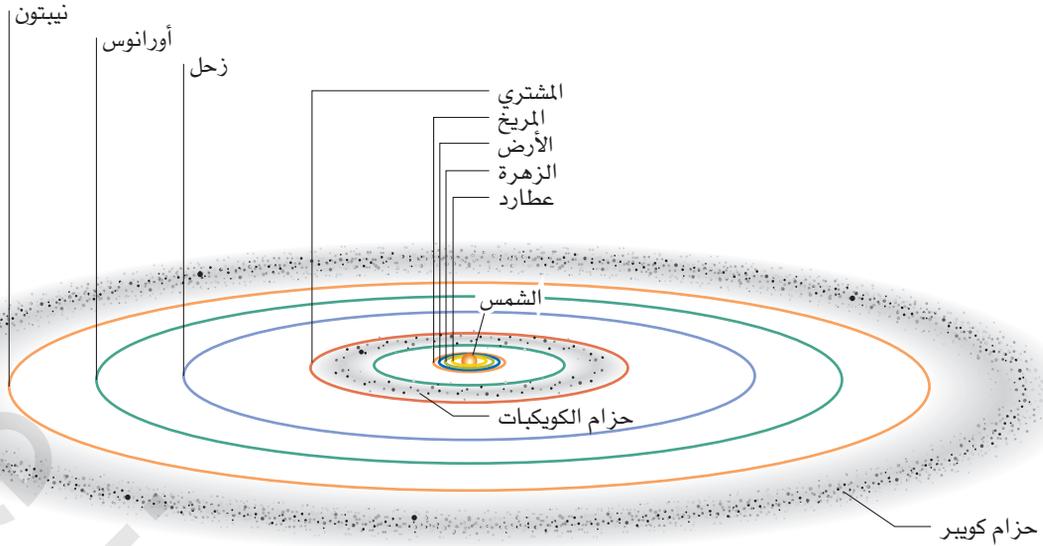


2-11 الانفجار الجوّي والارتطامات

AERIAL BURSTS AND IMPACTS

تسافر الكويكبات والمذنبات والنيازك بسرعات تتراوح بين (12-72 km/s)، بمجرد دخولها غلاف الأرض الجوّي⁽⁴⁾، (انظر تاريخ حالة: حدث تونجوسكا)، حيث تتفاوت الكويكبات والنيازك في تركيبها (الجدول 1-11)، فبعضها يحتوي على موادّ كربونية، وبعضها يحتوي على معادن فلزية، مثل الحديد والنيكل، بينما تكون الأخرى حجرية، مكوّنة من معادن سليكاتية، مثل الأوليفين والبيروكسين، وهي معادن شائعة في الصخور النارية، وتعرف النيازك الحجرية والكويكبات بأنّها متمايزة (*differentiated*)، أي إنّها خضعت في وقت ما للعمليات النارية (igneous) والمتحوّلة أحياناً (metamorphic) بوصفه جزءاً من تاريخها الجيولوجي. أشرنا سابقاً، إلى أنّ النيازك والكويكبات أتت من حزام الكويكبات الواقع بين مدارات المريخ والمشتري، بينما أتت المذنبات من حزام كويبير أو سحابه أورت، وبغض النظر عن مصدر قدومها، فبمجرّد تقاطعها مع مدار الأرض ودخولها الغلاف الجوّي، فإنّها

التي تمتدّ بمقدار (50,000) ضعف المسافة بين الأرض والشمس⁽³⁾، الشكل (3-11) يبيّن مذنب هالي-بوب (Comet Hale-Bopp)، الذي يظهر من الأرض عام 1997م، إذ يتكوّن ذيل المذنب من الغبار والغاز، الذي يتحرّر بمجرد تسخين المذنب عن طريق الشمس وحركته في الفضاء. أسهم ارتطام الكويكبات والمذنبات في بداية تاريخ تطوّر الأرض في بناء كتلتها، التي بنيت بفعل اصطدام أجسام لا محدودة، حيث جلبت الارتطامات في أثناء الزمن الجيولوجي المياه المتوافرة في الكويكبات والمذنبات، فتكوّنت محيطاتنا في النهاية بفعل تحرير الغازات من البراكين.



الشكل (2-11) النظام الشمسي (Solar system). شكل يبيّن نظام الكواكب، ويظهر حزام الكويكبات وحزام كويبير، أما سحابة أورت فهي بعيدة جدًا، بحيث لا يمكن إظهارها. مدارات الكواكب ليست بحسب مقياس رسم.

(Modified after Marshak, S., 2001, Earth, New York: W. W. Norton & Co)

الجدول (1-11): النيازك والأجسام المرتبطة بها

النوع	القطر	التركيب	ملاحظات
كويكب Asteroid	10 m - 1000 km	معدني أو صخري	قوي وصلب، إن كان معدنيًا أو صخريًا صلبًا. بعض الأنواع الصلبة قد ترتطم بالأرض، وإذا كانت رخوة وضعيفة، فإنها تتكسر في الغلاف الجوي للأرض، على ارتفاعات تتراوح بين بضعة كيلومترات إلى مئات الكيلومترات. ويتكوّن معظمها في حزام الكويكبات بين المريخ والمشتري.
مذنب Comet	بضعة أمتار إلى بضعة مئات الكيلومترات	مياه متجمّدة و/أو ثاني أكسيد الكربون، إضافة إلى قطع صخرية وغيبار؛ «كرة ثلجية ملوّثة». يكون اللب جليدًا محاطًا بجسيمات صخرية.	ضعيف، مسامي؛ ينفجر في الغلاف الجوي على ارتفاعات تبلغ كيلومترات عدّة، معظمها خارج النظام الشمسي، مثل سحابة أورت التي تبعد (50,000 km) عن الشمس ⁽¹⁾ أو عن حزام كويبير للمذنبات، وينتج ذيل المذنب عند تبخّر الجليد وتساقط الغازات وجزئيات الغبار من الجسم.
نيزك Meteoroid	أقلّ من (10 m) إلى أكبر من حجم الغبار	صخري، معدني أو كربوني (يحتوي على كربون)	يتكوّن في الغالب بسبب اصطدام الكويكبات أو المذنبات. قد تكون قوية أو ضعيفة جدًا.
شهاب Meteor	من سنتيمتر إلى حجم الغبار	صخري، معدني أو كربوني أو جليدي	تندمّر في الغلاف الجوي للأرض، «نجم منطلق» ضوء ناتج عن حرارة الاحتكاك في الغلاف الجوي.
نيزك صلب Meteorite	أكبر من الغبار إلى حجم كويكب	صخري أو معدني	يرتطم فعلاً بسطح الأرض، يسمّى النوع الأكثر شيوعًا من النيزك الصخري كوندرايت ⁽²⁾ .

⁽¹⁾ (AU) الوحدة الفلكية وهي المسافة بين الأرض والشمس التي تبلغ قرابة (150 million km).

⁽²⁾ هناك كثير من أنواع الكوندرايت، التي تحتوي على كوندرولز، وهي محتسبات كروية صغيرة (يقلّ حجمها عن 1mm)، زجاجية أو بلورية. إضافة إلى أنّها نيازك الكوندرايت (كويكبات) التي نشأت منها الكواكب.

المصدر: (Rubin, A. F., 2002, Disturbing the Solar System, Princeton, NJ: Princeton University Press)

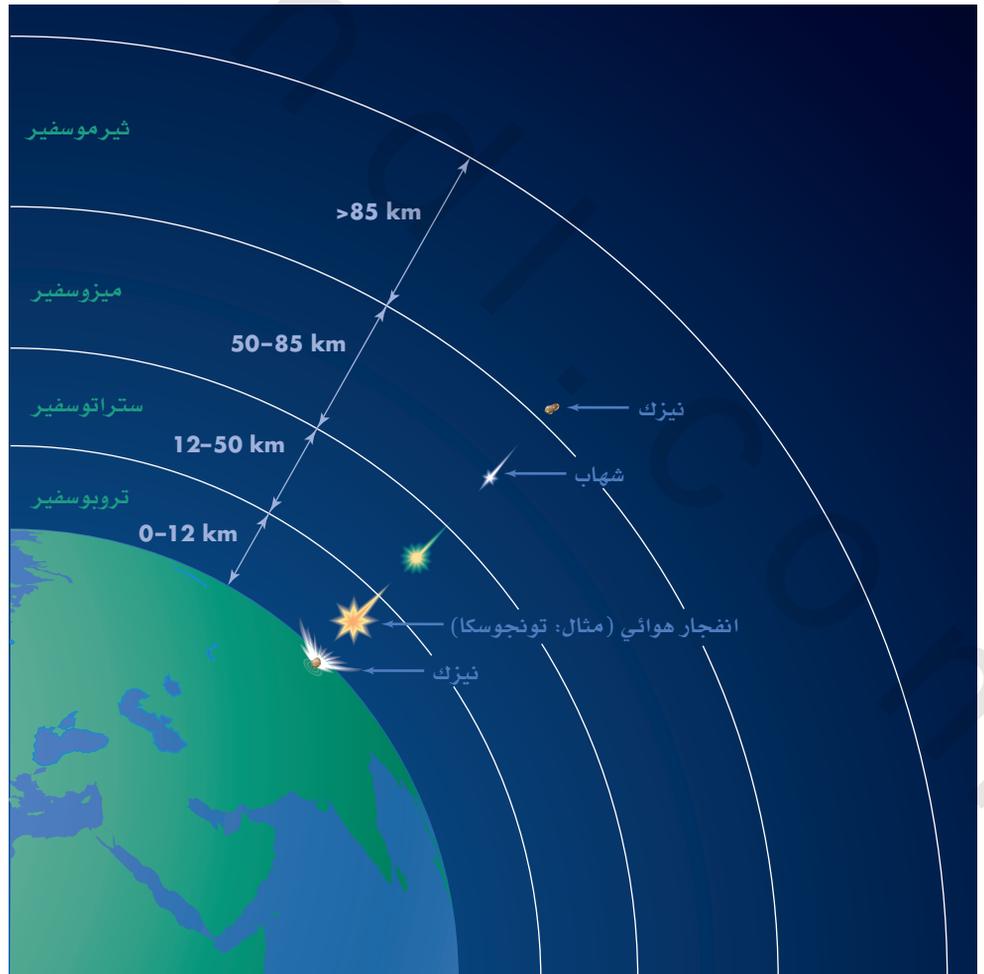
انفجار هوائي في الغلاف الجوي على ارتفاع يتراوح بين (12-50 km)، أو يصطدم بالأرض ليصبح نيزكًا، وقد مثل حدث التونجوسكا انفجارًا جويًا عظيمًا، يبيّن الشكل (4-11) صورة افتراضية لنيزك يدخل الغلاف الجوي، على ارتفاع يبلغ (85 km) تقريبًا فوق مستوى سطح الأرض.

تخضع إلى تغييرات ملحوظة حين تسخن بفعل الاحتكاك منتجة ضوءًا لامعًا، يطلق على الجسم الذي يضرب الأرض مصطلح نيزك (meteorite)، إذ جمعت كثير من النيازك حول العالم، خاصّة من القارة المتجمّدة الجنوبية، وهناك عدد كبير من فوهات النيازك على سطح الأرض، وقد تمّ تعرّف أكثر من مئة منها، ويتحوّل النيزك إلى شهاب مطلقًا ضوءًا، وقد ينتج عنه

الشكل (11-3) مذنب هيل-بوب 1997



الشكل (11-4) النيزك (Meteoroid). شكل مثالي يبين نيزكاً يدخل الغلاف الجوي للأرض، وقد يتحول إلى شهاب، مكوناً انفجاراً هوائياً، أو يرتطم بسطح الأرض.



تاريخ حالة CASE HISTORY

حادث تونجوسكا The Tunguska Event

كانت روسيا في زمن الانفجار في أواسط ثورتها السياسية، لذا، لم تستجب بصورة سريعة للحادث، ولم تحقّق فيه آنذاك، وعام 1923م استجوب الجيولوجيون الذين كانوا يعملون في المنطقة شهودًا بقوا على قيد الحياة، فأفادوا بأن الانفجار سمع في محيط يصل إلى مليون كم²، وأنّ الكرة النارية شاهدها مئات الناس، وقد ذهب علماء الروس إلى المنطقة عام 1927م، للبحث عن فوّهة الارتطام الناتجة عن كويكب ربما ضرب المنطقة ولم يجدوا شيئاً، وهذا ما قادهم إلى الاعتقاد بأنّ الانفجار قد يكون ناتجاً عن انفجار جويّ، ربما على ارتفاع قرابة (7 km)، وقد قدّرت الحسابات أخيراً، أنّ قطر الكويكب المسؤول عن الانفجار يبلغ (25-50 m) تقريباً، ويبدو أنّه مكوّن من موادّ حجرية رخوة نسبياً (سهلة التفكّك)^{(3)·(4)}.

ومن حسن الطالع أنّ الحادث وقع في منطقة غابات نادرة السكان، فلو وقع الانفجار فوق مدينة مثل لندن أو باريس أو طوكيو، لكان عدد ضحاياه بالملايين من البشر، ويعتقد أنّ أحداثاً من نوع تونجوسكا تحدث كلّ ⁽⁵⁾yr (1000)، إذ أوشك كويكب بقطر (30 m) أن يرتطم بالأرض، في مارس من عام 2004م، إلاّ أنّه مرّ بين الأرض والقمر على مسافة 43000 km*.

بعد الساعة السابعة بقليل من صبيحة يوم الثلاثين من يونيو عام 1908م، روى شهود عيان من سيبيريا، أنّهم شاهدوا كرة نارية بيضاء مزرقّة بذيّل متوهّج تهبط من السماء، وقد انفجرت فوق وادي نهر تونجوسكا، في غابة كثيفة قليلة السكان، وقد بيّنت الحسابات لاحقاً، أنّ قوّة الانفجار بلغت عشرة ملايين طن من (تي إن تي TNT) المتفجّرات، أي ما يعادل عشر قنابل هيدروجينية. وعلى الرغم من أنّ عدداً قليلاً من الشهود كانوا قريبين من الحدث، إلاّ أنّ أصوات الانفجارات سُمعت عن بعد مئات الكيلومترات، وسُجّلت موجات الانفجار على مواقع تسجيل الأرصاد الجوية في أنحاء أوروبا جميعها، وقد أدّى الانفجار الهوائي إلى تسوية وحرق أكثر من (2000 km²)، (الشكل 11 أ).

ومن بين القلائل الذين شاهدوا الدمار على الأرض في منطقة الانفجار أحد الرعاة، إذ سوّي كوخه تماماً بفعل الانفجار، وطار سقفه بعيداً، وروى شهود آخرون على بعد عشرات الكيلومترات من الانفجار، أنّهم طاروا في الهواء، وطُرحوا فاقد الوعي، ثمّ أفاقوا ليروا أنّ سطح الأرض قد تحوّل إلى دخان، وأشجار محترقة بصورة كاملة.

الشكل (11 أ) غابة تونجوسكا.

سيبيريا عام 1908م. انفجار جويّ طرح الأشجار على مساحة (2000 km²).

لرؤية موقع للأجسام قرب الأرض انظر

<http://neo.jpl.nasa.gov>.



فوهات ارتطام Impact Craters

حين اكتشفت الأمريكان فوهة بارينجر أول مرّة في أواخر القرن التاسع عشر، دارت كثير من النقاشات بشأن أصلها، فالجيولوجي الشهير جيلبرت الذي افترض أنّ معظم فوهات القمر ناتجة عن الارتطامات، لم يصدق أنّ فوهة بارينجر تكوّنت بفعل الارتطام، إلا أنّ الدراسة والتقييم أثبتا أنّها نتجت فعلاً عن ارتطام كويكب صغير قطره (100-25 m) تقريباً⁽⁶⁾.

يمكن تمييز فوهات الارتطام من الفوهات الناتجة عن عمليات أخرى، مثل الأنشطة البركانية؛ لأنّ العملية المرتبطة بالارتطام تشتمل على سرعة عالية جداً وطاقة وضغط وحرارة، التي لا تنتج عن أيّ من العمليات الجيولوجية الأخرى، فمعظم طاقة الارتطام تكون على صورة طاقة حركية (kinetic)، تنتقل على سطح الأرض، وتنتشر على صورة موجة اهتزازية، حيث تضغط موادّ الأرض وتسخنها وتصهرها وتحفرها، إنّها ذات الطاقة الحركية التي تنتج الفوهة⁽⁶⁾.

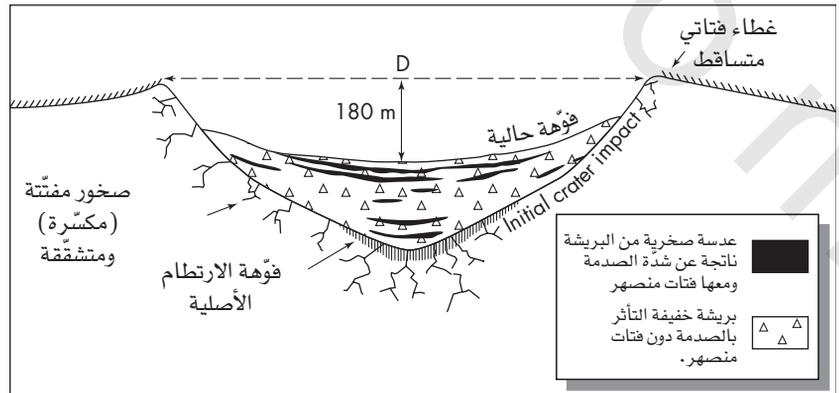
أكثر الأدلّة المباشرة والواضحة على الارتطامات على سطح الأرض تأتي من دراسة الفوهات التي تنتج عنها، ولعلّ أشهر الفوهات النيزكية المحفوظة بصورة جيّدة، فوهة بارينجر في أريزونا في الولايات المتّحدة، التي يبلغ عمرها 50.000 yr المعروفة "بفوهة النيزك"، انظر الشكل (11-5)، وهي على صورة منخفض مقعّر، ذات حافة بارزة تعلوها طبقة من فتات قذف عند الارتطام، وتتمييز بأراض على صورة ربوات تحيط بها، ويبلغ قطرها قرابة (1,2 km)، وبعمق (180 m)، وترتفع حافتها (260 m) تقريباً عن التضاريس المجاورة، ويبيّن الشكل (11-5ب) أنّ الفوهة الحاليّة ليست بالعمق الأصلي نفسه حين حدث الارتطام؛ بسبب سقوط بعض الموادّ ثانية في الفوهة من الانهيار الجزئي الذي حدث لها، لقد انشطرت الصخور التي ضربها الكويكب وتشوّهت، مكوّنة ما يسمّى صخور البريشيا، وهي قطع صخرية حادّة الزوايا نتجت في أثناء الارتطام.

الشكل (11-5) فوهة في أريزونا (Crater in Arizona).

(أ) فوهة بارينجر، أريزونا (منذ قرابة 50000 سنة مضت).
قطر الفوهة قرابة (1,2 km)، وعمقها (180 m) تقريباً.
(ب) شكل يبيّن بعض معالم الفوهة.



(أ)



(ب)

تطلقها أسلحة الأرض النووية جميعها، إذا جرى تفجيرها مجتمعة، وقد تمددت الغازات المنبعثة الحارّة المنضغطة بصورة عنيفة نحو الأعلى من الجزء السفلي للمشتري، بسرعات عالية بلغت قرابة (15 km/s)، ووصلت سحب الغازات من الارتطامات العظيمة إلى ارتفاعات تزيد على (3000 km)، ونمت حول مواقع الارتطام على صورة حلقات كبيرة هائلة، يزيد قطرها على قطر الأرض، لقد كانت مشاهدة حقيقية مميزة للفلكيين، وتأكيدياً واضحاً لأولئك الذين اعتقدوا أنّ ارتطامات شبيهة حدثت يوماً ما على سطح الأرض.⁽³⁾

تُصبح فكرة احتمال الارتطام الكارثي على الأرض مقبولة بعد استعراض هذين المثالين (ارتطام أجزاء المذنب بالمشتري، وفوهة بارينغر في أريزونا، وغيرها كثير على الأرض)، فقد برزت أفكار عدة وغريبة عندما وقع حادث تونجوسكا، ومن ضمنها الانفجارات النووية وانفجار مركبة فضاء غريبة! حيث إنّ العلماء قاوموا إلى وقت قريب، فكرة الارتطام بكويكب أو مذنب، التي تؤدي إلى كارثة أرضية، أو انقراض جماعي للحياة على الأرض.

11-3 الانقراض الجماعي

MASS EXTINCTIONS

يتميّز الانقراض الجماعي بالخسارة الفجائية لأعداد كبيرة من النباتات والحيوانات، مقارنة بعدد الأنواع المضافة⁽⁹⁾، ونظراً لأنّ مقياس الزمن الجيولوجي يركز أساساً على المستحاثات وظهور الأنواع المختلفة واختفائها، فإنّ الانقراض الجماعي يضاهاى بين حدود مقياس الزمن الجيولوجي، انظر الجدول (11-1) والشكل (11 أ)، إذ إنّ هناك كثيراً من الفرضيات المقترحة لأحداث الانقراض الجماعي، من ضمنها: (1) التغيّر المناخي السريع نسبياً. (2) حركية الصفائح، وهي عملية تحرك مواقع القارات بصورة بطيئة نسبياً، وذلك يؤدي إلى نقل مواقع البيئات إلى أماكن مختلفة. (3) الأحداث البركانية العظيمة جداً، حيث تُطلق كمّيات كبيرة من الرماد البركاني إلى الغلاف الجوّي، ما يؤدي إلى تغيّر مناخي. (4) ارتطام أجسام كونية.

شهدت ألد (550) مليون سنة الماضية من تاريخ الأرض ستة أحداث انقراض جماعي رئيسية، دُرست الأحداث الأربعة المبكرة من الانقراض بصورة مكثّفة، من أجل اختبار فرضيات ارتطام كويكبات عظيمة أو مذنبات بالأرض، وبتطوّر تاريخ أحداث الانقراض، فقد أصبحنا قادرين إلى حدّ ما على تحديد سرعة حدوث الانقراض، إذ إنّ الانقراض الجماعي السريع يؤيد فكرة أنّ ارتطام جسم كوني هو المتسبّب في الانقراض.

حدث الانقراض الجماعي الأوّل منذ قرابة (443) مليون سنة مضت، في نهاية العصر الأردوفيشي تقريباً، وعلى الرغم من قلة المعلومات المتوافرة حول سبب هذا الانقراض، إلّا أنّه قد يكون مرتبطاً ببرودة المناخ العالمي الشديدة (عصر جليدي)، إذ حدث انقراض لقرابة (100) عائلة وللأنواع المرتبطة بها في أثناء تلك الفترة، أمّا الانقراض الجماعي الثاني فقد حدث بعد ذلك بقرابة (90) مليون سنة، مع نهاية العصر الديفوني، إذ كان هذا الانقراض مسؤولاً عن موت (70%) تقريباً من الأنواع البحرية اللافقارية جميعها، ويعتقد أنّه مرتبط بالتغيّر المناخي والبرودة العالمية، أمّا الانقراض الجماعي

ويمكن للصدمة أن تؤدي إلى تحوّل (metamorphose) بعض الصخور في منطقة الارتطام، بينما ينصهر بعضها الآخر أو يتبخّر، ويختلط مع موادّ الجسم المرتطم ذاته، إذ يتكوّن معظم التحوّل من تحويرات ذات ضغط عالٍ لمعادن مثل الكوارتز، حيث تُعدّ التحويرات من صفات ارتطام النيازك، وهي مساعدة جداً في تأكيد أصل الفوهة النيزكية. يبيّن الشكل (11-6 أ) فوهة نيزكية صغيرة مثالية قطرها بضعة كيلومترات، أضف إلى ذلك أنّ عملية التبخّر والانصهار وقذف الموادّ وتكوين حوافّها، وإعادة تعبئة الفوهة، هي نفسها تحدث في الفوهات الأكبر والأكثر تعقيداً، غير أنّ صورة الفوهات الأكبر قد تكون مختلفة، انظر الشكل (11-6 ب)، فحجم الفوهات المركّبة ينمو في أثناء ثوانٍ إلى بضع دقائق بعد الارتطام، ليصل قطرها من عشرات الكيلومترات إلى ما يزيد على (155 km). وقد ينتج نمط لانهايار كامل للحافة، ورفع لفوهة مركّبة بعد الارتطام، وبوجه عام، تكون فوهات الارتطام على الأرض التي يزيد قطرها على (6 km) مركّبة، بينما تكون الفوهات الأصغر أكثر بساطة.

ومن الناحية الجيولوجية، يصعب تعرّف فوهات الارتطام؛ لأنّ عمليات التعرية غالباً ما تحتها، أو تملؤها صخور رسوبية حديثة بعد الارتطام، ومثال ذلك: ما أظهرته الصور تحت السطحية والحفر أسفل خليج "شيسبيك" الحالي، التي دلّت على وجود فوهة قطرها (85 km)، مدفونة تحت غطاء من الرسوبيات الأحدث بسمك (1 km) تقريباً، انظر الشكل (11-7)، إذ نتجت هذه الفوهة عن ارتطام مذنب أو كويكب يتراوح قطره من (3-5 km) قبل قرابة (35) سنة مضت⁽⁷⁾، ويعتقد أنّ الانضغاط والتصدّع فوق الفوهة الدفينة كانا مسؤولين جزئياً عن موقع الخليج.

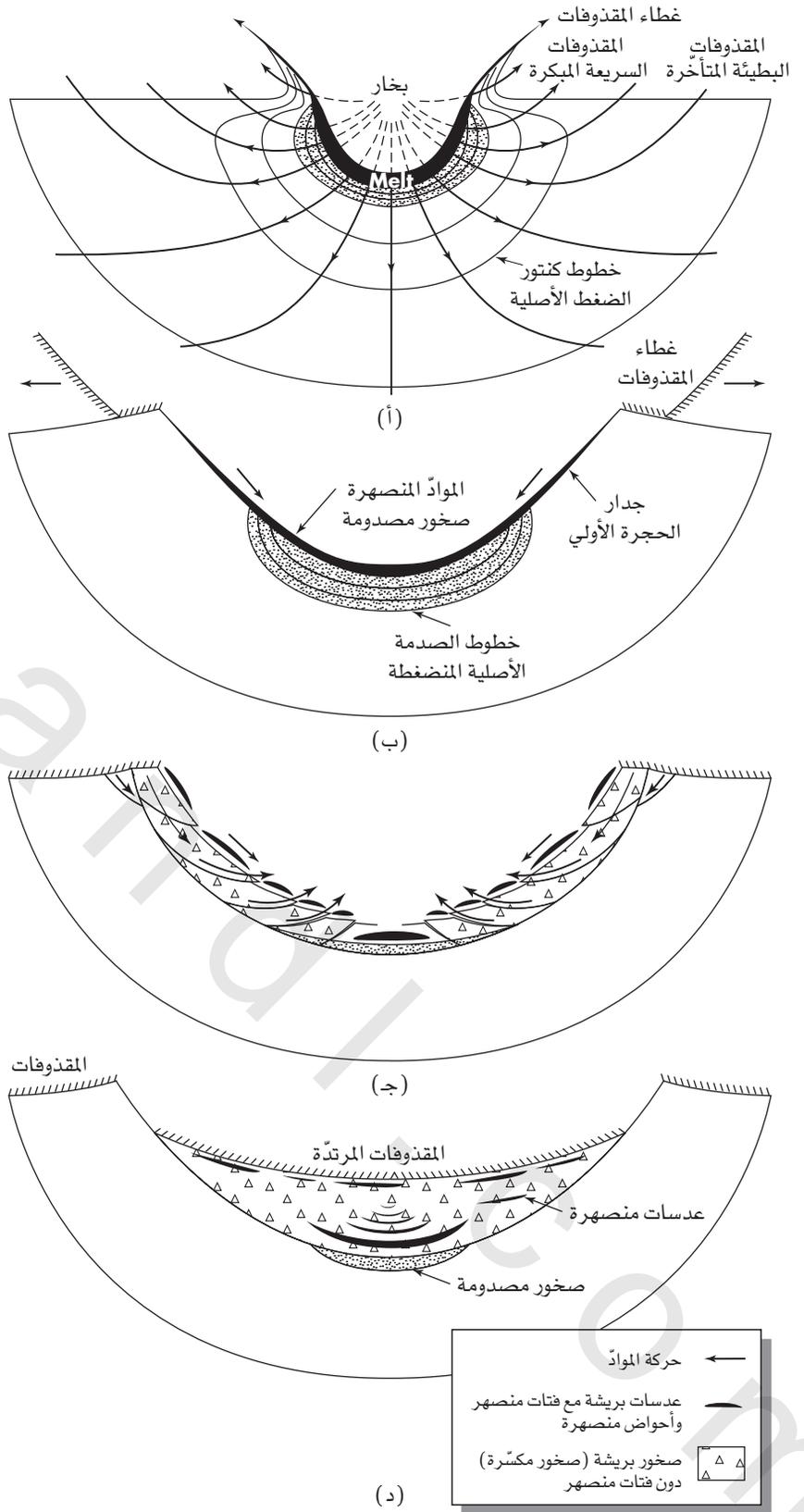
ومن الأمثلة الجيدة أيضاً، فوهة منحوتة عُثر عليها قرب كيوك في كندا، فهناك بحيرة حلقيّة الشكل بقطر (70 km)، نُحِتت في صخور بريشة متكسّرة ناتجة عن الارتطام، تبيّن حدود معظم الفوهة التي يصل قطرها إلى (100 km)، انظر الشكل (11-8) (8).

جاءت أكثر الدراسات التفصيلية المعتمدة على الاستشعار عن بعد للفوهات من تقييم هذه المعالم على القمر والمريخ، ففوهات الارتطام أكثر شيوعاً على القمر منها على الأرض؛ لأنّ الأجسام الصغيرة التي تدخل الغلاف الجوي للأرض، تحترق وتتحمّل قبل أن تصطدم فعلياً بسطحها، وقد زادت دراسة معالم الارتطام على القمر والمريخ كثيراً من فهمنا لعملية الارتطام والمعالم السطحية المصاحبة لها.

وقرّ مذنب شوماخير-ليني⁽⁹⁾ عام 1994م (المكتشف عام 1993م) دليلاً مرئياً على واحد من أعظم الارتطامات التي شوهدت؛ إذ وصف بأنه مذنب غريب الهيئة، فقد كان مكوّناً من أجزاء متفرّقة عدّة مع ذيول لامعة، وقد صُنّف بأنه من مذنبات المشتري (المذنبات التي تدور بين المشتري والشمس)، التي يعرف منها قرابة (50) مذنباً، وقد كان مداره مرتبطاً بالمشتري، إلّا أنّه انفصل إلى (21) جزءاً، معروفة "بخط اللؤلؤ string of pearls"، بعد سنين من دورانه حول الكوكب، فبمجرّد دخول أجزائه في الغلاف الجوي للمشتري بسرعة بلغت (100 km/s) تقريباً، انفجرت مطلقة طاقة بمقدار (10,000) ميغاطون (مليون طن) للأجزاء الصغيرة من المذنب، وبمقدار (100,000) ميغاطون للأجزاء الكبيرة منه، انظر الشكل (11-9)، إذ قدرّت كمّية الطاقة المحرّرة بأكثر من الطاقة التي

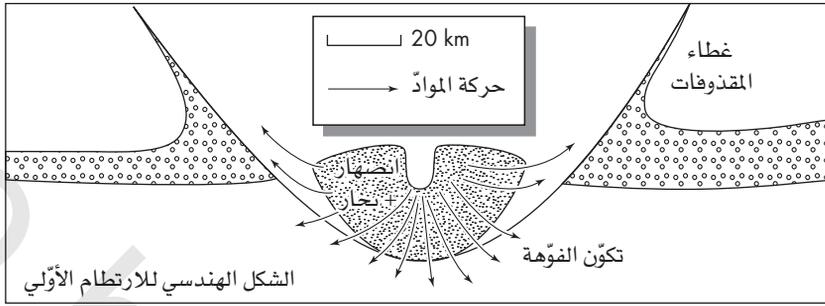
الشكل (1-161) فوهة بسيطة (Simple crater). شكل نموذجي يمثل تطوّر فوهة بسيطة في أثناء مدّة زمنية تتراوح بين عدد من الثواني إلى دقيقة أو نحوها.

(Modified after Grieve, R., and M. Cintala, 1999, Planetary impacts, Weissman, P.R., L. McFadden, and T.V. Johnson, eds., Encyclopedia of the Solar System, San Diego, CA: Academic Press.)

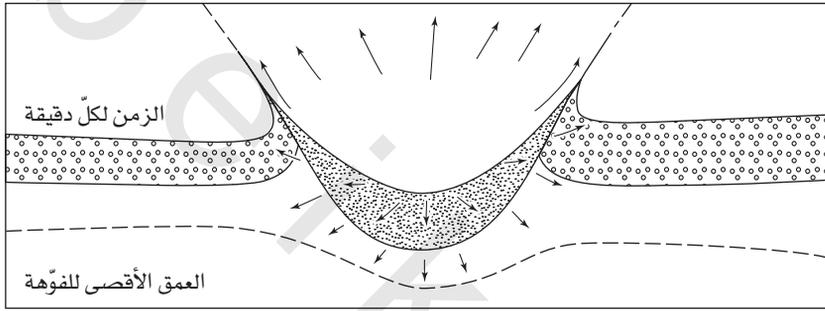


الشكل (11-6ب) فوهة مركبة (Complex crater). شكل نموذجي يبين تطور فوهة مركبة في أثناء دقائق عدّة.

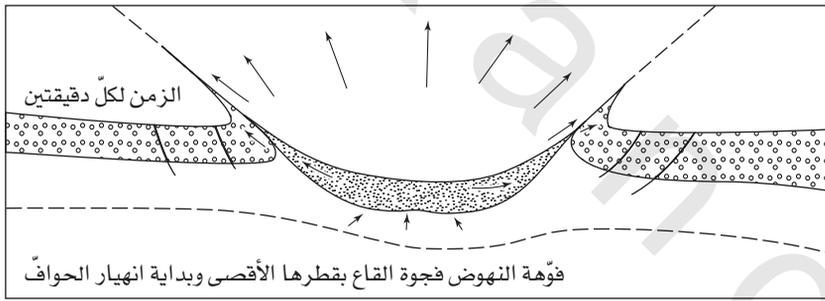
(Modified after Grieve, R., and M. Cintala, 1999, *Planetary impacts*, Weissman, P.R., L. McFadden, and T.V. Johnson, eds., *Encyclopedia of the Solar System*, San Diego, CA: Academic Press.)



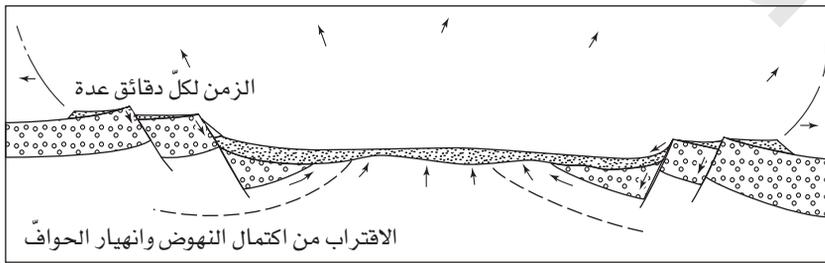
(أ)



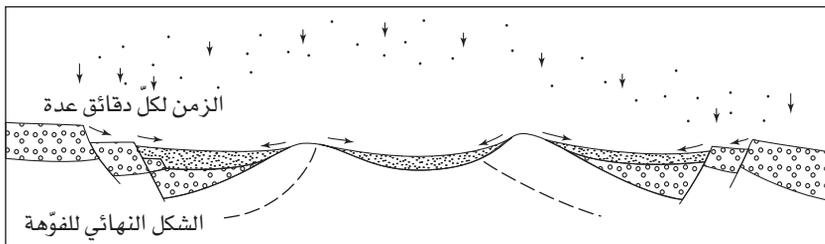
(ب)



(ج)



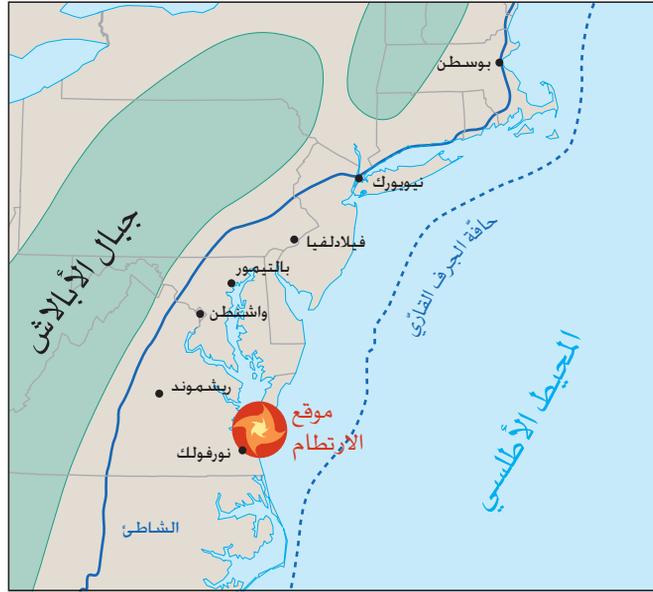
(د)



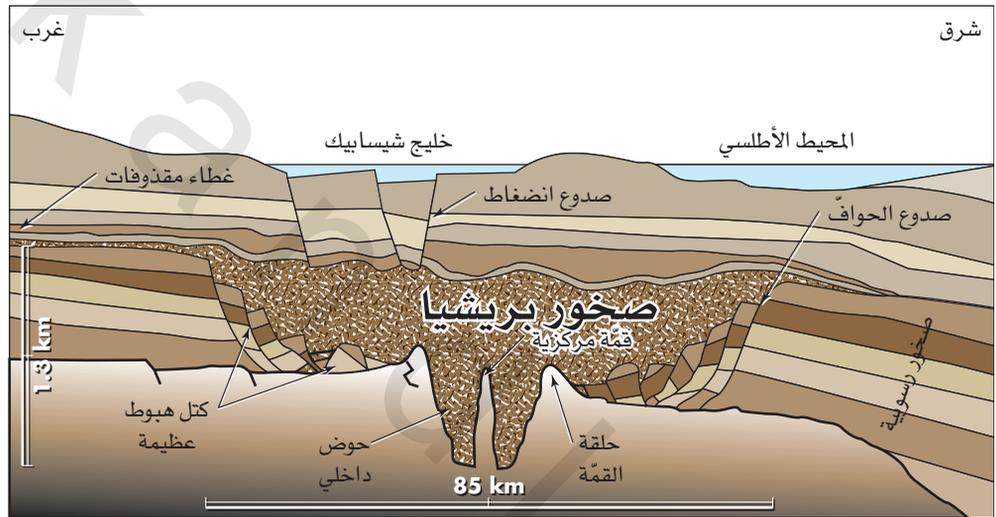
(هـ)

الشكل (7-11) خليج شيسابيك
 (Chesapeake Bay). خريطة وشكل
 نموذجي لخليج شيسابيك الناتج عن
 بنية ارتطام تكوّنت منذ (35) مليون
 سنة.

(Williams, S., P. Barnes, and E. J.
 Prager, 2000, U. S. Geological Survey
 Circular 1199)



(أ)



(ب)

إلى البرودة والتجلّد، الذي حدث قبل قرابة (30-40) مليون سنة. أخيراً، في نهاية عصر البلايستوسين وحتى وقتنا الحاضر، فإنّ انقراضاً جماعياً يحدث للثدييات، والزواحف والبرمائيات والطيور والأسماك والنباتات، ومن المحتمل أنّ للصيد الجائر في عصر الإنسان الحجري، تأثيراً جزئياً في هذا الحدث، وفي الأحوال كلّها، فإنّ فقدان الكثير من الثدييات الكبيرة في أمريكا الشمالية، ومن ضمنها بعض تلك التي لم يجرِ اصطياها، يشير إلى أسباب أخرى أكثر كارثية على البيئة (انظر إلى نظرة متفحّصة: ارتطام أجسام كونية قبل (12,900) سنة، وحديثاً جداً، وفي أثناء الـ (200) سنة الماضية، فإنّ فقدان بعض البيئات السّكنية بوصفها نتيجة لتغيّر استعمال الأراضي، والانتشار الواسع للحدّ من الغابات، واستخدام الموادّ الكيميائية، قد أسهمت في الانقراض المستمر⁽⁹⁾.

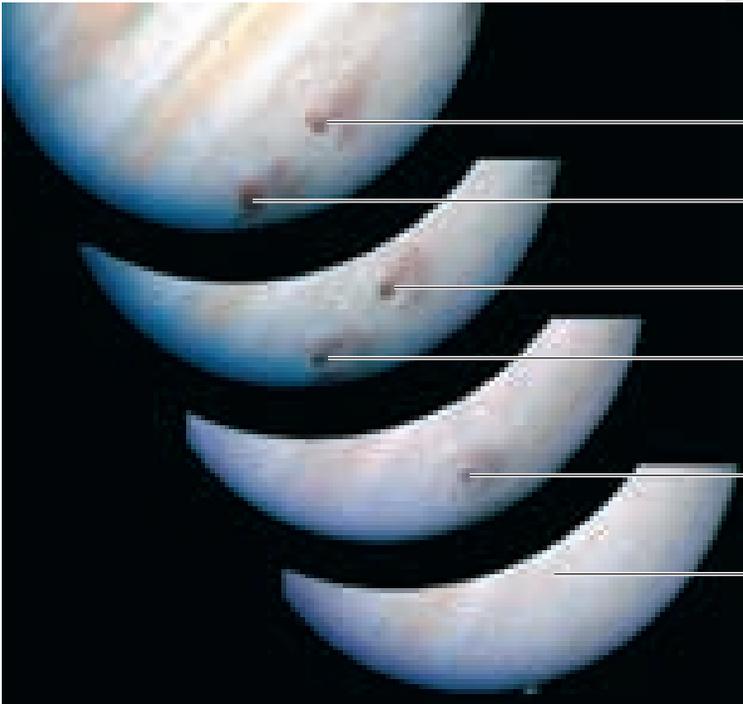
كانت أمريكا الشمالية متنوّعة التبيؤ قبل (13,000) سنة مضت، حين كانت مأهولة بحيوانات عصر البلايستوسين الضخمة المشتملة على الماموث

الثالث، فقد حدث في نهاية العصر البرمي تقريباً، منذ قرابة (245) مليون سنة، حين مات (95%) تقريباً من الأنواع البحرية، إذ يُعتقد أنّ ارتطاماً وقع في زمن الحدّ الفاصل بين العصر الترياسي والبرمي، وأنّ الانقراض الجماعي استمرّ مدّة تصل إلى (7) ملايين سنة تقريباً، وأنّ البرودة العالمية التي أعقبتها مرحلة من الدفء السريع، مع تغيّرات كبيرة في المناخ، كانت هي المسؤولة عن ذلك، إذ ساد نشاط بركاني عظيم حينذاك، وكان للرماد البركاني والغازات المنبعثة في الغلاف الجوّي بكميّات هائلة دور محتمل في البرودة المناخية الناتجة.

حدث انقراض جماعي آخر عظيم بصورة مفاجئة مع نهاية العصر الكريتاسي (حدود K-T)، وهناك الكثير من الأدلة التي تدلّ على أنّه نتج عن ارتطام كويكب عظيم، انقراض جماعي آخر حدث في نهاية عصر الإيوسين، منذ قرابة (35) مليون سنة، وهناك دليل محدود على أنّه ناتج عن ارتطام كويكب أو مذنب في ذلك الزمان، لكن كثيراً من العلماء يعزونه



الشكل (8-11) بنية ارتطام كندا (Canada Impact Structure). صورة أقمار اصطناعية ورسم لبنية ارتطام مانيكوغان في كيوك، كندا، يبلغ قطر البحيرة الطلقية قرابة (70 km) (NASA).



الشكل (9-11) ارتطام على المشتري (Impact on Jupiter) شوماخير-ليفجي (9G)، الذي ارتطم بالمشتري، مذنب "خيطة اللؤلؤ".

(R. Evans, J. Trauger, H. Hammel, and the HST Comet Science Team/ NASA)

احتمال ارتطام كوني قبل (12.900) سنة Possible Extraterrestrial Impact 12,900 Years Ago

غنية بالمواد العضوية (الشكل 11 ج)، حيث تلتقي قاعدة الطبقة السوداء مع بداية برودة "الدرياس الأحدث" (YD)، التي لم يتوافر دليل بعدها (في ذلك المكان) على بقايا الحيوانات الضخمة أو الأدوات الحجرية (artifacts) للهنود الحمر الكلويفيس، فيناييع "مري" في أريزونا تُعدّ موقعاً معروفاً ومدروساً جيّداً للكلويفيس، حيث عظام الماموث الأحدث، وأدوات الكلويفيس تتوافر مباشرة على حدود الطبقة السوداء، ومن الواضح أنّ نهاية حيوانات البلايستوسين الضخمة وثقافة الكلويفيس كانت في ذلك المكان بصورة فجائية، ومتوافقة مع ترسيب الطبقة السوداء^{(15)·(16)}.

وقد ظهر دليل جديد في السنوات الأخيرة يشير إلى احتمال ارتطام جسم كوني قبل قرابة (12,900) سنة، أسهم في انقراض حيوانات البلايستوسين الضخمة والكلويفيس⁽¹⁶⁾، إنّ تقييم عشرة مواقع مختارة لأنها موثقة تماماً ومؤرّخة، يؤيدّ فرضية احتمال ارتطام جسم كوني كبير بأمريكا الشمالية منذ (12.900) سنة، مع بداية حدث الدرياس الأحدث، ويفترض أنّ الحدث مكوّن من واحد أو أكثر (وربما الكثير) من الأجسام الكونية قليلة الكثافة (ويحتمل أن تكون مذنبات)، التي انفجرت في الغلاف الجوي فوق معظم أرجاء أمريكا الشمالية، بينما كان معظم كندا مغطى بغطاء "لورنتيا" الجليدي، والتي كانت غير مستقرّة بفعل الحدث المزعوم.

ويعتقد أنّ كثيراً من الأجسام الكونية قد انفجرت فوق اليابسة بما فيها المناطق المغطاة بالجليد، محدثة توهجات حرارية (heat flashes) وأمواجاً اهتزازية، ومولدة رياحاً شديدة السرعة (مئات الكيلومترات في الساعة) على أمريكا الشمالية، وأطلق هذا الحدث أيضاً كرات نارية دمّرت الغابات والحقول والحيوانات، منتجة كمّيات كبيرة من الفحم والرّماد

(نوع من الفيلة، الشكل 11 ب)، والذئاب المرعبة والأسود الأمريكية، والديببة قصيرة الوجه (أضخم من الديببة الرمادية الحديثة)، وحيوان الكسلان الأرضي الضخم، والجمال والخيول، إضافة إلى الأمريكيان القدامى وخصوصاً الهنود الحمر (الكلويفيس Clovis)، إذ اختفت الحيوانات الضخمة فجأة وبصورة كارثية، وأصبح من الصعب تعرّف ثقافة الهنود الحمر بعد ذلك، حيث برد المناخ فجأة مكوّناً العصر البارد، الذي عُرف بالدرياس الحديث (Yonger Dryas) (سمّي بناءً على حيوب لقاح نبات درياس التندرا المستحاثي)⁽¹⁵⁾، وقد بقيت الأسباب المحتملة لاختفاء الحيوانات الضخمة ونهاية الهنود الحمر الكلويفيس موضوع خلاف، وظهرت فرضيتان رئيسيتان في شرح سبب اختفاء الحيوانات الضخمة، هما: (1) القتل الجماعي بفعل البشر، و(2) البرودة المفاجئة (مثلاً: التغيّر المناخي السريع)، وقد كان في هاتين الفرضيتين قصور واضح، فالقتل البشري يبدو غير ممكن، في ضوء الأعداد الكبيرة من الحيوانات المنقرضة، ومن ضمنها الكثير من الحيوانات التي لم يكن الأمريكيان القدامى يسطادونها بانتظام، ومقدار البرودة الفجائية مع بداية الدرياس الحديثة، كان مختلفاً قليلاً عما كان الحال عليه في أثناء (80,000) سنة المنصرمة، ولم يحدث لأيّ من الأحداث السابقة أن صاحبها انقراض جماعي رئيس، خلاصة القول: إنّ انقراض أحياء البلايستوسين الضخمة، كان فريداً في أثناء البلايستوسين المتأخّر، ومفاجئاً جداً وواسع الانتشار، أكثر من أن يكون ناتجاً عن القتل البشري الجائر أو برودة المناخ⁽¹⁵⁾. وقد تعرّف علماء الآثار في كثير من مواقع الهنود الحمر على ما يعرف بالطبقة السوداء (blak mat)، وهي طبقة طينية كربونية رقيقة، داكنة،

الشكل (11 ب) معظم الحيوانات الضخمة في أمريكا الشمالية ومن بينها الماموث الصوفي المبّين هنا، قد انقرضت فجأة قبل (12.900) سنة (Jonathan Blair/ Corbis).



الشكل (11 جا) ينابيع «موري» في أريزونا عام 1968م. موقع (Clovis)، مع الطبقة الرقيقة السوداء.

(Courtesy of Allen West. 2006 by Richard Firestone, Allen West, Simon Warwick-Smith. Rochester, VT: Bear & Company)



الطبقة الرقيقة السوداء

البيانات تتوارد، وسيُعرف المزيد عن الحادث الكارثي، الذي تسبّب في هلاك الكائنات الحية الكبيرة في زمن البلايستوسين، وإنهاء ثقافة الهنود الحمر (الكلويفيس)، والتغيّر المناخي من الدفء إلى المناخ الجليدي البارد الذي استمرّ قرابة (1000) سنة⁽¹⁶⁾،⁽¹⁸⁾، وعلى الرغم من عدم العثور على فوهات ارتطام من عصر (YD) في المناطق المحتملة في أمريكا الشمالية حتى الآن، حيث إنّ الفرضية اختبرت في العقد المقبل، إلّا أنه يُتوقع اكتشاف أدلة ارتطام كونية مباشرة.

والسُخام والأبخرة السامة⁽¹⁶⁾، إذ يتوافر الدليل على ذلك في أقصى الغرب عند جزيرة سانتا روزا في قناة سانتا بربارا⁽¹⁷⁾.

ومن بين الأدلة الطبيعية على حدث (YD) اكتشاف علامات كونية متنوّعة، من بينها حيّات مغناطيسية من الإريديوم (iridium)، وكرات مغناطيسية دقيقة مجهرية، وكريّات كربونية، وفحم وسخام ودليل على حرائق هائلة، إضافة إلى اكتشاف كمّيات كبيرة من الماس، من ضمنها ماسات نانوية الحجم متناهية في الصغر (تضمّ أشكالاً لا تتكوّن إلا بسبب ارتطام كوني)، وماسات دقيقة مجهرية الحجم، وماسات اصطدامية (يعتقد كذلك، أنّها تكوّنت بفعل ارتطام كوني) في الطبقة السوداء، وإلى درجة أقلّ تحت الطبقة بقليل وفوقها⁽¹⁸⁾،⁽¹⁹⁾، وباستمرار طرح حادثة (YD)، فإنّ المزيد من

أواخر العصر الكريتاوسي:

الانقراض الجماعي على حدّ آل كي-تي

Late Cretaceous: K-T Boundary Mass Extinction

من قصص التحريّ الجيولوجي العظيمة في أثناء الخمسين سنة الماضية، ما دار من بحوث حول الانقراض الجماعي عند حدّ آل كي-تي (K-T)، والاعتقاد السائد الآن، أنّ مذنباً أو كويكباً قطره قرابة (10 km)، قد ارتطم بالأرض منذ (65) مليون سنة تقريباً، في المنطقة المعروفة الآن بشبه جزيرة يوكاتان، فغيّر ذلك الحدث تاريخ الأرض إلى الأبد، وعلى الرغم من عدم

في حين ساد الاعتقاد بأنّ معظم أحداث الانقراض الجماعي مرتبطة بالتغيّرات المناخية، فإنّ حالة الارتطام المرتبطة بالانقراض الجماعي الذي حدث قبل (65) مليون سنة بنهاية حدود آل كي-تي (K-T) موثقة جيّداً (المقصود بحدّ "K-T"، الحدّ الفاصل بين العصر الكريتاوسي "K" "Cretaceous" والعصر الثلاثي "T" "Tertiary")، لقد تسبّب انقراض آل كي-تي في إنهاء الديناصورات، التي كانت على قمة السلسلة الغذائية، مدّة بلغت (100) مليون سنة أو تزيد، وقد سمح هلاكها بانتشار ثدييات صغيرة وتطوّرها لكثير من الأنواع، ومن بينها بنو البشر، الموجودون حالياً في معظم بقاع الأرض، وحدث تطوّر مشابه في محيطات العالم أيضاً، وسنبحث انقراض آل كي-تي (K.T) وفرضية الارتطام بصورة أوسع.

نُشر اكتشاف الفريق للإريديوم، بجانب فرضية إمكانية سبب كوني للانقراض عند حدّ أُل (K-T) عام 1980م⁽¹¹⁾، وأفادوا في تلك الورقة العلمية بارتفاع في تراكيز الإريديوم في الرواسب البحرية العميقة في الدنمارك ونيوزيلاندا، حيث حدود أُل (K-T)، وبإكتشاف أنّ شذوذ الإريديوم قد حدث في أماكن متعدّدة حول العالم، أصبح الفريق أكثر ثقة بفرضية الارتطام التي وضعوها، على الرغم من عدم توافر فوهة ارتطام، إذ حُجبت هذه المعلومة عن علماء آخرين في أثناء فترة البحث، وكانت جهودهم موجّهة للبحث عن فوهات محتملة تكوّنت قبل (65) مليون سنة، وقد ساد قلق حول إمكانية دفنها بصورة كاملة بالرواسب، بحيث لم يعد تمييزها ممكناً، أو أن تكون تلك الفوهة في قاع المحيط، وتحطمت بفعل حركية الصفائح، ولحسن الطالع، فقد أمكن تعرف الفوهة عام 1991م⁽¹²⁾.

اكتشف الجيولوجيون في المكسيك، الذين كانوا درسوا التركيب الجيولوجي في شبه جزيرة يوكاتان، ما قدروا أنّها فوهة دفيئة بقطر (180 km) تقريباً، فالفوهة دائرية تقريباً، وهناك حدود واضحة بين الصخور غير المتشقّقة ضمن الفوهة والصخور المتشقّقة خارجها، ويقع نصف الفوهة في خليج المكسيك تقريباً والنصف الآخر في نهاية شبه جزيرة يوكاتان الشمالية، انظر الشكل (11-19)، وقد وجد الباحثون على اليابسة نمطاً شبه دائري لبلوعات تعرف لشعب مايا ب (Cenotes)، تعود مباشرة إلى حافة فوهة الارتطام المحتملة، ويتراوح قطرها من (500-50) m، ويبدو أنّها نتجت عن التجوية الكيميائية للحجر الجيري، بفعل المياه المتسرّبة من خلال شقوق الصخور في الجهة الخارجية من حدود الفوهة، إذ يُعتقد أنّ التشقّق الذي أنتج حلقة أُل (Cenotes) مرتبط بالبنية الدائرية، وذلك لعدم وجود بنية أخرى تقسّر النمط المقوس لتلك المعالم، ويعتقد أيضاً أنّ الفوهة المملوءة الآن بصخور أخرى، كانت بعمق (40-30 km) في زمن الارتطام، وفي الأحوال كلّها، فإنّ هبوط المواد وانزلاقها من الجوانب ملاً معظم الفوهة بصورة سريعة، وأنّ الترسب في أثناء أُل (65) مليون سنة الأخيرة، دفن تلك البنية تماماً.

استُخرجت عيّنات لبابية عن طريق الحفر، حيث أمكن الحصول عليها من صخور زجاجية مصهورة من طبقة كتلية في الأسفل، وقد فسّرت بأنّها طبقة بريشة ارتطام في الفوهة المحتملة، إذ حفرت فوهة الارتطام الفوهة، وأدّت إلى تشقّق الصخور خارجها، وأنّجت البريشة، وهي صخور مكوّنة من قطع زاوية ملتحمة ببعضها، حيث يدلّ الانصهار الزجاجي على توافر حرارة كافية لصهر الصخور فعلياً نتيجة الارتطام⁽¹³⁾، أضف إلى ذلك أنّ دراسة أخرى للفوهة وجدت زجاجاً تلوّه البريشة ومختلطاً بها كذلك، بجانب دليل على تحوّل بفعل المصادفة مرتبباً بمعالم فوهة⁽¹⁴⁾، وكانت نتائج هذه الدراسات لفوهة شبه جزيرة ياكوتان (تعرف بفوهة شيكسولوب)، التوصل إلى أنّ ارتطام الكويكب منذ (65) مليون سنة، تسبّب في الانقراض الجماعي لـ (K-T).

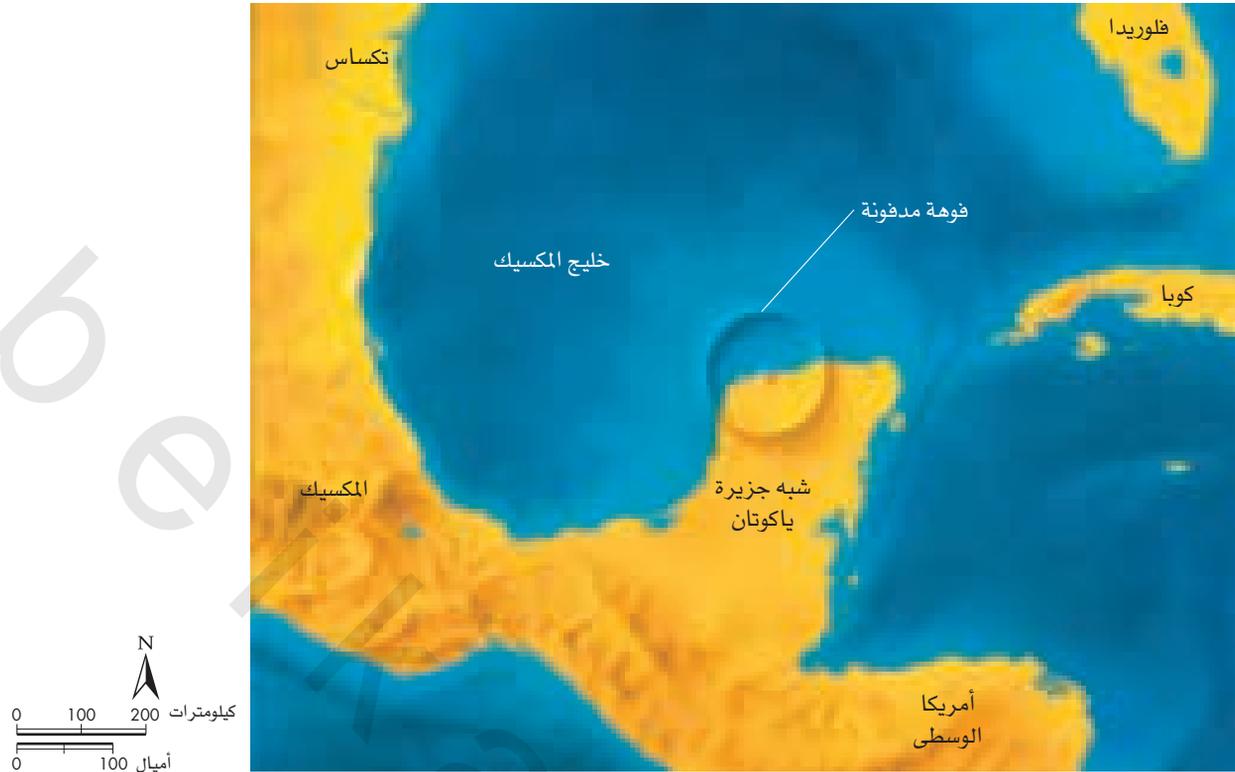
بعد تعرّف موقع الفوهة والأدلة التي تؤيّد وجودها، برزت أسئلة طبيعية حول مدى قدرة هذا الحادث على إحداث الانقراض الجماعي العالمي⁽¹⁰⁾، لقد كان الكويكب الذي ضرب شبه جزيرة ياكوتان قبل (65) مليون سنة عظيمًا، وقدّر قطره بقرابة (10 km)، واليك المثال الآتي لتوضيح ذلك، تُحلّق الطائرات النفاثة على ارتفاع (30.000 ft) تقريباً، أي قرابة (10 km) فوق سطح الأرض، فأعلى قمة جبل في العالم (إفرست) لا تصل إلى هذا الارتفاع، وإنّما قريبة منه، افترض

تغيّر الكثير من معالم سطح الأرض بعد الحادث، إلّا أنّ قاطنيتها تغيّروا إلى الأبد، فقد اختفت الديناصورات، وكثير من أنواع النباتات والحيوانات في البحر واليابسة، ومات (70%) تقريباً من الأجناس وأنواعها على الكوكب، وقد نجت -إلى حدّ ما - بعض الحيوانات أمثال السلاحف والتماسيح، وكذلك بعض الطيور، والنباتات والشجيرات الصغيرة، حيث لا يُعرف سبب نجاة هذه الكائنات، وموت كائنات غيرها في ذلك الانقراض الجماعي، وما نعرفه أنّ هلاك الديناصورات والزواحف على اليابسة وفي المحيطات، قد ترك المسرح لتطوّر الثدييات، التي أنتجت في النهاية الثدييات الرئيسة مثل القرد والإنسان، والسؤال هنا: كيف ستكون صورة الأرض اليوم لو أنّ انقراض أُل (K-T) لم يحدث أبداً؟ قد لا تكون هناك فرصة لوجود الإنسان.

لنعد إلى الوراء، وننظر في تاريخ فرضية حدوث الانقراض الجماعي (K-T) وتطوّرها، الذي نتج في الحقيقة عن ارتطام مذنب أو كويكب عظيم، فالقصة مليئة بالإثارة والتشويق والمنافسة والتعاون تماماً، مثل الكثير من الاكتشافات العلمية العظيمة⁽¹⁰⁾، إذ قام عدد من العلماء بخلفيات جيولوجية وفيزيائية وكيميائية وحيوية وجيوفيزيائية وفلكية بالعمل معاً، من أجل اختبار فرضية الانقراض الجماعي على حدّ أُل (K-T) الناتج عن الارتطام وتطوّرها، حيث طرح العالم والتر الفارّس بداية السؤال الآتي: "ما طبيعة الحدّ الفاصل بين صخور العصر الكريتاسي والعصر الثلاثي، منذ قرابة (65) مليون سنة؟".

لقد كان الفارّس مهتماً بتاريخ الأرض، وخاصّة ذلك التاريخ الذي تسجّله الصخور، وفي بداية دراساته لحدّ أُل (K-T) تعاون مع والده لويس الفيزيائي وفرانك أسارو وهيلين ميتشيل الكيميائيّين، وقرّروا قياس تركيز عنصر البلاتين المسمّى إريديوم في طبقة الطين الرقيقة، التي تمثل حدّ أُل (K-T) في إيطاليا، ذهب والتر الفارّس وزملاؤه أساساً إلى الموقع في إيطاليا، لدراسة التاريخ المغناطيسي للأرض، وما وجدوه على حدّ أُل (K-T) طبقة رقيقة جداً من الطين، وكأنّ انقراض كثير من الأنواع كان مفاجئاً جداً عند طبقة الطين، فالمستحاثات التي عُثر عليها أسفل طبقة الطين، لم تتوافر في الصخور الواقعة فوقها، وعندها تساءلوا: "كم من الزمن استغرق في ترسيب طبقة الطين؟ هل كان بضع سنين، أم بضعة آلاف من السنين، أم ملايين السنين؟".

لقد قرّروا محاولة تحديد الزمن الذي استغرقه ترسيب طبقة الطين، عن طريق قياس كميّة الإريديوم في طبقة الطين، فالإريديوم وُجد بتركيزات بسيطة في النيازك، مفترضين أنّ معدّل تراكم غبار النيازك الصغيرة على الأرض ثابت، ومن الممكن تحديد عمر الطين من أقدمه إلى أحدثه بالنظر إلى كميّة الإريديوم، لكن ما وجدوه كان كلياً غير متوقّع، إذ توقّع الفريق أن يكون القياس (0.1) جزء بالمليون تقريباً إريديوم في طبقة الطين، معتقدين أنّه يمثّل تراكمًا بطيئاً في أثناء الزمن، وإذا ترسّبت طبقة الطين بسرعة، فإنّ كميّة الإريديوم ستكون أقلّ، لكنّ ما وجدوه فعلاً كان ثلاثة أجزاء في البليون، أي ثلاثين ضعفاً أكثر من المتوقّع، وحتى الأجزاء الثلاثة في البليون تُعدّ كميّة صغيرة جداً، وأكثر من أن تفسّرها فرضيتهم السابقة بحدوث ترسيب بطيء بمرور الزمن، فأعادوا تقييم البيانات، وضمّموا في هذه المرة عيّنات كانت معزولة للمعالجة قبل إجراء القياس، واحتوت على قيمة نهائية بلغت قرابة تسعة أجزاء في البليون، التي تزيد على المتوقّع بمئة مرّة تقريباً، وقد قادهم هذا الاكتشاف إلى فرضية جديدة: أنّ الإريديوم قد يكون ناتجاً عن ارتطام كويكب.



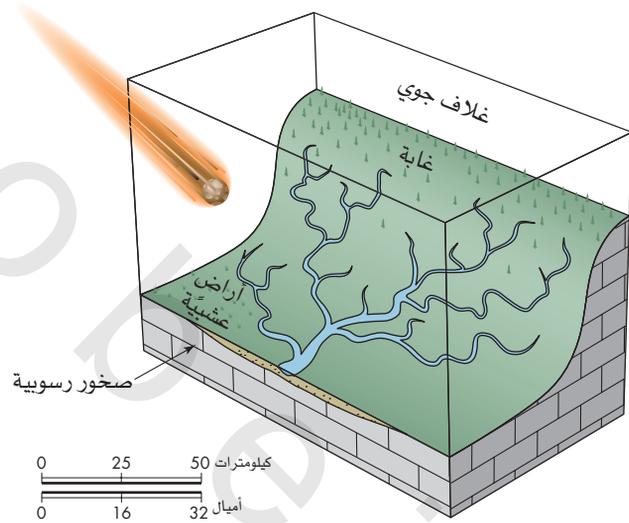
الشكل (10-11) فوهة المكسيك (Crater in Mexico). خريطة تبيّن فوهة ارتطام مدفونة، ناتجة عن ارتطام الكويكب، الذي أدى إلى الانقراض الجماعي لحدّ (K. T). (D. Ravenasway/Science Photo Library/ Photo Researchers, Inc).

حمض كبريتيك في الغلاف الجوي، إضافة إلى غازات أخرى؛ بسبب احتراق النيتروجين في الغلاف الجوي، لذلك، سقطت الأمطار الحمضية بعد الارتطام، وأحاط غبار الغلاف الجوّي بالأرض، ما حجب أشعة الشمس عن طبقات الغلاف الجوّي السفلية، وذلك أدى إلى توقّف عملية التمثيل الضوئي على اليابسة والمحيط، أضف إلى ذلك، أنّ الأمطار الحمضية كانت سامّة لكثير من الكائنات الحية، وخصوصاً نباتات اليابسة والبحر وحيواناتها، ما أدى إلى توقّف سلسلة الغذاء عن أداء وظيفتها؛ بسبب الضرر الكبير الذي لحق بقاعدتها، لقد حدث الارتطام جزئياً في البيئة البحرية، وذلك أدى إلى تعكير قاع البحر، وتوليد أمواج سونامي، وصلت إلى ارتفاع كيلومتر واحد تقريباً، وقد اندفعت هذه الأمواج قاطعة خليج المكسيك لتغمر أجزاء من أمريكا الشمالية⁽¹⁰⁾.

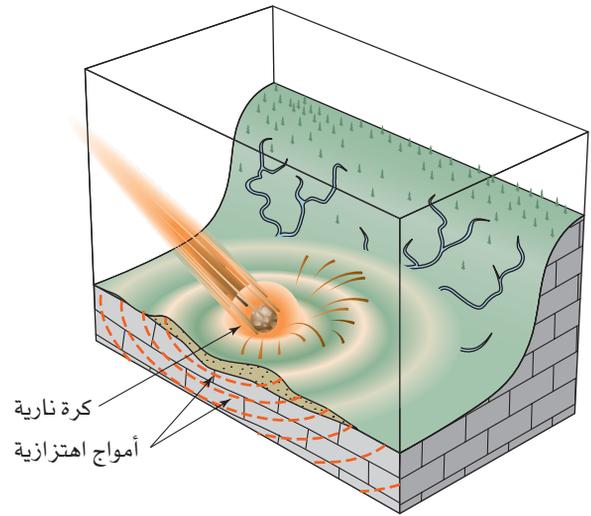
باختصار، أدى ارتطام الكويكب إلى كارثة عالمية قاتلة بما يسمّى الانقراض الجماعي، ومع أنّ هناك دليلاً بسيطاً على موت بعض أنواع الديناصورات قبل الارتطام، فإنّ هذا الحدث كان مسؤولاً بالتأكيد عن انقراض الديناصورات المتبقية، وكثير من الحيوانات والنباتات على اليابسة وفي البحار، إلا أنّ الشك يبقى في أنّ الارتطام العظيم قد تسبّب في الانقراض، فهل سيحدث هذا الحدث ثانية، لعلّ فقدان الأرواح ساعتها سيكون عظيماً، وقد يعني انقراض البشر والكثير من الثدييات الكبيرة والطيور على الكوكب، تاركة المجال لنمط آخر من التطور.

أنّ الكويكب قد اصطدم بالغلاف الجوي الأرضي بسرعة (30 km/s) تقريباً، فتكون سرعته أعلى بـ (150) ضعفاً من سرعة الطائرة النفاثة، وقد قدّرت كمية الطاقة المنبعثة بقرابة (100) مليون ميغا طن، أي ما يفوق قوّة الترسانة النووية في العالم جميعها بـ (10,000) مرّة تقريباً. ويبين الشكل (11-11) تسلسل أحداث الارتطام وآثارها، فقد بلغ عرض حفرة الانفجار في القشرة الأرضية قرابة (200 km) وعمقها (40 km)، حيث يستغرق وقت الاصطدام بالأرض أقلّ من نصف ثانية، حين ينطلق من ارتفاع (10 km) في الغلاف الجوّي بسرعة (30 km/s)، منتجاً فوهة كبيرة بصورة فورية، وبانطلاق الكويكب بهذه السرعة الكبيرة، يكون قد اخترق الغلاف الجوي كلّ في مدّة ثانية أو ثانيتين، وانطلقت أمواج اهتزازية بسرعة بحدوث الاحتكاك، حطمت فيها الصخور الواقعة تحتها، وملاّت الشقوق، وصهرت الصخور جزئياً، منتجة بريشة، وناسفة شظايا وقطعاً صخرية في الغلاف الجوي، وأدت الأمواج الاهتزازية أيضاً إلى تبخّر الصخور على أطراف الفوهة، ونثرت كميات هائلة من الفتات، لتتراكم على هيئة غطاء عظيم حول الفوهة، أضف إلى ذلك، أنّ سحابة هائلة من الصخور المتبخّرة والغازات أنتجت كرة نارية شكّلت سحابة عظيمة بصورة نبات الفطر، ونثرت فتات الصخور على صورة مسارات، قبل أن تعود لتسقط على الأرض.

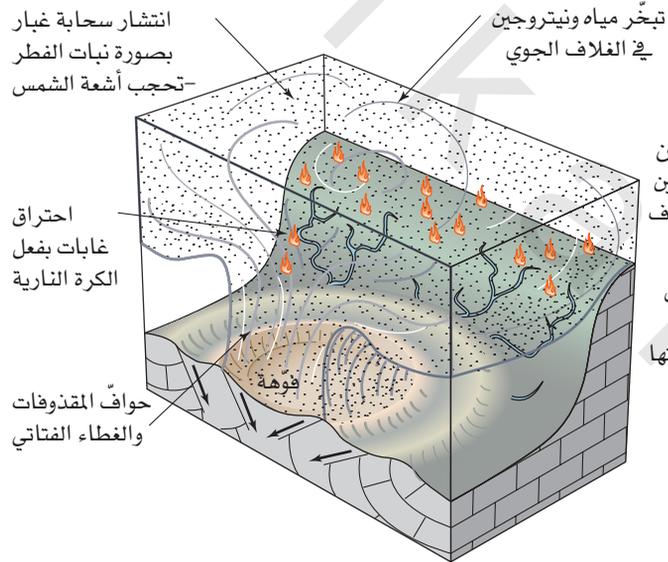
لقد كان الانفجار نفسه والموادّ المنثورة كافية لقتل الموادّ بسرعة كبيرة فوق سطح الأرض، ونتج عن الكرة النارية حرائق كافية لإشعال النيران حول الأرض، وأدى تبخّر الصخور الجيرية المحتوية على كبريت إلى تكوين



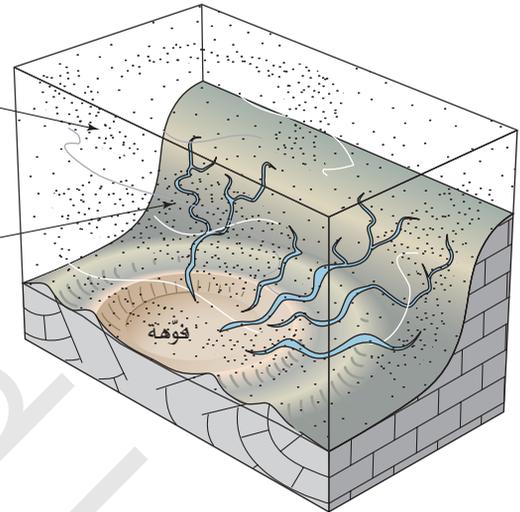
(أ) كويكب قادم



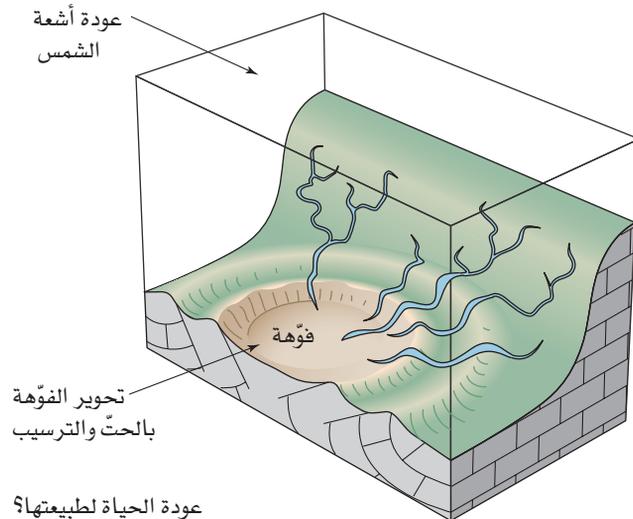
(ب) لحظة الارتطام



(ج) دقائق بعد الارتطام



(د) بعد شهر



(هـ) شهور عدّة بعد الأمطار الحمضية والغبارية

الشكل (11-11) سلسلة أحداث الارتطام المدفّر. (أ) كويكب قادم، (ب) لحظة الارتطام، (ج) دقائق بعد الارتطام، (د) بعد أشهر.

وبتقدير واحد، فإنَّ هناك قرابة (20) مليون جسم كوني قريب من الأرض، لديها إمكانية للارتطام⁽⁴⁾، إلا أنَّ قرابة (4%) منها فقط، يمكن لها اختراق الغلاف الجوّي وحفر فوهة، يُضاف إلى ذلك، أن أكثر من (50%) منها ضعيفة البنية، ما يجعلها قابلة للانفجار على ارتفاعات تصل إلى (30 km) تقريباً فوق مستوى سطح الأرض، ومع أنَّ هذه انفجارات مذهلة، إلا أنَّها لا تشكّل أخطاراً تذكر على سطح الأرض، أمّا بالنسبة إلى الأجسام المتبقية التي تشكّل قرابة (40%) من التعداد الكلي للأجسام، فإنَّها متوسطة القوة من كويكبات الكونديرايت (Chondritic asteroids)، انظر الجدول (11-1)، وهي بطيئة الحركة نسبياً، ويمكنها اختراق الغلاف الجوّي وإحداث تهديد حقيقي لسطح الأرض، وهي التي تتسبّب في إحداث نوع تونجوسكا.

من الصعب جداً تعرّف هذه الأجسام جميعها، التي يعتقد أنَّ هناك قرابة (10) ملايين منها، إضافة إلى أنَّ هناك أجساماً صغيرة بقطر يبلغ قرابة (25 m) فقط، وذلك يجعل من الصعب تعرّفها وتعقبها⁽⁴⁾، إذ من المستحيل تعرّف (10) ملايين كويكب ومذنب صغير وتصنيفها، لكننا مستعدون لتعرّف أجسام ذات أقطار تصل مئات الأمتار إلى كيلومتر واحد وتتبعها.

عندما يتقرّر أنّ جسماً كونياً كبيراً قريباً دخل في مسار تصادمي مع كوكبنا، تكون الخيارات المتوافرة لتفادي أخطار حادث انفجار جوّي أو تقليصها، أو تكوين فوهة ارتطام محدودة نوعاً ما، فلن يكون هناك مكان على الأرض للنجاة، في حالة حدوث اصطدام مذنب أو كويكب كبير بالأرض، وسيقتل الأحياء جميعهم ومن بينهم بنو البشر في مكان الانفجار بصورة فورية، في حين أنَّ أولئك البعيدين عن موقع الحدث، سيموتون في الأشهر اللاحقة؛ بسبب البرد ودمار السلسلة الغذائية، حتى إن تمكّننا من تحديد مكان الجسم الكوني واعتراض سبيله وتدميره إلى أجزاء صغيرة، فإنَّها ستؤدّي إلى أضرار أكبر ممّا كان سينتج عن اصطدام الجسم الكبير الأصلي؛ لأنّ القطع الصغيرة سوف تمطر الأرض، فالتوجّه الأكثر عقلانية يتمثل في محاولة تحويل مسار الجسم الكوني بهدوء، بحيث يخطئ الأرض، لنفترض أنّنا تعرّفنا كويكباً قطره (400 m)، سيرتطم بالأرض بعد قرابة (100) سنة مستقبلاً، وفي الحالات المشابهة جميعها، كانت الأجسام تقطع مدار الأرض منذ ملايين السنين دون حدوث ارتطام، فلو استطعنا دفع الجسم الكوني، لكان من الممكن أن يُخطئ الأرض عوضاً عن الارتطام بها، فليس السيناريو هذا غير مرغوب فيه، إذ إنّ هناك احتمالاً بنسبة (99%) لتعرّف الجسم الكوني، قبل (100) سنة من ارتطامه بالأرض، ولدينا التقنية الممكنة لتغيير مداره، وذلك بتفجير نووي صغير بالقرب منه على مسافة كافية لدفعه قليلاً وعدم تحطيمه، وإنجاز هذه المهمة، فإنّ ذلك يتطلب تعاون الجيوش ووكالات الفضاء العالمية، وأموالاً تتجاوز المليون دولار، وهو ثمن قليل مقارنة بالأضرار المحتملة لحادث شبيه بنوع تانجوسكا، في حال حدوثه في منطقة عمرانية.

شخص بسبب كارثة ارتطام على المستوى العالمي يبلغ قرابة (0.01%) إلى (0.1%)، وبالمقارنة، فإنَّ احتمال أن يُقتل بحادث سيارة يبلغ (0.008%)، وبالعراق (0.001%)، وبناءً على ذلك، يظهر أنّ خطر الموت بسبب ارتطام عظيم أو انفجار جوي ناتج عن مذنب أو كويكب، يُعدّ أكبر من الأخطار الأخرى التي نواجهها في حياتنا، ويجدر التأكيد هنا، أنّ الأخطار المرتبطة بالارتطام موزعة على آلاف السنين، وعلى الرغم من أنّ معدّل الوفيات في أيّ سنة قد يظهر مرتفعاً، إلا أنه يمثل معدلاً فقط، وتذكر أنّ مثل هذه الأحداث (والوفيات المرتبطة بها) تحدث في الواقع بنسبة محدودة، ومع أنّ هناك أخطاراً منها، إلا أنّ الفترة الزمنية بينها طويلة، لدرجة أنه لا يجب أن نخاف من تعرّضنا لحادث كارثي عالمي ناتج عن جسم كوني.

تقليص أخطار الارتطام

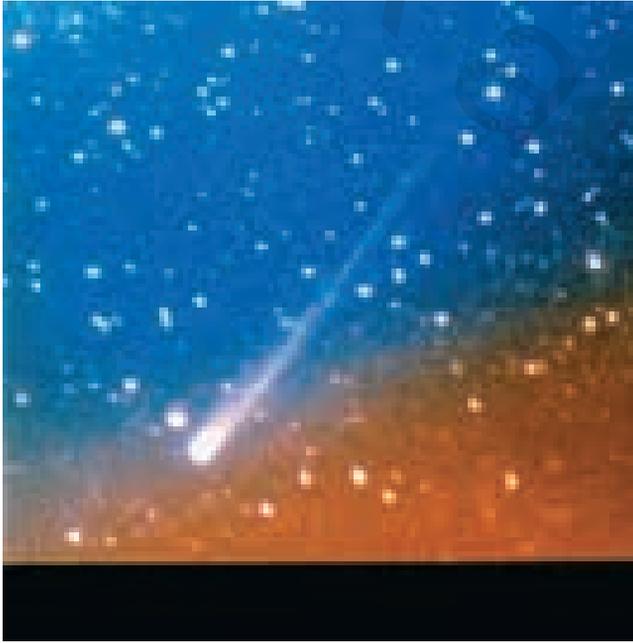
Minimizing the Impact Hazard

بعد التلميح إلى احتمال تعرّض لارتطام بفعل كويكب أو مذنب؛ ماذا علينا أن نفعل لتقليص أخطاره؟ أولاً، يجب تعرّف الأجسام الكونية القريبة من الأرض، التي تشكّل تهديداً لها (انظر إلى نظرة متفحّصة: الأجسام القريبة من الأرض)، فما زال تعرّف المذنبات والكويكبات التي تقطع مدار الأرض وتصنيفها قيد الإنجاز، وقد تتطوّر لتشتمل على أجسام من أحجام مختلفة، ومن بينها تلك التي يقلّ قطرها عن (50 m)، والتي يتراوح قطرها من (50 m) إلى مئات الأمتار، وتلك التي يبلغ قطرها كيلومترات عدّة، إذ يعمل برنامج يدعى "مراقبة الفضاء" (Spacewatch) منذ عام 1981م، على إحصاء المجال المحيط بالأرض، والممتدّ إلى النظام الشمسي بأكمله، حيث أظهر حتى تاريخه، أنّ هناك قرابة (135,000) جسم بقطر مقداره (100 m) أو أقلّ، تمثّل كويكبات تتقاطع مع مدار الأرض، وهناك برنامج آخر أيضاً بدأ عام 1996م، ويدعى نظام "تعقب الكويكبات القريبة من الأرض" (Near-Earth Asteroid Tracking, NEAT)، بدعم من إدارة الفضاء والطيران الوطنية (NASA)، ومن أهدافه دراسة التوزيع الحجمي والعمليات الفعّالة المتعلقة بالأجسام القريبة من الأرض، وخصوصاً تعرّف الأجسام التي يصل قطرها إلى (1 km) تقريباً، حيث يستخدم كلاً من برنامجي المراقبة والتلسكوبات لذلك، ثمّ تحليل الصور لتعرّف الأجسام سريعة الحركة⁽⁸⁾، ومن المتوقع أن تتكثّف البرامج والأنظمة المستخدمة لتعرّف الأجسام القريبة من الأرض مستقبلاً، وأنّ أجساماً أكثر سوف تصنّف، وهذه الخطوة الأولى في تقييم الأخطار المحتملة من الأجسام القريبة من الأرض، وفي الأحوال كلّها، سيسغرق التقييم وقتاً طويلاً؛ لأنّ الكثير من الأجسام لها مدارات قد لا تأتي بها قريباً من الأرض عقوداً عدّة، إضافة إلى أنّ معدّل الزمن الفاصل بين الارتطامات الكارثية المحتملة للأجسام الصغيرة جداً يبلغ آلاف السنين على الأقلّ، ومن الأخبار السارة، أنّ معظم الأجسام المهتدة للأرض، لن تصطدم بكوكبنا حتى بعد آلاف السنين من اكتشافها؛ لذلك، سنحتاج إلى فترة زمنية أطول كي نتعرّف جسماً كونياً محدداً، ثم نحاول تطوير تقنية مناسبة لتقليل أخطاره⁽⁴⁾.

A CLOSER LOOK نظرة متفصّلة

أجسام قريبة من الأرض Near-Earth Objects

راقبته، وقد وجدت أنّ جسم المذنب مسامي ريشي قليل القوّة، وفي الحقيقة، فإنّ نواته جميعها مكوّنة من (20%) ماءً، وأمّا نسبة (80%) المتبقّية، فهي فراغ وشبكة من الشقوق والفجوات ومادّة مفكّكة⁽⁴⁾، يُذكر أنّ مذنب هالي يزور الفضاء فوق الأرض مرّة كلّ (76) سنة تقريباً، انظر الشكل (11 د). تُعدّ الأجسام القريبة من الأرض من الكويكبات والمذنبات ذات أعمار قصيرة نسبياً؛ ونتيجة لذلك، فهناك إنتاج مستمرّ لها؛ لأنّ الكويكبات تترد باستمرار من حزام الكويكبات، ليصبح بعضها أجساماً قريبة من الأرض، وكذلك الحال بالنسبة إلى المذنبات في النظام الشمسي الخارجي، التي تخترق مداراتها بالكواكب أو أجسام أخرى، لتصبح كذلك من الأجسام القريبة من الأرض.



الشكل (11 د) مذنب هالي.

(Halley's Comet). (AP/Wide World Photos)

الأجسام الكونية القريبة من الأرض كويكبات تتوافر في مدار بين الأرض والشمس، أو ذات مدارات تتقاطع مع مدار الأرض، وهناك الملايين من النيازك، إلا أنّ المقصود هو الأجسام الأكبر مثل الكويكبات والمذنبات، التي تتفاوت في الحجم، ويتراوح قطرها من بضعة عشرات الأمتار إلى بضعة كيلومترات، إذ إنّها الأكثر ملاءمة لأبحاثنا، فإذا كان الجسم قريباً من الأرض، وبقطر يبلغ بضعة عشرات الأمتار، وسيترطم بالغلاف الجوّي أو بسطح الأرض، فنسنعاني ما حصل في حادث نوع تانجوسكا، أمّا إن كان الجسم القريب من الأرض ذا قطر يبلغ كيلومترات عدّة، فسيؤدّي إلى كارثة عالمية، ومثلما أشرنا سابقاً، ويُنظر في الشكل (11-2)، أنّ أصل معظم الكويكبات حزام الكويكبات، الواقع بين المريخ والمشتري، وإذا بقيت الكويكبات هناك، فإنّها لن تُعدّ أجساماً كونية قريبة من الأرض، وفي الأحوال كلّها، فإنّ مداراتها قد تضطرب؛ بسبب التصادمات أو احتمال الاشتباه بغيرها من الأجسام، وقد يتسبّب هذا في تحوّل مدار أحد الأجسام أو كثير منها إلى مدار إهليلجي ليقطع الفضاء بين الأرض والشمس، أو حتى أن يقطع مدار الأرض، وقد قُدّرت أعداد الكويكبات التي تقطع الأرض، والتي يزيد قطرها على (100 m) بقراية (135,000) كويكب، أمّا الكويكبات الأكبر حجماً التي تقطع الأرض، والتي يزيد قطرها على (1 km) فهي نادرة، وقد قُدّرت بقراية (1500) كويكب، وقراية (20) كويكباً بقطر أكبر من (5 km)⁽⁸⁾.

تبلغ أقطار المذنبات بضعة كيلومترات، وتوصف بأنّها كرات ثلجية؛ لأنّها مكوّنة من صخور وجليد (وبكمّيّة جليد تزيد على الصخر في الحجم)، وتُغلّفها من الخارج صخور وغبار، إذ يُعتقد أنّ معظم المذنبات تكوّنت بعيداً في النظام الشمسي، على مسافة تبعد قرابة (50.000) AU (وحدة AU تساوي المسافة بين الأرض والشمس، أو 150 مليون كيلومتر تقريباً)، في سحابة كروية تعرف بسحابة أورت، وأفضل ما تُعرف به المذنبات ضوءها الجميل، الذي تصنعه في السماء ليلاً، والذي ينتج بسبب تبخّر الجليد من سطحها، مطلقة جسيمات وبخاراً، وتنتج عن الغاز والغبار الممتدّ سحابة كروية حول المذنب، التي تشكّل الذيل خلفها، الذي يمتدّ أحياناً إلى مسافات كبيرة، ويؤدّي إطلاق الجسيمات والغاز إلى تكوّن تيار متدفّق من النيازك، التي تضيء السماء كذلك، وتكون أشبه بمرشّات فضائية إذا دخلت الغلاف الجوّي للأرض، حيث يُعدّ المذنب هالي من أشهرها، الذي حظي بأفضل الدراسات بين المذنبات؛ بسبب مهمّة سفينة الفضاء عام 1986م التي

الأرض، وقد بدأنا نفكر في خيارات لتقليل الأخطار، وإذا أُعطينا تحذيراً قبل فترة كافية عن اصطدام مؤكّد لجسم كوني بسطح الأرض، فمن الممكن أن نبتكر طرقاً لاعتراض الأخطار وتقليلها بدفع الجسم إلى مدار آخر يخطئ فيه الأرض.

وهناك خيار آخر في الأحداث الصغيرة يتمثّل في الإخلاء، فإذا استطعنا التنبؤ بموقع وقوع الحدث قبل أشهر من وقوعه بصورة مؤكّدة، فيكون الإخلاء ممكناً من الناحية النظرية، وفي الأحوال كلّها، فإنّ إخلاء منطقة بمساحة آلاف عدّة من الكيلومترات المرّعبة، يبدو هائلاً إن لم يكن مستحيلاً⁽⁴⁾. باختصار، إنّنا مستمرّون في تصنيف الأجسام الكونية التي تتقاطع مع مدار

توجد سكا عام 1908م، على مكان ما من سطح الأرض كل (1000) سنة، حيث ستقع (70%) منها في المحيطات. يكون الحدث الكبير قادراً على إحداث أضرار كارثية في منطقة عمرانية، ويتوقع لمثل هذه الأحداث أن تقع كل بضعة عشرات من آلاف السنين، ويمكن لبرامج مثل مراقبة الفضاء (Spacewatch) وبرنامج تعقب الكويكبات القريبة من الأرض (NEAT)، أن تحدد الأجسام القريبة من الأرض ذات الأقطار التي تزيد على بضعة مئات من الأمتار قبل الارتطام المحتمل بـ (100) سنة على الأقل، وبدرجة عالية من الدقة، ما يسمح بوقت كافٍ لاعتراض الجسم وتحويل مساره، باستخدام تفجيرات نووية. هناك قرابة (10) ملايين جسم كوني صغير (مثل أجسام نوع تونجوسكا)، التي يمكنها أن تحدث أضراراً كارثية في المناطق العمرانية، ويُعدّ تعرّف هذه الأجسام جميعها غاية في الصعوبة، لذلك فإننا معرضون بوجه خاص لهذه الأجسام الصغيرة.

تعدّ الكويكبات والنيازك والمذنبات أجساماً كونية قد تتقاطع مع مدار الأرض، وقد تحترق الأجسام الصغيرة في الغلاف الجوي، وتظهر بصورة الشهب ليلاً، وبحسب حجم الأجسام الكبيرة ذات القطر بضعة أمتار إلى (1000 km)، وبحسب سرعتها وتركيبها، فقد تتحطم في الغلاف الجوي العلوي أو السفلي في انفجار جوي، أو قد ترتطم بسطح الأرض، ومن الممكن أن تتسبب الأجسام الكبيرة في أضرار كارثية عالمية، من بينها انقراض جماعي للحياة، وحدث أفضل ارتطام موثق قبل (65) مليون سنة (حدود K-T)، محدثاً انقراضاً جماعياً للأنواع، ومن ضمنها الديناصورات، التي سجلت في صخور ذلك الزمان، وهناك ارتطام آخر حدث منذ (12,900) سنة، وقد أسهمت أمريكا الشمالية في انقراض الأحياء الكبيرة، ومن بينها الماموث. إنّ أخطار الانفجار الجوي لجسم كوني أو ارتطامه المباشر، تحددها إمكانية وقوع الحدث وعواقبه إن حدث، وقد تقع أحداث صغيرة نسبياً، مثل انفجار

المراجع REFERENCES

1. Cloud, P. 1978. *Cosmos, Earth and Man*. New Haven, CT: Yale University Press.
2. Davidson, J. P., Reed, W. E., and Davis, P. M. 1997. *Exploring Earth*. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall.
3. Rubin, A. F. 2002. *Disturbing the Solar System*. Princeton, NJ: Princeton University Press.
4. Lewis, J. S. 1996. *Rain of Iron and Ice*. Reading, MA: Addison-Wesley.
5. Brown, P., et al. 2002. The flux of small near-Earth objects colliding with the Earth. *Nature* 420:294-96.
6. Grieve, R., and Cintala, M. 1999. Planetary impacts. *Encyclopedia of the Solar System*, P. R. Weissman, L. McFadden, and T. V. Johnson. eds., San Diego, CA: Academic Press.
7. Williams, S. J., Barnes, P., and Prager, E. J. 2000. *U.S. Geological Survey Coastal and Marine Geology Research—Recent Highlights and Achievements*. U.S. Geological Survey Circular 1199. 28.
8. Weissman, P. R., McFadden, L., and Johnson, T. V., eds. 1999. *Encyclopedia of the Solar System*. San Diego, CA: Academic Press.
9. Dott, R. H., Jr., and Prothero, D. R. 1994. *Evolution of the Earth*. 5th ed. New York: McGraw-Hill.
10. Alvarez, W. 1997. *T. rex and the Crater of Doom*. New York: Vintage Books.
11. Alvarez, L.W., Alvarez, W., Asaro, F., and Michel, H. V. 1980. Extraterrestrial cause for Cretaceous-Tertiary extinction. *Science* 208(4448):1095-1108.
12. Pope, K. O., Ocampo, A. C., and Duller, C. E. 1991. Mexican site for the K/T impact crater? *Nature* 351:105.
13. Swisher, C. C., III, et al. 1992. Ages of 65.0 million years ago from Chicxulub crater melt rocks and Cretaceous-Tertiary boundary tektites. *Science* 257:954-58.
14. Hildebrand, A. R., et al. 1991. Chicxulub crater: A possible Cretaceous/Tertiary boundary impact crater on the Yucatan peninsula, Mexico. *Geology* 19:867-71.
15. Haynes, C. V. Jr. 2008. Younger Dryas (Black Mats) and the Rancholabrean termination in North America. *Proceedings of the National Academy of Sciences (PNAS)* 105(18): 6520-6525.
16. Firestone, R. B. et al. 2007. Evidence for an extraterrestrial impact 12,900 years ago that contributed to the megafauna extinctions and the Younger Dryas cooling. *Proceedings of the National Academy of Sciences (PNAS)* 104(41): 16016-16021.
17. Kennett, D. J. et al. 2008. Wildfire and abrupt ecosystem disruption on California's Northern Channel Islands at the Allerod-Younger Dryas boundary (13.0-12.9ka). *Quaternary Science Reviews* 27:2528-2543.
18. Kennett et al. 2009. Nano diamonds in Younger Dryas boundary sediment layer. *Science* 323:94.
19. Kennett, D. J. et al. 2009. Shock-synthesized hexagonal diamonds in Younger Dryas boundary sediments. *Proceedings of the National Academy of Sciences (PNAS)* 10.1073/pnas.0906374106.

المصطلحات المفتاحية KEY TERMS

نيزكي (meteoroid) ، (ص 324)

نيزك (meteorite) ، (ص 322)

شهاب (meteor) ، (ص 322)

مذنب (comet) ، (ص 322)

كويكب (asteroid) ، (ص 322)

بعض الأسئلة للتفكير SOME QUESTIONS TO THINK ABOUT

- 1 . صف النتائج المتوقعة لحدث من نوع تونجوسكا، إن وقع فوق أمريكا الشمالية أو في وسطها، وإن حصل التنبؤ بالحدث قبل (100) سنة من ذلك، فما الذي يمكن فعله لتفادي آثاره، إذا كان تغيير مسار الجسم ليس ممكناً؟ ضع خطة لتقليص الوفيات والدمار.
- 2 . اقرأ الورقة العلمية للعالم فايرستون وزملائه عام 2007م (المرجع 16)، والعالم كينيت وزملائه عام 2009م (المرجع 18 و10). هل تعتقد أنّ حدث (YD) موثّق بصورة كافية ليصبح فرضية؟ هل الفرضية مدعّمة بالبيانات أم نظرية فقط؟
- 3 . هل تعتقد أنّ الشعب الذي عاش في أمريكا الشمالية قبل (13,000) سنة، قاد الحيوانات الضخمة إلى الانقراض بفعل الصيد؟ لماذا؟ ولمّ لا؟