

البراكين والزلازل Volcanoes and Earthquakes

6



ثوران بركاني

الفكرة (الغاية) تتشكل البراكين من الصهارة القادمة من باطن الأرض.

6-1 ما البركان؟

الفكرة (الرئيسية) ترتبط مواقع البراكين عمومًا مع حركة الصفائح.

6-2 الثورات البركانية

الفكرة (الرئيسية) تحدّد مكونات الصهارة خصائص الثوران البركاني.

6-3 الأمواج الزلزالية وبنية الأرض

الفكرة (الرئيسية) يتم استعمال الأمواج الزلزالية في تصوّر بنية الأرض الداخلية.

6-4 قياس الزلازل وتحديد أماكنها

الفكرة (الرئيسية) يقيس العلماء قوة الزلازل ويحددون مكانها على الخريطة باستعمال الأمواج الزلزالية.

6-5 الزلازل والمجتمع

الفكرة (الرئيسية) يمكن معرفة احتمال حدوث الزلزال من خلال دراسة تاريخ المنطقة زلزاليًا، ومعرفة أين وكيف تتراكم الإجهادات بسرعة.

الحقائق الجيولوجية للبراكين والزلازل

- يوجد حاليًا 500 بركان نشط على الأرض.
- كلمة صهارة (ماجما) magma مأخوذة من كلمة إغريقية تعني عجينة.
- العديد من معالم الأرض التضاريسية تنتج بفعل البراكين.
- تتعرض الأرض لأكثر من مليون زلزال في العام الواحد.
- معظم الزلازل ضعيفة جدًا حيث لا نشعر بها.
- وقع زلزال بقوة 5.4 ريختر بمحافظة العيص التابعة لمنطقة المدينة المنورة عام 2009، ونتج عنه انهيار بعض المباني في ذات المنطقة، حيث قامت حكومتنا الرشيدة بصرف إعانات وتسكين للعائلات المتضررة.



هياكل أبنية منهارة

نشاطات تمهيدية

تصنيف البراكين

اعمل المطوية الآتية لمساعدتك على تصنيف البراكين.

المطويات

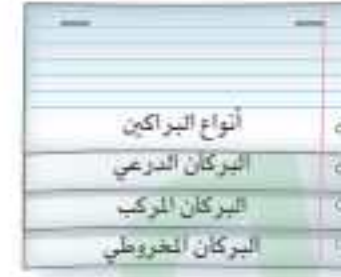
منظمات الأفكار



الخطوة 1 ضع ورقتين من دفترك إحداهما فوق الأخرى، بحيث تبعد إحداهما عن الأخرى 2 cm تقريباً، كما في الشكل المجاور.



الخطوة 2 اثن الطرف السفلي للورقتين لتكوين أربعة ألسنة متساوية. ثم اضغط بقوة على الجزء المطوي لتثبت الألسنة في أماكنها.



الخطوة 3 ثبت أوراق المطوية معاً بالدبابيس، وعنون الألسنة على النحو الآتي: أنواع البراكين (اللسان العلوي): البركان الدرعي، البركان المركب، البركان المخروطي.

استخدم هذه المطوية في أثناء دراسة القسم 1-6، واكتب خصائص كل نوع من البراكين أسفل كل لسان.

تجربة استهلاكية

ما الذي يجعل الصهارة ترتفع إلى أعلى؟

الصهارة صخور مصهورة توجد أسفل سطح الأرض. وسوف تمثل في هذا النشاط حركة الصهارة في باطن الأرض بعمل نموذج "مصباح من اللابة".



الخطوات

1. اقرأ نموذج السلامة في المختبر.
2. اسكب 300 mL من الماء في كأس سعتها 600 mL.
3. اسكب 80 mL من زيت الطعام في الكأس.
4. عدّ ببطء من 1 إلى 5، وفي أثناء العد انثر ملح الطعام فوق الزيت.
5. أضف المزيد من الملح لبقاء الحركة مستمرة.

نشاطات تمهيدية

التحليل

1. حدّد أي المكوّنين في نموذجك يمثل الصهارة؟

زيت الطعام يمثل الصهارة .

2. صف ماذا حدث للزيت قبل إضافة الملح وبعده؟

يكون زيت الطعام طافياً فوق الماء قبل إضافة ملح الطعام إليه، ويغوص في الماء عند إضافة الملح إليه.

3. كوّن فرضية ما الذي يسبب صعود الصهارة إلى أعلى؟

قد تتنوع الإجابات، وقد يضع الطالب فرضية مفادها أن الصهارة ترتفع بسبب انخفاض كثافتها نسبة إلى المواد المحيطة بها حيث إن حركة الزيت تحدث بسبب اختلاف الكثافة؛ ففي البداية، يؤدي وجود الملح في طبقة الزيت إلى جعل كثافة الزيت أكبر من كثافة الماء، مما يؤدي إلى غوص الزيت في الماء، ولكن عند ذوبان الملح في الماء تصبح كثافة الماء أكبر من الزيت الممزوج بالملح (الذي يمثل الصهارة)، لذا ترتفع "الصهارة" إلى أعلى.



www.iem.edu.sa

ما البركان؟ What is a Volcano?

الأهداف

- تصف كيف تؤثر حركة الصفائح في تشكّل البراكين.
- تحدد المناطق الرئيسة للنشاط البركاني.
- تتعرف أجزاء البركان.
- تميز بين التضاريس البركانية.
- تقارن بين أنواع البراكين.

الفكرة الرئيسية

ترتبط مواقع البراكين عمومًا مع حركة الصفائح.

الربط مع الحياة في فصل الشتاء، يرش الملح على الشوارع المغطاة بالثلوج؛ إذ يعمل الملح على خفض درجة انصهار الثلج. كما يقلل الماء من درجة انصهار الصخور؛ فالصخور ذوات درجات الانصهار المرتفعة جدًّا في باطن الأرض تنصهر أسهل إذا اختلطت بالمياه.

مناطق النشاط البركاني Zone of Volcanism

الصهارة مخلوط من الصخور المصهورة والبلورات المعدنية والغازات، وهي مصدر البراكين؛ إذ تصعد إلى أعلى نحو سطح الأرض بعد تشكيلها؛ بسبب انخفاض كثافتها مقارنة بصخور الستار والقشرة الأرضية المحيطة بها، وعندما تخرج إلى سطح الأرض تُسمى اللابة. ويصف النشاط البركاني **Volcanism** جميع العمليات المصاحبة لخروج الصهارة والسوائل الساخنة والغازات من سطح الأرض.

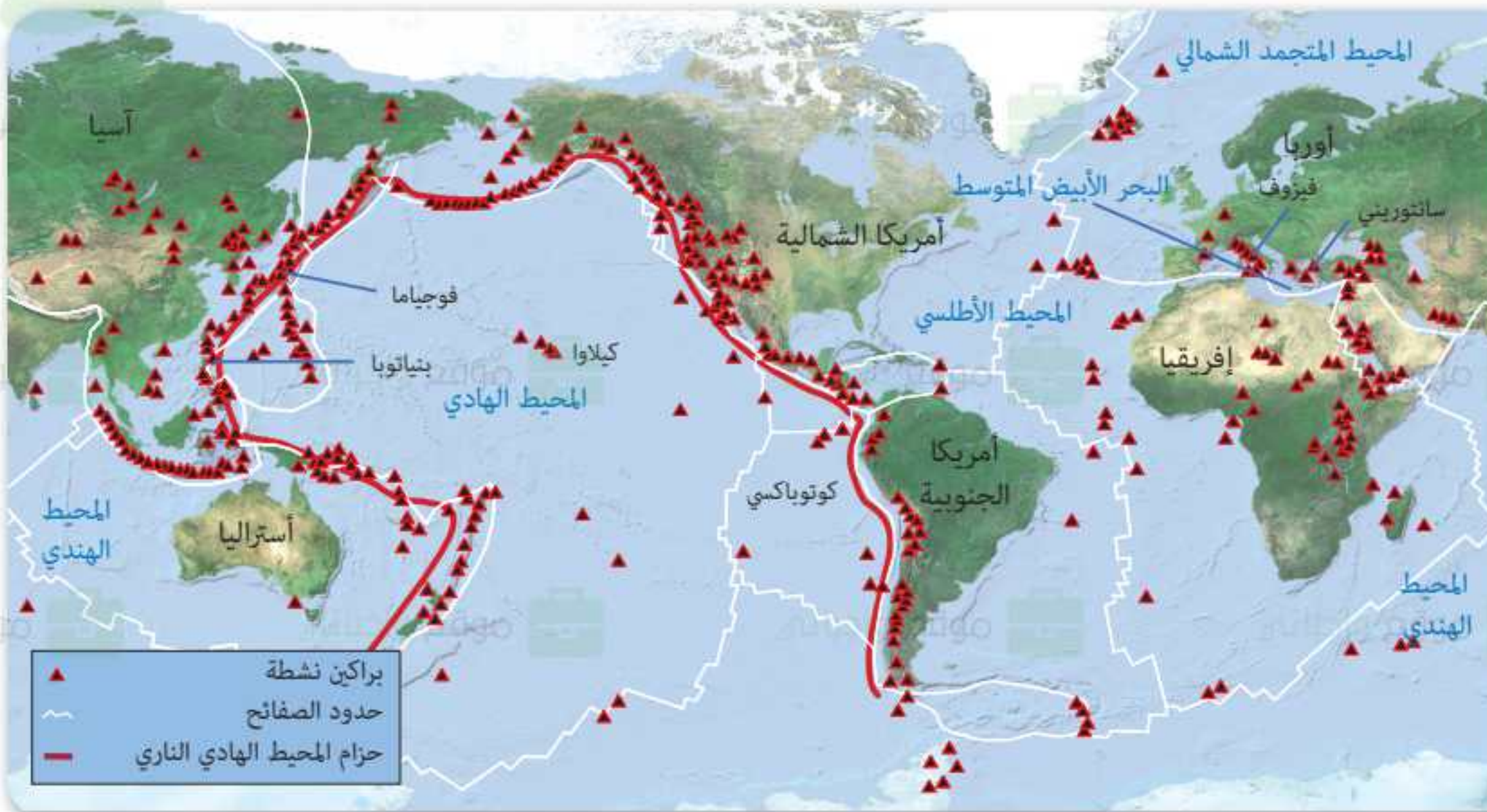
يثور 60 بركانًا تقريبًا في مواقع مختلفة على الأرض في السنة الواحدة. ويوضح الشكل 6-1 خريطة توزيع البراكين النشطة في العالم. لاحظ من الشكل أن البراكين لا تتوزع على سطح الأرض بصورة عشوائية، بل تتجمع في مناطق معينة وهي حدود الصفائح؛ حيث وجد أن معظم البراكين تتشكل عند الحدود المتقاربة والمتباعدة، ولا يوجد سوى 5% منها تثور بعيدًا عن حدود الصفائح.

مراجعة المفردات

تقارب: الحركة نحو الجسم، أو اقتراب جسم من جسم آخر.

المفردات الجديدة

- النشاط البركاني
- وسائد اللابة
- البقعة الساخنة
- طفوح البازلت
- الشقوق
- قناة البركان
- فوهة البركان
- الفوهة البركانية المنهارة
- البركان الدرعي
- البركان المخروطي
- البركان المركب



الشكل 6-1 تقع معظم البراكين النشطة على الأرض على امتداد حدود الصفائح.



الشكل 2-6 في نطاق طرح قاري - محيطي تنزلق الصفائح المحيطية الأكبر كثافة في الستار أسفل الصفائح القارية، فتصهر أجزاء من هذه الصفائح، مما يؤدي إلى صعود الصهارة إلى أعلى مشكّلة البراكين. **حدد** البركان المصاحب لحدود التقارب القاري- المحيطي في الشكل 2-6.

قد تتنوع الإجابات، لكن ينبغي أن تتضمن الإجابة بركاناً ضمن براكين حزام المحيط الهادي.

النشاط البركاني عند الحدود المتقاربة Convergent volcanism تلتقي الصفائح الأرضية معاً عند الحدود المتقاربة، فتشكّل نطاقات طرح؛ وذلك عندما تغطس صفيحة محيطية أسفل الصفيحة الأخرى في الستار، كما في الشكل 2-6. ويلاحظ من الشكل أن الصهارة تتشكل بفعل الانصهار الجزئي للصفائح الغاطسة، ثم تصعد نحو سطح الأرض؛ لأنها أقل كثافة من المواد المحيطة بها، فتختلط في أثناء ذلك بصخور ومعادن ورسوبيات الصفيحة العلوية (التي تعلو الصفيحة الغاطسة) مكونة البراكين. ومعظم البراكين على اليابسة ناجمة عن تقارب صفيحة قارية مع أخرى محيطية. وتمتاز هذه البراكين بثورانات شديدة الانفجار. **✓ ماذا قرأت؟ حدد** المقصود بالنشاط البركاني عند الحدود المتقاربة.

هي جميع الأنشطة البركانية التي تحدث عندما تقترب الصفائح بعضها من بعض.

حزامان رئيسان Two major belts تشكّل البراكين المرافقة للحدود المتقاربة حزامين رئيسين هما: حزام المحيط الهادي؛ وهو الحزام الكبير الذي يحيط بسواحل المحيط الهادي، ويعرف أحياناً بحلقة النار، وتنطبق حدود هذا الحزام تماماً على حدود صفيحة المحيط الهادي، ويمتد على طول السواحل الغربية للأمريكتين الشمالية والجنوبية إلى جزر الألوشيان، ومنها إلى سواحل شرق قارة آسيا. ومن أمثلة البراكين التابعة لهذا الحزام براكين سلاسل الجبال في غرب الولايات المتحدة الأمريكية، وبركان بيناتوبو في الفلبين. أما الحزام الآخر فيسمى حزام حوض البحر المتوسط. وأشهر البراكين التابعة له بركانا: إتنا، وفيزوف في إيطاليا، وتنطبق حدود هذا الحزام، عموماً على الحدود التي تفصل بين صفائح أوراسيا وإفريقيا والصفيحة العربية. انظر الشكل 1-6.

مختبر تحليل البيانات

* بُني هذا النشاط على بيانات حقيقية

تفسير الرسم البياني

كيف ترتبط أنواع النشاط البركاني بإنتاج اللابة؟ يصنّف الباحثون أنواع الثورانات البركانية، ويدرسون كمية اللابة التي تنبعث من كل نوع من أنواع البراكين في السنة الواحدة. ويوضح الرسم البياني الدائري متوسط عدد الثورانات البركانية وإنتاج اللابة السنوي لكل نوع اعتماداً على بيانات أخذت من 5337 ثوراناً بركانياً.

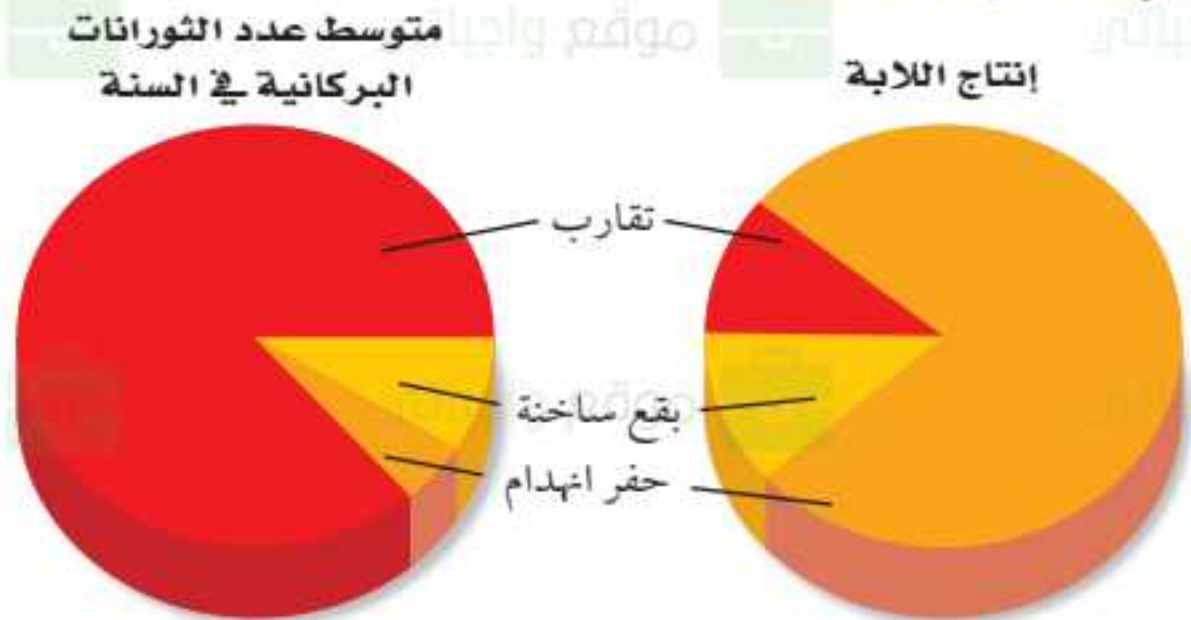
التفكير الناقد

1. صف العلاقة بين نوع النشاط البركاني والإنتاج السنوي للابة.

2. فكّر ما أهمية أن يدرس العلماء هذه العلاقات؟

3. قوّم ما الخطوة اللاحقة لدراسات العلماء؟

البيانات والملاحظات



معدلات تدفقات الصهارة والمقذوفات البركانية

Source: Journal of Volcanology and Geothermal Research 20: 177-211

مختبر تحليل البيانات

التفكير الناقد

1. صف العلاقة بين نوع النشاط البركاني والإنتاج السنوي للابة.

تنتج بعض أنواع البراكين لابة أكثر من غيرها، ورغم أن 80 % من الثورانات البركانية تحدث على الحدود المتقاربة، إلا أنها تنتج 15 % من الابة، أما حفر الانهدام فيحدث عندها 7 % من الثورانات البركانية ولكنها تنتج 75 % من الابة.

2. فكّر ما أهمية أن يدرس العلماء هذه العلاقات؟

تتنوع الإجابات، قد يهدف الباحثون إلى تحديد مكونات بركان ما وشدة انفجاره، أو تحديد عدد الثورانات التي تحدث لكل بركان.

3. قوّم ما الخطوة اللاحقة لدراسات العلماء؟

قد تتنوع الإجابات، إن استيعاب العلاقة بين نوع البركان وكميات إنتاج الابة تساعد الباحثين على توقع الثورانات البركانية وأنواع الدمار الذي يحدث، مما يساعدهم على حماية الأرواح والممتلكات.



الشكل 3-6 تثور البراكين المصاحبة لحدود التباعد بصورة هادئة دون حدوث انفجارات، وتكوّن هذه الثورانات في قاع المحيط أشكالاً على هيئة وسائد ضخمة، يُطلق عليها وسائد اللابة.

النشاط البركاني عند الحدود المتباعدة Divergent volcanism

تتباعد الصفائح الأرضية عند الحدود المتباعدة؛ حيث تصعد الصهارة إلى أعلى لتملأ الفراغ الناجم عن التباعد، مشكّلة قشرة محيطية جديدة؛ وتأخذ اللابة عند ظهور المحيطات شكل وسائد ضخمة، كما في الشكل 3-6، يطلق عليها وسائد اللابة **Pillow lava**. وتشكّل البراكين التي تكوّنت تحت الماء عند ظهور المحيطات ثلثي براكين العالم، وتمتاز -خلافًا لبراكين التقارب- بأنها هادئة، وتنساب دون حدوث انفجارات، مع تدفق كميات كبيرة من اللابة، ويوضح الشكل 4-6 بعض براكين التباعد.

✓ ماذا قرأت؟ وضع كيف تنشأ وسائد اللابة.

البقع الساخنة Hot spot تتشكل بعض البراكين بعيداً عن حدود الصفائح فوق بقع ساخنة؛ ويفترض العلماء أن البقع الساخنة **Hot spots** عبارة عن مناطق ساخنة بصورة غير عادية في سائر الأرض؛ حيث يصعد عمود من الصهارة ذات درجة الحرارة العالية إلى أعلى في اتجاه سطح الأرض.

عندما تثور البراكين المصاحبة لحدود التباعد بصورة هادئة دون حدوث انفجارات في قيعان المحيطات، فإنها تكوّن أشكالاً على هيئة وسائد ضخمة، يُطلق عليها وسائد اللابة.



عام 79 قبل الميلاد أدى ثوران بركان فيزوف في إيطاليا إلى دفن مدينتين بالرماد البركاني.

الشكل 4-6 البراكين موضع الاهتمام تُشكل البراكين بعض تضاريس سطح الأرض باستمرار.

3000 قبل الميلاد

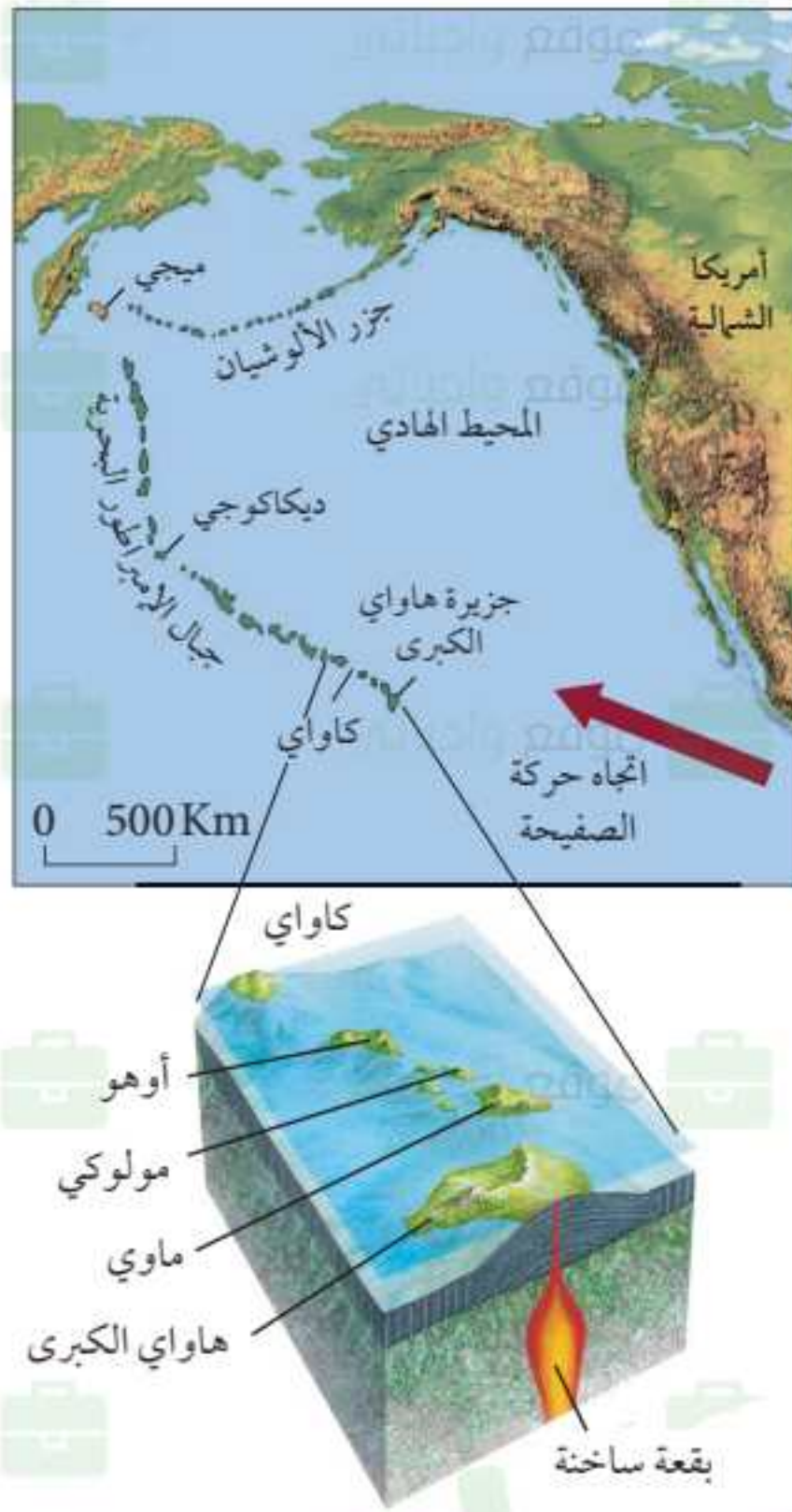
6000 قبل الميلاد

1630 قبل الميلاد تسبب انفجار بركان سانتوريني في اليونان في حدوث تسونامي ارتفاعه 200 m، مما أدى إلى اختفاء الحضارة المينوسية في جزيرة كريت.

4845 قبل الميلاد خريطة تضاريسية لبركان جبل مازاما في ولاية أوريغون، حيث أدى ثورانه إلى انهيار الجبل وأصبح منخفضاً عرضه 9 km، يُعرف حالياً باسم بحيرة الفوهة البركانية.



سلسلة هاواي البركانية



الشكل 5-6 تشكّلت جزر هاواي قبل ملايين السنين؛ نتيجة حركة صفيحة المحيط الهادي البطيئة فوق بقعة ساخنة ثابتة الموقع؛ حيث تقع حالياً أسفل جزيرة هاواي الكبرى.

براكين البقع الساخنة Hot spot volcanoes تشكّلت بعض

البراكين الأكثر شهرة بفعل البقع الساخنة تحت المحيط. فمثلاً، تقع جزر هاواي التي تظهر في الخريطة المجاورة، في الشكل 5-6، على عمود من الصهارة، وهي جزر بركانية تكوّنت نتيجة ارتفاع الصهارة إلى أعلى من خلال القشرة الأرضية. وتبقى البقعة الساخنة المتكونة بفعل عمود من الصهارة ثابتة أسفل الصفيحة، بينما تتحرك صفيحة المحيط الهادي التي تقع فوقها ببطء نحو الشمال الغربي، ومع مرور الزمن نتج عن البقعة الساخنة سلسلة من الجزر البركانية في قاع المحيط الهادي. وتعد براكين كاواي، من أقدم براكين جزر هاواي، وهي براكين غير نشطة (خامدة)؛ لأنها لا تقع حالياً فوق البقعة الساخنة الثابتة، وينطبق ذلك أيضاً على البراكين القديمة الواقعة إلى الشمال الغربي، التي أصبحت أسفل مستوى سطح البحر. ويُعد بركان كيلاوي في جزيرة هاواي الكبرى الذي يقع حالياً فوق بقعة ساخنة من أكثر البراكين نشاطاً في العالم، كما في بركان لوهي الذي يتشكل حالياً في قاع المحيط جنوب شرق جزيرة هاواي الكبرى، وقد يرتفع عن مستوى سطح البحر، في نهاية المطاف، مشكلاً جزيرة جديدة.

البقع الساخنة وحركة الصفيحة Hotspots and plate motion توفر

سلاسل البراكين التي تتشكل فوق البقع الساخنة الثابتة معلومات حول حركة الصفيحة الأرضية؛ إذ يمكن حساب سرعة حركة الصفائح واتجاهها، من خلال مواقع تلك البراكين. وتبين الخريطة في الشكل 5-6 أن جزر هاواي تمثل الطرف الأول من سلسلة جبال هاواي البركانية، في حين يمثل جبل ميجي الطرف الآخر من السلسلة الأقدم عمراً؛ حيث يبلغ عمره 80 مليون سنة، مما يدل على أن هذه البقعة الساخنة كانت موجودة قبل ذلك بعدة سنوات، كما يدل المنعطف في سلسلة الجبال البحرية في ديكاكوجي على أن صفيحة المحيط الهادي قد غيرت اتجاه حركتها قبل 43 مليون سنة.



1991 أطلق بركان جبل بيناتوبو في الفلبين 10 km^3 من الرماد البركاني، مما أدى إلى خفض درجة حرارة الأرض 0.5°C .

1980 أدى الانفجار البركاني في جبل سانت هيلين في واشنطن إلى وقوع 57 قتيلاً، مات معظمهم نتيجة استنشاق الرماد البركاني.

2000

1900

1800

1912 ثار بركان كتامي في ألاسكا بقوة أكبر من بركان سانت هيلين عشر مرات، وقد عُدد من أقوى البراكين التي سُجلت عبر التاريخ.

1883 أدى ثوران بركان كراكاتوا في إندونيسيا إلى تدمير ثلثي الجزيرة، ونجم عنه تسونامي أدى إلى قتل أكثر من 36 ألف شخص.



الشكل 6-6 أدى تراكم كميات هائلة من اللابة على السطح إلى تشكيل صخور بركانية بسماكات عالية، ثم تعرضت مع مرور الزمن إلى عمليات حت بفعل الأنهار والقوى الجيولوجية مكونة الهضاب.

طفوح البازلت (الحرار) Flood basalt يمكن أن تتكون طفوح البازلت Flood basalt من بقع ساخنة تحت القشرة القارية، وهي عبارة عن لابة تتدفق من كسور طويلة في قشرة الأرض، وتُسمى هذه الكسور الشقوق Fissures. بعد مرور مئات أو آلاف السنين تؤدي ثورات هذه الشقوق إلى تكوين سهول منبسطة تُسمى الهضاب، كما في الشكل 6-6. وتفقد طفوح البازلت، كما هو الحال في البراكين الأخرى، بخار الماء وغيره من الغازات عندما تخرج إلى سطح الأرض.

طفوح البازلت في الجزيرة العربية Basalt flood in arabia peninsula

تغطي طفوح البازلت جزءاً كبيراً من المنطقة الغربية للصفحة العربية، تصل إلى 180000 km^2 على هيئة حزام واسع متقطع يمتد من الجمهورية اليمنية جنوباً على طول ساحل البحر الأحمر إلى المملكة الأردنية الهاشمية، وحتى الجمهورية العربية السورية شمالاً، انظر الشكل 6-7. ويعود تشكّل هذا الحزام إلى الشقوق والصدوع المصاحبة لتكوّن البحر الأحمر، التي بدأت قبل 25 مليون سنة، واستمرت إلى العصر الحالي؛ ويعتبر بركان حليات اللابة (جبل الملساء) والذي يبعد عن المدينة المنورة بنحو 15 كم باتجاه الجنوب الشرقي ويقع في الأطراف الشمالية الشرقية لحرة رهاط أحدث براكين المملكة العربية السعودية ثوراناً وتدفقاً. ويتشكل هذا البركان من أربعة مخاريط وفوهات بركانية، يطلق عليها حليات اللابة، خرجت منها الحمم البركانية عام 654هـ، وسبق ثورانه حركات زلزالية هزت المدينة المنورة، وتصف كتب التاريخ هذا الثوران وصفاً دقيقاً وموثقاً بشهادة أهل المدينة المعاصرين لهذا الحدث التاريخي.

تركيب البركان Volcano Structure

اللابة عبارة عن صهارة مرّت من خلال تركيب يشبه الأنبوب يسمى قناة البركان conduit، ثم خرجت إلى سطح الأرض من خلال فوهة البركان Crater؛ وهي المنخفض الذي يوجد في قمة البركان ويتصل مع حجرة الصهارة عبر القناة. وباستمرار انسياب اللابة وتراكمها مع الزمن يتكوّن جبل يسمى البركان.

المفردات

الاستعمال العلمي مقابل الاستعمال

الشائع

العصر الحالي

الاستعمال العلمي: العصر الجيولوجي

الأخير، وهو العصر الرباعي.

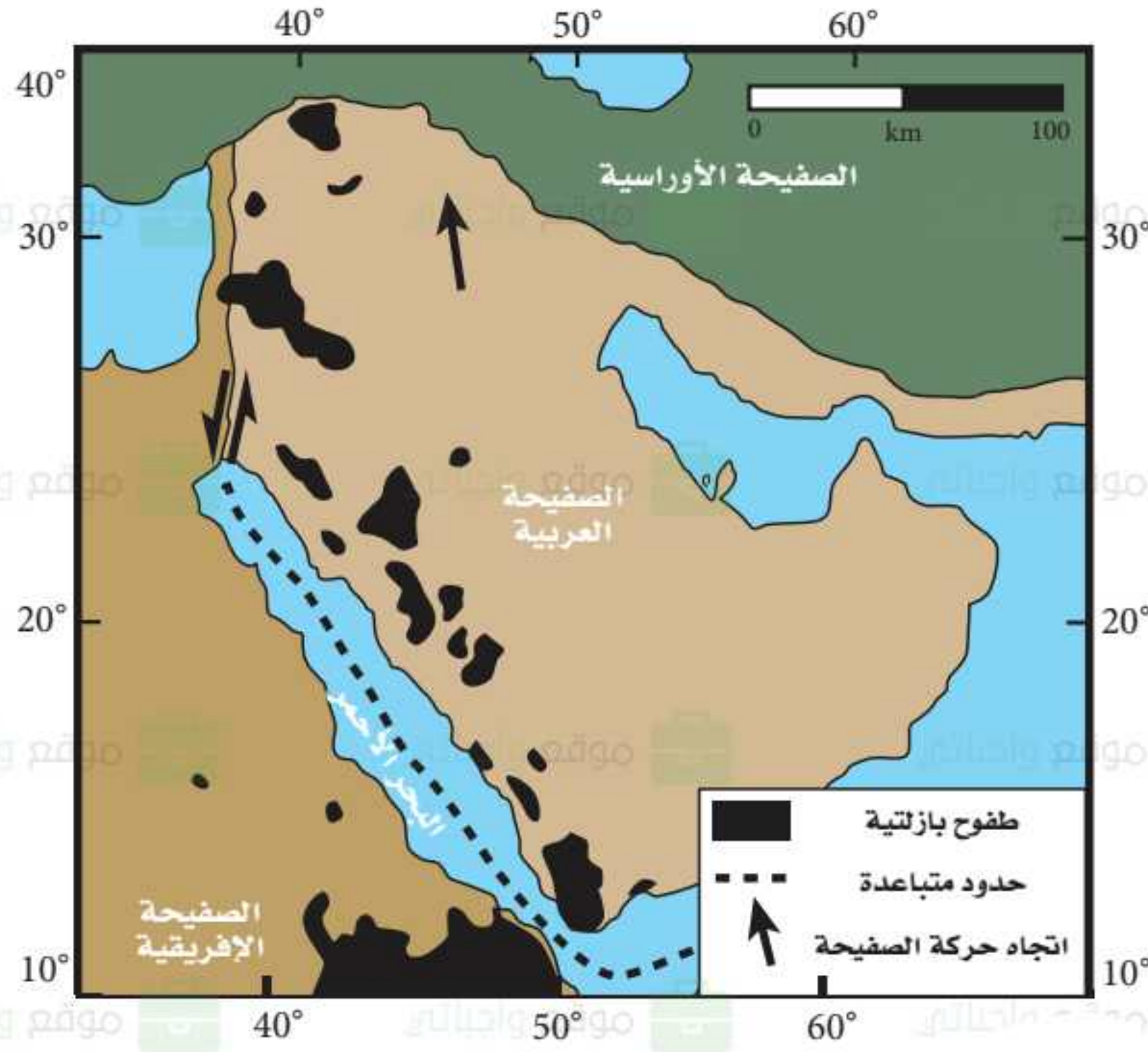
الاستعمال الشائع: الوقت الحاضر.

الرابط مع رؤية ٢٠٣٠



رؤية ٢٠٣٠
VISION 2030
المملكة العربية السعودية
KINGDOM OF SAUDI ARABIA

• من أهداف الرؤية: حماية البيئة من الأخطار الطبيعية.



الشكل 6-7 طفوح البازلت (الحرّات) التي تغطي أجزاء من المنطقة الغربية من الجزيرة العربية، وقد تشكلت بفعل تدفقات اللابة عبر الشقوق التي أصابت الصفائح العربية في أثناء تشكّل البحر الأحمر قبل 25 مليون سنة، واستمر تشكل هذه البراكين إلى العصر الحالي.



الشكل 6-8 ترتفع الصهارة إلى أعلى من باطن الأرض مروراً بالقناة، ومنها إلى السطح من خلال العنق، مكونة البركان. وتسمى المنطقة المحيطة بالعنق فوهة البركان، وقد تتطور إلى فوهة بركانية منهارة عندما تنهار القشرة الأرضية في حالة وجود فراغ في حجرة الصهارة.

لاحظ موقع كل من فوهة البركان والقناة في الشكل 6-8.

وعلى الرغم من أن قطر فوهة البركان لا يزيد على 1 km، إلا أن قطر الفوهة البركانية المنهارة **Caldera** قد يصل إلى 50 km، وهي منخفض ضخم أكبر من الفوهة. وتشكّل الفوهة البركانية المنهارة نتيجة انهيار قمة البركان أو جوانبه بعد أن تُخرج حجرة الصهارة الواقعة أسفل البركان مكوناتها بفعل الثورات البركانية الرئيسية، ولاحقاً قد يمتلئ السطح المنهار بالمياه، مما يؤدي إلى تشكل بحيرات خلابة. ومن الفوهات البركانية المنهارة في المملكة العربية السعودية فوهة الهتيممة بالقرب من قرية طابة في منطقة حائل، انظر الشكل 6-9.



الشكل 9-6 تمثل فوهة الهتيممة في منطقة حائل إحدى الفوهات البركانية المنهارة، ويتراكم على سطحها كميات من الملح نتيجة تبخر المياه التي تتجمع فيها.

تجربة

التحليل

1. رتب مراحل تشكّل الفوهة البركانية المنهارة.

يتشكل البركان مع وجود حجرة الصهارة أسفل منه، ثم عندما تتور الصهارة يتشكل فراغ جزئي في حجرة الصهارة، ثم ينهار البركان في حجرة الصهارة مشكلا الفوهة البركانية المنهارة.

2. قارن بين معالم الفوهة البركانية المنهارة ومعالم الفوهة البركانية.

يعتمد شكل الفوهة البركانية المنهارة على شكل حجرة الصهارة.

3. استنتج كيف يختلف شكل الفوهة البركانية المنهارة باختلاف مقدار النفخ في البالون؟

كلما زاد النفخ في البالون زاد عمق الفوهة البركانية المنهارة.

المهّن في علم الأرض

عالم البراكين

يُسمى العالم الذي يدرس الثورات البركانية وطفوح اللابة والصهارة وظروف تكونها عالم البراكين. ويدرس العلماء في الميدان البراكين النشطة، ويعملون أيضًا في المختبر لفهم كيف تنصهر الصخور لتشكيل الصهارة.

المطويات

صمّم المعلومات في هذا الدرس في المطوية الخاصة بك.

أنواع البراكين Types of Volcanoes

يعتمد مظهر البركان على عاملين، هما: نوع المواد المكوّنة للبركان، ونوع الثورات البركانية التي تحدث. وبناءً على هذين العاملين، هناك ثلاثة أنواع رئيسة من البراكين تختلف في الحجم والشكل والمكوّنات، انظر الجدول 1-6.

البراكين الدرعية Shield volcanoes: البركان الدرعي Shield volcano يتكون عندما تتراكم طبقات من اللابة في أثناء الثورات البركانية الهادئة، وهو من أكبر أنواع البراكين، مثل جبل عناز في حرة عويرض ذو الانحدار القليل والقاعدة شبه الدائرية، ويعد بركان حليات اللابة (جبل الملساء) بحرة رهاط من البراكين الدرعية، انظر الجدول 1-6.

البراكين المخروطية Cinder cones: تتشكل البراكين المخروطية Cinder cones عندما تعود المواد البركانية الصغيرة الحجم المقذوفة في الهواء إلى الأرض، وتتراكم حول فوهة البركان. وتمتاز البراكين المخروطية بأنها شديدة الانحدار، وعادة ما تكون صغيرة الحجم، ومعظمها لا يزيد ارتفاعه على 500 m. ومن أمثلتها براكين حرة الشاقة بالقرب من مدينة العيص.

البراكين المركبة Composite volcanoes: تتكون البراكين المركبة Composite volcanoes من طبقات مكونة من قطع لابة متصلبة في أثناء ثورات عنيفة متعاقبة مع طبقات من اللابة انسابت إلى أسفل قبل أن تتصلب، وتكون البراكين المركبة عمومًا مخروطية الشكل، مع وجود منحدرات مقعرة الشكل، وحجمها أكبر كثيرًا من البراكين المخروطية. وبسبب طبيعتها المتفجرة فإنها تشكّل خطرًا على الإنسان والبيئة. ومن الأمثلة عليها بركان جبل القدر في حرة خيبر شمال المدينة المنورة، كما في الجدول 1-6.

الجدول 1 - 6

أنواع البراكين

الوصف	أمثلة على البراكين
البراكين الدرعية • أضخم أنواع البراكين الثلاثة. • قليلة الانحدار وتمتد مسافات طويلة. • تتكون من طبقات متعاقبة من اللابة البازلتية المتصلبة. • ثوراتها هادئة.	



البراكين المخروطية

- أصغر أنواع البراكين الثلاثة.
- شديدة الانحدار وشكلها مخروطي.
- تتألف عادة من اللابة البازلتية.
- ثوراتها عنيفة.
- تتشكل عادة على أطراف البراكين الكبيرة الحجم.



البراكين المركبة

- أكبر كثيرًا من البراكين المخروطية.
- تشكّل جبالاً طويلة وشاخحة.
- تتألف من طبقات متعاقبة من تدفقات اللابة.
- تتألف من تعاقبات من ثورات بركانية عنيفة وثورانات بركانية هادئة.

التقويم 1-6

فهم الأفكار الرئيسية

1. وضح كيف ترتبط مواقع البراكين مع نظرية حركية الصفائح؟

ترتبط أنواع معينة من البراكين مع أنواع محددة من حدود الصفائح الأرضية ؛ إذ تتشكل براكين مختلفة عند كل من الحدود المتقاربة ونطاقات الانهدام والبقع الساخنة.

2. اذكر بركانين في حزام البحر المتوسط.

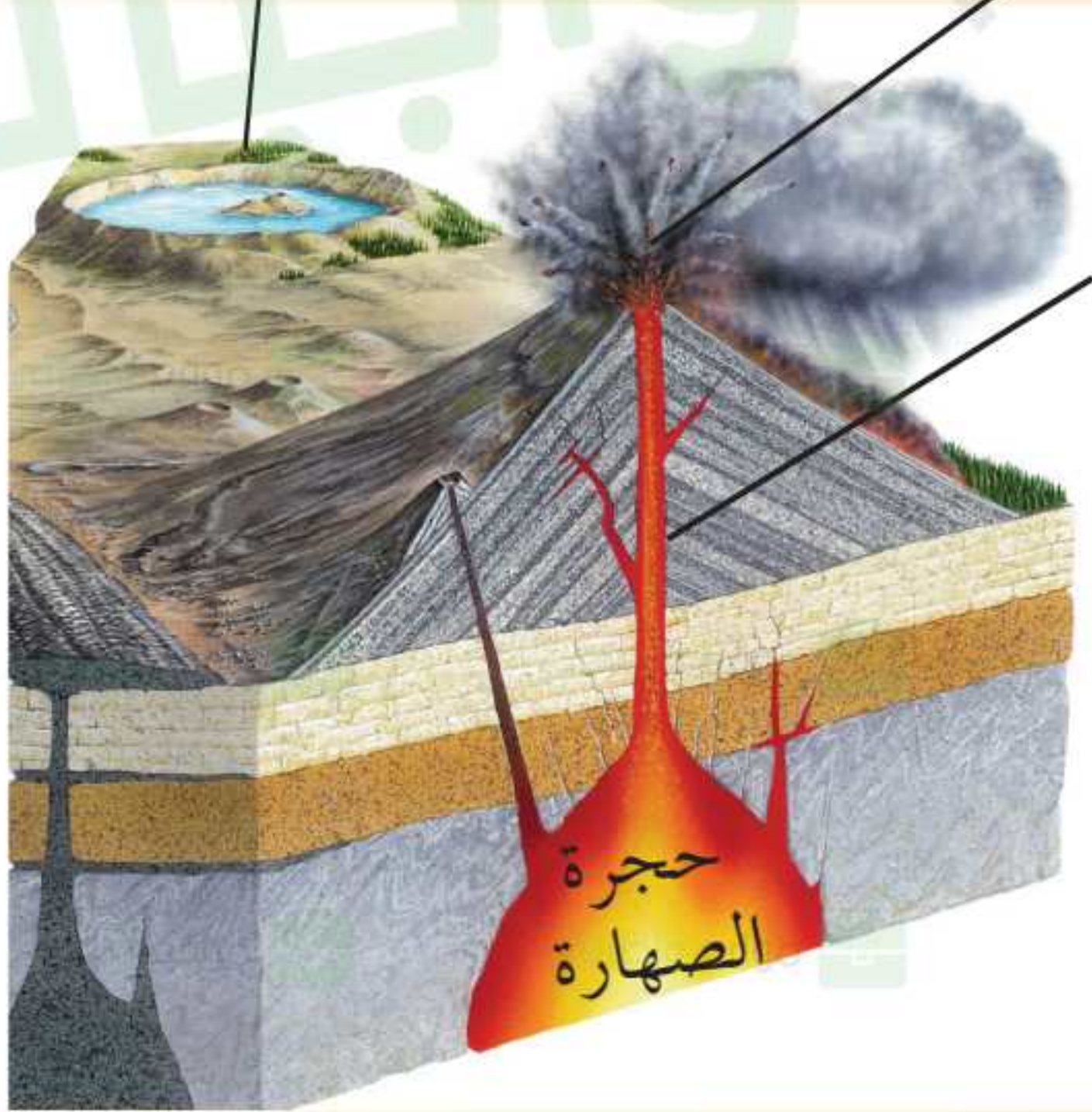
فيزيوفوس وإتنا .

3. ارسم بركاناً وحدد أجزائه على الرسم.

فوهة بركانية منهارة

فوهة البركان

قناة البركان



التقويم 1-6

4. اقترح نوع (أو أنواع) العمليات الأرضية التي حدثت في منطقة نشاط بركاني سابق في المملكة العربية السعودية مستعيناً بالخريطة.

يظهر امتداد الطفوح البركانية على شكل شريط محاذ للبحر الأحمر. ويستدل من ذلك على أن هذه البراكين مرتبطة مع حركة الصفية العربية وتوسع البحر الأحمر.

التفكير الناقد

5. قوّم الجملة الآتية: "توجد البراكين على طول السواحل فقط".

الجملة غير صحيحة؛ لأنه قد تتكوّن البراكين في وسط الصفية المحيطية لوجود بقع ساخنة أو نطاقات حفر الانهدام.

6. حدّد ما إذا كانت طفوح البازلت تمثل بركاناً أم لا.

تنتج طفوح البازلت بفعل النشاط البركاني ومع أنها لا تأخذ شكل الجبل؛ إلا أنها تعد أحد أشكال الثورانات البركانية التي تغطي مساحات واسعة وتحتوي على العديد من البراكين.

الرياضيات في الجيولوجيا

7. هب أن صفية المحيط الهادي تحركت 500 km في 4.7 ملايين سنة. احسب متوسط سرعة صفية المحيط الهادي بالسنتيمتر في السنة (cm / y).

للحصول على السرعة نقسم المسافة على الزمن:

$$500\text{km} \div 4.7 \text{ my} = 10.6\text{cm} / \text{y}$$



الثورانات البركانية Volcanic Eruptions

الأهداف

- توضح كيف يؤثر نوع الصهارة في النشاط البركاني.
- تصف دور الضغط والغازات الذائبة في الثورانات البركانية.
- تعرف المواد التي تقذفها الثورانات البركانية.

الفكرة الرئيسية

تحدد مكونات الصهارة خصائص الثوران البركاني.

الربط مع الحياة لعلك رججت قنينة مشروب غازي يوماً، ثم فتحتها. هل لاحظت فوران المشروب الغازي بشدة خارج القنينة؟ هذه العملية تشبه ما يحدث في الثورانات البركانية المتفجرة.

تشكل الصهارة Making Magma

ما الذي يجعل بعض الثورانات البركانية هادئة أحياناً وشديدة الانفجار أحياناً أخرى؟ يعتمد النشاط البركاني وخصائص اللابة على مكونات الصهارة. ويوضح الشكل 6-10 نوعين من اللابة: لابة رقيقة ومنخفضة اللزوجة تندفق بسرعة، ولابة سميكة ولزجة تندفق ببطء. ويتطلب فهم سبب اختلاف الثورانات البركانية معرفة كيف تنصهر الصخور لتشكيل الصهارة.

درجة الحرارة Temperature تنصهر معظم الصخور ضمن مدى من درجات الحرارة يتراوح بين 800°C و 1200°C ، ويعتمد ذلك على مكوناتها والضغط الواقع عليها ووجود الماء فيها.

الضغط Pressure يزداد الضغط بزيادة العمق بسبب زيادة وزن الصخور، إلا أن زيادة الضغط تؤدي إلى رفع درجة الانصهار، لاحظ أن درجة انصهار الأليت على سطح الأرض في غياب الماء تساوي 1100°C ، وتزداد إلى 1150°C على عمق 6 km، ثم إلى 1440°C على عمق 100 km. ولاحظ أيضاً كيف يفسر عامل الضغط سبب انصهار معظم الصخور أسفل القشرة الأرضية وأعلى الستار.

مراجعة المفردات

البازلتية: ترتبط مع نوع من الصخور الغنية بالمعادن الداكنة التي تحتوي على الماغنسيوم والحديد.

المفردات الجديدة

اللزوجة

المقذوفات البركانية الصلبة

تدفق الفتات البركاني



جبل سانت هيلين



جبل إتنا

الشكل 6-10 تعتمد كيفية تدفق اللابة على مكونات الصهارة؛ فلزوجة لابة بركان جبل إتنا قليلة، وتندفق بسرعة مقارنة بلابة بركان جبل سانت هيلين ذات اللزوجة المرتفعة القليلة التدفق.

مكوّنات الصهارة Composition of Magma

تُحدّد مكوّنات الصهارة شدة ثوران البركان، وكيفية تدفق اللابة على سطح الأرض. فما العوامل التي تحدد هذه المكوّنات؟ استطاع العلماء تحديد العوامل التي تتحكم في مكوّنات الصهارة وهي: تفاعلها مع صخور القشرة الأرضية التي تعلوها، ودرجة حرارتها، والضغط الواقع عليها، وكميات الغازات الذائبة فيها، ومحتواها من السليكا. ويُعد العامل الأخير من أكثر العوامل تأثيراً. ويرى العلماء أن هذه العوامل تساعد على معرفة سلوك الصهارة وتوقع شدة الثورات البركانية.

الغازات الذائبة Dissolved gases تزداد شدة الانفجار البركاني للصهارة بزيادة كمية الغازات الذائبة فيها، مثلما يحدث في المشروب الغازي عندما يزداد فورانه بزيادة الغازات الذائبة فيه. ومن الغازات المهمة في الصهارة بخار الماء، وثنائي أكسيد الكربون، وثنائي أكسيد الكبريت، وكبريتيد الهيدروجين، ويُعد بخار الماء من أكثر الغازات الذائبة أهمية؛ لأنه يحدد أين يمكن أن تتكون الصهارة.

اللزوجة Viscosity تُسمى الخاصية الفيزيائية التي تصف مقاومة المواد للتدفق اللزوجة **Viscosity**. وتؤثر كل من درجة حرارة الصهارة ومحتواها من السليكا في لزوجتها. وعموماً تزداد لزوجة الصهارة بانخفاض درجة حرارتها. أما زيادة محتوى الصهارة من السليكا فيجعلها كثيفة القوام ولزجة. وتؤدي زيادة لزوجة الصهارة إلى زيادة احتفاظها بالغازات الذائبة، فلا تسمح لها بالانفلات بسهولة، لذا تنتج ثورات بركانية متفجرة. وعموماً، إذا كان محتوى الصهارة من السليكا منخفضاً انخفضت لزوجتها، وكانت خفيفة القوام، وتدفق بسرعة ويسر، كما في العسل الساخن، كما أنها تُنتج ثورات هادئة غير مصحوبة بانفجارات. وتتكون البراكين الناتجة من صخور بازلتية كما في حرة كشب غربي المملكة. انظر الشكل 11-6.

✓ **ماذا قرأت؟ أيهما أكثر لزوجة: الماء أم العسل؟**
العسل أكثر لزوجة من الماء .



الشكل 11-6 بركان حرة كشب غربي المملكة العربية السعودية.

- تتفاعل بكميات قليلة مع صخور القشرة الأرضية العلوية.
- محتواها من السليكا قليل، لذا تتدفق بسهولة.
- تنثور بصورة هادئة دون انفجارات.



صهارة بازلتية : لزوجتها منخفضة

- مصدرها مواد القشرة المحيطية والرسوبيات.
- يتراوح محتواها من السليكا بين 50-60%.
- تنثور في صورة انفجارات.



صهارة أنديزيتية : لزوجتها متوسطة

- مصدرها مواد القشرة القارية.
- نسبة محتواها من السليكا يزيد على 60%.
- تنثور في صورة انفجارات عنيفة.



صهارة ريوليتية : لزوجتها كبيرة

الشكل 6-12 إذا كانت الصهارة أو اللابة فقيرة إلى السليكا كانت لزوجتها منخفضة، وإذا كانتا غنيتين بالسليكا كانت لزوجتها مرتفعة.

أنواع الصهارة Types of Magma

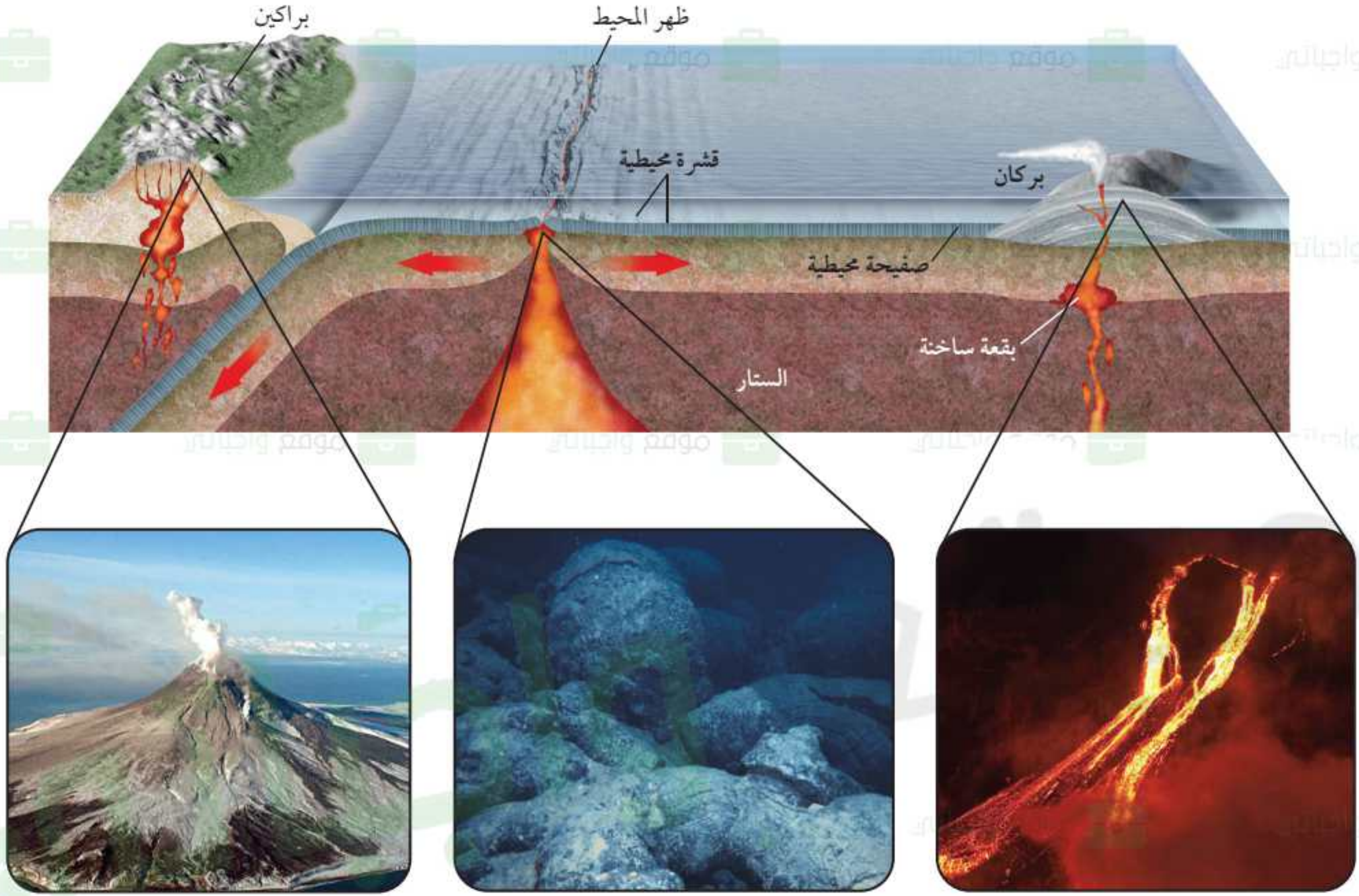
لا يحدد محتوى الصهارة من السليكا لزوجة الصهارة وشدة ثورانها فقط، بل يحدده أيضاً نوع الصخر البركاني الذي سيتشكل حينما تبرد الصهارة. ادرس الشكل 6-12 لتلخيص أنواع الصهارة.

صهارة بازلتية Basaltic magma تتكوّن الصهارة البازلتية عندما تنصهر صخور الستار العلوي عادة، وتتكون من كمية السليكا نفسها التي يحتويها صخر البازلت، وهي أقل من 50%. وعندما تصعد الصهارة من الستار العلوي إلى سطح الأرض تتفاعل مع قليل من صخور القشرة الأرضية والرسوبيات التي تعلوها، وتكون لزوجتها منخفضة لانخفاض محتواها من السليكا، لذا تخرج الغازات منها بسهولة، وتكون ثوراتها هادئة. ويوضح الشكل 6-13 كيف تحدد خصائص الصهارة نوع الثوران البركاني الذي سيحدث. ومن البراكين التي تكونت بفعل نشاط صهارة بازلتية حرة كشب غربي المملكة.

صهارة أنديزيتية Andesitic magma تتكون الصهارة الأنديزيتية من الكمية نفسها من السليكا المكوّنة لصخر الأنديزيت التي تتراوح بين 50-60%، وتوجد على طول نطاق الطرح القاري-المحيطي، ومصدرها إما القشرة المحيطية وإما رواسب المحيطات، ولأنها تحتوي على كمية متوسطة من السليكا فإن لزوجتها متوسطة وثوراتها متوسطة الشدة، ومنها بركان تامبورا في إندونيسيا، الذي أنتج انفجارات أطلقت كميات ضخمة من الرماد والحطام البركاني في الغلاف الجوي، فلم تؤدّ فقط إلى تدمير المجتمعات المحلية، بل أثرت أيضاً في البيئة العالمية.

صهارة ريوليتية Rhyolitic magma تتكون الصهارة الريوليتية عندما تمتزج الصهارة الصاعدة إلى أعلى مع صخور القشرة القارية العلوية الغنية بالسليكا والماء، وتتكون من الكمية نفسها من السليكا المكوّنة لصخر الجرانيت التي تزيد على 60%، وتؤدي لزوجتها المرتفعة إلى جعلها تتدفق ببطء، كما أن لزوجتها المرتفعة أيضاً مع وجود كمية كبيرة من الغازات المحصورة يجعل ثوراتها متفجرة جداً. ومن الأمثلة عليها الصخور الريوليتية في جبل حرة شامة في المملكة العربية السعودية.

الثورانات البركانية Volcanic Eruptions



ثورانات بركانية متفجرة

تحدث ثورانات بركانية متفجرة عندما تعبر صهارة غنية بالسليكا قشرة قارية، وتحتفظ هذه الصهارة بالغازات، مما يؤدي إلى تولد ضغط شديد جدًا بداخلها، وعند تحرر هذا الضغط تنشأ انفجارات عنيفة.

ثورانات بركانية تحت الماء

أكثر أنواع اللابة شيوعاً هي اللابة الوسادية التي تتكون عند الحدود المتباعدة على امتداد القشرة المحيطية، وتنساب في قاع المحيط وتكون كتلاً على شكل وسائد عندما تبرد.

ثورانات بركانية هادئة

معظم براكين الأرض النشطة مصاحبة لبقع ساخنة تقع أسفل قشرة محيطية. ولأن الصهارة التي تعبر القشرة المحيطية في أثناء صعودها إلى أعلى تحتفظ بدرجة حرارة مرتفعة وبمحتويات قليلة من السليكا والغازات فإن اللابة الناتجة عنها تخرج من البراكين بسهولة في صورة ثورانات بركانية هادئة نسبياً.

الشكل 13-6 عندما تصعد الصهارة إلى أعلى بفعل حركات الصفائح الأرضية والبقع الساخنة، تختلط مع قشرة الأرض، ويؤدي هذا إلى الاختلاف في درجة حرارة الصهارة ومحتواها من السليكا والغازات. وتحدد خصائص الصهارة هذه كيفية ثوران البراكين.



كتلة بركانية



رماد بركاني

الثورانات البركانية المتفجرة Explosive Eruptions

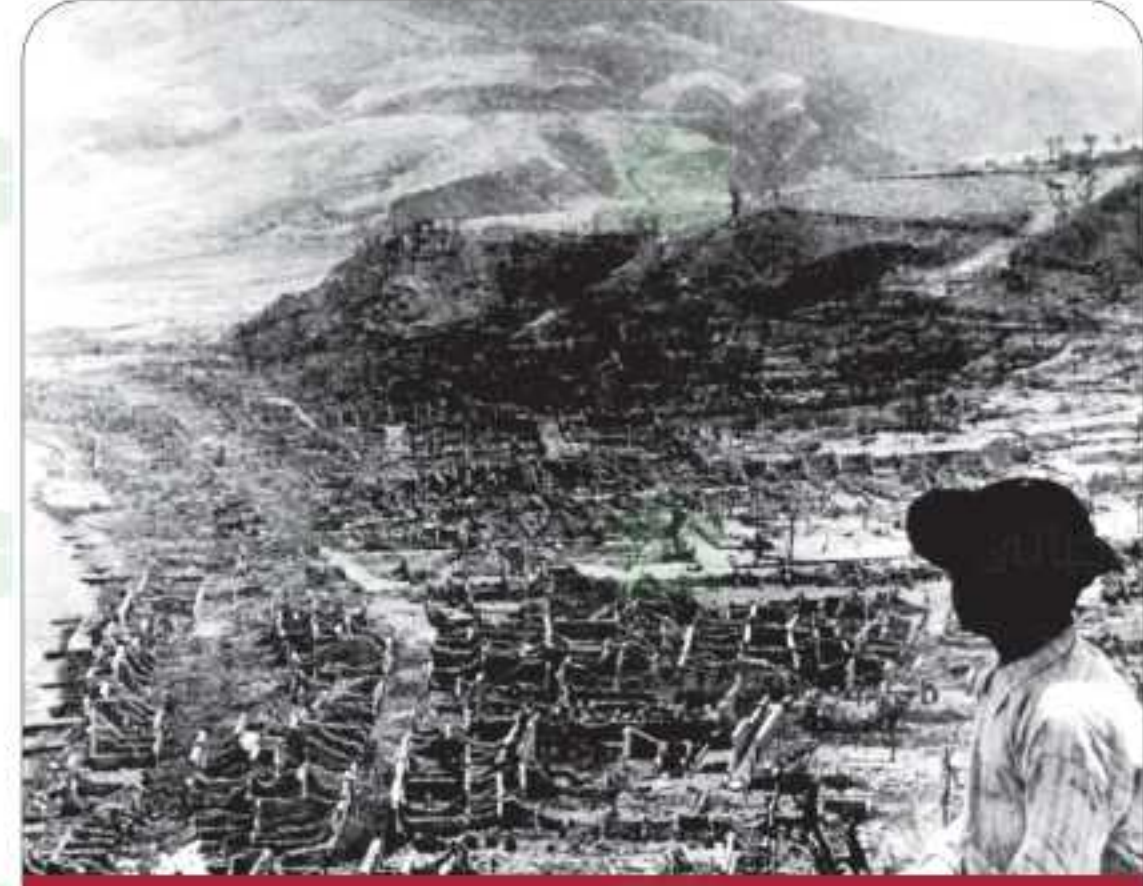
عندما تكون اللابة في القناة لزجة جدًا فإنها لا تتدفق من فوهة البركان بحرية، بل تتراكم فيها الغازات إلى أن تخرج في صورة انفجارات عنيفة، حيث تُقذف اللابة مع الصخور في الهواء. وتسمى المواد التي تقذفها البراكين **المقذوفات البركانية الصلبة tephra**. وربما تكون المقذوفات البركانية الصلبة قطعًا من اللابة تصلبت في أثناء وجودها في الهواء، أو قطعًا من قشرة أرضية حملتها الصهارة معها قبل ثورانها. وتصنف المقذوفات البركانية الصلبة بحسب حجمها؛ فالقطع الصغيرة التي يقل قطرها عن 2 mm تُسمى رمادًا بركانيًا، وتُسمى المقذوفات البركانية الأكبر من ذلك كتلاً بركانية. انظر الشكل 14-6، وقد يبلغ ارتفاع بعض الكتل البركانية مترًا، وقد يصل حجم بعضها إلى حجم سيارة. وتنتشر الثورانات البركانية المتفجرة الضخمة كميات هائلة من المقذوفات البركانية فوق معظم الأرض، وقد يصل الرماد البركاني إلى ارتفاع 40 km في الغلاف الجوي في أثناء الثوران البركاني، ويشكل خطرًا على الطائرات، كما يمكن أن يُغير حالة الطقس. ويوضح الشكل 15-6 بركان جبل بيناتوبو في الفلبين الذي ثار عام 1991م، وشكل غيمة بركانية من الرماد البركاني على ارتفاع 40 km، حيث بقيت حبيبات صلبة وقطيرات من حمض الكبريتيك في طبقة الستراتوسفير مدة سنتين تقريبًا، مما أدى إلى حجب أشعة الشمس، ثم انخفاض درجة حرارة الأرض.



الشكل 15-6 ثار بركان جبل بيناتوبو في الفلبين عام 1991م فأطلق كميات هائلة من الرماد البركاني تراكمت في طبقة الستراتوسفير، مما أدى إلى انخفاض درجة حرارة الأرض لمدة سنتين.



تدفق الفتات البركاني



بركان بيلي عام 1902م

تدفق الفتات البركاني Pyroclastic Flow

تؤدي بعض المقذوفات البركانية الصلبة إلى دمار كبير في الممتلكات وقتل آلاف الناس، كما تقذف بعض البراكين العنيفة غيومًا من الرماد البركاني وغيرها من المقذوفات البركانية الصلبة نحو أسفل المنحدر بسرعة 200 km/h . وتسمى غيوم المقذوفات البركانية الصلبة الممزوجة مع الغازات الساخنة **تدفق الفتات البركاني pyroclastic flow**، وقد تزيد درجة حرارتها الداخلية على 700°C . ويوضح الشكل 6-16 آثار الدمار التي خلفها بركان بيلي في جزيرة مارتينيك في البحر الكاريبي عام 1902م، وتدفق فتات بركاني يتصاعد إلى أعلى عند ثوران بركان مايون في المكسيك في عام 2000 م.

الشكل 6-16 أدى التدفق الشديد للفتات البركاني من جبل بيلي إلى تدمير بلدة سانت بيير في جزر المارتينيك في البحر الكاريبي في دقائق معدودة.

التقويم 2-6

فهم الأفكار الرئيسية

1. ناقش كيف تحدد مكونات الصهارة خصائص ثورانها؟
تحدد مكونات السليكا لزوجة الصهارة، كما تساعد كمية الغازات في تحديد شدة الانفجار البركاني .
2. أعد صياغة كيف ترتبط لزوجة الصهارة بشدة انفجارها؟
كلما زادت لزوجة الصهارة زادت شدة الثوران البركاني .
3. توقع شدة انفجار بركان ناتج عن صهارة غنية بالسليكا والغازات.
ستكون شدة انفجاره ذات طاقة كبيرة .
4. ميز بين المقذوفات البركانية الصلبة من حيث أحجامها.
الكتل البركانية هي الأكبر حجماً، بينما حبات الرماد البركاني هي الأصغر حجماً .

التفكير الناقد

5. استنتج التركيب الكيميائي للصهارة الذي أدى إلى ثوران بركان جبل فيزوف عام 79 قبل الميلاد بهذه الطريقة.
تكونت من كميات كبيرة من السليكا والغازات الذائبة .
- الكتابة في الجيولوجيا
6. اكتب نشرة إخبارية تتناول فيها أحداث بركان ما.
تتنوع الإجابات، لكن ينبغي أن تتضمن النشرة معلومات كافية عن البركان .

علم الأرض والتقنية

مرصد هاواي البركاني



غالبًا ما يرتدي الجيولوجيون خوذات، ويكون بحوزتهم أدوات تسلق، ويرتدون ملابس مقاومة للحرارة وأقنعة واقية من الغاز، وغير ذلك من المعدات: لحماية أنفسهم من الظروف الخطرة حول البراكين النشطة. كما أن عليهم ارتداء القفازات المقاومة للحرارة لحظة وصولهم إلى موقع جمع العينات.

رصد سطح الأرض يستعمل العلماء أداة تسمى عداد المسافة الإلكترونية لمساعدتهم على رصد البراكين الأرضية والتنبؤ بثورانها. ففي أثناء صعود الصهارة نحو سطح الأرض قد يحدث ميلان للسطح أو انخفاض أو انتفاخ بسبب ما تشكله الصهارة من الضغوط في أثناء صعودها.

ويقوم العلماء في مرصد هاواي البركاني بتسجيل البيانات باستمرار، وإجراء التجارب، وتناقلها في جميع أنحاء العالم. ويعود الفضل في فهم الكثير من طبيعة البراكين في أيامنا الحالية إلى الأبحاث المستمرة لهؤلاء العلماء.

الكتابة في الجيولوجيا

ابحث في الطرائق التي يتبعها العلماء لتوقع وقت ثوران البركان وحجمه ونوعه. ولمزيد من المعلومات يمكنك تصفح مواقع الإنترنت الموثوقة. لخص معلوماتك وشارك بياناتك زملاءك في الصف.

كيلاوي من البراكين الدرعية في جزيرة هاواي، وهو أحد البراكين الأكثر نشاطًا وخطورة. ويقوم العلماء بمراقبة الظروف المحيطة بهذا البركان. ويعد مرصد هاواي البركاني بمثابة مختبر؛ حيث يتم فيه دراسة العينات التي تجمع من منطقة البركان.

جمع اللابة البركانية تخيل نفسك واقفًا بجوار اللابة البركانية المتحركة التي تبلغ درجة حرارتها 1170°C . للحصول على القياس المباشر لدرجة الحرارة، أو لجمع العينات الجيولوجية على العلماء تحمل درجات الحرارة المرتفعة وتوخي الحذر في أثناء سيرهم ومتابعة خطواتهم. ويتم جمع العينات في ظروف خاصة؛ حيث تجمع في أوعية مقاومة للحرارة، وتبرد مباشرة بوضعها في وعاء فيه ماء لمنع تلوث العينات بالهواء المحيط. ولكي يحمي العلماء أنفسهم من الأجواء المحيطة بهم فإنهم يرتدون ملابس خاصة، ويصطحبون معداتهم كاملة، كما توضحه الصورة.

النشاط الزلزالي يسبق ثوران البراكين غالبًا نشاط زلزالي، ويعد أحد المؤشرات على حدوث ثوران بركاني؛ حيث يلجأ العلماء إلى توزيع أجهزة رصد الزلازل (السيزمومتر) حول فوهة البركان، وفي مناطق قريبة منه لرصد النشاط الزلزالي.

العينات الغازية يجمع العلماء في مرصد هاواي البركاني عينات من الغازات المنبعثة من فوهات البراكين لمعرفة نسبة غازي ثاني أكسيد الكبريت وثاني أكسيد الكربون. وتشير الزيادة في انبعاث غازي ثاني أكسيد الكبريت وثاني أكسيد الكربون إلى ثوران محتمل للبركان.



الأمواج الزلزالية وبنية الأرض

Seismic Waves and Earth's Interior

الأهداف

تقارن بين أنواع الأمواج الزلزالية الثلاثة.

تصف كيف يعمل مقياس الزلازل (السيزمومتر).

تفسر كيف استعملت الأمواج الزلزالية في معرفة مكونات باطن الأرض وتركيبها.

مراجعة المفردات

الستار: جزء من باطن الأرض يقع أسفل القشرة الأرضية وفوق اللب.

مفردات جديدة

الأمواج الزلزالية

الأمواج الأولية

الأمواج الثانوية

الأمواج الجسمية

الأمواج السطحية

بؤرة الزلزال

المركز السطحي للزلزال

مقياس الزلزال

مخطط الزلزال

الفكرة الرئيسية يتم استعمال الأمواج الزلزالية في تصوّر بنية الأرض الداخلية.

الربط مع الحياة عندما تنظر إلى المرآة فإنك ترى نفسك؛ لأن أمواج الضوء تنعكس عن وجهك وتتجه نحو المرآة، ثم ترتد عن سطحها إلى عينيك، فتحدث الرؤية. وبالكيفية نفسها، تنتقل الأمواج الزلزالية في باطن الأرض، وتنعكس عن التراكيب الداخلية معطية بذلك صورة عنها.

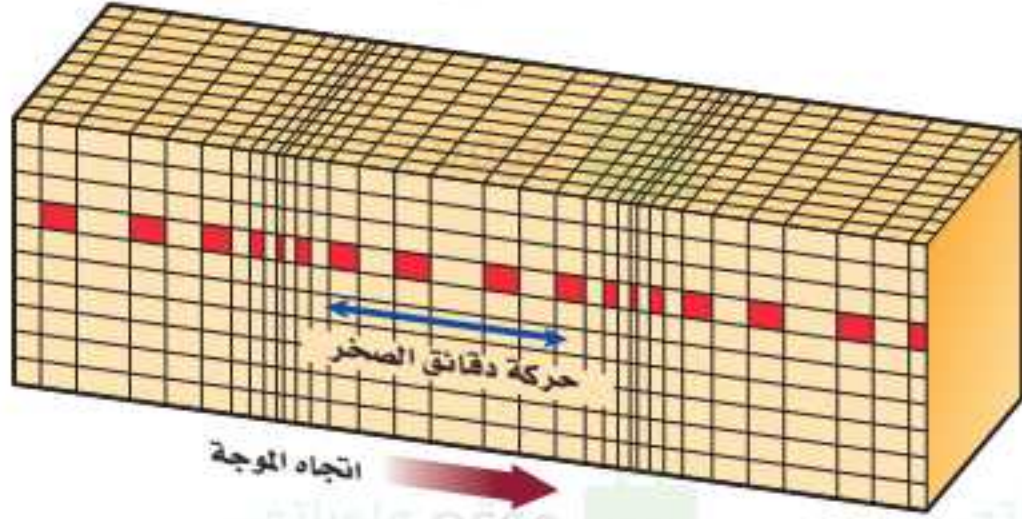
الأمواج الزلزالية Earthquake Waves

تنتج معظم الزلازل بفعل الحركة التي تحدث على الصدوع. إن الحركة في الصدوع قد تكون عبر سطوح ملساء نسبياً، أو عبر سطوح خشنة، كما في حركة الكتلتين الخشبيتين المغطاتين بورق الصنفرة؛ حيث تعمل السطوح الخشنة على إعاقة الحركة وإيقافها. كذلك مع استمرار حركة الصخور عبر السطوح الخشنة تتراكم الجهود فيها، وتعاني الصخور من تشوّه مرن، حيث ترجع الصخور إلى وضعها الأصلي عند إزالة الإجهاد عنها. عندما تتجاوز الجهود المتراكمة في الصخور حد المرونة، وهو الحد الذي تفقد فيه الصخور خاصية المرونة، فإنها تلتوي أو تتمدد، وتصبح في مرحلة التشوّه اللدن. وعندما تنكسر الصخور أو تنزلق عبر السطوح تتحرر الطاقة المخزنة منتجة الزلزال.

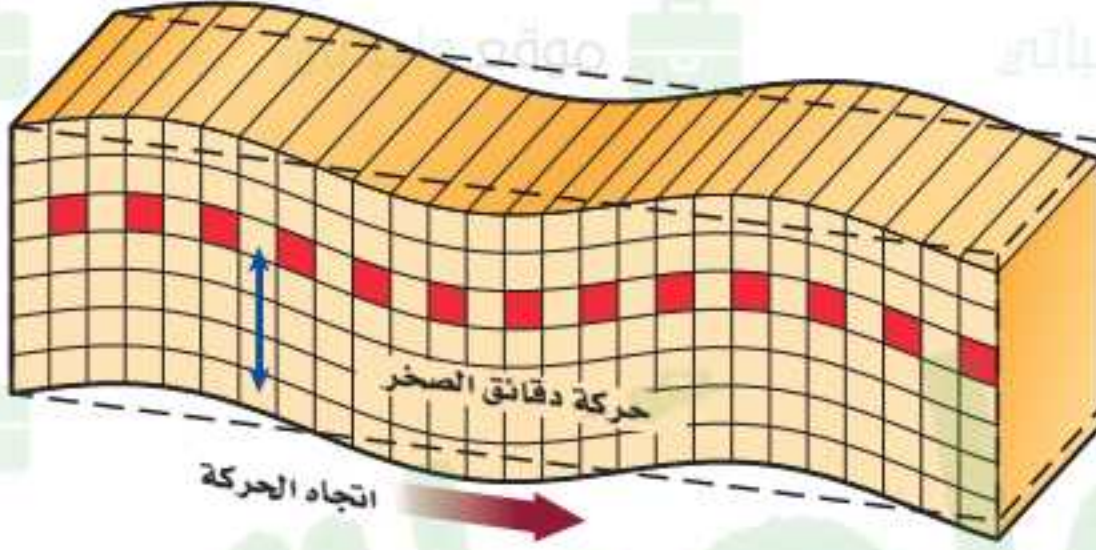
أنواع الأمواج الزلزالية Types of seismic waves تسمى الأمواج التي تنتشر في الأرض والناجمة عن الزلزال الأمواج الزلزالية **Seismic waves**. وينتج عن كل زلزال ثلاثة أنواع من الأمواج الزلزالية هي: الأولية والثانوية والسطحية.

الأمواج الأولية Primary waves يطلق عليها أيضاً أمواج P. تعمل الأمواج الأولية **Primary Waves** على تضاعف الصخور وتخلخلها في نفس اتجاه حركتها، انظر الشكل 6-17. لاحظ من الشكل أن حجم الصخر المشار إليه بالمربعات الحمراء الصغيرة يتغير مع مرور الأمواج الأولية فيه. وتشبه الحركة التضاغية للأمواج الأولية الحركة التي تحدث على طول نابض رخو؛ إذ تنتقل الحركة الموجية على طوله في اتجاه مواز لاتجاه شدة في البداية.

حركة الأمواج الأولية P



حركة الأمواج الثانوية S



حركة الأمواج السطحية



الشكل 6-17 تمتاز الأمواج الزلزالية بنوع الحركة التي تسببها للصخور التي تمر فيها؛ حيث تكون حركة جسيمات الصخر إلى الأمام وإلى الخلف وفي نفس اتجاه حركة أمواج P - بينما تكون حركة الأمواج S - عمودية على خط انتشار الموجة، وإلى أعلى وإلى أسفل، ومن جانب إلى آخر في الأمواج السطحية.

الأمواج الثانوية Secondary waves يطلق

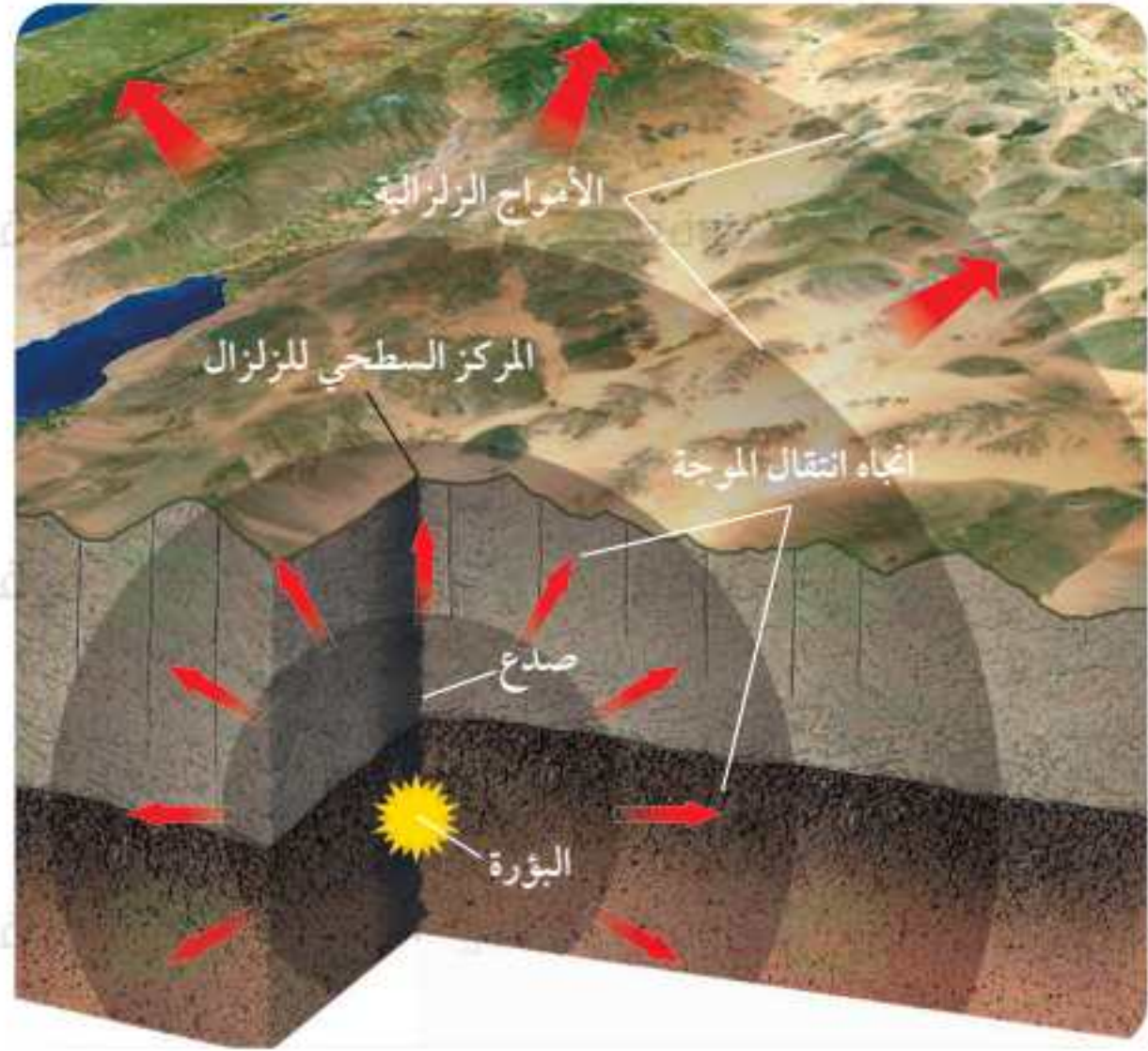
عليها أيضًا أمواج S. وسميت الأمواج الثانوية Secondary Waves لأنها أبطأ من الأمواج الأولية، وهي ثاني الأمواج الزلزالية وصولاً إلى محطة الرصد. وتُسبب الأمواج الثانوية في أثناء حركتها حركة جسيمات الصخر عمودياً على اتجاه حركتها، كما في الشكل 6-17، وتشبه الحركة الموجية في الحبل؛ حيث تنتقل عمودياً إلى أعلى وإلى أسفل من أحد طرفيه إلى الطرف الآخر. وتسمى كل من الأمواج الأولية والثانوية الأمواج الجسمية Body waves؛ لأنها تنتقل داخل الأرض.

الأمواج السطحية Surface waves تنتقل

الأمواج السطحية Surface waves على سطح الأرض فقط، وهي أبطأ الأمواج الزلزالية، لذلك فهي ثالث الأمواج وصولاً إلى محطة الرصد وتسبب في حركة جسيمات سطح الأرض حركة جانبية إلى أعلى وإلى أسفل كحركة الأمواج البحرية، كما في الشكل 6-17. وتعد من أكثر الأمواج الزلزالية تدميراً؛ لأنها تسبب معظم أنواع الحركة، كما أنها تستغرق وقتاً أطول لتعبر الصخور.

نشأة الأمواج الزلزالية Generations of seismic waves

تنشأ أولى الأمواج الزلزالية الجسمية في نقطة الكسر في صخور القشرة الأرضية، وتنتشر منها في جميع الاتجاهات، وتسمى هذه النقطة بؤرة الزلزال Focus، وتقع في معظم الأحيان على عمق يبلغ عدة كيلومترات أسفل سطح الأرض. أما النقطة التي تقع على سطح الأرض مباشرة فوق البؤرة فتسمى المركز السطحي للزلزال Epicenter الشكل 6-18، وتنشأ الأمواج الزلزالية السطحية عن المركز السطحي للزلزال، وتنتشر منها على سطح الأرض.

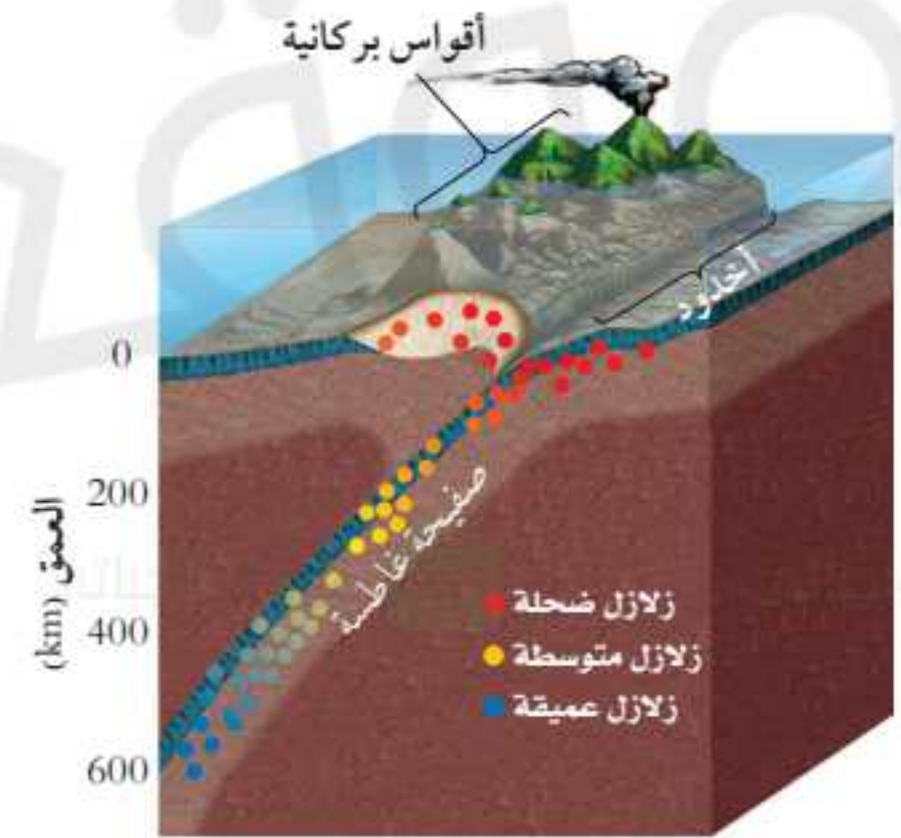


الشكل 18-6 بؤرة الزلزال هي النقطة التي ابتدأ عندها تشكّل الكسر في الصدع. وتسمى النقطة التي تقع على سطح الأرض مباشرة فوق البؤرة المركز السطحي للزلزال.

استنتاج: حدد النقطة التي يكون عندها الدمار الذي تسببه الأمواج السطحية أكبر ما يمكن. **المركز السطحي للزلزال.**

وتنتقل الطاقة المنبعثة من بؤرة الزلزال في جميع الاتجاهات على هيئة موجات زلزالية. وتبلغ قوة الزلازل أكبر ما يمكن في بؤرة الزلزال، وكلما ابتعدنا عن البؤرة قلت قوة الموجات الزلزالية وخفتت بسبب المقاومة التي تواجهها في أثناء مرورها في صخور القشرة الأرضية. وتصنف الزلازل بحسب عمق البؤرة، كما في الشكل 19-6، إلى ثلاثة أنواع: الزلازل الضحلة التي تنشأ على عمق أقل من 70 km، والزلازل المتوسطة التي تنشأ على عمق 70-300 km، والزلازل العميقة التي تنشأ على عمق 300-700 km.

ويوضح الشكل 19-6 العلاقة بين نطاق الطرح - الناتج عن غطس صفيحة أرضية أسفل صفيحة أخرى - وحدوث الزلازل. ولا تحدث الزلازل العميقة إلا في هذا النوع من الحدود. والمسؤول عن حدوث الزلازل في هذا النطاق - وبخاصة العميقة منها - هو الصفيحة الغاطسة الصلبة؛ حيث يسبب غطس الصفيحة إلى أسفل تراكم الجهود فيها، مما يؤدي إلى تكسرها وتحرير طاقة على شكل أمواج زلزالية ذات بؤر مختلفة الأعماق.



الشكل 19-6 تصنف الزلازل بناء على عمق البؤرة إلى زلازل ضحلة ومتوسطة وعميقة. وتعد الزلازل الضحلة أكثرها تدميرًا.

مقياس الزلزال ومخططه

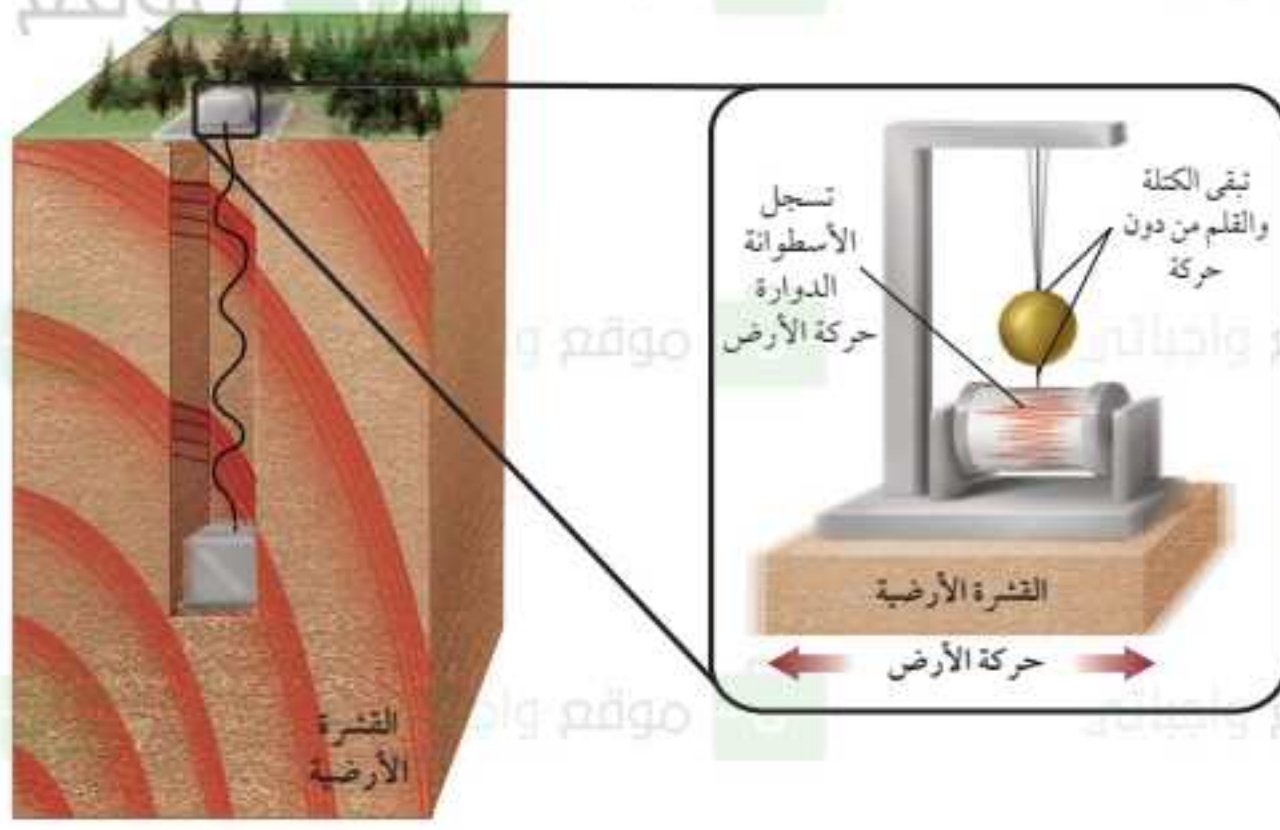
Seismometer and Seismogram

لا يمكن الإحساس بالاهتزازات الناجمة عن الأمواج الزلزالية على مسافات بعيدة جدًا عن المركز السطحي، ولكن يمكن اكتشافها عن طريق جهاز حساس يسمى **مقياس الزلزال (السيزمومتر) Seismometer**، انظر الشكل 20-6.

تتألف بعض أجهزة السيزمومتر من أسطوانة دوارة مغطاة بورقة، وقلم أو أي أداة للتسجيل، وكتلة معلقة كالبن دول. تختلف أجهزة السيزمومتر في تصميمها، ولكنها

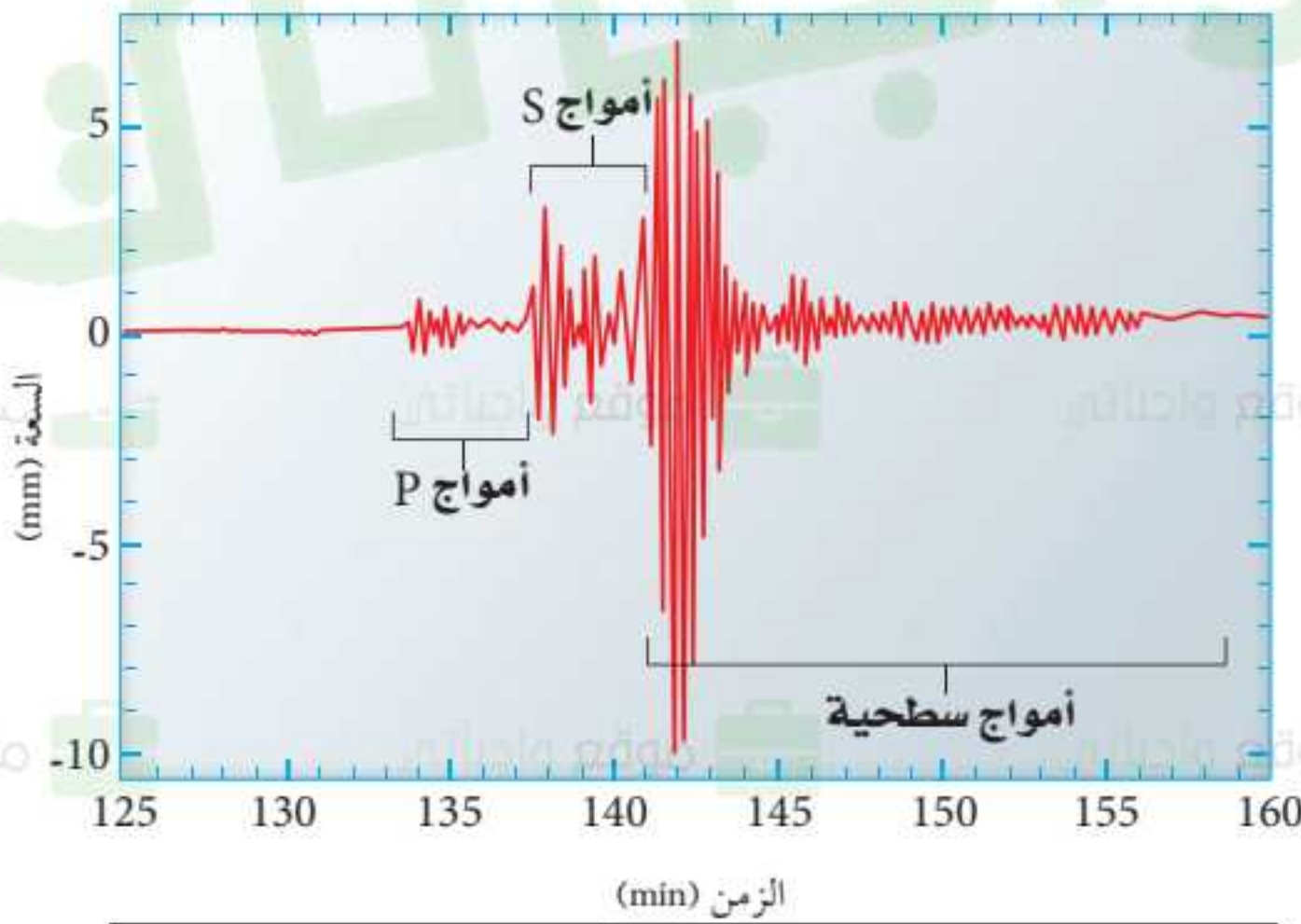


الشكل 20-6 أحد أجهزة مقياس الزلازل (السيزمومتر) الحديثة.



الشكل 21-6 في الإطار جهاز سيزمومتر قديم مثبت في الأرض. عندما يحدث الزلزال يتحرك الإطار بينما تبقى الكتلة المعلقة وملحقاتها دون حركة، فيُسجل الكتلة والقلم الحركة النسبية للإطار. **قارن** ذلك بأجهزة الاستقبال والإرسال الحديثة.

يبين السيزموجرام أزمنة وصول الأمواج الزلزالية من المركز السطحي للزلزال إلى جهاز السيزمومتر، وبمقارنة البيانات من أجهزة سيزمومتر مختلفة يستطيع العلماء أن يعدوا منحنيات المسافة - زمن الوصول.



الشكل 22-6 يوفر السيزموجرام سجلاً للأمواج الزلزالية التي عبرت نقطة معينة.

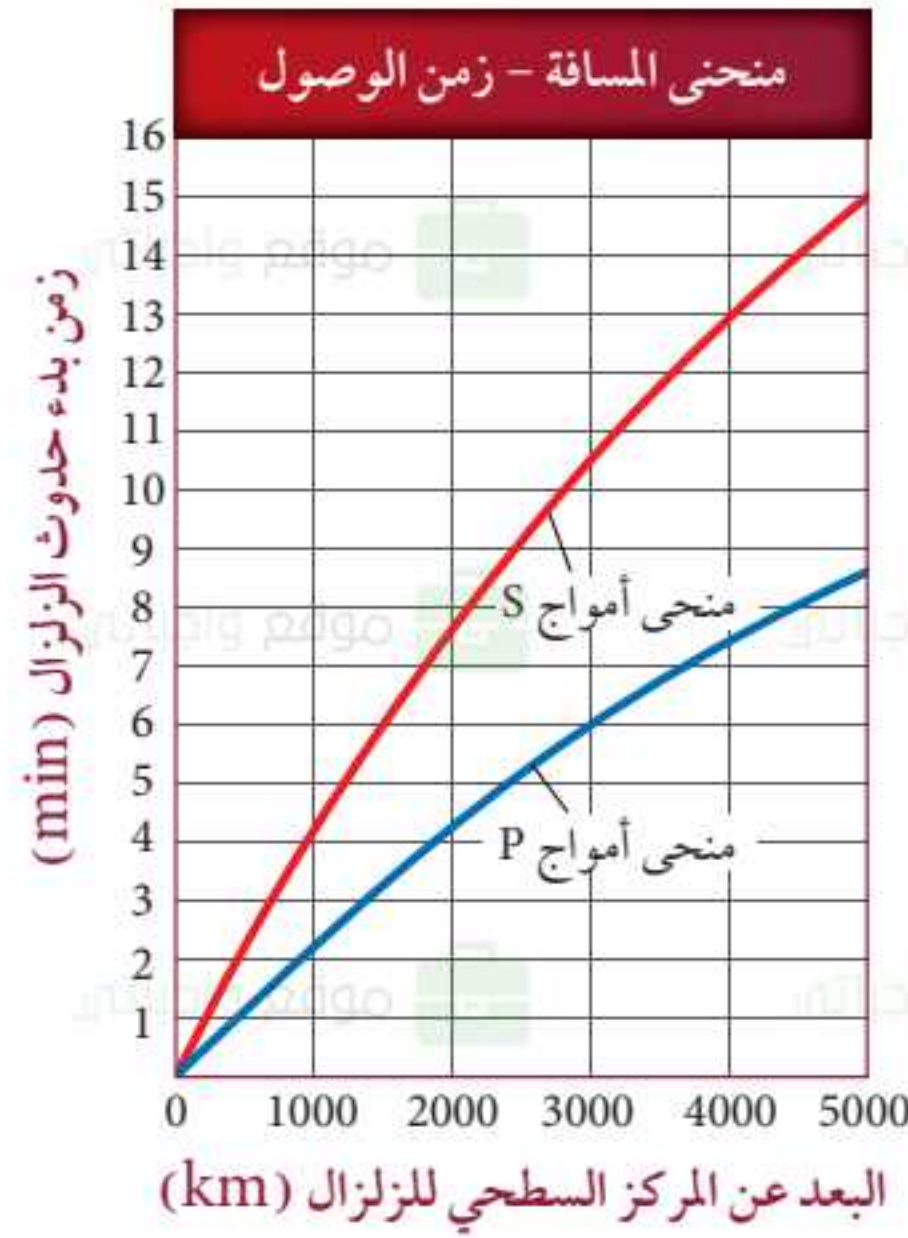
جميعاً تتضمن إطاراً مثبتاً في الأرض، وكتلة معلقة على نابض أو سلك، كما في الشكل 21-6.

عندما يحدث الزلزال تبقى الكتلة والقلم في أثناء حدوث الاهتزاز من دون حركة بسبب القصور الذاتي، فيتم تسجيل حركة الكتلة بالنسبة إلى الإطار على أداة للتسجيل كالورقة، أو تُسجل مباشرة على أقراص حاسوبية. ويسمى السجل الذي يتم الحصول عليه من السيزمومتر **مُحطّط الزلزال (السيزموجرام) seismogram**، ويوضح الشكل 22-6 جزءاً من السيزموجرام.

وتستخدم في الوقت الحاضر أجهزة حديثة لرصد الزلازل وتحليلها؛ حيث تستخدم الأقمار الاصطناعية في نقل البيانات من محطات الرصد الزلزالي إلى باقي المحطات في العالم. ويتم استخدام برمجيات حديثة في تحليل البيانات وتحديد مواقع الزلازل وقوتها ويستخدم الحاسب الآلي في تخزينها.

✓ **ماذا قرأت؟** لخص الفرق بين السيزمومتر والسيزموجرام.

البُعد عن المركز السطحي للزلزال Distance from the epicenter لاحظ من الشكلين 22-6 و 23-6 أن أمواج P هي أول الأمواج الزلزالية وصولاً إلى محطات الرصد، ويليهما الأمواج الثانوية، وأخيراً الأمواج السطحية. يلاحظ أن الفرق الزمني بين منحنى P و S في الشكل 23-6 يزداد كلما زاد البُعد عن المركز السطحي للزلزال، أي أن فرق زمني الوصول بين أمواج P و S في السيزموجرام يكون أكبر في المحطات البعيدة عن المركز السطحي للزلزال مقارنة بالمحطات القريبة. ويُستعمل هذا الفرق الزمني في حساب بُعد المركز السطحي للزلزال عن محطة الرصد التي سجلت الزلزال.



الشكل 23-6 تظهر منحنيات المسافة - زمن الوصول للأمواج الزلزالية أن الفترات الزمنية التي تستغرقها أمواج P و S للوصول إلى محطات رصد الزلازل مختلفة باختلاف بُعد المحطات عن المركز السطحي للزلازل. حدد الفترة الزمنية التي تستغرقها أمواج P لزلزال يقع على بُعد 2000 km لتصل محطة الرصد. وما الفترة الزمنية التي تستغرقها أمواج S لقطع المسافة نفسها؟

4.2 دقيقة ، 7.7 دقيقة .

أدلة على بنية الأرض الداخلية

Clues to Earth's Interior

لا تعمل الأمواج الزلزالية على اهتزاز سطح الأرض فقط وما تُحدثه من دمار، بل تنتقل أيضاً إلى داخلها، لذلك فهي توفر معلومات قيّمة للعلماء تمكنهم من بناء نموذج عن بنية الأرض الداخلية.

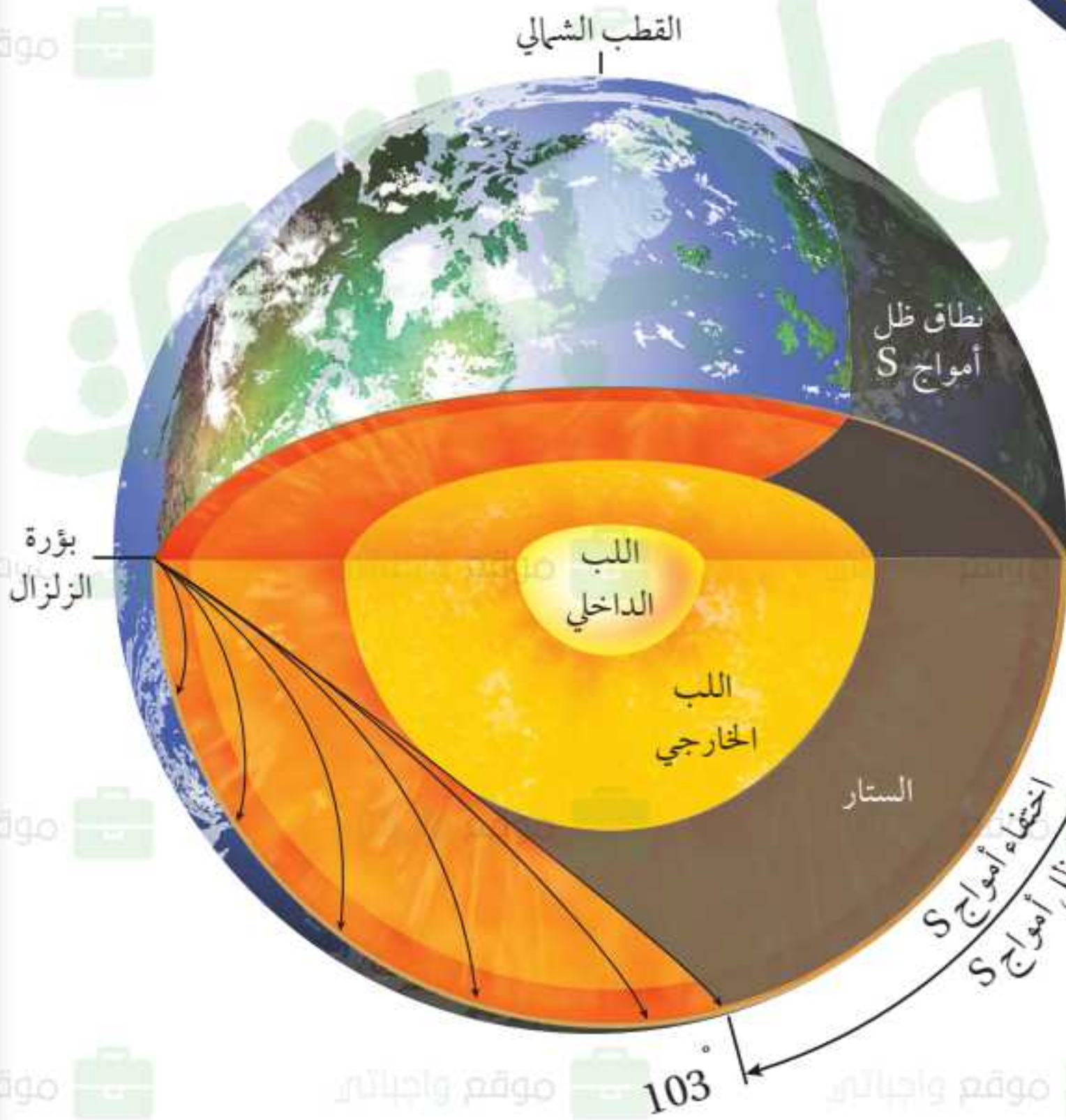
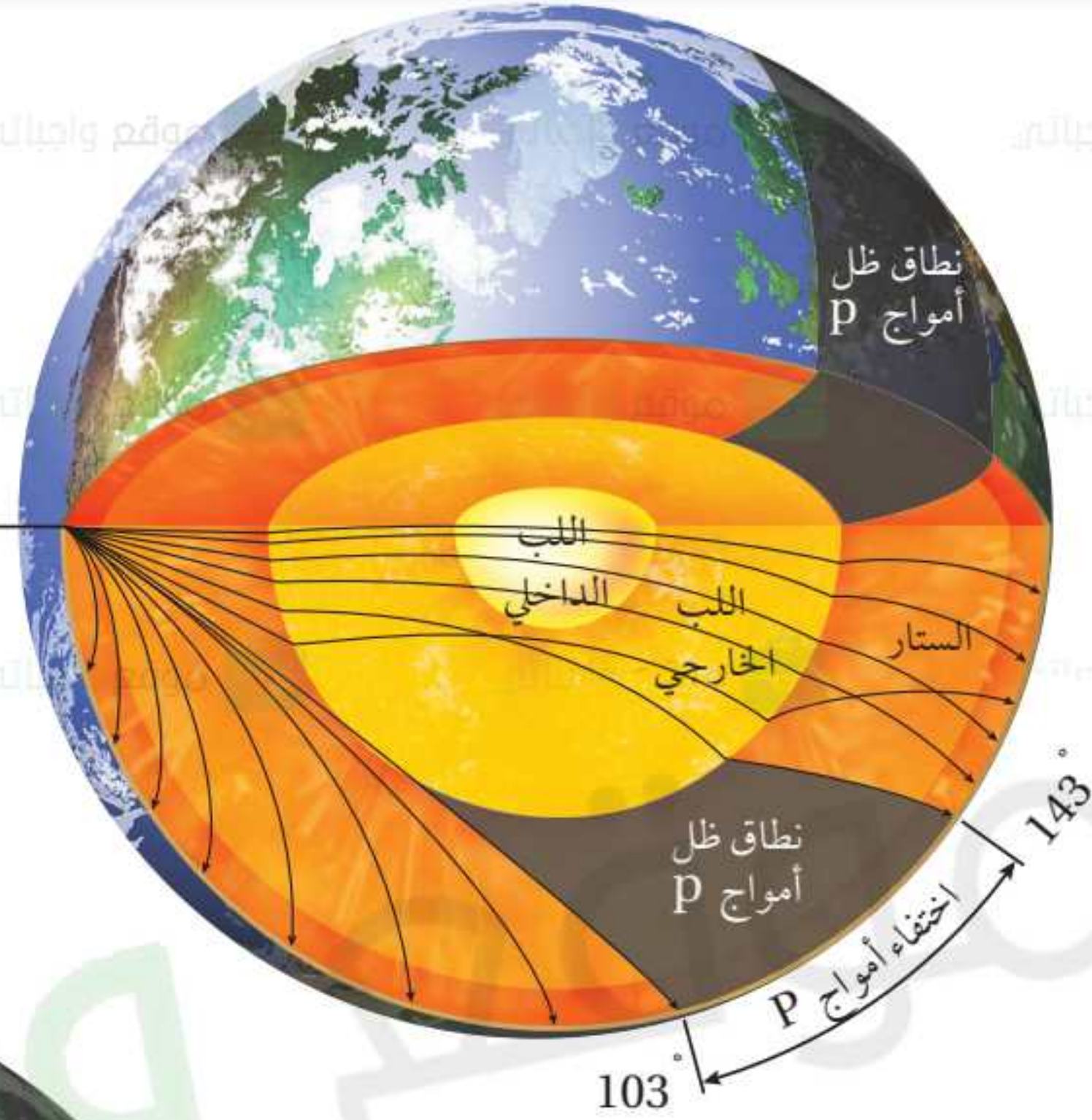
مكونات الأرض Earth's composition يوضح الشكل 24-6 أن الأمواج الزلزالية يتغير مسارها وسرعتها عندما تواجه حدوداً فاصلة بين طبقتين مختلفتين في مكوناتها، وبذلك استطاع العلماء أن يحددوا سُمك طبقات الأرض ومكوناتها بمقارنة سرعة الأمواج الزلزالية مع القياسات التي حصلوا عليها في المختبرات لأنواع مختلفة من الصخور. وتوصلوا نتيجة لذلك إلى أن الستار العلوي يتكون من صخر البيرودوتيت (يتكون معظمه من معدن الأوليفين)، وأن اللب الخارجي يتكون معظمه من مصهور الحديد والنيكل، أما اللب الداخلي فهو في حالة صلبة ويتكون معظمه من الحديد والنيكل.

بنية الأرض الداخلية Earth's internal structure تتغير سرعة الأمواج الزلزالية واتجاهها عندما تواجه مواد مختلفة في باطن الأرض. لاحظ من الشكل 25-6 كيف تتبّع أمواج P و S في البداية مسارات مباشرة إلى حد ما في أثناء عبورها الستار، ولكنها تعاني من انكسار وانعكاس عندما تعبر الحدود الرئيسة بين طبقات الأرض. لذلك استطاع علماء الزلازل من خلال رصد زمن ومسافة الأمواج الزلزالية ومسار كل موجة وتمثيلها بيانياً في منحنيات المسافة - زمن الوصول، معرفة أن مكونات الأرض والكثافات تختلف من الداخل.

الأمواج الزلزالية Seismic Waves

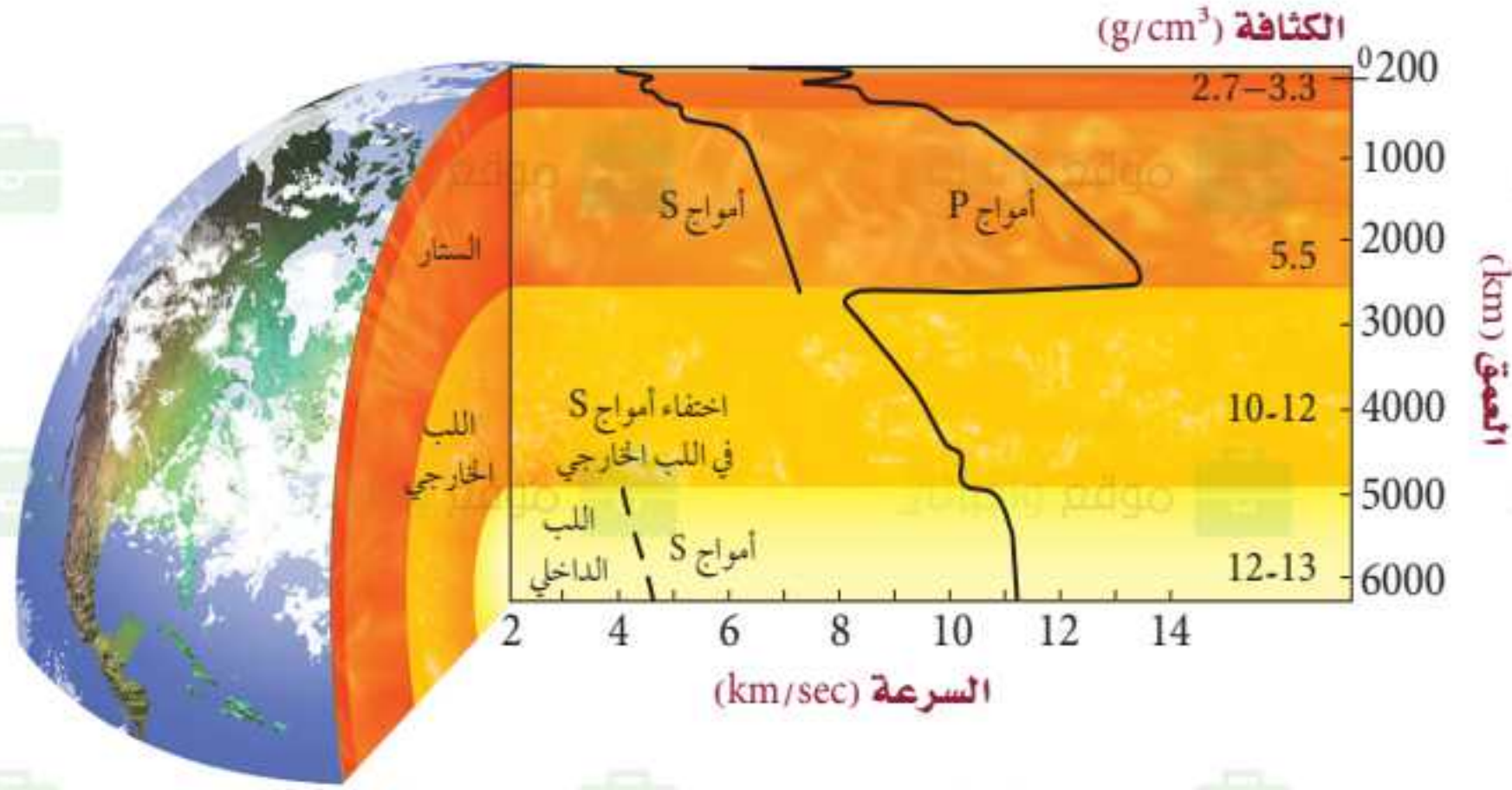
يؤدي انكسار أمواج P عند اللب الخارجي إلى تكوين نطاق ظل على سطح الأرض، بحيث لا تظهر أمواج P على المخطط الزلزالي (السيزموجرام) على بعد زاوي يتراوح بين $103^\circ - 143^\circ$ عن المركز السطحي للزلازل، بينما تظهر أمواج P على أجهزة السيزمومتر في الجانب المقابل للمركز السطحي للزلازل.

بؤرة الزلازل



لأن أمواج S لا تمر من خلال اللب الخارجي للأرض السائل، لذلك فإنها لا تظهر ضمن نطاق يسمى ظل أمواج S على بعد زاوي يتراوح بين $103^\circ - 180^\circ$ عن المركز السطحي للزلازل.

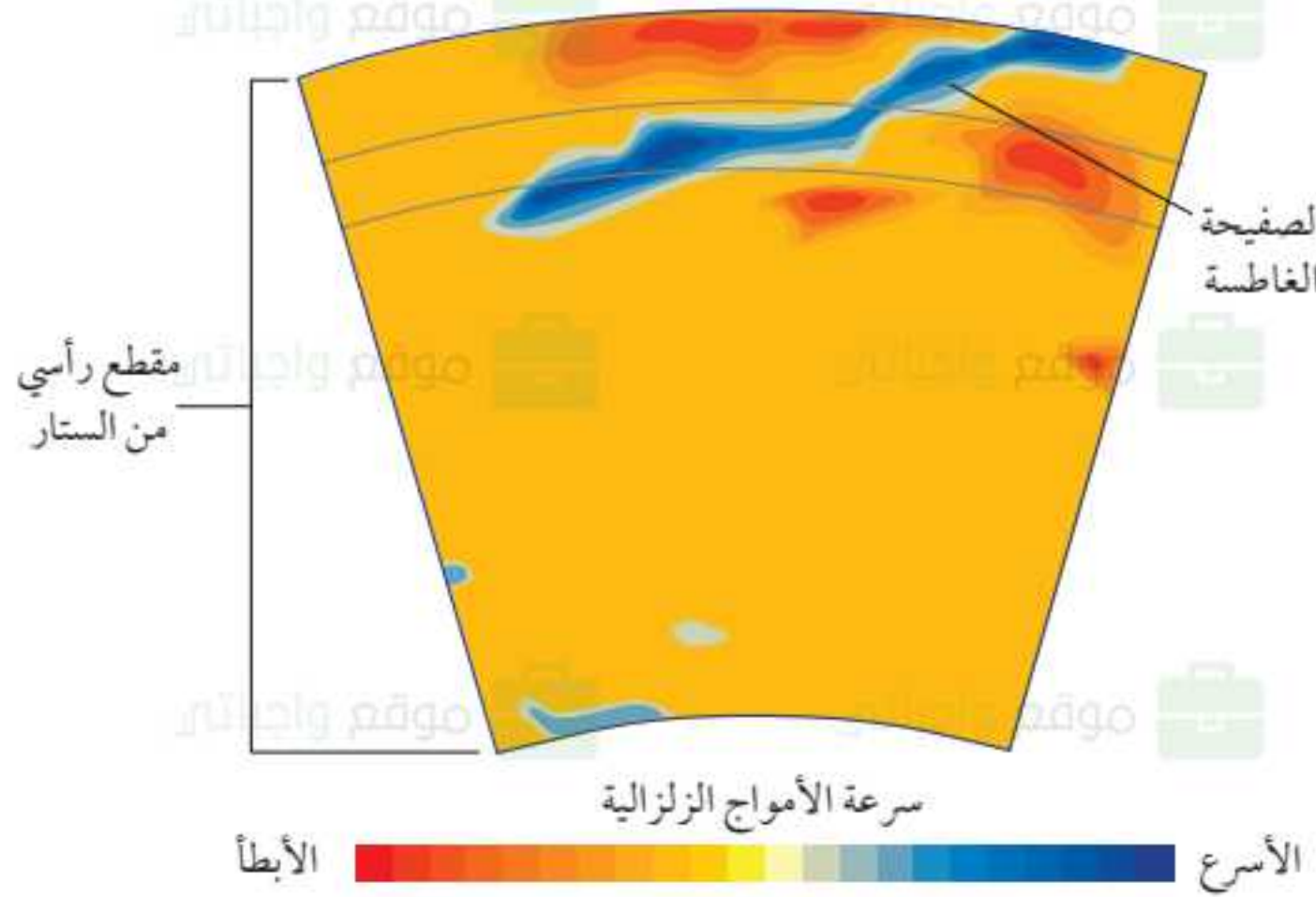
الشكل 24-6 يزودنا كل من زمن الوصول وسلوك الموجات الزلزالية بصورة تفصيلية لبنية الأرض الداخلية. كذلك تزودنا هذه الأمواج بأدلة على مكونات أجزاء الأرض المختلفة.



الشكل 25-6 تختلف طبقات الأرض الداخلية في مكوناتها؛ وقد استطاع العلماء تحديد مكوناتها من خلال معرفة سلوك الأمواج الزلزالية عبر أنواع مختلفة من الصخور.

ماذا يحدث للأمواج S عندما تنشأ بفعل الزلازل؟ للإجابة عن هذا السؤال: أولاً، توصل علماء الزلازل إلى أن أمواج S لا تسير في الأوساط السائلة، ولاحظوا أنها لا تسير في مركز الأرض، مما جعلهم يكتشفون أن جزءاً من باطن الأرض يوجد في الحالة السائلة القليلة اللزوجة. وقد أيدت البيانات التي جمعت حول مسار الأمواج الزلزالية وزمن وصولها في باطن الأرض إلى أن لب الأرض الخارجي سائل وللبها الداخلي صلب.

تصور باطن الأرض Imaging Earth's interior تتأثر كل من سرعة الأمواج الزلزالية وكثافة الصخور بعوامل أخرى غير العمق، منها درجة الحرارة، يمكن الحصول على صور لبنية الأرض الداخلية تتضمن بعض التراكيب، ومنها الصفيحة الغاطسة التي تتضح في الشكل 26-6. ويمكن تشبيه هذه الصور بالصور الملتقطة بالأشعة السينية.



الشكل 26-6 تم التقاط هذه الصورة في اليابان من خلال تتبع مسارات الأمواج الزلزالية في باطن الأرض؛ حيث تشير المناطق الحمراء إلى سرعات الأمواج الزلزالية الأبطأ من القيمة المتوسطة، وتشير المناطق الزرقاء إلى سرعات الأمواج الأسرع من القيمة المتوسطة. كذلك تمثل المنطقة الزرقاء في الصورة الصفيحة الغاطسة.

التقويم 3-6

فهم الأفكار الرئيسية

1. وضح كيف تستعمل كل من أمواج P وأمواج S في تحديد خواص لب الأرض؟
تدل سرعات الأمواج الزلزالية على طبيعة المواد التي تمر فيها.
2. ارسم مخططاً لسيزمومتر يوضح كيف تُقاس اهتزازات الأرض وتسجل على السيزموجرام.
يجب أن توضح الرسوم كيف تُسجل حركة الكتلة بالنسبة إلى الإطار.
3. صف كيف يُستعمل منحني المسافة-زمن الوصول في دراسة الزلازل؟

تزودنا منحنيات المسافة - زمن الوصول بمتوسط أزمنة وصول جميع الأمواج الزلزالية، التي تساعد العلماء على تحديد موقع المركز السطحي للزلزال.

4. ميز بين سرعة الأمواج الزلزالية في أثناء مرورها في المواد الباردة والمواد الساخنة.
تقل، بصورة عامة، سرعة الأمواج الزلزالية بارتفاع درجة الحرارة.

التفكير الناقد

5. اربط بين حركة الأمواج الزلزالية مع ملاحظات شخص يراقب كيفية انتقالها على سطح الأرض.
قد يشاهد الشخص الذي على السطح أن الأمواج السطحية تنتقل على سطح الأرض كحركة أمواج البحر، وتنتقل أمواج P مبتعدة ومقتربة من الشخص.
أما أمواج S فتتحرك سطح الأرض إلى الأمام والخلف.

التقويم 3-6

6. استنتج باستعمال الشكل 22-6 الذي يمثل مخططاً زلزالياً، فسّر لماذا تعد الأمواج السطحية أكثر الأمواج الزلزالية تدميراً، على الرغم من أنها آخر الموجات وصولاً إلى محطات الرصد؟

لأن الأمواج الزلزالية تحرر جميع طاقتها على السطح، حيث يوجد الناس والمنشآت.

الكتابة في الجيولوجيا

7. اكتب مقالة حول الطرائق التي يعتمد عليها العلماء في معرفة مكونات الأرض الداخلية.

ينبغي أن توضح المقالات أن العلماء يدمجون معرفتهم بسلوك الأمواج الزلزالية في أثناء عبورها للصخور ، بقياسات أزمنة وصول الأمواج الزلزالية التي تسير في جسم الأرض عند حدوث الزلزال.



www.iien.edu.sa

6-4

الأهداف

- تقارن بين قوة الزلزال وشدة استناداً إلى المقاييس المختلفة.
- تفسر لماذا نحتاج إلى ثلاث محطات رصد لتحديد موقع المركز السطحي للزلزال.
- تصف أحزمة زلازل الأرض.

مراجعة المفردات

إسقاط البيانات: تعيين الموقع على الخريطة أو تمثيل البيانات بمخطط بياني.

مفردات جديدة

مقياس رختر

قوة الزلزال

سعة الموجة الزلزالية

مقياس العزم الزلزالي

مقياس ميركالي المعدل

أحزمة الزلازل

قياس الزلازل وتحديد أماكنها Measuring and Locating Earthquakes

الفكرة الرئيسية يقيس العلماء قوة الزلازل ويحددون مكانها على الخريطة باستعمال الأمواج الزلزالية.

الربط مع الحياة إذا تكلم شخص قريب منك فإنك تسمعه جيداً، ويضعف صوته كلما ابتعد عنك. وبالكيفية نفسها تضعف طاقة الأمواج الزلزالية كلما ابتعدت عن مصدر الزلزال.

قوة الزلزال وشدة

Earthquake Magnitude and intensity

يحدث سنوياً أكثر من مليون زلزال يمكن الإحساس به، ولكن لا يُذكر منها في وسائل الإعلام إلا الزلازل الكبيرة فقط. لقد طوّر العلماء طرائق عدّة لوصف قوة الزلزال.

مقياس رختر Richter scale ابتكر مقياس رختر Richter scale الجيولوجي تشارلز رختر Charles Richter، وهو مقياس عددي يقيس طاقة أكبر الأمواج الزلزالية المنبعثة من الزلزال، ويسمى مقدار الطاقة هذا قوة الزلزال **Magnitude**. وتقاس قوة الزلزال بإيجاد سعة الموجة الزلزالية **Amplitude**. وهي ارتفاع الموجة الزلزالية الأكبر، حيث تشير كل درجة على مقياس رختر إلى زيادة في سعة الزلزال قدرها 10 أضعاف الدرجة التي قبلها، فمثلاً، سعة الأمواج الزلزالية لزلزال قوته 8 بحسب مقياس رختر أكبر عشر مرات، من سعة الأمواج الزلزالية لزلزال قوته 7. لكن الفرق في كمية الطاقة الصادرة عن الزلازل أكبر كثيراً من الفرق في سعة الأمواج الزلزالية؛ فالطاقة الزلزالية الصادرة عن زلزال عند درجة ما أكبر 32 ضعفاً من الطاقة الصادرة عن الدرجة التي تسبقها، لذا فطاقة الزلزال الذي قوته 8 أكبر 32 مرة من طاقة زلزال قوته 7. ويوضح الشكل 27-6 دماراً سببه زلزال قوته 7.6 درجة على مقياس رختر.



الشكل 27-6 دمار ناجم عن زلزال قوته 7.6 درجة على مقياس رختر، وهو زلزال قوي ضرب باكستان في شهر يناير من عام 2005 م.



الشكل 28-6 يمكن أن يقيس مقياس ميركالي الأضرار التي يحدثها الزلزال، كالتي في الشكل، وهو زلزال قوي قادر على إيقاع المواد الموجودة على الرفوف.

مقياس العزم الزلزالي Moment magnitude scale رغم أن مقياس رختر يُستعمل لوصف قوة الزلازل، إلا أن معظم العلماء يستعملون مقياس العزم الزلزالي **Moment magnitude scale**، وهو مقياس رقمي يشير إلى الطاقة المتحررة من الزلزال، مأخوذاً في الاعتبار حجم الجزء المتمزق من الصدع، ومقدار الحركة على طول الصدع، وقساوة الصخر.

مقياس ميركالي المعدل Modified Mercalli scale هناك طريقة أخرى لوصف حجم الزلازل تعتمد على مقدار الضرر الذي تحدثه، ومدى إحساس الناس بها ولا يعبر عن قوة الزلزال، ويسمى هذا المقياس شدة الزلزال، ويتم تحديده باستعمال مقياس ميركالي المعدل **Modified Mercalli scale**. وتقسم شدة الزلازل بحسب هذا المقياس إلى 12 درجة؛ باستعمال الأرقام الرومانية للدلالة على درجة شدة الزلزال؛ حيث تصف كل درجة آثاراً معينة، وكلما زادت الدرجة كانت الأضرار الناجمة عن الزلزال أسوأ. ويبين الجدول 2-6 مقياس ميركالي المعدل. ويمكنك استعمال المعلومات الواردة في هذا الجدول لتقدير شدة الزلازل الذي في الشكل 28-6.

الجدول 2-6	مقياس ميركالي المعدل
I	لا يمكن الإحساس به إلا تحت ظروف غير عادية.
II	يشعر به عدد قليل من الأشخاص، يمكن أن تهتز بعض الأجسام المعلقة.
III	يشعر به الناس داخل البيوت، ينتج عنه اهتزازات كالتي تنتج عن حركة شاحنة ضخمة قريبة.
IV	يشعر به كثير من الناس داخل البيوت وقليل من خارجها، ويهتز زجاج النوافذ والأواني والسيارات الواقفة بصورة ملحوظة.
V	يشعر به معظم الناس، يتكسر بعض الزجاج والأواني.
VI	يشعر به جميع الناس، يتحرك الأثاث، قد تتضرر بعض المآذن.
VII	يهرب جميع الناس من المباني، وقد تتضرر المباني الضعيفة بصورة كبيرة ولكن المباني القوية قد تصاب بأضرار خفيفة.
VIII	تسقط المآذن، ينقلب الأثاث الثقيل داخل البيوت، قد تنهدم المباني العادية بصورة جزئية.
IX	تدمير عام للمباني، تتحرك المباني عن أساساتها، تتشقق الأرض، تتكسر أنابيب المياه.
X	تدمير معظم المباني العادية، والطرق المعبدة، تحدث انزلاقات أرضية، تنحني السكك الحديدية والأسوار.
XI	قلة من المباني تبقى قائمة، تنهدم الجسور، تنقطع السكك الحديدية والأسوار، وتتشكل شقوق كبيرة في الأرض.
XII	دمار شامل، تقذف الأجسام في الهواء.

شدة الزلزال Earthquake intensity تعتمد شدة الزلزال بصورة رئيسة على سعة الأمواج الزلزالية السطحية. ويضعف حجم الأمواج السطحية مثل الأمواج الأولية والثانوية كلما زاد البعد عن بؤرة الزلزال، وتقل شدة الزلزال كلما زاد البعد عن المركز السطحي للزلزال. إن أعلى شدة للزلزال نجدها بالقرب من المركز السطحي، وتقل قيم ميركالي إلى الدرجة I على مسافات بعيدة عن المركز السطحي.

إنَّ كلاً من شدة الزلزال وقوته يُعبّران عن حجم الأمواج الزلزالية الناجمة عن الزلزال، وإن شدة الزلزال تعتمد على سعة الأمواج الزلزالية والبعد عن المركز السطحي للزلزال، كذلك تعتمد شدة الزلزال على عمق بؤرة الزلزال. فالزلازل القوية التي تسبب الكوارث هي في الغالب زلازل ضحلة.

ينتج عن الزلازل العميقة اهتزازات أصغر من تلك التي تنتجها الزلازل الضحلة عادة، على سبيل المثال، يمكن لزلزال ضحل ومتوسط قوته 6 درجات على مقياس ريختر، أن يولد شدة زلزالية قصوى أعلى من تلك التي ينتجها زلزال عميق قوته 8 درجات على مقياس ريختر. ولأن مقياس ميركالي المعدل يعتمد على شدة الزلزال بدلاً من طاقته، لذلك فهو أفضل لقياس تأثير الزلزال على الناس.

تحديد موقع الزلزال Locating an Earthquake

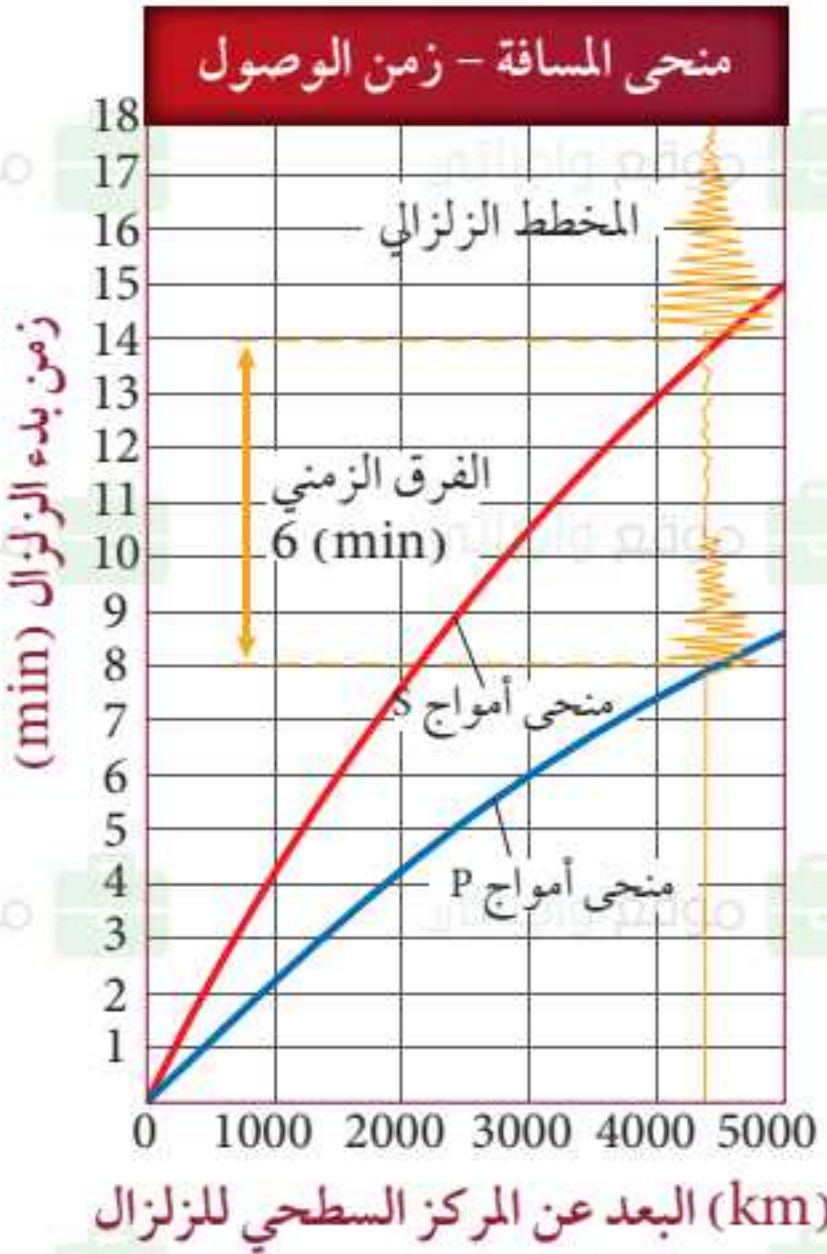
إن موقع المركز السطحي للزلزال ووقت حدوثه يكونان، في البداية، غير معروفين، ولكن يمكن تحديدهما باستعمال المخطط الزلزالي (السيزموجرام) ومنحنيات المسافة - زمن الوصول.

بُعد الزلزال Distance to an earthquake كما أن الشخص الذي يقود دراجة يصل قبل الشخص الذي يمشي، فإن أمواج P تصل محطات الرصد قبل أمواج S. ولو أخذنا بعين الاعتبار أثر المسافة المقطوعة على زمن وصول كل من الموجتين فإن الفرق الزمني بين وصوليهما سيزداد بزيادة المسافة المقطوعة. يوضح الشكل 29-6 منحنى المسافة-زمن الوصول؛ حيث يُسجل السيزموجرام الزمن المستغرق بين وصول أول أمواج P وأول أمواج S، ويستطيع علماء الزلازل معرفة بُعد المركز السطحي للزلزال بقياس الفرق بين زمني وصول الموجتين في المخطط الزلزالي (السيزموجرام)، ثم تحديد الفرق الزمني نفسه على منحنى المسافة - زمن الوصول، ومن ثم استخراج بعد الزلازل.

ويوضح الشكل 29-6 أن الفرق الزمني يساوي 6 دقائق، لذا فإن المسافة بين المركز السطحي للزلزال ومحطة رصد الزلازل تساوي 4300 km بحسب منحنى المسافة - زمن الوصول؛ حيث يتضح من المنحنى أن أمواج P استغرقت 8 دقائق حتى وصلت محطة الرصد، بينما أمواج S استغرقت 14 دقيقة، فكلما زاد بُعد الزلزال زاد الفرق الزمني بين وصول أمواج P وأمواج S.

✓ **ماذا قرأت؟ طبق** إذا علمت أن الفرق الزمني بين وصول أمواج P وأمواج S دقيقتان، فما بُعد المركز السطحي للزلزال عن موقع محطة الزلزال؟

يبعد 1200 km عن السيزمومتر الذي قاس الزلزال.



الشكل 29-6 يبين منحنى المسافة-زمن الوصول هذا بيانات زلزالية لزلزال ما.



الشكل 30-6 لتحديد موقع المركز السطحي للزلزال يحدد العلماء مواقع محطات الرصد على خريطة، ويرسمون حول كل محطة دائرة مركزها المحطة ونصف قطرها بُعد المركز السطحي عن المحطة، وتتقاطع الدوائر جميعها في نقطة تمثل المركز السطحي للزلزال.

حدد من الشكل المرفق موقع المركز السطحي للزلزال.

يحلل علماء الزلازل بيانات مخططات زلزالية عديدة لتحديد موقع المركز السطحي للزلزال، فبحساب المسافة بين المركز السطحي للزلزال وبين محطة الرصد يحدد العلماء بُعد المركز السطحي بدقة، ولكن هذا لا يُحدد الاتجاه الذي يقع المركز السطحي فيه بالنسبة إلى محطة الرصد. ويمكن التعبير عن ذلك بدائرة مركزها محطة الرصد ونصف قطرها بُعد المركز السطحي عن المحطة. ولو مثلنا بُعد المركز عن محطة أخرى بدائرة ثانية، فسوف تتقاطع الدائرتان في نقطتين، ولا نعرف أيهما يقع المركز السطحي فيه. ولو مثلنا بُعد محطة ثالثة بدائرة ثالثة، فعندئذ تتقاطع الدوائر الثلاث في نقطة، وتمثل هذه النقطة المركز السطحي، انظر الشكل 30-6.

زمن حدوث الزلزال Time of an earthquake يوفر الفرق الزمني بين وصول الأمواج الزلزالية في السيزموجرام معلومات حول بُعد المركز السطحي، كما يستعمل علماء الزلازل السيزموجرام في معرفة زمن حدوث الزلزال في البؤرة بدقة. ويتم تحديد الزمن باستعمال جدول، كما هو الحال في منحنى المسافة-زمن الوصول في الشكل 23-6. تسجل محطات الرصد في السيزموجرام زمن وصول أمواج P وأمواج S بدقة متناهية، ويستطيع العلماء قراءة الزمن الذي استغرقت أمواج P و S من المركز السطحي إلى محطة الرصد باستعمال رسوم بيانية كالتي في الشكل 23-6. فعلى سبيل المثال، افترض أن السيزموجرام سجل زمن وصول أمواج P في تمام الساعة 10:00 صباحاً باستعمال منحنى المسافة-زمن الوصول، ويمكن استخراج قيمة المسافة التي قطعتها أمواج P في 8 دقائق، وهي 4500 km، فهذا يعني أن الزلزال قد حدث عند البؤرة في الساعة 09:52 صباحاً.

✓ **ماذا قرأت؟ اعمل قائمة بالمعلومات التي يتضمنها المخطط الزلزالي (السيزموجرام).**

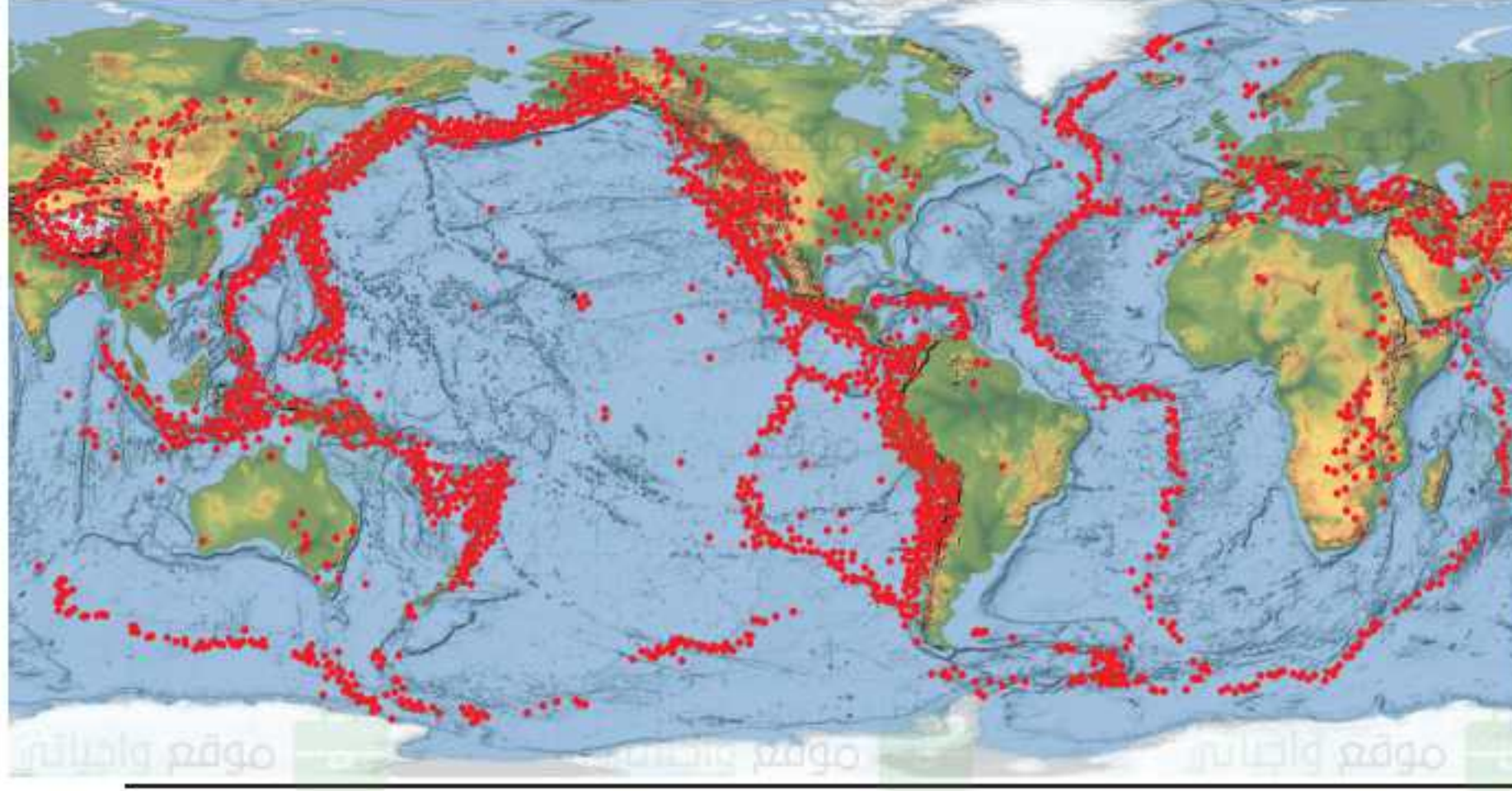
أزمنة الوصول إلى الأمواج الزلزالية المختلفة، وزمن حدوث الزلزال عند البؤرة بدقة.

الأحزمة الزلزالية Seismic Belts

جمع علماء الزلازل على مر السنين مواقع المراكز السطحية للعديد من الزلازل، وأسقطوها على خريطة العالم. يُلاحظ من التوزيع العالمي لمواقع المراكز السطحية أنها تتوزع بنمط جدير بالاهتمام؛ أي أنها لا تتوزع بصورة عشوائية؛ بل تحدث معظم الزلازل على طول أحزمة ضيقة تفصل بين مناطق كبيرة لا نشاط زلزالي فيها أو يحدث فيها قليل من الزلازل سميت **أحزمة الزلازل seismic belts**.

نقطة التقاء الدوائر الثلاث المشار إليها بالدائرة الحمراء.

مواقع المراكز السطحية للزلازل في العالم



الشكل 31-6 لاحظ النمط الذي تظهر به مواقع المراكز السطحية للزلازل على خريطة العالم.

حدد اعتمادًا على الخريطة هل تعيش بالقرب من مركز سطحي لزلازل؟

تتنوع الإجابات ، ولكن يمكن أن يذكر الطلاب الذين يسكنون في المدن التي تقع على ساحل البحر الأحمر ومنها جدة وينبع، وكذلك الطلاب الذين يسكنون في حقل بالقرب من خليج العقبة ، أنهم يعيشون بالقرب من مركز سطحي لزلازل .

يُلاحظ من الشكل 31-6 أن الزلازل تحدث في أحزمة ضيقة، وتنطبق معظم الزلازل مع حدود الصفائح الأرضية. هناك 80 % من زلازل الأرض ضمن حزام المحيط الهادي، و 15% ضمن حزام البحر الأبيض المتوسط، وهذان الحزامان هما نطاقا طرح؛ حيث تلتقي صفيحتان معًا، وتغوص إحداها تحت الأخرى. أما ما تبقى من الزلازل فيحدث معظمه في أحزمة ضيقة تقع على طول قمم ظهور المحيطات؛ حيث تبتعد الصفائح الأرضية بعضها عن بعض.

مختبر تحليل البيانات

التفكير الناقد

6. وضح لماذا تحتاج إلى إيجاد الفرق الزمني بين وصول كل من أمواج P وأمواج S لكل محطة.

لتحديد نقطة واحدة لا بد من وجود ثلاث محطات لكي تتقاطع الدوائر الثلاث في نقطة، وهي تمثل البعد المحتمل لبعد كل من هذه المحطات عن المركز السطحي للزلزال.

7. حدد مصادر الخطأ عند تحديد المركز السطحي للزلزال.

مكونات القشرة الأرضية أسفل محطة الرصد، دقة الأجهزة، الدقة في تزامن الساعات.

8. فسر لماذا يعد زيادة محطات الرصد الزلزالي المأخوذ منها البيانات أكثر فائدة في تحديد موقع المركز السطحي للزلزال.

على الرغم من أننا نحتاج إلى بيانات لثلاث محطات رصد فقط لتحديد موقع المركز السطحي إلا أن زيادة عدد المحطات يؤكد لنا صحة الموقع، ومن ثم يؤدي إلى تصحيح أي أخطاء محتملة.

التقويم 4-6

فهم الأفكار الرئيسية

1. لخص الطرائق التي يستعمل فيها العلماء الأمواج الزلزالية لقياس الزلازل وتحديد موقعها.

يستعمل زمن انتقال أمواج P وأمواج S لتحديد المركز السطحي للزلزال.

2. قارن بين قوة الزلزال وشدته، وكذلك بين المقياسين المستخدمين لقياسيهما.

يعتمد قياس قوة الزلزال على الأمواج الزلزالية، بينما تعتمد شدة الزلزال على ما يعانيه الناس من أضرار بسبب هذه الأمواج.

ويعتمد مقياس ريختر على قياس الأمواج الزلزالية، ويعتمد مقياس العزم الزلزالي على الطاقة المتحررة في صورة أمواج زلزالية، بينما يعتمد مقياس ميركالي المعدل على شدة الزلزال الذي يقاس بالآثار التي تقع على الإنسان وما يحيط به.

3. فسر لماذا نحتاج إلى ثلاث محطات رصد على الأقل لتحديد موقع الزلزال؟

للحصول على نقطة واحدة تحتاج على الأقل إلى ثلاث دوائر متداخلة، بحيث تتقاطع في نقطة واحدة.

4. صف كيف يمكن مقارنة حدود الصفائح الأرضية بموقع معظم الزلازل على خريطة العالم، كما في الشكل 31-6

توجد معظم الزلازل في أحزمة ضيقة نسبياً وتنطبق مع حدود الصفائح.

التقويم 4-6

التفكير الناقد

5. كوّن جملة تفسر لماذا يمكن أن يُسبب زلزال قوته 6 دمارًا أكثر مما يُسببه زلزال قوته 8.

الزلازل الضحلة عموماً تُنتج الاهتزازات الكبيرة ، لذا تكون أكثر ضرراً على السطح ، بعكس الزلازل العميقة .

الرياضيات في الجيولوجيا

6. احسب كم تزيد الطاقة الزلزالية الصادرة عن زلزال قوته 9 على الطاقة الزلزالية الصادرة من زلزال قوته 7؟

بما أن زيادة 1 درجة في قوة الزلزال = زيادة 32 ضعفًا في الطاقة الزلزالية الصادرة منه، فإن زيادة درجتين في قوة زلزال قوته 9 عن زلزال قوته 7 تكون $1024 = 32 \times 32$



Earthquakes and Society

الزلازل والمجتمع

الأهداف

- تناقش العوامل التي تؤثر في حجم الدمار الذي يحدثه الزلزال.
- توضح بعض العوامل التي تؤخذ في الاعتبار في دراسات احتمالية وقوع الزلازل.
- تتعرف كيف تتأثر المنشآت المختلفة بالزلازل.

الفكرة الرئيسية يمكن معرفة احتمال حدوث الزلزال من خلال دراسة تاريخ المنطقة زلزالياً، ومعرفة أين وكيف تتراكم الإجهادات بسرعة.

الربط مع الحياة إذا كانت مدينتك تشهد سقوط أمطار في شهر مارس بمعدل 11 يوماً من كل عام، فكيف يمكنك أن تتوقع الطقس في مدينتك في شهر مارس بعد 10 سنوات من الآن. قد تقدر فرصة حدوث سقوط المطر بنسبة 11/31. وبالكيفية نفسها تستطيع أن تتوقع احتمالية حدوث الزلازل عن طريق التاريخ الزلزالي للمنطقة.

مراجعة المفردات

العمليات التكتونية: قوى في باطن الأرض تؤثر في القشرة الأرضية وتؤدي إلى حركتها وارتفاعها وتشوهها.

مفردات جديدة

تسييل التربة
تسونامي
فجوة زلزالية
تراكم الجهد

الخطر الزلزالي Earthquake Hazards

من المعروف أن الزلازل تحدث على حدود الصفائح بصورة متكررة، وتسبب أضراراً في الممتلكات والأرواح في المناطق التي تصيبها. ويمكن لزلزال قوته 5 أن يسبب كارثة في منطقة وأضراراً قليلة في منطقة أخرى؛ إذ تعتمد حدة الأضرار الناجمة عن الزلزال على مجموعة من العوامل، تسمى هذه العوامل مخاطر الزلازل. ومن الأمثلة على هذه العوامل تصميم المباني؛ إذ تتضرر المباني سيئة التصميم بالزلازل أكثر من غيرها؛ فالمبنى المصنوع من الخرسانة وأساساته غير مدعومة قد يتضرر أكثر من المبنى المصنوع من الخشب، انظر الشكل 32-6؛ لأن الخرسانة مادة هشة قليلة المرونة بينما الهياكل الخشبية أكثر مرونة.



الشكل 32-6 المباني الخرسانية (الأسمنتية) هشة غالباً، ويمكن أن تتلف بسهولة إذا وقع زلزال؛ فالمبنى الظاهر في الصورة أزيح من فوق أساسه عندما حدث الزلزال، وتم إسناده بعمود من الخشب.

الشكل 33-6 يوضح الشكل أحد أنواع الدمار الناجمة عن الزلازل، حيث تتسبب الاهتزازات في انهيار الجدران الداعمة للمبنى وسقوط الطوابق العليا واحدة فوق الأخرى، فتظهر الطوابق متراصة بعضها فوق بعض.



انهيار المنشآت Structural failure يحدث في كثير من المناطق المعرضة للزلازل انهيار للمباني عندما تهتز الأرض من تحتها؛ وفي بعض الحالات، قد تنهار الجدران الداعمة في الطابق الأرضي فتتسبب في انهيار الطوابق العليا، وسقوطها فوق الطوابق السفلية، فيتشكل حطام يشبه مجموعة من الألواح، لذا تسمى هذه العملية تراصّ الألواح ويوضح الشكل 33-6 دماراً مأساوياً ناتجاً عن هذا النوع من انهيار المنشآت، والذي وقع في جمهورية هايتي، في عام 2010م كذلك حدث زلزال مدمر بتاريخ (2/2/2023م) في الجنوب الشرقي من تركيا على امتداد صدع الأناضول بقوة (7.8) على مقياس ريختر، وذلك بسبب اصطدام الصفائح العربية بالصفائح الأوراسية؛ مما أدى إلى حدوث دمار كبير في المنشآت، وخسائر في الأرواح؛ حيث قدر عدد المتوفين في الزلزال إلى أكثر من 55000 متوفى، وأعداد كبيرة من الجرحى، ووصل تأثير هذا الزلزال إلى عدد من الدول؛ مثل سوريا، العراق، الأردن، ولبنان ومصر.

✓ **ماذا قرأت؟** وضح كيف يتشكل «تراصّ الألواح» عند حدوث زلزال؟

تنهار الجدران وتسقط الأسقف العلوية فوق السفلية في عملية تراصّ الألواح.

هناك نوع آخر من انهيار المنشآت يتعلق بارتفاع المباني. حيث تدمر معظم المباني التي يتراوح ارتفاعها بين 5 إلى 15 طابقاً تدميرًا تامًا، كما في الشكل 34-6.



الشكل 34-6 تدمرت المباني المتوسطة الارتفاع في أثناء حدوث الزلزال؛ لأن تردد اهتزازات هذه المباني يساوي تردد اهتزازات الأمواج الزلزالية.



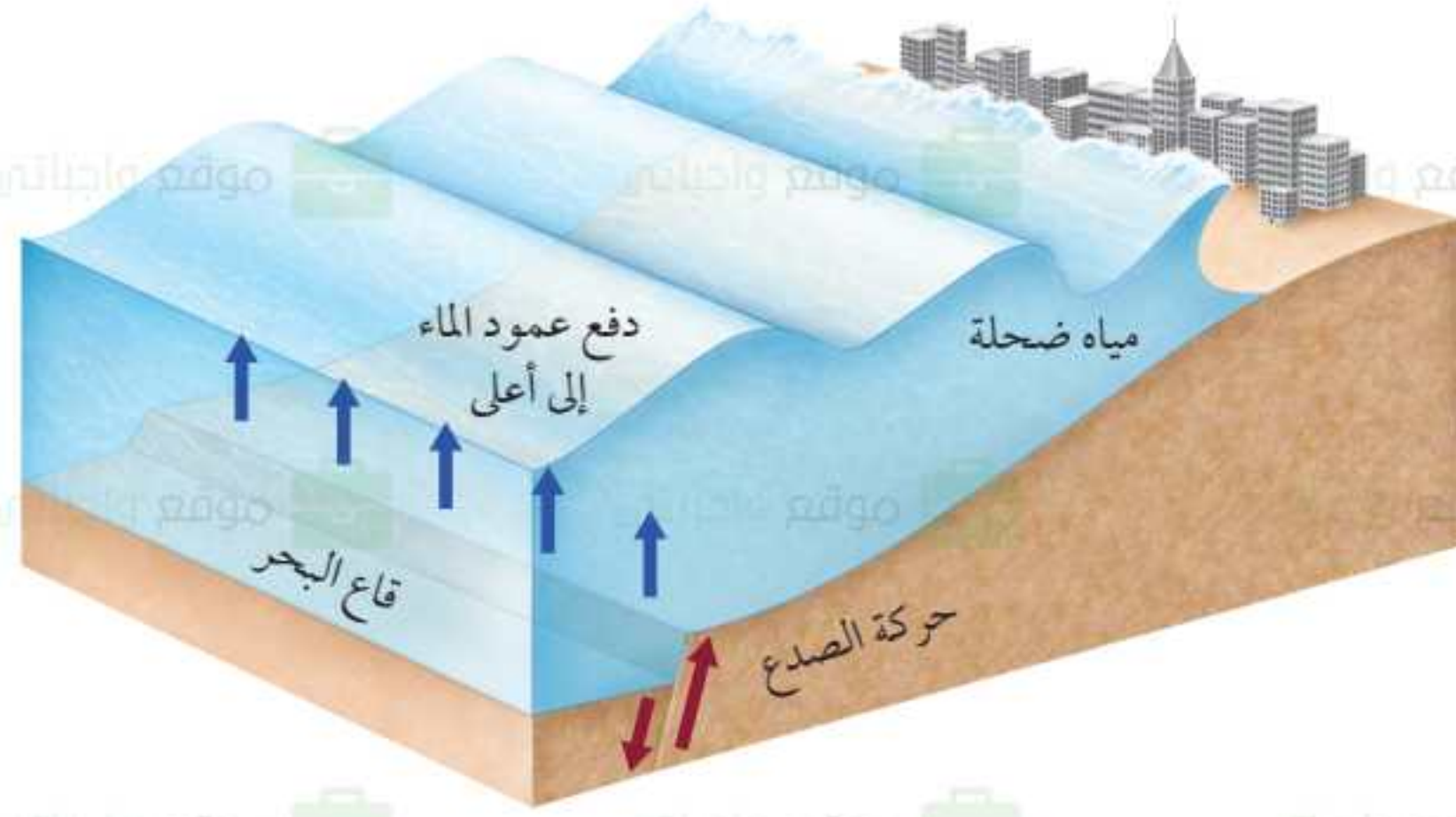
الشكل 35-6 يحدث تسييل في التربة الضعيفة التماسك عندما تنتشر اهتزازات زلزالية فيها، فتسلك سلوك الرمال المتحركة.

انهيار اليابسة والتربة Land and soil failure بالإضافة إلى تأثير الزلازل في المنشآت التي شيدها الإنسان، يمكن للزلازل أن تشوه المناظر الطبيعية في الأرض. ففي المناطق المنحدرة، يمكن أن تؤدي الزلازل إلى انهيارات أرضية ضخمة. وقد تسبب الانهيارات الأرضية الناجمة عن الزلازل دفن العديد من القرى والبلدات الصغيرة؛ فالاهتزازات الزلزالية تجعل المناطق الرملية المشبعة بالماء، تسلك سلوك السائل عندما تسير فيها. تسمى هذه الظاهرة **تسييل التربة Soil liquefaction**. ويمكن أن تولد الاهتزازات الزلزالية انهيارات أرضية حتى في المناطق قليلة الانحدار، كما يمكن أن تتسبب في سقوط الأشجار والمنازل أو غوصها في الأرض، ورفع الأنابيب والخزانات الموجودة تحت الأرض لتصبح فوق السطح. ويبين الشكل 35-6 مباني مائلة بسبب تسييل التربة تحتها في أثناء الزلزال.

✓ **ماذا قرأت؟ لخص** كيف يمكن لمادة الأرض الصلبة أن تكتسب خصائص المادة السائلة؟

تحدث ظاهرة تسييل التربة عندما تمر الاهتزازات الزلزالية عبر الرسوبيات والطبقات الصخرية المشبعة بالمياه.

بالإضافة إلى مخاطر الانزلاقات الأرضية، فإن نوع المادة المكونة لسطح الأرض أثر في شدة الزلزال في المنطقة؛ إذ تتضخم الموجات الزلزالية في بعض المواد الطرية، ومنها الرواسب المفككة، بينما تخفت في الصخور الأكثر صلابة، ومنها الجرانيت.



الشكل 36-6 يتكون التسونامي عندما يسبب الصدع تحت الماء إزاحة عمود الماء فوق قاع المحيط إلى أعلى.

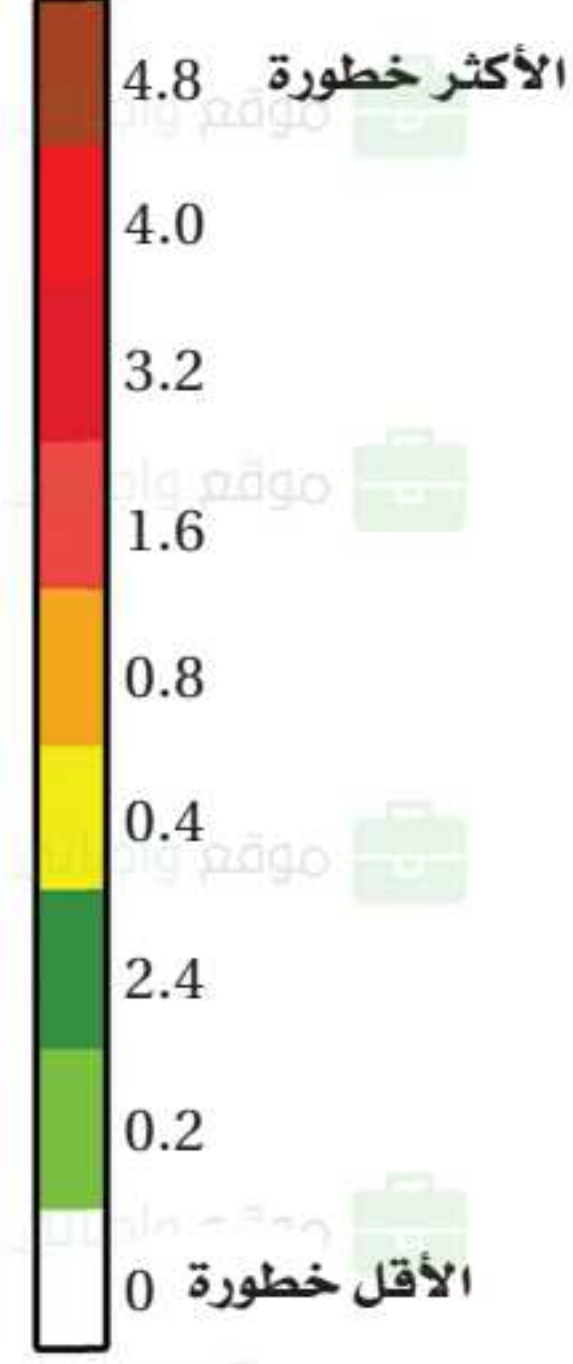
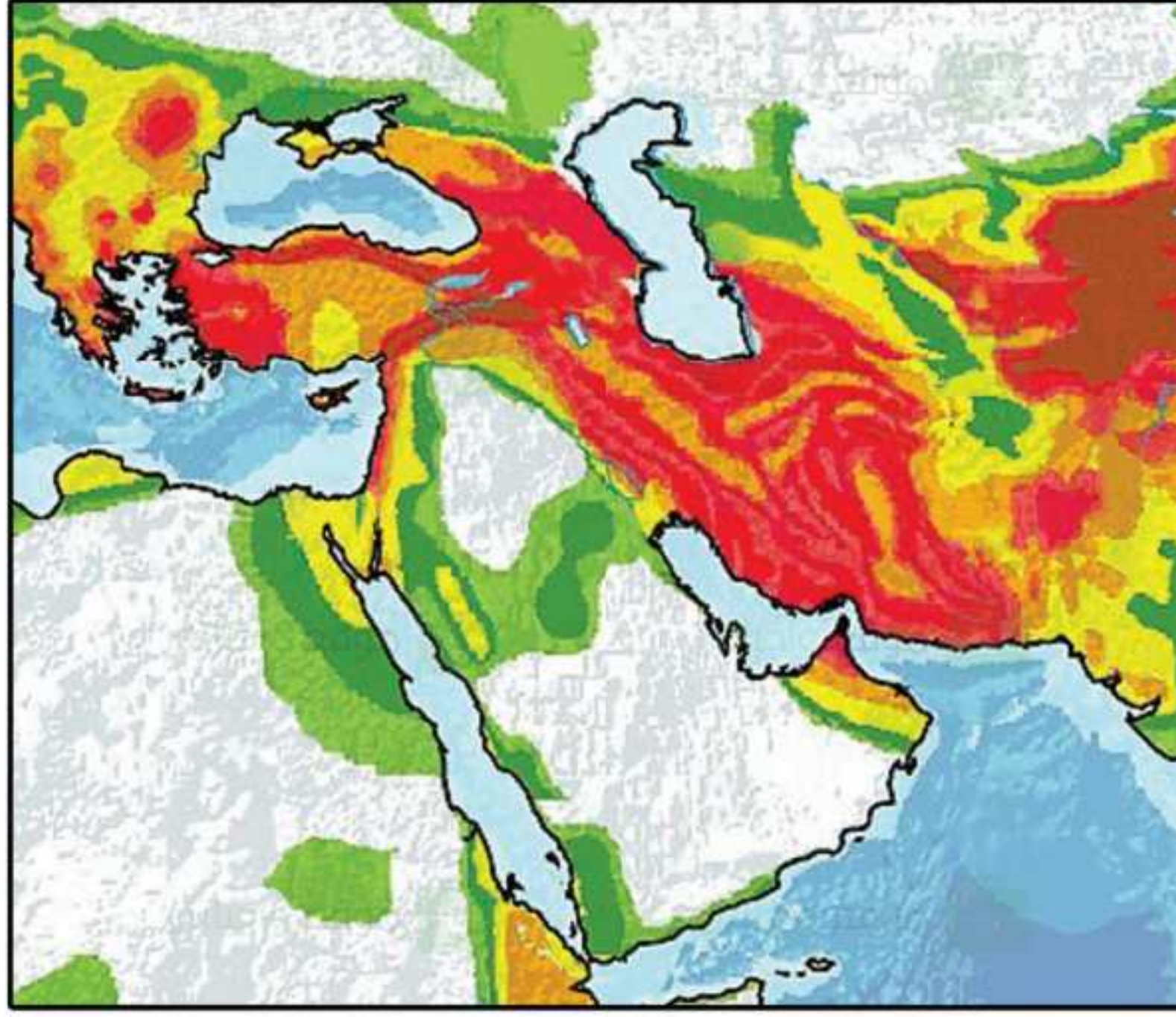
تسونامي Tsunami نوع آخر من مخاطر الزلازل. وتسونامي Tsunami

موجة محيطية كبيرة تتولد بفعل حركات رأسية لقاع البحر في أثناء حدوث زلزال، وتسبب هذه الحركة إزاحة المياه الواقعة فوق منطقة الصدع المسبب للزلزال إلى أعلى، فينتج عنها قمم ومنخفضات على سطح الماء، كما في الشكل 36-6، حيث تكون هذه الأمواج في البداية في صورة موجة طويلة جداً ارتفاعها أقل من 1 m، ولكن عندما تنتشر هذه الأمواج من المركز السطحي للزلزال في المحيطات المفتوحة وتدخل المياه الضحلة يقل طولها ويزداد ارتفاعها، وربما يتجاوز ارتفاعها عند الشاطئ 30 m. ويشكل الارتفاع الكبير للأمواج التسونامي وسرعتها التي تتراوح بين 500 و 800 km/h خطورة تهدد المناطق الساحلية بالقرب من المركز السطحي للزلزال أو بعيداً عنه. وتسونامي اليابان في 11 مارس عام 2011م نتج عن زلزال قوته 8.9 في



الشكل 37-6 لم يقتصر الدمار الناتج عن تسونامي اليابان في 11 مارس شرق مدينة طوكيو، على الشواطئ، بل تجاوز ذلك إلى المناطق الداخلية، وأسفر عن وفاة ما لا يقل عن 20,000 شخص.

المحيط الهادي يقع على بُعد 400 km شمال شرق مدينة طوكيو؛ حيث انتقل عبر المحيط الهادي وضرب سواحل اليابان بارتفاع 10 m، وتجاوز عدد الوفيات من جراء كارثة التسونامي هذه 20,000 شخص، مما جعلها واحدة من أكبر الكوارث الطبيعية تدميرًا في العصر الحالي. ويوضح الشكل 37-6 أثر ذلك الحدث الكارثي. ومن الآثار السلبية لتسونامي - بالإضافة إلى تدمير المباني والمنشآت - تلويث المياه السطحية كالأنهار والبحيرات وآبار المياه العذبة، كذلك قد تعمل على تقليل مستوى المياه الجوفية وجفاف الآبار.



توقع الزلازل Earthquake Forecasting

للحد من الأضرار والوفيات الناجمة عن الزلازل يبحث العلماء عن طرائق لتوقع حدوث الزلازل. ولا يوجد حالياً أي طريقة يمكن الاعتماد عليها تماماً لتوقع وقت حدوث الزلزال القادم ومكانه. وبدلاً من ذلك يعتمد التوقع على حساب احتمال وقوع الزلزال، الذي يعتمد على عاملين، هما تاريخ الزلازل في المنطقة، ومعدل تراكم الجهود في صخورها.

✓ **ماذا قرأت؟** اذكر طريقتين يستعملهما علماء الزلازل لتحديد احتمال حدوث زلزال في منطقة ما.

يحدد العلماء احتمالية حدوث زلازل في منطقة ما بناء على التاريخ الزلزالي للمنطقة، ومعدل تراكم الإجهاد في الصخور.

الخطر الزلزالي Seismic risk تذكر أن معظم الزلازل توجد في أنطقة طويلة وضيقة تسمى الأحزمة الزلزالية. لذا فإن احتمال وقوع زلازل في المستقبل يكون أكبر كثيراً في هذه الأحزمة من أي مكان آخر على وجه الأرض. ويعد نمط الزلازل التاريخية مؤشراً موثقاً فيه لتوقع حدوث الزلازل في المستقبل في منطقة معينة؛ حيث تستعمل السيزمومترات لتحديد تكرار الزلازل الكبيرة. ويمكن استعمال تاريخ النشاط الزلزالي للمنطقة لإعداد خرائط الخطر الزلزالي. تشهد كثير من الدول - ومنها اليابان وتركيا وإيران - خطر زلازل مرتفعاً نسبياً. وقد عانت هذه المناطق من بعض الزلازل القوية في الماضي، وربما ستشهد نشاطاً زلزالياً كبيراً في المستقبل. ويوضح الشكل 38-6 الخطر الزلزالي لشبه الجزيرة العربية وما حولها؛ حيث تزداد الخطورة الزلزالية في الدول الواقعة إلى الشمال والشمال الشرقي من شبه الجزيرة العربية.

الشكل 38-6 تشمل مناطق الخطر الزلزالي الكبير مناطق عدة، منها اليابان وتركيا وإيران. حدد موقع المناطق ذات الخطر الزلزالي الأكبر على الخريطة، ثم حدد منطقتك على الخريطة مبيناً الخطر الزلزالي فيها.

الخطر الزلزالي قليل .





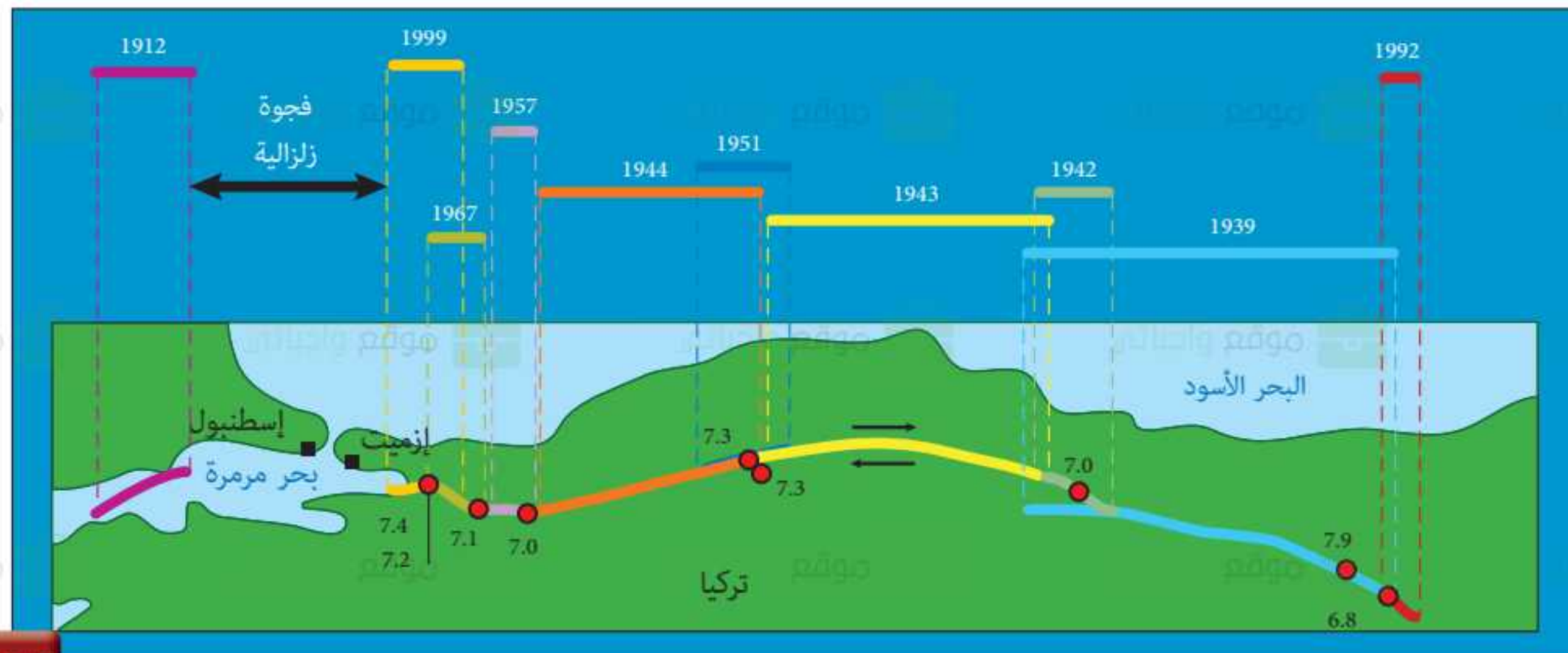
الشكل 39-6 استعملت هذه المنصة لحفر بئر بعمق 2.3 km في المنطقة. وبعد الانتهاء من حفر البئر، تم توصيلها بالأجهزة لتسجيل البيانات في أثناء الهزات الكبرى والصغرى. ويهدف هذا المشروع إلى فهم آلية حدوث الزلازل، وسبب حدوثها. وتساعد هذه المعلومات العلماء على توقع متى تحدث الزلازل.

معدلات التكرار Recurrence rate يمكن أن تشير معدلات تكرار الزلازل التي تحدث على طول الصدع إلى ما إذا كان الصدع يولد زلازل مماثلة على فترات منتظمة أم لا. فلو أخذنا على سبيل المثال معدلات تكرار الزلازل على طول صدع سان أندرياس في ولاية كاليفورنيا بالولايات المتحدة الأمريكية فسنجد أن سلسلة من الزلازل بقوة 6 تقريباً على مقياس رختر قد ضربت المنطقة في كل 22 عاماً من 1857 م حتى عام 1966 م. ففي عام 1987 م توقع علماء الزلازل تعرض المنطقة إلى زلزال قوي خلال العقود القادمة بنسبة احتمال تبلغ 90%. وقد استعملت أنواع مختلفة من الأجهزة وكذلك الحفر، انظر الشكل 39-6، لقياس الزلازل في حالة وقوعها. وفي سبتمبر 2004 م، وقع زلزال قوته 6 على مقياس رختر. وقد جمعت بيانات هائلة عن هذا الزلزال قبل وبعد وقوعه، ووجد أن هذه المعلومات التي تم الحصول عليها ذات قيمة في توقع حدوث الزلازل المتكررة في المستقبل والاستعداد لها في جميع أنحاء العالم.

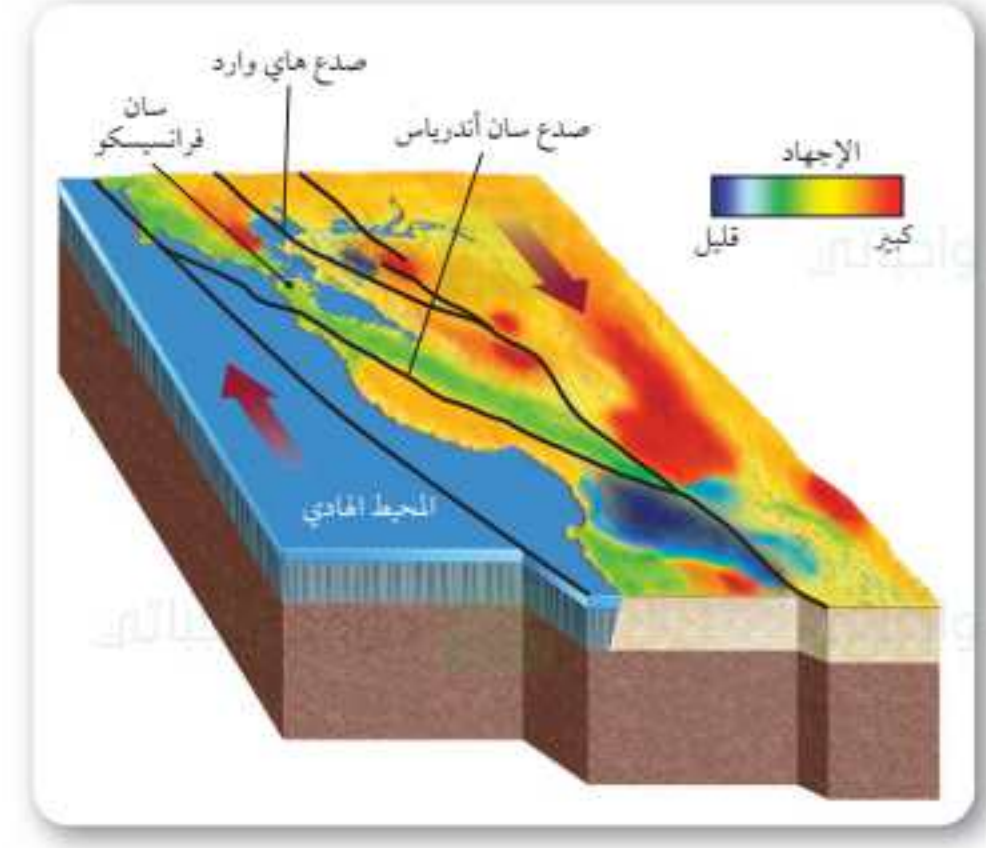
✓ **ماذا قرأت؟ استنتج** أهمية دراسة معدلات تكرار الزلازل.

إن حدوث زلزال في منطقة يجعل من المحتمل أن هذه المنطقة ستشهد حدوث زلازل، سواء في النقطة نفسها أو قريباً منها، وأحياناً تحدث الزلازل وتكرر وفق نمط عام في الفاصل الزمني بين الهزات.

الفجوات الزلزالية Seismic gaps يعتمد توقع احتمال وقوع الزلزال أيضاً على موقع الفجوات الزلزالية **Seismic gaps** وهي أجزاء نشطة تقع على امتداد صدع، لم تتعرض لزلزال كبيرة في فترة طويلة من الزمن. ويبين الشكل 40-6 خريطة الفجوات الزلزالية الصدع يعبر شمال تركيا؛ حيث التاريخ الطويل للزلازل التي تقع على طول الصدع الكبير الموضح أدناه.



الشكل 40-6 وقع زلزالان عامي 1912 م و 1999 م على جانبي مدينة إسطنبول التي يبلغ عدد سكانها 18 مليون نسمة، حيث تركت الزلازل حول المدينة فجوة زلزالية تشير إلى احتمال وقوع زلزال في المنطقة.



الشكل 41-6 تساعد خرائط تراكم الجهود في الصخور العلماء على توقع احتمال وقوع زلزال في مكان ما.

وضح. لماذا يعد تراكم الجهود في المناطق مهمًا؟

قد تتنوع الإجابات، لكن يجب أن تتضمن أن الإجهادات تتراكم في الصدع، حيث تجري عليها حركة أجزاء من القشرة الأرضية.

تراكم الجهد Stress accumulation يستعمل علماء الزلازل معدل تراكم الجهد Stress accumulation في الصخور بوصفه عاملاً آخر لتحديد احتمال وقوع زلزال على طول مقطع من الصدع؛ حيث تزول هذه الجهود في نهاية المطاف، مسببة حدوث زلزال. يستعمل العلماء تقنيات الأقمار الاصطناعية، ومنها نظام تحديد المواقع (GPS) لتحديد مواقع تراكم الجهود وتوزيعها على طول الصدع. ويستعمل العلماء الجهود المتراكمة والمتحررة في أجزاء الصدع وترصد في أثناء حدوث الزلزال لتطوير خرائط كالتي تظهر في الشكل 41-6، آخذين في حسابهم الفترة الزمنية بين زلزال وآخر لنفس الصدع.

التقويم 5-6

فهم الأفكار الرئيسية

1. اعمل قائمة ببعض الأمثلة حول الطرائق التي يستعملها العلماء لتحديد احتمال وقوع زلزال.

دراسة التاريخ الزلزالي للمنطقة، وقياس تراكم الإجهادات في الصخور، وتمثيل الفجوات الزلزالية بيانياً.

2. لخص الآثار المترتبة على أنواع المخاطر المختلفة الناجمة عن الزلازل.

يمكن أن يؤدي إلى انهيار اليابسة وتسييل التربة، وإلى تدمير المباني والجسور وغيرها من المنشآت، أما تسونامي فيهدد المناطق الساحلية.

3. ارسم مجموعة من الرسوم تبين ما يحدث على طول صدع قبل حدوث زلزال وبعده.

ينبغي أن تبين الرسوم أن بعض المعالم أصبحت منفصلة ومقطوعة بعد وقوع الزلزال.

4. لخص الأحداث التي تؤدي إلى حدوث التسونامي.

تؤدي الحركة الرأسية على طول الصدع في قاع المحيط إلى إزاحة عمود من الماء مكونة موجة ضخمة تزيد في قوتها حتى تصل إلى الشواطئ.

التقويم 5-6

التفكير الناقد

5. قوّم أي الأماكن أكثر احتمالاً لوقوع زلزال فيها؟ هل يقع في المكان نفسه الذي وقع فيه زلزال قوته 7.5 قبل 20 عامًا، أو في مكان يقع بين منطقتين تعرضتا للزلازلين؛ زلزال قبل 20 سنة، وزلزال قبل 60 سنة؟

يرجح أنها تحدث في فجوة زلزالية بين المناطق التي حدث فيها زلازل.

الكتابة في الجيولوجيا

6. تخيل أنك في لجنة علمية، واكتب تقريرًا تتناول فيه طرائق مقترحة لتعرّف المناطق الأكثر عرضة لوقوع الزلازل.

لتحديد المناطق الأكثر عرضة للزلازل، ينبغي على أعضاء اللجنة دراسة التاريخ الزلزالي للعالم، والبحث عن الفجوات الزلزالية.

الزلازل والمجتمع

دروس من الماضي



زلزال بومرداس 2003م

زلزال بومرداس مايو 2003م الساعة 7:44 مساءً يوم الأربعاء. خرج سكان الجزائر العاصمة والمدن المحيطة بها - وخصوصًا ولاية بومرداس، التي تقع على بعد 50 km تقريبًا شرقي العاصمة - من منازلهم في حالة فزع شديد وقد انهارت مبانٍ عديدة على من فيها، بعد أن ارتجت الأرض، وزلزلت زلزالاً شديداً. وقد قدره الخبراء بـ 6.8 درجات على مقياس ريختر.

الزلازل يضرب المدينة لقد توقعات مراكز رصد الزلازل حول العالم حدوث زلزال في شمال الجزائر؛ بسبب تكرار حدوث الزلازل، ووجود فجوات زلزالية في المنطقة.

وقد حدث ما كان متوقعاً بالفعل، فقد ضربت هزة أرضية عنيفة شرق العاصمة الجزائرية، مما أسفر عن سقوط 3,500 قتيل، وتشرد 130,000 شخص.

العلماء يحللون الزلزال كان مركز الزلزال في مدينة الشنية في ولاية بومرداس، وكان هذا أقوى زلزال وقع في الجزائر منذ زلزال عام 1980م، الذي بلغت قوته 7.3 درجة، وهو ما استدعى عدة سنوات لتتمكن البلديات المصابة من استرجاع مناظرها السابقة. لقد أظهر الزلزال مرة أخرى هشاشة النسيج العمراني داخل المدن وخارجها.

أسباب حدوث الزلزال يقع الجزء الشمالي من الجزائر بين الصفيحة الإفريقية والصفيحة الأوراسية. وقد قام الجيولوجيون بتحليل حركة الكتل الصخرية وحساب كمية الطاقة المحررة في أثناء تحركها، باستخدام نظرية الارتداد المرن (نظرية ريد Reid). وقد افترضوا أن الإجهادات الصخرية تكونت تدريجياً؛ حيث وقعت صخور المنطقة تحت تأثير قوى، حتى وصلت حدًا يفوق قدرتها على التحمل، مما أدى إلى تكسرها وتحرك أجزائها. وقد تعرضت المنطقة

للعديد من الزلازل نتيجة وقوعها بين هاتين الصفيحتين.

أما زلزال بومرداس 2003 فسببه حركة الكتل الصخرية عند صدع زموري إلى الشمال الشرقي، وقد تم تعريفه أول مرة بعد هذا الزلزال، بحسب هيئة المساحة الجيولوجية الأمريكية.

التحضير للمستقبل يعلم الجيولوجيون جيداً أن الإجهادات التي تتعرض لها القشرة الأرضية على طول صدع زموري في ازدياد مستمر، وهي المسؤولة عن وقوع زلزال بومرداس 2003م. ولهذا يعمل العلماء والمجتمع على السواء على الاستعداد للزلازل في المستقبل، وتعرف المكان المحتمل لحدوث الزلازل، وتصميم مبانٍ تستطيع تحمل آثارها.

الكتابة في الجيولوجيا

ابحث باستخدام الإنترنت اكتب بحثاً أو أنشئ عرضاً تقديمياً عن زلزال مدينة العيص التي تقع على بعد 240 كم شمال غرب المدينة المنورة الذي حدث عام 2009م، ووضح مدى تأثيراته في السكان والبيئة المحلية.

مختبر الجيولوجيا

العلاقة بين المركز السطحي للزلازل والصفائح الأرضية

بيانات زلزالية			
محطة رصد الزلازل	رنية (RANI)	السودة (SODA)	عقلة الصقور (UQSK)
الفرق الزمني بين وصول أمواج P و S (دقيقة)	1.2	1.5	1
بُعد المركز السطحي (km)			
المسافة على الخريطة (cm)			

خلفية علمية يمكنك تقدير المسافة بين محطة رصد الزلازل (التي تسجل البيانات) والمركز السطحي للزلازل من خلال تحديد الفرق الزمني بين أمواج P وأمواج S المسجلة على السيزموجرام، وتستطيع أن تحدد الموقع الدقيق للمركز السطحي للزلازل على الخريطة من خلال استعمال ثلاث محطات رصد أو أكثر. ويفيد تحديد موقع المركز السطحي للزلازل على خريطة حدود الصفائح الأرضية في معرفة نوع حركة الصفائح التي سببت الزلازل.

سؤال: كيف يستطيع علماء الزلازل تحديد موقع المركز السطحي للزلازل؟

الأدوات

خريطة المملكة العربية السعودية، آلة حاسبة، فرجار، مسطرة مترية، خريطة الصفائح الأرضية، منحني المسافة - زمن الوصول.

خطوات العمل

حدد موقع المركز السطحي للزلازل حقيقي والوقت الفعلي لحدوثه باستعمال زمن وصول الأمواج الأولية والثانوية المسجلة في ثلاث محطات رصد الزلازل.

1. اقرأ نموذج السلامة في المختبر.

2. يعطي الجدول بيانات من ثلاث محطات رصد للزلازل. استعمل منحنيات المسافة - زمن الوصول في الشكل 6-7 والفرق بين زمن وصول الأمواج الأولية والثانوية لتحديد بُعد المركز السطحي للزلازل عن كل محطة رصد زلزالي. دوّن هذه المسافات في الجدول في صف "بُعد المركز السطحي".

3. احصل على خريطة المملكة العربية السعودية من معلمك، وحدد عليها بدقة مواقع محطات رصد الزلازل الثلاث بمساعدة المعلم.

4. استعمل مقياس رسم الخريطة بالسنتيمتر لتحديد المسافة على الخريطة بالسنتيمتر التي حصلت عليها في الخطوة 2 وتمثل بُعد المركز السطحي. ثم دوّن المسافة في صف المسافة على الخريطة.

5. استعمل قيمة المسافة على الخريطة التي حسبته لتعيين فتحة الفرجار المناسبة لتحديد المسافة بين المركز السطحي وأول محطة رصد.
6. ضع رأس الفرجار على موقع محطة الرصد وارسم دائرة.
7. كرر ما قمت به لكل من محطتي رصد الزلازل الآخرين.
8. حدد نقطة تقاطع الدوائر الثلاث. تمثل هذه النقطة المركز السطحي للزلازل.

الكتابة في الجيولوجيا

تخيل نفسك مراسلاً لصحيفة مقرها قريب من المركز السطحي لهذا الزلازل، واكتب مقالاً توضح فيه كيف أدت العمليات الجيولوجية إلى وقوع هذا الزلازل.

مختبر الجيولوجيا

التحليل والاستنتاج

1. حلل البيانات أين يقع المركز السطحي للزلازل؟
يقع على شاطئ البحر الأحمر إلى الغرب من المدينة المنورة .
2. صف هل يتبع الزلازل أيًا من الأحزمة الزلزالية الرئيسة؟
**لا ؛ حيث إن هناك أحزمة رئيسة منها :
حزام المحيط الهادي، وحزام البحر الأبيض المتوسط، وأحزمة ضيقة
عند ظهور المحيطات ومنها حزام المحيط الأطلسي.**
3. فسر البيانات استعمل خريطة الصفائح الأرضية
لتحديد الصفائح التي سببت حدوث هذا الزلازل.
الصفحة العربية .
4. استنتج صف كيف تؤدي حركات الصفائح إلى
حدوث هذا الزلازل.
**يمكن أن يكون سبب الزلازل حركة الكتل الصخرية على الصدوع المنتشرة
على جانب البحر الأحمر والمرتبطة مع توسع البحر الأحمر وحركة
الصفحة العربية .**

دليل مراجعة الفصل

6

الفكرة العامة تتشكل البراكين من الصهارة القادمة من باطن الأرض.

المفردات	المفاهيم الرئيسية
6-1 ما البركان؟	الفكرة الرئيسية ترتبط مواقع البراكين عمومًا مع حركة الصفائح. • تتضمن عملية النشاط البركاني جميع العمليات التي تصعد فيها الصهارة والغازات إلى سطح الأرض. • توجد معظم البراكين على اليابسة ضمن حزامي البراكين الرئيسية، وهما: حزام المحيط الهادي، وحزام البحر الأبيض المتوسط. • تتضمن أجزاء البركان: القناة، والفوهة. • توجد طفوح البازلت على هيئة سهول منبسطة أو هضاب، وتتكون نتيجة تدفق اللابة من شقوق القشرة الأرضية. • هناك ثلاثة أنواع رئيسة للبراكين هي: الدرعية، والمخروطية، والمركبة.
6-2 الثورانات البركانية	الفكرة الرئيسية تحدّد مكوّنات الصهارة خصائص الثوران البركاني. • هناك ثلاثة أنواع من الصهارة، هي: البازلتية، والأنديزيتية، والريوليتية. • اعتمادًا على نسبة محتوى الصهارة من السليكا تكون الصهارة البازلتية أضعف أنواع الصهارة في شدة الثوران، في حين أن الصهارة الريوليتية أشدها. • درجة الحرارة والضغط ووجود الماء عوامل تؤثر في تشكّل الصهارة. • تُسمى اللابة المتصلبة والقطع الصخرية التي تطلقها البراكين في أثناء ثورانها المقذوفات البركانية الصلبة.

المفردات	المفاهيم الرئيسية
3-6 الأمواج الزلزالية وبنية الأرض	
- الأمواج الزلزالية - الأمواج الأولية - الأمواج الثانوية - الأمواج الجسمية - الأمواج السطحية - بؤرة الزلزال - المركز السطحي للزلزال - مقياس الزلزال - مخطط الزلزال	الفكرة الرئيسية يتم استعمال الأمواج الزلزالية في تصور بنية الأرض الداخلية. • أنواع الأمواج الزلزالية ثلاثة: أولية وثانوية وسطحية. • مقياس الزلازل (السيزمومتر) جهاز يستقبل الأمواج الزلزالية، ويسجلها على المخطط الزلزالي (السيزموجرام). • استطاع العلماء أن يحددوا المركز السطحي للزلازل من الفرق الزمني بين زماني وصول أمواج P وأمواج S. • تتغير سرعة واتجاه كل من أمواج P وأمواج S عندما تواجه حدوداً فاصلة بين مواد مختلفة. • يمكن الحصول على صورة مفصلة عن مكونات الأرض الداخلية من خلال تحليل الأمواج الزلزالية التي تعبر باطن الأرض.
4-6 قياس الزلازل وتحديد أماكنها	
- مقياس ريختر - قوة الزلزال - سعة الموجة الزلزالية - مقياس العزم الزلزالي - مقياس ميركالي المعدل - أحزمة الزلازل	الفكرة الرئيسية يقيس العلماء قوة الزلازل ويحددون مكانها على الخريطة باستعمال الأمواج الزلزالية. • قوة الزلزال هي مقياس للطاقة التي تتحرر في أثناء حدوث الزلزال، ويمكن قياسها بمقياس ريختر. • شدة الزلزال هي مقياس للدمار الذي يحدثه الزلزال. • لتحديد موقع المركز السطحي للزلازل نحتاج على الأقل إلى ثلاث محطات رصد للزلازل. • تحدث معظم الزلازل في أحزمة ضيقة تسمى أحزمة الزلازل؛ حيث تنطبق مع حدود الصفائح.
5-6 الزلازل والمجتمع	
- تسجيل التربة - تسونامي - فجوة زلزالية - تراكم الجهد	الفكرة الرئيسية يمكن معرفة احتمال حدوث الزلزال من خلال دراسة المنطقة زلزالياً، ومعرفة أين وكيف تتراكم الإجهادات بسرعة. • يعتمد توقع حدوث الزلازل على التاريخ الزلزالي وقياسات الجهود المتراكمة في الصخور. • تسبب الزلازل الدمار من خلال توليد اهتزازات يمكنها إحداث هزات في سطح الأرض. • يمكن أن تسبب الزلازل انهيار المنشآت والانزلاقات الأرضية، وتسجيل التربة والتسونامي. • الفجوات الزلزالية أجزاء من صدع نشط لم تتعرض لزلزال كبيرة منذ فترة طويلة من الزمن.

مراجعة المفردات

ضع المصطلح الصحيح بدلاً من الكلمات التي تحتها خط:

1. تتراكم اللابة في أشد أنواع الثورانات البركانية انفجاراً مكونة بركاناً درعياً.

بركاناً مركباً .

2. تصعد الصهارة إلى أعلى عبر القناة وتثور على سطح الأرض من خلال الشقوق الموجودة في قمة البركان.

فتحة البركان .

3. يوصف الدمار الذي يسببه الزلزال باستعمال مقياس العزم الزلزالي.

مقياس ميركالي المعدل .

4. الزلزال الذي يحدث تحت الماء ويسبب حركة الماء إلى أعلى يؤدي إلى حدوث الأمواج الزلزالية.

تسونامي .

أكمل الجمل الآتية مستعملاً المفردات المناسبة:

5. **فوهة البركان** ... تجويف منخفض يحيط بالفتحة عند قمة البركان.

6. **فوهة بركانية منهارة**.. تتشكل في الانخفاض الناتج عن انهيار سقف حجرة صهارة فارغة.

اختر المصطلح المناسب لكل من الجمل الآتية:

7. تجمع من الصهارة يقع أسفل الصفيحة، ولا يقع عند حدودها، ويتكوّن بسبب اندفاع عمود من الصهارة في الستار في موقع ثابت ويحدث عنده البركان.

بقعة ساخنة .

8. بركان تتدفق منه اللابة بسرعة وسهولة، ولزوجته وانحداره قليلان.

بركان درعي .

9. يسمى المقياس الذي يقيس كلاً من كمية الطاقة المنبعثة من الزلزال وسعة الأمواج الزلزالية مقياس رختر .

رختر .

10. يحدث تسهيل التربة عندما تسبب الاهتزازات الزلزالية تسهيل المواد الأرضية تحت السطحية، وتجعلها تسلك سلوك الرمال المتحركة.

11. يُسمى نوع الأمواج الزلزالية الذي لا يمر خلال اللب الخارجي للأرض .

أمواج S .

اختر المفردات المناسبة للتعبير عن الجمل الآتية:

12. العملية التي تتشكل فيها قشرة محيطية جديدة من خلال اندفاع الصهارة عند ظهور المحيطات.

توسع قاع المحيط .

حدّد ما هو مشترك بين كل مصطلحين في الجمل الآتية:

13. الرماد البركاني، الكتلة البركانية.

كلاهما مقذوفات بركانية .

14. فوهة البركان المنهارة، فوهة البركان.

كلتاها فتحة في قمة البركان .

وضح العلاقة بين المصطلحات الآتية في كل زوج مما يأتي:
15. البؤرة، المركز السطحي للزلازل.

بؤرة الزلازل هي النقطة التي تتولد عندها الأمواج نتيجة حدوث كسر في الصخر .

المركز السطحي للزلازل هو نقطة على سطح الأرض تقع فوق البؤرة مباشرة .

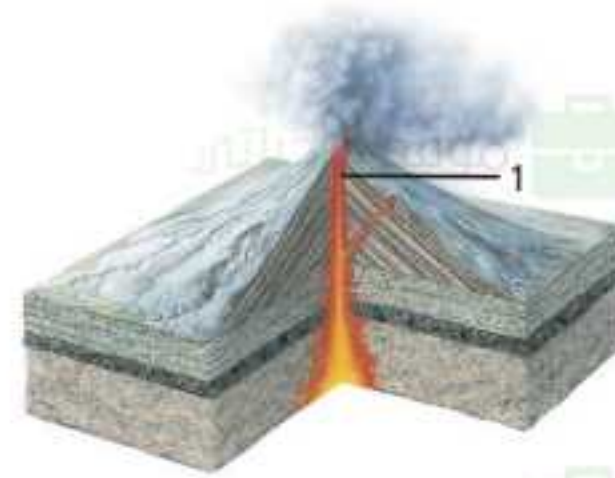
16. الأمواج الثانوية، الأمواج السطحية.

**الأمواج الثانوية أبطأ من الأمواج الأولية وأسرع من الأمواج السطحية، وتتحرك عمودياً على خط انتشار الموجة، بينما تتحرك الأمواج السطحية في اتجاه معاكس؛ إذ تتحرك جانبياً أو إلى أعلى وإلى أسفل .
وتنتقل الأمواج الثانوية خلال جسم الأرض من الداخل، بينما تنتقل الأمواج السطحية على سطح الأرض فقط.**

17. مقياس رختر، مقياس العزم الزلزالي.

**كلاهما مقياس يقيس كمية الطاقة المتحررة من الزلازل .
ويعتمد مقياس رختر على سعة أكبر موجة زلزالية أما مقياس العزم الزلزالي فيؤخذ باعتبار حجم الكسر في الصدع ، ومقدار الحركة على طول الصدع وقساوة الصخور.**

استعمل الشكل الآتي في الإجابة عن السؤالين 18 و 19.



18. ما نوع البركان في الشكل أعلاه؟

- a. درعي.
- b. مركب.
- c. طفح بازلتي.
- d. مخروطي.

19. ما المعلم الجيولوجي المشار إليه بالرقم 1 في الشكل أعلاه؟

- a. فوهة البركان.
- b. قناة البركان.
- c. فتحة البركان.
- d. حجرة الصهارة.

20. أي المواد الجيولوجية الآتية لها قابلية للتسييل أكبر ما يمكن عند مرور أمواج زلزالية فيها؟

- a. الجرانيت.
- b. الصخر المتحول.
- c. التربة والرسوبيات المفككة.
- d. اللابة.

تقويم الفصل

6

الفصل

أجب عن الأسئلة 21-22 مستعيناً بالرسم أدناه.



21. ما نوع الموجة الزلزالية المشار إليها بالرمز X؟

a. أمواج P. c. أمواج S.

b. أمواج سطحية. d. أمواج قص.

22. ما زمن وصول الأمواج السطحية؟

a. 6:40:00. c. 6:40:33.

b. 6:40:05. d. 6:41:10.

23. يُستعمل الفرق الزمني بين وصول أمواج P وأمواج S في تحديد:

a. بُعد المركز السطحي للزلازل عن محطة الرصد.

b. نوع الصدع.

c. عمق الزلزال.

d. ما إذا كان اللب سائلاً.

24. قارن بين موجة التسونامي والموجة السطحية.

كلاهما ينتقل على السطح .

وتنتقل الأمواج السطحية خلال الصخور (القشرة الأرضية والستار) ، بينما تنتقل أمواج تسونامي خلال مياه المحيط، كما أن أمواج تسونامي أبطأ كثيراً .

25. فسر لماذا يحتاج العلماء إلى قياسات من أكثر من جهازين من أجهزة السيزمومتر لتحديد موقع الزلزال بدقة.

إذا استعملت سيزمومتريين فإنك ترسم دائرتين متقاطعتين في نقطتين، لذا هناك منطقتان يحتمل أن الزلزال قد حدث في واحدة منهما .
لكن لو استعملت ثلاثة سيزمومتريات فستحصل على ثلاث دوائر تتقاطع في نقطة واحدة تمثل موقع المركز السطحي للزلزال.

التفكير الناقد

26. ارسم المكونات الرئيسة للسيزمومتر.

ينبغي أن تتضمن الرسوم الإطار والكتلة المعلقة وجهاز التسجيل .

27. صمّم منزلاً بحيث يبقى هيكله سليماً في حالة وقوع زلزال. حدد معالمة مبيّناً كيف ستحميه من دمار الزلزال؟

قد تتنوع الإجابات ؛ ينبغي أن تتضمن التصميم المحتملة أعمدة داعمة واستخدام جدران داعمة خاصة لمقاومة الزلازل مبنية من الأسمنت والحديد، كما يمكن وضع أسطوانات مطاطية بين المبنى والقواعد تمتص الصدمة الناتجة عن الزلزال.

ويمكن أن يذكر بعض الطلاب أن تصميم أبنية خشبية وليس أسمنتية يعد أفضل المقاومة للزلزال.

خريطة مفاهيمية

28. استعمل المصطلحات الآتية لبناء خريطة مفاهيم:
براكين درعية، صغيرة الحجم، تعاقب طبقات من
اللابة ومقذوفات صلبة، براكين مخروطية، براكين
مركبة، شديدة الانحدار، قليلة الانحدار وواسعة.

يجب أن تظهر خريطة المفاهيم تنوع البراكين وتنوع المقذوفات البركانية وارتباط كل من البراكين مع المقذوفات البركانية وخصائص كل نوع منها.

29. استعمل المصطلحات والجميل الآتية لبناء خريطة مفاهيم تتعلق بالزلازل والموجات الزلزالية:
الموجات السطحية، الموجات الثانوية، أسرع
الموجات، تنتقل على سطح الأرض، لا تنتقل في
السوائل، الموجات الأولية، أبطأ الموجات.

يجب أن تتضمن الخريطة المفاهيمية المصطلحات الواردة في السؤال لإدراج فروع (الأمواج الزلزالية) تحت هذا المصطلح ومنها:
الأمواج السطحية، الأمواج الثانوية، الأمواج الأولية، على أن يدرج فروع كل منها تحتها.

ويمكن للطلاب إضافة أي خصائص أخرى تتعلق بكل نوع من الأمواج إلى الخريطة المفاهيمية.

اختبار مقنن

استعمل الشكل أدناه للإجابة عن السؤالين 5 و 6.



5. ما نوع البركان في الشكل أعلاه؟

a. مخروطي.

b. درعي.

c. مركب.

d. فتات بركاني.

6. ما مستوى التهديد الذي يحتمل أن يسببه تطور هذا البركان للإنسان؟

a. منخفض؛ لأنه بركان تكوّن من تراكم طبقة فوق أخرى، في أثناء ثورات هادئة غير متفجرة.

b. منخفض؛ لأنه بركان تكوّن من تعاقب طبقات من اللابة مع طبقات من الرماد البركاني.

c. متوسط؛ لأنه بركان صغير تكوّن من ثوران جزء من الصهارة، ومن ثم تراكم هذا الجزء حول الفوهة.

d. مرتفع؛ لأنه بركان ذو ثوران متفجر.

7. ما نوع الموجات الزلزالية التي تخترق اللب الخارجي للأرض؟

a. الموجات الثانوية.

b. الموجات السطحية.

c. الموجات الأولية.

d. الموجات الأولية والثانوية.

1. ما نوع البركان الذي يمثل أكبر خطر على الإنسان والبيئة؟

a. الدرعي.

b. المركب.

c. المخروطي.

d. الطفوح.

2. كيف يؤثر زيادة الضغط المحصور في درجة انصهار الصخور؟

a. تزداد درجة الانصهار.

b. تقل درجة الانصهار.

c. تثبت درجة الانصهار.

d. تزداد درجة الانصهار ثم تقل.

3. متى تتكون البراكين الدرعية؟

a. عندما تتراكم طبقات من اللابة بعضها فوق بعض خلال الثورات البركانية غير العنيفة.

b. عندما تتعاقب طبقات صخرية صلبة ناتجة عن ثورات بركانية عنيفة مع طبقات تكونت من ثورات بركانية هادئة.

c. عندما تعود المواد البركانية الصغيرة الحجم المقذوفة في الهواء إلى الأرض، وتتراكم حول فوهة البركان.

d. عندما يكوّن عمود من الصهارة في الستار بقعة ساخنة.

4. ما العامل الذي لا يؤثر في تشكل الصهارة؟

a. الزمن.

b. درجة الحرارة.

c. الضغط.

d. المياه.

اختبار مقنن

12. لتحديد موقع الزلزال نحتاج إلى معرفة موقع:

- a. محطة زلزالية واحدة.
- b. محطتين زلزالتين على الأقل.
- c. 3 محطات زلزالية على الأقل.
- d. 5 محطات زلزالية على الأقل.

13. ما المقياس الذي يستعمل في قياس شدة الزلازل؟

- a. رختر
- b. مقياس العزم الزلزالي
- c. مقياس ميركالي المعدل
- d. السيزموجرام

أسئلة الإجابات القصيرة

14. حجر الخفاف صخر ناري فقاعي يطفو على الماء. ما الذي تستنتجه عن حجم الغازات الموجودة في اللابة التي شكّلت هذا الحجر؟

تحتوي اللابة التي شكّلت حجر الخفاف على كميات كبيرة من الغازات، وتتصاعد هذه الغازات عندما تخرج على السطح وتبرد هناك.

استعمل الجدول الآتي للإجابة عن السؤالين 8 و 9.

بعض الزلازل الحديثة		
الموقع	السنة	مقياس رختر
إندونيسيا	2005	7.6
جنوب سومطرة	2007	8.5
تشيلي	2010	7.0
اليابان	2011	9.0
شمال سومطرة	2012	8.6

8. احسب بشكل تقريبي كم مرة تزيد الطاقة المتحررة من زلزال شمال سومطرة على الطاقة المتحررة من زلزال إندونيسيا؟

- a. مرتين.
- b. 10 مرات.
- c. 32 مرة.
- d. 1000 مرة.

9. قدر كم مرة تزيد سعة الموجة الزلزالية المتولدة عن زلزال اليابان على تلك المتولدة عن زلزال تشيلي؟

- a. مرتين.
- b. 10 مرات.
- c. 100 مرة.
- d. 1000 مرة.

10. أبطأ الموجات الزلزالية وصولاً إلى محطات الرصد الزلزالي:

- a. الموجات الأولية.
- b. الموجات السطحية.
- c. الموجات الثانوية.
- d. الموجات الجسمية.

11. ماذا تسمى أجزاء الصدع النشط التي لم تتعرض لزلزال كبيرة منذ فترة طويلة من الزمن؟

- a. الفجوات الزلزالية.
- b. الزلازل الكامنة.
- c. تسيل التربة.
- d. التسونامي.

اختبار مقنن

15. لماذا ينتج عن اللابة التي تحتوي على كميات كبيرة من الغازات المذابة، عمومًا، انفجارات عنيفة أكبر من اللابة التي تحتوي على كمية أقل من الغازات؟

تمتاز اللابة التي ينتج عنها انفجارات عنيفة بلزوجة مرتفعة جدًا؛ لأنها تمنع تصاعد الغازات منها، فعندما تندفع اللابة إلى السطح تتصاعد الغازات المذابة بصعوبة، مما ينتج عنه انفجارات عنيفة.

استعن بالخريطة الآتية للإجابة عن الأسئلة 16 - 17.



16. طبقًا للخريطة أعلاه، أين يقع المركز السطحي للزلزال؟ وكيف يمكن تحديده؟

يقع المركز السطحي للزلزال في منتصف البحر الأحمر. ويمكن تحديد ذلك عن طريق جمع بيانات محطات الزلازل الثلاثة ورسم ثلاث دوائر، والنقطة التي تتقاطع عندها الدوائر الثلاث تعد المركز السطحي للزلزال.

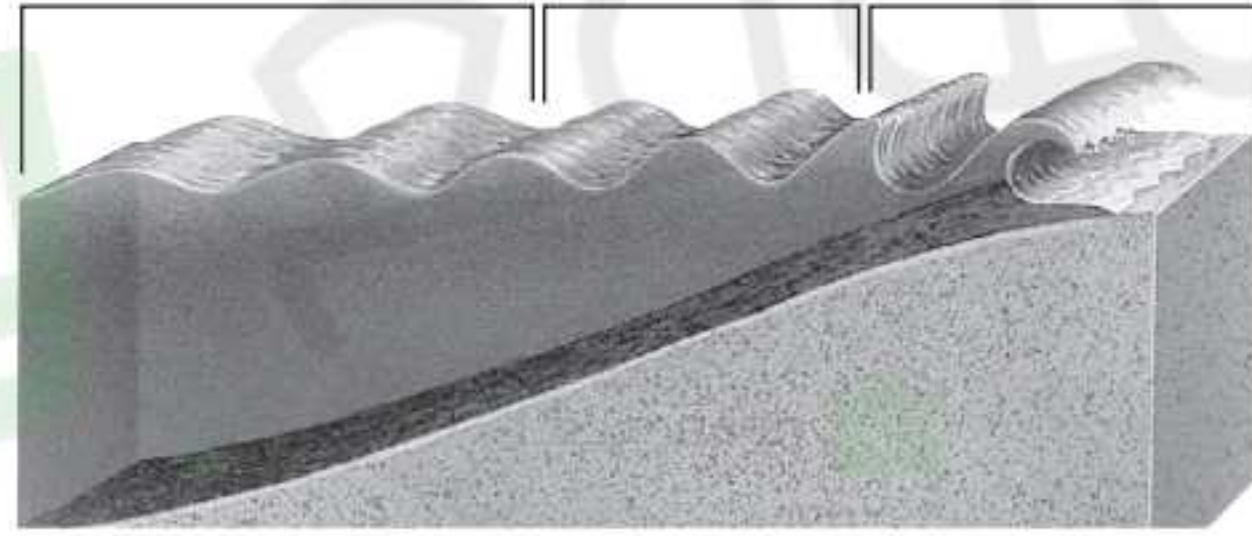
اختبار مقنن

17. ما أهمية استعمال ثلاث محطات رصد لتحديد المركز السطحي للزلازل؟

عند رسم دائرة واحدة تبين المواقع المحتملة للزلازل .
وعند رسم دائرتين تبين مساحة التداخل ولكن لا شيء محدد .
أما عند رسم ثلاث دوائر تظهر نقطة التقاء الدوائر الثلاثة التي تعد الموقع الدقيق للمركز السطحي للزلازل .

18. هل يمكن أن يؤثر هذا الزلزال في المناطق المجاورة للجزيرة العربية؟

نعم؛ لأن المركز السطحي للزلازل يقع على حواف شبه الجزيرة العربية .
استعمل الشكل أدناه للإجابة عن السؤالين 19 و 20.



19. صف التغير في حركة الموجات عند اقترابها من الشاطئ.

كلما اقتربت الأمواج من الشاطئ تصبح المياه ضحلة مما يؤدي إلى بطئها،
ويزداد ارتفاعها (قممها) فتتلاق وتلتقي معاً، مما يزيد في ارتفاعها حتى تنهار.

20. كيف تختلف حركة المياه والطاقة في الموجة المحيطية؟

عند تحرك الموجة المحيطية يتحرك الماء إلى أعلى وإلى أسفل هبوطاً
وصعوداً ، ثم يعود إلى موضعه الأصلي .
أما طاقة موجة المحيط فتتحرك إلى الأمام.

اختبار مقنن

منها 100000 زلزال فقط يستطيع أن يشعر به الإنسان. و100 زلزال تقريباً يسبب الدمار. ويجري الباحثون دراسات عميقة على الحيوانات لاكتشاف ماذا تسمع أو تشعر قبل أن يحدث الزلزال. واستعمال هذا الإحساس أداة للتنبؤ بالزلازل. وقد شكك العلماء في إمكانية تنبؤ الحيوانات بالزلازل، على الرغم من توثيق حالات لتصرفات غريبة لبعض الحيوانات قبل حدوث الزلازل؛ وذلك لعدم وجود صلة بين تكرار حدوث سلوك معين وحدوث الزلزال.

21. ماذا يمكن أن نستنتج بعد قراءة النص السابق؟

- a. تستطيع الحيوانات التنبؤ بالزلازل لأنها تشعر باهتزازات الأرض قبل الإنسان.
- b. لا تستطيع الحيوانات التنبؤ بالزلازل.
- c. هناك حاجة لدراسة إضافية وبحث قبل تأكيد أو نفي قدرة الحيوانات على التنبؤ بالزلازل.
- d. الحيوانات تنبأ بالزلازل منذ قرون.

22. أيّ التصرفات الآتية لا تدل على تنبؤ الحيوانات بالزلازل؟

- a. الحركة العنيفة للأسماك.
- b. هجرة النحل لخلاياه.
- c. وضع الدجاج للبيض.
- d. هجرة الثعابين لجحورها.

القراءة والاستيعاب

التنبؤ بالزلازل

منذ عدة قرون ساد اعتقاد أن الحيوانات تستطيع التنبؤ بالزلازل. فقد سجل المؤرخون أن حيوانات - منها الفئران والثعابين وابن عرس - قد هجرت المدينة الإغريقية هيليس عام 373 م قبل أن يضرب الزلزال المدينة. وقد سجلت حوادث مماثلة على امتداد القرون عند حدوث الزلازل، منها الحركة العنيفة للأسماك، وتوقف الدجاج عن طرح البيض، وهجرة النحل لخلاياه. ولكن بقي السؤال: كيف تحس الحيوانات بالزلازل؟ ومن الفرضيات التي وضعت لتفسير ذلك أن الحيوانات البرية والأليفة تشعر بالاهتزازات الأرضية قبل الإنسان. وبعض الأفكار تفترض أن الحيوانات تستطيع اكتشاف تغيرات كهربائية في الهواء أو الغاز المتحرر من الأرض.

والزلازل ظاهرة فجائية لا يستطيع الجيوفيزيائيون معرفة متى وأين تحدث بالضبط. وتقدر الزلازل التي تسجل في محطات الرصد الزلزالي في العام الواحد بأكثر من مليون زلزال. يوجد