الزلازل والبراكين

ديفيد ألكسندر

الفصل الخامس من كتاب

الجغرافيا التطبيقية : المبادئ والممارسة

أ. م. مانيون

ترجمة بتصرف
أ.د. مضر خليل عمر

مقدمة

في المتوسط، يتسبب سبعة وعشرون زلزالًا وأربعة أو خمسة ثورات بركانية في كوارث كل عام . تقتل الزلازل حوالي 19,000 شخص وتصيب 26,000، بينما تقتل الثورات البركانية 1000 شخص وتصيب أقل من 300. تمثل هذه الأرقام أقل من 10% من وفيات الكوارث الطبيعية ، على الرغم من أنها تمثل ما يقرب من 50% من حالات المرض ؛ وعلى الرغم من أن أكثر من مليوني شخص يتأثرون بشكل مباشر كل عام بالزلازل والثورات البركانية ، إلا أنهم لا يمثلون سوى 1.5% من إجمالي الأشخاص الذين يعانون من آثار الكوارث الطبيعية ، حيث يتأثر عدد أكبر بالفيضانات والجفاف (الاتحاد الدولي لجمعيات الصليب الأحمر والهلال الأحمر، 1997). تُعد الزلازل والبراكين فرعًا من المجال العام متعدد التخصصات للمخاطر الطبيعية . يتنوع النهج المتبع في هذه المجالات من الجيوفيزيائي إلى الاجتماعي والنفسي . ويشتمل هذا النهج على طيف واسع يشمل دراسات المخاطر ، والضعف ، والإدراك ، والظروف الاقتصادية ، والجوانب التاريخية ، والاستشعار عن بُعد ، ورسم الخرائط ، والجوانب التقنية للرصد والإنذار .

ومنذ نشأتها ، حافظت دراسات المخاطر الطبيعية على بُعد تطبيقي قوي ، مدعومةً بضرورة جعل بيئة الحياة آمنة من الظواهر الطبيعية المتطرفة ، وبالتالي الحد من الخسائر والأضرار . وكان دور الجغرافيين في دراسة الزلازل والبراكين ثانويًا مقارنةً بدور العديد من العلماء والباحثين الآخرين . وقد حقق علماء الزلازل والبراكين وغيرهم من الجيوفيزيائيين تقدمًا كبيرًا . كما كان للمهندسين والمعماريين والجيولوجيين وعلماء الاجتماع نشاط كبير في هذا المجال . ومع ذلك ، درس عدد قليل من الجغرافيين الفيزيائيين والبشريين آثار الزلازل والانفجارات البركانية . في هذا السياق ، لا جدوى من القول المأثور القديم : الجغرافيا ليست مجرد ما يفعله الجغرافيون ، بل هي أيضًا ما يُنجزه ممارسو المجالات الأخرى ، علنًا أو بغير قصد ، فيما يتعلق بالفضاء والمكان . وهكذا، استفاد الجيوفيزيائيون والجيولوجيون الهندسيون من أساليب رسم الخرائط في كلٍّ من تحديد المناطق الدقيقة ، وتحديد المخاطر على المستوى المحلي ، وتحديد المناطق الكبرى ، ورسم توزيعات الأضرار الإقليمية ومستويات المخاطر .

وقد استخدم علماء البراكين الاستشعار عن بُعد لدراسة المظاهر الطبيعية النارية ، واستخدمه الجيولوجيون لتوضيح مورفولوجيا سطح الصدوع النشطة . ودرس الاقتصاديون مخاطر الزلازل كمضاعفات عكسية إقليمية ، ونظر علماء الاجتماع في التمايز المكاني للإدراك والسلوك التنظيمي . تميز الجغرافيون بدراساتهم لأشكال الأرض البركانية والزلزالية ، والتأمين ضد الزلازل ، والأنماط الإقليمية لإعادة الإعمار بعد الكوارث ، وإدراك المخاطر وتقسيم المناطق . سيركز هذا الفصل على العمل الجغرافي التطبيقي المتعلق بالمخاطر الزلزالية والبركانية ، سواءً قام به الجغرافيون أم لا ، مع إبراز أعمالهم عند الاقتضاء . الدراسات

ذات الصلة هي تلك التي تتناول بشكل كبير المشكلات العملية المتعلقة بالمظاهر الطبيعية ، أو الموقع ، أو البعد المكاني بشكل عام ، حتى في سياق عوامل أخرى مثل العلاقات الاجتماعية ، والاتجاهات الاقتصادية ، والظواهر الجيولوجية.

الجغرافيا الطبيعية

دُرست الجغرافيا الطبيعية للزلازل والبراكين بطرق متعددة . على سبيل المثال ، أتاحت التحسينات في جمع البيانات الجوية وتحليلها على شكل سلاسل زمنية تقييم التأثير المناخي للانفجارات البركانية بدقة (هاندلر، ١٩٨٩) . وفي الوقت نفسه ، أدت التحسينات في الاستشعار عن بُعد إلى تقييمات أكثر شمولاً ودقة لمدى وتركيب الهباء الجوي البركاني . تُقدَّر الكميات الاتية من الغازات التي تُطلقها البراكين المتفجرة والمُطلقة للغازات بشكلٍ سلبي في الغلاف الجوي سنويًا : 100-200 مليون طن من ثاني أكسيد الكربون، و18.7 مليون طن من ثاني أكسيد الكبريت ، و0.4-11 مليون طن من حمض الهيدروكلوريك، و0.06-6 مليون طن من فلوريد الهيدروجين .

في معظم الأحيان ، تُزال غازات التروبوسفير بسهولة بفعل الأمطار، وتتضاءل انبعاثات ثاني أكسيد الكربون مقارنةً بانبعاثات المصادر البشرية . ومن ثم ، فإن التأثير الرئيسي للثورات البركانية هو حقن كميات كبيرة من ثاني أكسيد الكبريت في طبقة الستراتوسفير (على سبيل المثال ، 17 مليون طن بواسطة جبل بيناتوبو عام 1991) ، وقد تتأكسد هذه الكميات ضوئيًا لتتحول إلى هباء جوي من حمض الكبريتيك ، مما يزيد من حموضة الهطول ويخفض درجات الحرارة العالمية بما يصل إلى 0.5 درجة مئوية لبضع سنوات عن طريق عكس بعض أشعة الشمس إلى الفضاء . كما أن كميات فلوريد الهيدروجين (HF) كبيرة ، وقد تساعد تدريجيًا في تغيير تركيب الغلاف الجوي للأرض .

وقد تزايد الاهتمام بمخاطر الطيران المرتبطة بالجسيمات العالقة وأعمدة الغاز الناتجة عن الثورات البركانية . يمكن للهباء الجوي الحمضي أن يخدش الأسطح الخارجية للطائرات ، وخاصةً نوافذ قمرة القيادة . وهكذا ، في أوائل ثمانينيات القرن الماضي ، ضخّ بركان إل تشيتشون المكسيكي ما بين 0.5 و0.6 كيلومتر مكعب من المنتجات الغنية بالكبريت في طبقة الستراتوسفير، و وجدت إحدى شركات الطيران أنها اضطرت إلى استبدال ما يصل إلى اثنين وأربعين نافذة من نوافذ قمرة القيادة للطائرات خلال شهر واحد بتكلفة إجمالية قدرها 6.8 مليون دولار أمريكي (برنارد وروز، 1990) . علاوة على ذلك ، يمكن أن تذوب الصخور البركانية الزجاجية مجددًا عند امتصاصها في المحركات النفاثة ، مما يزيد من نسبة ضغط التشغيل لضواغط التوربينات ، وقد يتسبب في توقف المحركات أو اشتعالها.

أدت ثورات بركان ريدوبت في ألاسكا وبركان غالونغونغ في إندونيسيا إلى حالات طوارئ أثناء الطيران وأضرار جسيمة للطائرات ، وإن لم تُسفر، لحسن الحظ ، عن إصابات . ولذلك ، اتُخذت خطوات للافادة من المعلومات البركانية الآنية في التحكم في الطيران (كاساديفال، 1991) . تُعد صور AVHRR، على سبيل المثال ، من أقمار NOAA الصناعية 10 و 11، مفيدة بشكل خاص ، إذ يُمكنها المساعدة في رسم خرائط لارتفاع وتوزيع ودرجة حرارة وتركيز الأعمدة البركانية ، وتحديد مسارات حركتها . قد يثور حوالي عُشر البراكين النشطة في العالم ، والتي تتراوح بين 450 و500 بركان ، في أي عام .

وعلى الرغم من أن عددًا قليلًا نسبيًا منها يخضع للرصد المكثف ، إلا أن خمسة عشر منها يُعد أنها تُشكل خطرًا كبيرًا للكوارث ، لدرجة أنها أصبحت موضوع مبادرة رصد خاصة برعاية العقد الدولي للحد من الكوارث الطبيعية (الشكل 5.1) ، وقد تم فهرسة جميع المواقع النشطة المحتملة للبراكين (بولارد 1984).

كان علماء البراكين من أوائل من استخدموا الإنترنت بكثافة لتبادل البيانات والمعلومات ، وتُعد الشبكة العالمية للبراكين الآن واحدة من أكثر هذه العمليات نشاطًا وشمولًا . يستخدم علماء البراكين بشكل كبير الاتصالات الإلكترونية والرصد عبر الأقمار الصناعية ، مع التركيز بشكل خاص على مطيافية رسم خرائط الأوزون الكلي والقياس الإشعاعي المتقدم عالي الدقة لتحديد ارتفاع وتركيب الأعمدة الجوية الناتجة عن الانفجارات البركانية ، وبيانات الأشعة تحت الحمراء من جهاز رسم الخرائط المواضيعية لتحديد حجم ودرجة حرارة الإشعاع المنبعث ، وبيانات الرادار ونظام تحديد المواقع العالمي (GPS) لرصد تشوه سطح البركان .

Figure 5.1 Active volcanoes with high disaster potential chosen for intensive monitoring under the auspices of the International Decade for Natural Disaster Reduction.

أحد جوانب البراكين التي دُرست باستمرار من قِبل عدد قليل من الجغرافيين الفيزيائيين هو جيومورفولوجيا البراكين . ركزوا على تناوب عمليات تكوين الأرض البنّاءة والهدامة ، حيث تنبثق الصهارة على سطح الأرض وتُعاد تشكيل نواتجها بفعل تأثيرات الانفجار والتعرية (أولييه 1988). إن الآثار المترتبة على الجيومورفولوجيا التطبيقية كبيرة ومتطورة . في الأعمال التي تستخدم المنهج الجغرافي الكلاسيكي للتركيب عبر طيف واسع من التخصصات ، على الرغم من أن علماء البراكين (فرانسيس 1994) يُحتمل أن يشاركوا فيه بقدر ما يُشارك الجغرافيون (تشيستر 1993). أحد الجوانب التي تُميز مساهمة هذا الأخير هو الاهتمام بالتأثير البيئي للثورات البركانية (دنكان وآخرون 1981)، وهو اهتمام يشترك فيه علماء الأحياء الذين درسوا إعادة استعمار المظاهر الطبيعية البركانية بالنباتات بعد توقف النشاط البركاني (ديل مورال وود 1993).

وقد أولى الجغرافيون الفيزيائيون اهتمامًا أقل للظواهر الزلزالية مقارنةً بالظواهر البركانية . ومع ذلك ، فقد كانت التكتونيات النشطة موضوعًا لبعض الدراسات الجيومورفولوجية المثيرة للاهتمام ، بما في ذلك مراجعة للعملية والشكل المورفوتكتوني في الصين (دورنكامب وهان 1985) ونماذج انتشار تدهور الصدوع والجرف (ناش 1981) . وما تزال إمكانية تطبيق الأساليب الجيومورفولوجية على المشكلات العملية المتعلقة بتخفيف آثار الزلازل والسلامة الزلزالية غير مستغلة بالكامل . ولم يُنجز الجغرافيون سوى القليل في هذا المجال ، على الرغم من نشر بعض الدراسات المثيرة للاهتمام في ثمانينيات القرن الماضي من قِبل كينيث هيويت (على سبيل المثال 1983)، الذي سعى إلى ربط الاختلافات المكانية في مخاطر اهتزاز الأرض بالأنماط الارتفاعية للاستيطان والمناطق البيئية .

وقد وجد أن مراوح الطمي في سفوح الجبال معرضة بشكل خاص لأضرار الزلازل ، لأنها تتكون من حطام غير متماسك يمكن أن يتعرض لهبوط الضغط وفشل التسييل . بالإضافة إلى ذلك ، جادل كوك ودورنكامب (1990: ص 346) بأن علماء الجيومورفولوجيا التكتونية لديهم القدرة على تقديم مساهمة كبيرة في دراسات التنبؤ بالزلازل من خلال المساعدة في تحديد الأماكن التي تكون فيها الضغوط الأرضية في

أقصاها . ومع ذلك ، لا يوجد دليل يُذكر على قيامهم بذلك حتى الآن ، على الرغم من مساهمتهم في تقييمات مخاطر الزلازل (بانيزا 1989).

رسم الخرائط وتقسيم المناطق

منذ صياغة أول مقاييس شدة الزلازل في القرنين الثامن عشر والتاسع عشر ، اهتم بالأنماط المكانية التي تُحدثها الزلازل . مع مطلع الألفية ، تُبذل جهودٌ لتحسين المقاييس المستخدمة لتصوير أضرار الزلازل والآثار الأخرى (مقاييس MM، وMCS، وMSK، وJMA، وGOST - ينظر ألكسندر 1993: الصفحات 28-31). يؤدي ذلك إلى تحسينات في تصوير نمط ومدى أضرار الزلازل ، وإلى تعزيز القدرة على التنبؤ بالزلازل على المديين المتوسط والطويل للمناطق المتضررة . قدّم تشودري وجونز (1996) عرضًا موجزًا للطرق الميدانية المستخدمة في مسح شدة ما بعد الزلزال ، بينما ناقش غاسباريني وآخرون (1992) الطرق الإحصائية المستخدمة لتجميع خرائط تساوي الزلازل من بيانات الاستبيان . وقد قدّم علماء الزلازل (مثل برازي 1979) ومهندسو الجيوتقنية (مثل سيد وآخرون 1976) نماذج بارامترية لانخفاض شدة (وبالتالي الضرر) من مركز الزلزال في أوراق بحثية . وتميل هذه النماذج إلى إظهار أن توهين الحركة القوية مع البعد عن الصدع هو دالة لخصائص المصدر (العامل الأكثر أهمية) ، ومسار النقل ، والانتشار الهندسي ، وامتصاص الطاقة ، وظروف الموقع المحلي .

ومع ذلك ، لم يرتقِ أي جغرافي حتى الآن إلى مستوى التحدي المتمثل في إنتاج نموذج مكاني موزع لتأثيرات الزلازل ، على الرغم من أن سلوسيك (1986) قد اتخذ بعض الخطوات في هذا الاتجاه ، حيث وجد أن الوفيات والإصابات تميل إلى الانخفاض بشكل ملحوظ وموحد مع البعد عن مركز الزلزال بغض النظر عن شكل المجال الزلزالي الكلي ، شريطة أن يؤخذ نمط انهيار المباني في الحسبان . علاوة على ذلك ، وباستخدام بيانات من كوارث زلزالية عدة ، قمتُ بتعميم النمط المكاني لضحايا الزلازل في سلسلة من النماذج البسيطة القائمة على الاختلافات المركزية والمحاور والعقد (الشكل 5.2؛ ألكسندر 1989 - ينظر أيضًا ألكسندر 1993: ص 466).

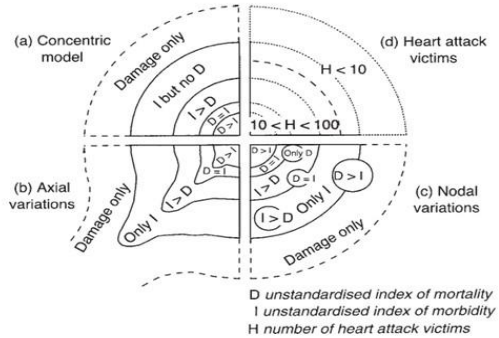

Figure 5.2 Hypotheses of the theoretical spatial distribution of casualties in earthquake disasters.

Source: After Alexander 1989.

ومع ذلك ، هناك حاجة إلى مزيد من الاختبارات والتحسينات لهذه النماذج لزيادة قدرتها التفسيرية . في هذا السياق ، وجد ديج (1989) أن الأضرار الناجمة عن زلزال مدينة مكسيكو عام 1985 تفاوتت بشكل كبير وفقًا لنوع البناء وارتفاع المبنى ونوع التربة التحتية . تضررت المباني الشاهقة على مسافات أكبر من مركز الزلزال مقارنةً بالمباني المنخفضة . ومع ذلك ، فإن تشودري لاحظ جونز (1996) قلة البيانات المتوفرة حول العلاقة بين انهيار المباني في الزلازل ونوع الإصابات وشدتها وتوزيعها . لو كانت العلاقة

معروفة بشكل أفضل ، لكان هناك أساس أكثر ملاءمة لتحديد مواقع الناجين ومعرفة كيفية إنقاذهم وتثبيتهم . وقد مكّن الجمع بين الأساليب الجيوفيزيائية المُحسّنة (بما في ذلك استخدام القياس المغناطيسي ومسوحات الرادار) ومعالجة البيانات المتكاملة بشكل أكبر من زيادة دقة تحديدات مركزية الزلزال (على سبيل المثال، قمر وميجر 1993) . وقد أدى ذلك بدوره إلى فهم أفضل لتوزيع الزلازل متوسطة إلى طويلة الأجل حول العالم ، بما في ذلك تقديرات أفضل لفترة عودة الزلازل ذات الأحجام أو الشدة المحددة .

وقد حفز هذا بدوره زيادات كبيرة في رسم خرائط المخاطر الزلزالية الإقليمية وتمييزها ، وهو ما تم على نطاقات مختلفة . شملت الدراسات الإقليمية ، على سبيل المثال ، شرق إفريقيا (مانتينيمي وكيكو 1991) ، والبحر الأبيض المتوسط (أمبراسيس 1992)، والشرق الأوسط (ديغ 1992)، والولايات المتحدة الأمريكية (هايز 1984). ونُشرت دراسات عن دول منفردة ، من بينها : بلغاريا (أوروزوفا ستانيشكوفا وسليجكو 1994)، وفرنسا (ليفريت وآخرون 1994)، واليونان (بابازاخوس وآخرون 1993)، والعراق (فهمي والعباسي 1989)، والأردن (يوسيمين 1992)، وبنما (مونيوز 1989)، وسلوفينيا (لاباييني وآخرون 1997)، والسويد (كيكو وآخرون 1993)، وسوريا (ملكاوي وآخرون 1995)، والمملكة المتحدة (موسون ووينتر 1997).

وأخيرًا ، أُجريت دراسات محلية ، على سبيل المثال ، في مدينة مكسيكو (إغليسياس 1989)، وبوجيت ساوند (إهنن وهادلي 1987) ، ومنطقة خليج سان فرانسيسكو (مورفي ووسنوسكي 1994)، ويوتا (غوري وهايز 1992) . كما يُعزز برنامج عالمي لتقييم المخاطر الزلزالية مبادرات رسم الخرائط (جياردييني 1992) . ويمكن دراسة المخاطر على مقاييس متنوعة ، وقد تُحدد طبيعة المخاطر المُحددة جزئيًا من خلال مستوى التفصيل المتأصل في كل مقياس . وتُعد الدراسات الإقليمية للزلازل عمومًا شكلاً من أشكال تقسيم المناطق الكبرى . وهذا أمر بالغ الأهمية كوسيلة لتحديد المعاملات اللازمة لقوانين البناء المحلية المضادة للزلازل ، ولكن الحماية الكافية من الزلازل تتطلب أيضًا دراسات أكثر تفصيلًا لأداء المواد الجيولوجية والأساسات وعوامل الموقع المحددة . وهذا ما يُعرف بالتقسيم الجزئي.

طُوِّرَ التقسيم الزلزالي الدقيق لأول مرة في منطقتي خليج لوس أنجلوس وسان فرانسيسكو (كوكلمان وبراب، 1979) وفي منطقة تارسينتو في منطقة فريولي بإيطاليا (براماباتي وآخرون، 1980). ويستجيب هذا التقسيم لعدد من المتطلبات المختلفة . على سبيل المثال ، قد تتعرض المناطق شديدة الزلازل ، التي تحتوي على رواسب كبيرة من الرمل المشبع أو الطين الحساس ، إلى التسييل ، وهو تغيير تلقائي من الحالة الصلبة إلى الحالة السائلة ، وعادةً ما ينطوي على فقدان قدرة تحمل الأساسات . ويمكن رسم خرائط لإمكانية التسييل لتحديد المواقع الأكثر عرضة (كوتودا وآخرون، 1988) . كما تُشكِّل تدفقات الحطام ، وتدفقات التربة السريعة ، وسقوط الصخور، والانهيارات الصخرية الجليدية ، خطرًا في المناطق الجبلية ذات الرواسب الكبيرة وغير المستقرة من المواد الفتاتية .

في الواقع ، أفاد كوباياشي (1981) أن مثل هذه الأحداث تُمثل أكثر من نصف الوفيات الناجمة عن الزلازل التي تزيد قوتها عن 6.8 درجة على مقياس ريختر في اليابان ، مما يُقدم صورة مختلفة نوعًا ما عن الرأي السائد بأن انهيار المباني هو المُحدد الرئيسي للوفيات في الزلازل (بيج وآخرون، 1975) . لذلك ، يجب أن يتضمن تقسيم المناطق المعرضة للزلازل فرضيات حول سلوك الصخور والتربة وكتل الحطام غير المستقرة أثناء التحميل الزلزالي . في أكثر الحالات تعقيدًا ، قد يتطلب ذلك سلسلة من الخرائط التي تُظهر مستويات أو تأثيرات مختلفة للمخاطر بدرجات متفاوتة من التسارع الزلزالي للأرض . تُعد منهجية تقسيم

المناطق المعرضة للمخاطر البركانية متطورة للغاية ، وقد تم اختبارها لعدة عقود على براكين كاسكيد في غرب أمريكا الشمالية (كراندیل ومولينيو، 1975).

أظهر سميث (1996: الصفحات 179-181) أن خرائط جبل سانت هيلينز التي تعود إلى سبعينيات القرن الماضي كانت عمومًا أدلة دقيقة على التوزيع المكاني لتأثيرات ثوران 18 مايو 1980، مع مراعاة احتمال حدوث انهيارات أرضية وانفجارات أشد مما كان متوقعًا . كما وُضعت تقييمات مخاطر معقدة لبراكين أخرى ، بما في ذلك إتنا (تشيستر وآخرون 1985) وفيزوف (ينظر الملحق 5.1). ينطوي الأول على خطر تدفق حمم بركانية متكرر، مما استلزم إجراء تحليل مكاني لكثافة عدد الفوهات البركانية (واحدة على الأقل لكل كيلومتر مربع) ، وطول تدفقات الحمم البركانية (حتى 15 كيلومترًا) ، وموقع المستوطنات الحضرية (التي يبلغ عددها سبعة وثلاثين) ، ونمط الوديان التي قد تتدفق منها الحمم البركانية (44% من الأراضي الواقعة تحت 2000 متر معرضة للخطر؛ دنكان وآخرون، 1981).

وقد شملت الاستجابة لهذا الخطر واحدة من أكثر تجارب تحويل تدفقات الحمم البركانية طموحًا وتطلبًا تقنيًا على الإطلاق . فمن 14 ديسمبر/كانون الأول 1991 إلى 30 مارس/آذار 1993 ، وخلال 473 يومًا من الثوران المتواصل ، قذف بركان إتنا 250 مليون متر مكعب من الحمم البركانية على مساحة 7 كيلومترات مربعة . لحماية سكان زافيرانا إتنا البالغ عددهم 7000 نسمة ، شُقّت قنوات اصطناعية . تعزي الثقافة المحلية توقف التدفق إلى التدخل الإلهي للسيدة العذراء مريم ، التي أُحضر تمثالها إلى هذه النقطة ، لكن العلم يُعزيه إلى تجارب تعديل الحمم البركانية ونهاية الثوران البركاني الذي تسبب في التدفق . تم حفر ثقوب ، وسُدّ تدفقات الحمم البركانية بـ 370,000 متر مكعب من التربة . واستُخدمت أساليب حجب معقدة ، ورُقّعت سدود الحمم البركانية بـ 7000 كيلوغرام من المتفجرات لإبطاء التدفق (باربيري وآخرون، 1992).

هناك أسباب عدة تجعل تقسيم المخاطر البركانية عمليًا للغاية . أحدها أن العديد من البراكين تُقدّم سلسلة واضحة من العلامات المُبشّرة للثوران الوشيك ، بينما يتمثل سبب آخر في إمكانية استنتاج الأنماط والمواقع والترددات المميزة للثورات البركانية من الأدلة الطبقية . يعني هذا أنه يمكن بناء خرائط المناطق بناءً على معرفة العمليات البركانية السائدة التي تُشكل الخطر (مارتينيلي، ١٩٩١) . وهكذا ، وُضعت خرائط للمخاطر لسقوط الرماد على بركانَي إتنا وفيزوف في إيطاليا (غاسباريني، ١٩٩٣)، وللاهار والانفجارات البركانية الفتاتية وسقوط الرماد على نيفادو ديل رويز، كولومبيا (بارا وسيبيدا، ١٩٩٠).

وُضعت خرائط للمخاطر العامة في بركان تلال سوفرير في مونتسيرات في منطقة البحر الكاريبي قبل ما يقرب من عقد من الزمان من الانفجارات المتكررة عام ١٩٩٧، والتي هيمنت عليها التدفقات البركانية الفتاتية والانفجارات العمودية وسقوط الرماد (وادج وإيزاك، ١٩٨٨) . ومع ذلك ، فإن مجرد وجود خريطة للمخاطر لا يعني بالضرورة وجود استجابة كافية من حيث استخدام الأراضي والحماية المدنية ، كما أظهرت حالة ثوران بركان نيفادو ديل رويز المروعة في نوفمبر 1985 بوضوح تام : فقد قُتل 23000 شخص بسبب الانهيارات الطينية ، ومع ذلك كانت خريطة دقيقة وشاملة للمخاطر موجودة منذ بضعة أشهر (فويت 1990).

وقد أثبت الاستشعار عن بُعد أهميته البالغة كوسيلة لإنشاء نظرة عامة قابلة للرسم على الخرائط للمخاطر الزلزالية والبركانية (مورفي 1994) . وقد تم إحراز المزيد من التقدم باستخدام نظم المعلومات الجغرافية .(GIS) على سبيل المثال، استخدم إيمي وهورتون (1993) نظام معلومات جغرافية لمقاطعة سولت ليك ، يوتا ، لتقييم التباين المكاني لمخاطر الزلازل من حيث فترة التعرض ، وشدة اهتزاز الأرض ، واحتمالية حدوث الزلازل . ربط الباحثون هذه العوامل بضعف البيئة المبنية (من خلال إنشاء قائمة جرد للمباني وسلسلة

من وظائف هندسة الزلازل)، ونمط إشغال المباني، والطبيعة المتوقعة للإصابات . أتاحت محاكاة الأنماط المكانية إجراء تحليل حساسية لتقييم قيود النموذج (إيمي وهورتون، 1995).

تسونامي

يُدرج تسونامي هنا لأنه ينتج بشكل رئيسي عن الزلازل والانفجارات البركانية . ومن جوانب أبحاث تسونامي تجميع كتالوجات تسرد الأحداث المعروفة في الأحواض البحرية في العالم ، على سبيل المثال المحيط الهادئ (لوكريدج، 1988) والبحر الأبيض المتوسط (سولوفييف، 1990). ويتيح ذلك تحسين تقييمات المخاطر مع إضافة بيانات جديدة ، لا سيما فيما يتعلق بفترات تكرار تسونامي ذات مقادير محددة . على سبيل المثال، في شرق هونشو (اليابان) ، أُجريت دراساتٌ تمهيديةٌ منذ ثلاثينيات القرن الماضي ، ومن المعروف أن أمواج تسونامي التي يبلغ ارتفاعها 10 أمتار لها فترة عودة لا تتجاوز عشر سنوات . حتى في المناطق التي تشهد أمواج تسونامي محدودةً ونادرة ، مثل شبه الجزيرة الإيطالية ، أمكن رسم خريطةٍ للخطر بنجاحٍ كبير (تينتي 1991).

الجانب الآخر المهم في أبحاث تسونامي هو الإنذار، وهو نظامٌ متطورٌ فقط في حوض المحيط الهادئ ، من خلال آليةٍ إقليمية ، هي نظام الإنذار بأمواج تسونامي في المحيط الهادئ (باراراس كارايانيس 1986) ، ونظامٌ محليٌّ سريع الاستجابة ، هو مشروع ثراست (برنارد 1991) . وقد وُجّهت العديد من المشاكل الجغرافية مع نظام الإنذار بأمواج تسونامي المحيط الهادئ . يجب أن يغطي مساحات شاسعة ، وأن يكون قادرًا على رصد مسار الأمواج التي تنتقل عبر مياه المحيطات المفتوحة بسرعة طائرة نفاثة ، والتي لا يمكن رصدها بالعين المجردة إلا عند وصولها إلى اليابسة .

وللرصد الكافي ، يجب نشر الأجهزة في مواقع نائية ومتفرقة ، وأن تكون الشبكة كثيفة بما يكفي لرصد أحداث التسونامي بسرعة وكفاءة في أوسع نطاق ممكن من البيئات الزلزالية والبركانية والتكتونية . ولعل بُعد المشكلة الواضح هو ما دفع كندا إلى الانسحاب لفترة وجيزة من بين الدول الثلاث والعشرين المشاركة في نظام الإنذار المبكر من التسونامي . وقد ثبت أن هذا القرار غير مجدٍ اقتصاديًا ، فعادت كندا للانضمام إليه لاحقًا . ومع ذلك ، فإن الإنذار على مستوى المحيط الهادئ ليس فعالاً بشكل خاص في حالة حدوث تسونامي قريب المدى (أي عندما يكون الفاصل الزمني بين حدوث التسونامي ووصول الأمواج المدمرة أقل من عشرين دقيقة ، على سبيل المثال) ، ولهذا الغرض ، طُوّر مشروع THRUST بالاعتماد على تقنية الأقمار الصناعية والحواسيب الدقيقة .

يُعد هذا تطورًا بالغ الأهمية : ففي جميع أنحاء العالم ، من بين 53,000 من سكان المناطق الساحلية الذين لقوا حتفهم في أربعة وتسعين تسونامي وقعت خلال الفترة من 1900 إلى 1994، كان 99% منهم موجودين على بُعد 400 كيلومتر من نقطة حدوث التسونامي ، والتي كانت عادةً مركز الزلزال . يمنح نظام الإنذار المبكر (PTWS) مدة تنبيه لا تقل عن ساعة واحدة في جميع أنحاء حوض المحيط الهادئ وعشر ساعات على المستوى الإقليمي . هذا غير كافٍ على المستوى المحلي ، ولكن يتم تعويضه بواسطة THRUST، الذي حقق متوسط وقت استجابة يبلغ سبعة عشر ثانية (برنارد 1991).

إدارة حالات الطوارئ البركانية والزلزالية

على الرغم من أنه لا يمكن التنبؤ بالزلازل بدقة على المدى القصير، فقد بُذلت جهود كبيرة في مراقبة مؤشراتها (ريكيتاكي 1984) ، وبالتالي تحسنت المنهجية والتكنولوجيا تدريجيًا . إذا لم تكن المؤشرات واضحة

بما يكفي للتحذير المسبق من الزلازل الكبرى ، فمن الممكن أنه بمجرد بدء الهزة ، يمكن إيقاف تشغيل المعدات الحساسة ، بما في ذلك أنظمة الكمبيوتر والقطارات السريعة (ناكامورا وتوكر 1988) ، قبل وقوع الضرر . يُعد التنبؤ بالثورات البركانية أكثر جدوى ، ويعتمد على مجموعة متنوعة من الأدوات ، بما في ذلك أجهزة استشعار الأشعة تحت الحمراء لرصد انبعاثات الحرارة ، والتي تقتصر بشكل أساسي على الاستشعار عن بُعد عبر الأقمار الصناعية (روثري 1992).

ومع ذلك ، جادل تيلينج وليبمان (1993) بأن علماء البراكين يعتمدون بشكل مفرط على التعرف على الأنماط (النهج التجريبي للتنبؤ بالثورات) ولا يعتمدون بشكل كافٍ على فهم آليات المصدر. من ناحية أخرى ، اقترح مارتينيلي (1991) أن الإشارات الزلزالية هي أفضل دليل على الثوران الوشيك ، خاصةً إذا كان من الممكن ربطها بمؤشرات أخرى . ونظرًا لأن الرصد هو مفتاح التنبؤ ، فقد طورت هيئة المسح الجيولوجي الأمريكية شبكة مراقبة محمولة ونظام تدريب مرتبط بها يمكن استخدامه في أي مكان في العالم حيث تكون المخاطر البركانية خطيرة . على أي حال ، عندما تحدث حالة طوارئ بركانية ، فقد تستمر لأشهر وتتطلب إخلاءً طويل الأمد (UNDRO/UNESCO 1985) ، كما كان الحال مع النشاط البركاني البطيء في كامبي فليجري (أي النشاط البركاني الساحلي دون ثوران سطحي ، والذي يتكون في الغالب من ارتفاع يشبه القبة) والذي أثر على مدينة بوتسولي ، غرب نابولي، خلال الفترة 1983-1985، واستلزم إخلاءً دائمًا لـ 55000 شخص.(Zelinsky and Kosinski 1991)

البحث الاجتماعي

لعب الجغرافيون دورًا ثانويًا ولكنه مهم في عملية التخطيط لحالات الطوارئ البركانية (تشيستر 1993) ، ولعبوا دورًا أكثر أهمية في التخطيط لمواجهة الزلازل . وقد شمل ذلك تحليل المخاطر (بيتلي وبيرك 1990) ودراسات السياسات (بيرك وبيتلي 1992) . وقد تضمنت الأخيرة تحليلات "نافذة الفرصة" لصياغة السياسات وتنفيذها ، والتي تُفتح عند وقوع كارثة مؤخرًا ومطالبة الرأي العام باتخاذ إجراء ما (سوليكي ومايكلز 1994). وفي غياب مثل هذه الأحداث ، يمكن أن يستند التخطيط إلى شكل مُركّب من "الواقع" باستخدام سيناريوهات تُنبئ مسبقًا بالأضرار والخسائر التي ستنجم عن كارثة الزلزال .

وهكذا ، استخدم بورشاردت (1991) خرائط توزيع شدة الزلازل كأساس لسيناريوهاته الكاليفورنية . على أوسع نطاق ، يعتمد الحد من مخاطر الزلازل على التخطيط على المستوى الدولي ، تحت رعاية العقد الدولي للحد من الكوارث الطبيعية (بولت 1991) . ومع ذلك ، لا يتضمن التخطيط الزلزالي دائمًا استجابة عقلانية ومنسقة للمخاطر الموضوعية : أجرى بيرك وآخرون (1989) مسحًا للمجتمعات في الولايات المتحدة لمعرفة ما إذا كانت قد اعتمدت تدابير للحماية من الزلازل أم لا . و وجدوا أن عملية التخطيط ، وليس سياق المجتمع ، هي التي تحدد ما إذا كان التخفيف سيحدث .

غالبًا ما يتم اختيار التدابير كجزء من احتياجات أخرى ، ويكون التخفيف من المخاطر اعتبارًا ثانويًا . أولى علماء الاجتماع اهتمامًا كبيرًا للجوانب السياسية والاقتصادية لمخاطر الزلازل . أوضحت المسوحات العامة التي أجراها بيتاك وأتكيسون (1982) وأليش وبيتاك (1986) الوضع في كاليفورنيا ، لا سيما فيما يتعلق بكيفية تحديث قوانين البناء وتطبيقها . من البديهي أن التطورات الرئيسية في مجال السلامة من الزلازل تتبع الأحداث الرئيسية التي تسبب الضرر أو تبرز المخاطر . وهكذا ، أدى زلزال لونغ بيتش عام 1933 إلى أولى المحاولات الجادة لإقرار وتطبيق قوانين البناء المقاومة للزلازل في كاليفورنيا (حيث ألحق أضرارًا

بالغة بالمباني الحجرية غير المسلحة ، بما في ذلك المدارس ، حيث كان من الممكن أن يكون هناك عدد كبير من القتلى لو وقع الزلزال في وقت مختلف من اليوم).

كما أدى انهيار سد سان فرناندو السفلي تقريبًا في زلزال عام 1971 (بقوة 6.7 درجة) ، حيث أدى التسييل إلى خفض قمة السد بمقدار 9 أمتار ، إلى وضع قواعد جديدة لفحص السدود وإصدار الشهادات لها ، واهتمام جديد بتحليل المخاطر الهندسية . كنتيجة عملية ، بُني سد لوس أنجلوس لتحمل قوىً أكبر بثلاث مرات من تلك التي صُمم لها سلفه ، سد سان فرناندو . في زلزال نورثريدج عام 1994، تأثر السد القديم ، الذي كان قد احتُفظ به كسد احتياطي ، بشدة مرة أخرى ، بينما لم يتضرر السد الجديد بشكل خطير (هيئة المسح الجيولوجي الأمريكية 1996) . أدى الاهتمام المتزايد باقتصاديات الزلازل إلى بعض الدراسات الشاملة التي تُحدد آثار المضاعف العكسي والأعباء الضريبية المرتبطة بكارثة زلزالية كبرى (مثل المجلس الوطني للبحوث النووية الأمريكي 1992).

تتزايد الخسائر بشكل كبير، وبالتالي هناك أيضًا اهتمام كبير بتقنيات تقدير الخسائر. تُقدر تكلفة زلزال هانشين الذي ضرب كوبي في اليابان في يناير 1995 بأكثر من عشرة أضعاف تكلفة زلزال لوما بريتا (كاليفورنيا) عام 1989 (131.5 مليار دولار أمريكي مقابل 12 مليار دولار أمريكي) . ومع ذلك ، قد يكون جزء على الأقل من الزيادة ناتجًا عن تحسين إجراءات المحاسبة التي تولي اهتمامًا أكبر للتكاليف الخفية مقارنةً بالسابق . ومع ذلك ، يجري الآن بحثٌ عميقٌ في كيفية تعويض الخسائر . من المرجح أن يُغطى جزءٌ ضئيلٌ فقط من خلال التعويضات ، لكن العبء الواقع على قطاعي التأمين وإعادة التأمين أصبح من الصعب تحمّله . وبالتالي ، هناك جدلٌ كبيرٌ حول أفضل استراتيجية للتأمين المستدام ضد الزلازل (ميتلر 1990) ، على الرغم من أن مسألة ما إذا كان لدى أصحاب المنازل دافعٌ لشرائه مسألةٌ معقدةٌ تتضمن العمل على كلٍّ من إدراك المخاطر والاقتصاد .

في هذا السياق ، وجد بالم (1995) أنه على الرغم من أن شراء التأمين من قِبل أسر كاليفورنيا قد ارتفع بشكلٍ كبيرٍ ويتجاوز الآن 50% في بعض المقاطعات ، إلا أن نمط التبني يرتبط بإدراك المخاطر أكثر من ارتباطه بالشدة الفعلية لها . وفقًا لأوتا وأوهاشي (1985) ، فإن العوامل الرئيسية التي تحكم استجابة الناس الفورية للزلازل هي شدة الزلزال ، والظروف المكانية ، وتكوين الأسرة أو أي مجموعة أخرى ، والعمر والجنس . ومع ذلك ، يرتبط السلوك ارتباطًا وثيقًا أيضًا بإدراك المخاطر . وبشكل عام ، يكون هذا أقل حدة ، ويكون السلوك أقل حمايةً للذات بين الفقراء والمحرومين والأقليات (بولين 1990)، على الرغم من ارتباطه أيضًا بعوامل الشخصية (سيمبسون هاوسلي وبرادشو 1978).

في خضم اللحظة ، قد يكون الإدراك خاطئًا بشكل خطير، مما يؤدي إلى سلوك غير تكيفي ، والذي قد يؤدي في الحالات القصوى إلى إصابات كان من الممكن تجنبها (ألكسندر 1990) . ولعل إحدى أكثر القضايا الاجتماعية إثارة للجدل هي رد فعل الجمهور على الزلازل . تنبؤات زلازل ، خاصةً إذا أُجريت دون أساس علمي كافٍ . ولذلك ، أُولي اهتمام كبير لتوقعات زلزال إيين براوننج في جنوب إلينوي عام ١٩٩٢ (سبنس وآخرون، ١٩٩٣) . إن المعقولية الظاهرة لهذا التنبؤ المُضلّل ، واستعداد وسائل الإعلام وعدد قليل من العلماء لأخذه على محمل الجد ، قوّض المكانة العامة للجهود العلمية الحقيقية للتنبؤ بالنشاط الزلزالي .

حاولت المؤسسات الزلزالية الرسمية دحض هذا التنبؤ بتجاهله ، الأمر الذي اتضح أنه خطأ ، إذ اعتقد الجمهور أن لديهم ما يخفونه (ستيفنز، ١٩٩٣) . وفي السياق نفسه ، تُشير وجهات النظر العلمية الاجتماعية حول التغطية الصحفية للزلازل إلى عدم الثقة في قدرة وسائل الإعلام على تصوير الأحداث بدقة ، على الرغم من أن بعض الباحثين جادلوا بإمكانية حثّ وسائل الإعلام بنجاح على لعب دور قيّم كمزود لمعلومات

إدارة الطوارئ للجمهور (سكانلون وآخرون، ١٩٨٥) . على الرغم من أن تغطية وسائل الإعلام الغربية لكوارث الزلازل في دول العالم الثالث ليست متحيزة صراحةً ضد هذه الأماكن ، إلا أنها تبدو مرتبطة ارتباطًا وثيقًا بعدد المراسلين الميدانيين واتصالاتهم في المنطقة المحلية ، ودراية القراء بالمنطقة المعنية (غادي وتانجونغ 1986) .

وقد أُجريت بعض الدراسات المتميزة حول إعادة الإعمار بعد الزلازل في إطار جغرافية الحضر . ومن الجدير بالذكر دراسة روبرت جيبل الطولية للتغير الاجتماعي بعد الزلازل في منطقة فريولي ، شمال إيطاليا (جيبل 1982؛ 1990)، ودراسات ويليام ميتشل حول آثار الزلازل في تركيا (ميتشل 1976؛ 1977) . قدمت الدراسة المقارنة التي أجراها روبرت كايتس وديفيد بيجاوكا للزلازل التي ضربت سان فرانسيسكو عام ١٩٠٦، وألاسكا عام ١٩٦٤، ونيكاراغوا عام ١٩٧٢ (كيتس وبيجاوكا ١٩٧٧) أساسًا نظريًا لإعادة الإعمار . يرسم نموذجهما مسار التعافي عبر أربع مراحل ، بما في ذلك مرحلة إعادة الإعمار البديلة ، ومرحلة التنمية الحضرية بعد إعادة الإعمار.

وقد أُعيد النظر في هذا النموذج وتعديله من قِبَل متخصصين في دراسات التنمية (كيركبي وآخرون ١٩٩٧) . ولكن عندما طبقت هوغ (١٩٨٠) هذا النموذج على آثار الزلزالين اللذين ضربا فريولي عام ١٩٧٦، وجدت أن وتيرة واتجاه ونجاح إعادة الإعمار النسبي تفاوتت جغرافيًا تبعًا للروابط السياسية والاقتصادية بين المجتمعات . كما تفاوتت زمنيًا ، ففي فريولي ، كانت هناك صدمتان رئيسيتان يفصل بينهما ستة أشهر ، وبالتالي تراجعت عملية إعادة الإعمار التي بدأت وقت الزلزال الثاني بشكل مفاجئ (ينظر الشكل 5.5). وكانت المستوطنات المتضررة التي كانت تتمتع بقيادات فعّالة وروابط سياسية جيدة مع مراكز السلطة هي أولى المستوطنات التي أُعيد بناؤها .

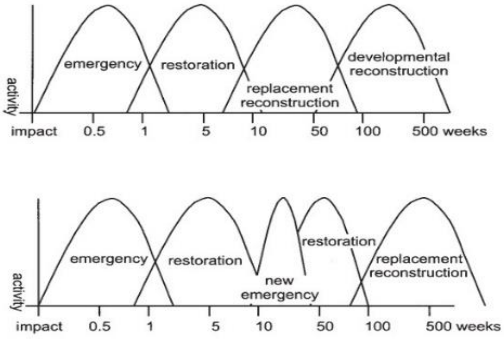

Figure 5.5 Comparison between Kates' and Pijawka's (1977) model of the stages of recovery after disaster (A) and Hogg's (1980) application of this schema in the Friuli region, Italy (B), where in 1976 two damaging earthquakes occurred with a six-month time interval between them.

لذلك ، بدا من المُضلِّل استخدام نموذج كيتس وبيجواكا لتوصيف إعادة الإعمار بطريقة مُجمّعة مكانيًا . علاوة على ذلك ، وجد جيبل (1990) أن إعادة الإعمار في فريولي أدت إلى خيبة أمل وديون نتيجة للتخطيط المفرط في الطموح ، مما أرهق النظام الاجتماعي وأجبره على سرعة التغيير. ومن العوامل الأخرى التي تُميّز جغرافية إعادة الإعمار بعد الزلزال القصور الذاتي الجغرافي . وهكذا ، جادل ميليتي وباسيريني (1996) بأن هناك ستة أسباب وراء ميل إعادة الإعمار إلى الحدوث في الموقع : أولاً، يرغب الناجون في العودة إلى الوضع الطبيعي في أسرع وقت ممكن ؛ ثانيًا، نادرًا ما يكون الضرر واسع النطاق بما يكفي لتبرير النقل الشامل ؛ ثالثًا، تربط القيم الثقافية المجتمعات بأماكن محددة ؛ رابعًا، تتعامل معظم الإجراءات مع الهياكل الفردية ومالكي العقارات ، وليس مع المجموعات الإجمالية ؛ خامسًا، نادرًا ما تكون الأموال كافية للسماح بالنقل الكامل ؛ وأخيرًا، لا يكون التخطيط عادةً كافيًا لمهمة النقل الكامل.

على عكس الزلازل ، لم يُبذل سوى القليل نسبيًا لدراسة الآثار الاجتماعية للانفجارات البركانية (بيترسون 1988) . ومع ذلك ، أُجريت دراسات شاملة على جبل سانت هيلينز بعد ثوران مايو 1980 (بيري وليندل 1990) . في دراسة لمخاطر تساقط الرماد ، أجرى واريك وآخرون . وجد (1981) أن المخاطر البركانية يمكن أن تكون منتشرة على نطاق واسع ونادرًا ما تظهر، مما قد يُصعّب على الضحايا المحتملين إدراكها . وهذا الوضع نموذجي للمخاطر عالية العواقب ومنخفضة التكرار بشكل عام . يتعلق الجانب الأخير من الدراسات الاجتماعية التطبيقية للزلازل والثورات البركانية بالتعليم والتدريب . وكلاهما جزء مهم لقد أثارت هذه التطورات ، التي تزامنت مع العقد الدولي للحد من الكوارث الطبيعية (1990-2000) ، جدلاً منهجياً متزايداً . ومن جوانب ذلك أن الإنترنت قد أتاح آفاقاً جديدة ومهمة ، إذ سهّل كلاً من التعلم عن بُعد والحصول على البيانات واستخدامها.

الخلاصة

إن الظواهر المعنية مُقنعة للغاية لدرجة أن دراسات المخاطر الطبيعية تُعدّ ، بحكم تعريفها ، أشكالاً بحثية تطبيقية . في الواقع ، تُهيمن على هذا المجال مشاكل عملية ، مثل كيفية توفير بيئة أكثر أماناً وتوزيع الموارد الشحيحة للتخفيف من آثار الكوارث وإدارة الطوارئ . في حالات الكوارث ، يُشكّل الزمن العمود الفقري للأحداث ، ويُمثّل الفضاء الجغرافي وسيلة التعبير عنها (ألكسندر 1995). ومع ذلك، على الرغم من أن العلاقات المكانية أساسية لتفسير العديد من العمليات في الكوارث الطبيعية، إلا أن دور الجغرافيين ظلّ خافتاً . أجرى الجغرافيون دراسات ممتازة حول التغير الحضري والاجتماعي أثناء إعادة الإعمار، وحول جيومورفولوجيا المخاطر التكتونية والبركانية ، إلا أن أعمالهم طغت عليها إلى حد ما أعمال الجيوفيزيائيين وعلماء الاجتماع . ومع ذلك ، فإن التراث البيئي البشري لدراسات المخاطر، والذي يمتد لأكثر من خمسين عامًا ، ينبع مباشرةً من عمل الجغرافيين (وايت 1973).

يُعتقد أنه في مجال المخاطر الطبيعية عمومًا ، ودراسات المخاطر البركانية والزلزالية خصوصًا ، لم يتم مواجهة تحدٍّ جغرافي كبير . **هناك مجال واسع لصياغة نماذج مكانية عامة تدمج المخاطر المادية ، من حيث توزيع المخاطر والآثار، مع الاستجابة البشرية من حيث أنماط الضعف والتأثير والاستجابة للطوارئ .** وهكذا ، تنشأ الأنماط المكانية الديناميكية من خلال تناقص المسافة والتطور الزمني لسيناريوهات الكوارث . ومع ذلك ، لا يشارك أي جغرافي تقريبًا بنشاط في التحليل المكاني للبيانات المتعلقة بآثار الكوارث ، على الأقل ليس بهدف إنشاء نماذج عامة . وهذا أمر مؤسف ، إذ ما تزال الانتظامات المكانية تنتظر اكتشافها ، ومن شأن النماذج المكانية الفعّالة أن تساعد بشكل كبير في التنبؤ بنمط التأثيرات والأضرار والخسائر المتوقعة عند اهتزاز الأرض أو ثوران البراكين .

المربع 5.1

المخاطر البركانية في جبل فيزوف

يقع جبل فيزوف شرق نابولي في منطقة كامبانيا ، جنوب إيطاليا ، وهو بركان طبقي يبلغ ارتفاعه 1281 مترًا ، ويتكون من طبقات من التيفريت البازلتي التي يصل عمرها إلى 300,000 عام . يقع هذا الصرح البركاني المعقد على امتداد منطقة الاندساس ، وله تاريخ من النشاط البركاني والزلزالي العنيف أحيانًا . حدثت ثورات بركانية كبرى في أعوام 5960 قبل الميلاد ، و3580 قبل الميلاد ، و79 ميلاديًا ، و 1631. تضمن حدث عام 79 ميلاديًا انبعاث 4 كيلومترات مكعبة من المنتجات البركانية في 19 ساعة ، وتكوين

عمود بليني من التيفرا والغاز بارتفاع 32 كيلومترًا . ربما لقي حوالي 18,000 شخص حتفهم في هذا الحدث، الذي ترسب فيه 3 أمتار من الرماد على مدينة بومبي ، و23 مترًا على هيركولانيوم بسبب تدفق الحمم البركانية الفتاتية .

وقع آخر ثوران بركاني في مارس 1944 ، ومنذ ذلك الحين ، ظل البركان خامدًا . من المرجح أن يرتبط طول فترة سكونه ارتباطًا إيجابيًا بقوة الثوران التالي . حُسب احتمال حدوث ذلك لكل فترة عشر سنوات على أنه 0.099 لحدث VEI 3 (مؤشر انفجار بركاني 3 ، يُصنف على أنه "ثوران سترومبولي عنيف")، و0.017 لـ VEI-4 ("دون بليني")، و0.003 لـ VEI-5 ("بليني") . وفقًا لعمليات المحاكاة البركانية ، فإن آخر هذه العمليات سيُولّد عمود انفجار يتراوح ارتفاعه بين 11 و16 كيلومترًا ، ويتكون من 5-10% غاز و20% تيفرا وزنًا . وستكون درجة حرارته الأولية 1000 درجة مئوية ، ومدة استمراره من 3 إلى 12 ساعة ، ومعدل انتشاره 3000 متر مربع/ثانية . يعيش حوالي 700,000 شخص حاليًا ضمن دائرة نصف قطرها 15 كيلومترًا من قمة جبل فيزوف ، معظمهم في قوس البلدات على الجانب الجنوبي ، الممتد من توري أنونزياتا شرقًا إلى منطقة بارا في نابولي غربًا . من بين هذه المستوطنات ، تبلغ كثافة منطقة بورتيشي الحضرية (التي بلغ عدد سكانها 67,824 نسمة عام 1990) أكثر من 17,000 نسمة لكل كيلومتر مربع ، أي خمسة أضعاف كثافة وسط ميلانو . ومع ذلك ، في عام ١٦٣١، لقي ٤٠٠٠ شخص حتفهم هناك في تدفق بركاني فتاتي ، مما شكل بداية ثلاثة قرون من الانفجارات المتقطعة .

تعتمد مستويات المخاطر على النمط الجغرافي لآثار الانفجارات والاستيطان البشري (الشكل ٥,٣). ستدفع الرياح عالية السرعة على ارتفاعات تتراوح بين ٨ و١٥ كم الرماد من عمود رأسي باتجاه الشرق في الغالب . ستنهار معظم المباني فقط تحت وطأة أوزان الرماد المترسب التي تزيد عن ١٠٠ كجم/م٢، وهو ما سيكون عليه الحال في المناطق المحدودة للغاية ، والتي ستظل تشمل عدة بلدات يبلغ عدد سكانها مجتمعةً ٥١٠٠٠ نسمة على الأقل . أما المناطق الأقل كثافة سكانية في الشمال والشمال الغربي ، فهي محمية بسور، وهو ما تبقى من النموذج الأولي ، كالديرا سوما الفيزوفية . من ناحية أخرى ، ستتحمل المستوطنات الساحلية الواقعة جنوبًا وجنوبًا شرقًا العبء الأكبر من تدفقات الحمم البركانية ، وتدفقات الحمم البركانية الفتاتية ، والتصدعات ، وترسبات التيفرا الموضعية . وتشير التقديرات إلى أن ثورانًا بركانيًا غير متوقع قد يُودي بحياة ما بين 15,000 و20,000 شخص ، لا سيما وأن ازدحام الطرق من المرجح أن يكون فوريًا وشاملًا . ومع ذلك ، يُراقب البركان عن كثب ، و وُضعت خطط مفصلة لإجلاء ما يصل إلى مليون شخص بجميع الوسائل المتاحة ، بما في ذلك النقل البحري .

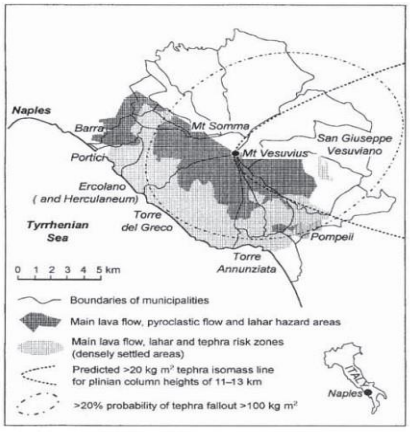

Figure 5.3 Volcanic hazards in the circum-Vesuvian area of southern Italy.

Source: Compiled from various sources – see text and bibliography.

المربع 5.2:

رصد الزلازل في باركفيلد، كاليفورنيا

في عام 1976، بدت آفاق التنبؤ بالزلازل واعدة ، لا سيما بعد أن زعم الصينيون تحقيق نجاح كبير في هايتشنغ في العام السابق . ومع ذلك، بعد عقدين من الزمن ، بدا أن التقدم العملي لم يُحرز إلا قليلاً ، على الرغم من التحسينات الهائلة في كل من تقنيات الرصد وفهم آليات مصادر الزلازل . كشفت الدراسات الإحصائية للزلازل في كاليفورنيا أن الجزء الجنوبي من الولاية لديه فرصة بنسبة 86% لتجربة هزة أرضية بقوة 7 درجات بحلول عام 2024 . ومن المناطق التي تحمل مستوى مخاطر مرتفع بشكل خاص مدينة باركفيلد (يبلغ عدد سكانها 34 نسمة) ، والتي تقع على جزء من صدع سان أندرياس الذي يتعرض بشكل دوري.

تعتمد تجربة باركفيلد للتنبؤ بالزلازل على مبدأين . أولًا، تُقر التجربة بأن العوامل الزلزالية الأولية معقدة بما يكفي لتتطلب تفسيرًا متزامنًا للعديد من الظواهر الجيوفيزيائية . ثانيًا، تتطلب تحذيرات الزلازل تواصلًا وتفاهمًا جيدًا بين العلماء ومديري الطوارئ والجمهور . في عام ١٩٩٢ ، تتراكم الضغوط وتُطلقها الزلازل بقوة ٦ درجات أو أكثر، بمتوسط فترة تكرار تبلغ حوالي ٢٢ عامًا . لذلك ، اختارتها هيئة المسح الجيولوجي الأمريكية للرصد المكثف للزلازل . تم تركيب عدة مئات من الأجهزة في المنطقة المحلية (الشكل ٥,٤) ، بما في ذلك ١٣٠ جهازًا لقياس الزلازل ومقياس تسارع ، وثمانون خطًا من خطوط الجيودوليت ، وتسعة عشر مصفوفة محاذاة ، وثمانية عشر موقعًا لأخذ عينات من آبار المياه ، وثلاثة عشر مقياسًا للزحف ، وسبعة أجهزة لقياس التمدد ، وستة أجهزة لقياس هيدروجين التربة ، وأربعة أجهزة لقياس الميل . ينقل العديد من هذه الأجهزة البيانات باستمرار إلى المقر الإقليمي لهيئة المسح الجيولوجي الأمريكية في مينلو بارك بالقرب من سان فرانسيسكو.

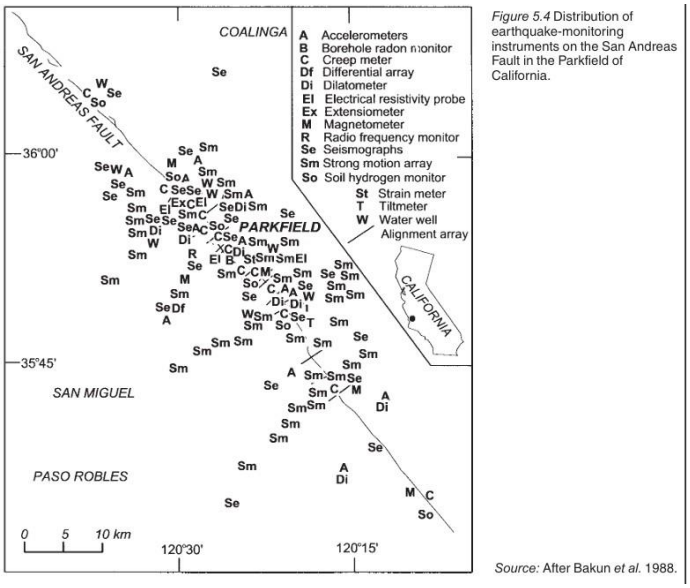

Figure 5.4 Distribution of earthquake-monitoring instruments on the San Andreas Fault in the Parkfield of California.

Source: After Bakun *et al.* 1988.

الشكل ٥,٤ توزيع أجهزة رصد الزلازل على صدع سان أندرياس في باركفيلد بكاليفورنيا.
المصدر: بعد باكون وآخرون.

بين عامي ١٩٨٨ و١٩٩٣، حظي الأمر باهتمام إعلامي كبير عندما أصدرت هيئة المسح الجيولوجي الأمريكية تحذيراتٍ حذّرت من زلزال وشيك في باركفيلد ، ولذلك اتخذ مكتب خدمات الطوارئ في كاليفورنيا

استعداداتٍ كبيرة . ومع ذلك ، لم يحدث أي زلزال ، وهو أمرٌ ربما يكون جيدًا . هل يُمكن عد تجربة باركفيلد للتنبؤ بالزلازل فاشلة ؟ ليس تمامًا : فقد جادلت مجموعة عمل وطنية شُكِّلت لتقييم التجربة بأن باركفيلد ما تزال أفضل مكان في البلاد لاحتجاز الزلازل ومراقبة أي مؤشرات محتملة . على الرغم من أن النتائج قصيرة المدى لم تكن مشجعة ، إلا أن النتائج طويلة المدى تَعِد بحصاد وافر من البيانات العلمية المفيدة . ومع ذلك ، فإن الدرس المستفاد من تجربة 1992-1993 هو ضرورة تحسين التواصل بين العلماء والجمهور، حيث أُوليَ تركيز كبير على التنبؤ قصير المدى، ولم يُقدِّر الجمهور الأهداف الأوسع للتجربة. علاوة على ذلك ، تم التقليل من شأن تأثير الإنذارات الكاذبة.

في الختام ، ما يزال التنبؤ بالزلازل قصير المدى هدفًا بعيد المنال ، لأن معظم آليات تصدع الزلازل فريدة ومعقدة ، وبالطبع ، مخفية في أعماق الأرض . ومع ذلك ، أحدث زلزال هانشين الكبير في كوبي باليابان في يناير 1995 شذوذًا في معدل الإجهاد ، وتصريف المياه الجوفية ، ومحتوى الرادون والكلور في المياه الجوفية ، والتي بدأت قبل ثلاثة أشهر من الزلزال ، وظهرت في أربعة مواقع تبعد 20-50 كيلومترًا عن مركز الزلزال . ويبقى السؤال مطروحًا حول ما إذا كان من الممكن التعرف عليها قبل الهزة الرئيسية ، وتفسيرها بطريقة تحمي السكان .