KINGDOM OF BAHRAIN

Ministry of Education

مَمْلَكَةُ البَحْرَيْن

وَزَارَةُ التَّرْبِيَةِ وَالتَّعْلِيم

جيو ٢٢١

الجيولوجيا ٢

للمرحلة الثانوية

البحرين ٢٠٣٠ BAHRAIN

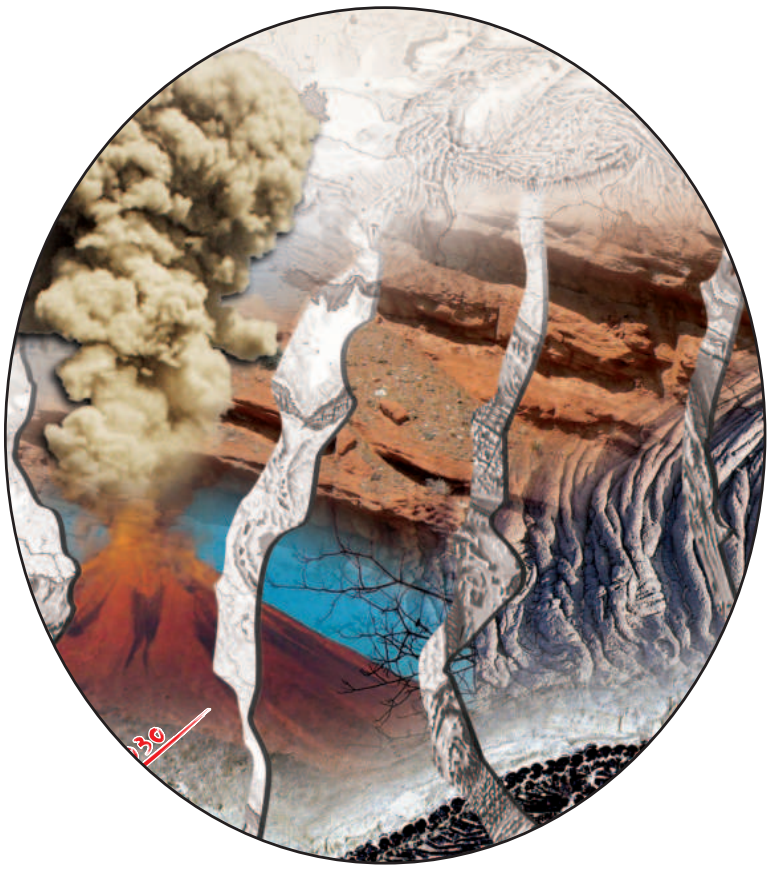
جيو321

قررت وزارة التربية والتعليم بمملكة البحرين اعتماد تدريس هذا الكتاب في المرحلة الثانوية

إدارة سياسات وتطوير المناهج

الجيولوجيا 2

للمرحلة الثانوية



الطبعة التجريبية

1432هـ - 2011م

منهاجي

متعة التعليم الهادف

العبيكان Obeikan

McGraw Hill Education

Original Title:

Earth Science

By:

Dr. Francisco Borrero
Dr. Frances Scelsi Hess
Dr. Chia Hui (Juno) Hsu
Dr. Gerhard Kunze
Dr. Stephen A. Leslie
Dr. Michael Manga
Len Sharp
Dr. Theodore Snow
Dinah Zike

الجيولوجيا 2

أعدَّ النسخة العربية
شركة العبيكان للتعليم

التحرير والمراجعة والمواءمة
د. محمود عبد اللطيف حبوش
د. محمد عبد الكريم قعدان
فاتن نافع أبو شملة

التعريب
أ.د. عبد القادر محمد عابد
أ.د. غازي عبد الفتاح سفاريني

التحرير اللغوي
عمر الصاوي
حسن فرغلي
أحمد عليَّان

المواءمة والمراجعة المحلية لنسخة مملكة البحرين
خلود يوسف عبد الله بوجيري
عوني أحمد خضر مصاروة

إعداد الصور
د. سعود الفراج

الإشراف
د. أحمد محمد رفيع

المراجعة والتطوير
فريق متخصّص من وزارة التربية والتعليم بمملكة البحرين.

www.macmillanmh.com
www.obeikaneducation.com

English Edition Copyright © 2009 the McGraw-Hill Companies, Inc.
All rights reserved.

Arabic Edition is published by Obeikan under agreement with
The McGraw-Hill Companies, Inc. © 2008.

حقوق الطبعة الإنجليزية محفوظة لشركة ماجروهل ©2009م.

الطبعة العربية: مجموعة العبيكان للاستثمار
وفقًا لاتفاقيتها مع شركة ماجروهل ©2008م-1429هـ.

لا يسمح بإعادة إصدار هذا الكتاب أو نقله في أي شكل أو واسطة، سواءً أكانت إلكترونية أو ميكانيكية، بما في ذلك التصوير بالنسخ «فوتوكوبي»، أو التسجيل، أو التخزين والاسترجاع، من دون إذن خطي من الناشر.

حضرة صاحب الجلالة الملك حمد بن عيسى آل خليفة

ملك مملكة البحرين المعظم

المقدمة

بِسْمِ اللهِ الرَّحْمنِ الرَّحِيمِ

يأتي اهتمام مملكة البحرين بتطوير مناهج التعليم وتحديثها في إطار الخطة العامة للمملكة وسعيها إلى مواكبة التطورات العالمية على مختلف الأصعدة.

ويأتي كتاب الجيولوجيا 2 للمرحلة الثانوية في إطار مشروع تطوير مناهج الرياضيات والعلوم، الذي يهدف إلى إحداث تطور نوعي في تعليم وتعلم هاتين المادتين، يكون للطالب الدور الرئيس والمحوري في عمليتي التعليم والتعلم.

وقد جاء هذا الكتاب في أربعة فصول شملت: الصفائح الأرضية، والبراكين، والزلازل، والأحافير والسجل الصخري.

وقد جاء عرض محتوى الكتاب بأسلوب مشوق، وتنظيم تربوي فاعل، يعكس توجهات المنهج وفلسفته. وقد كتب بأسلوب يساعد الطالب على تنمية مهارات التحليل والتفسير والاستنتاج والتعبير، وذلك من خلال اهتمامه بالجانب التجريبي. كذلك اشتمل المحتوى على أنشطة متنوعة المستوى، تتسم بإمكانية تنفيذ الطلبة لها، وتراعي في الوقت نفسه مبدأ الفروق الفردية بينهم، بالإضافة إلى صور وأشكال ورسوم توضيحية معبّرة تعكس طبيعة الفصل، مع حرص الكتاب على مبدأ التقويم التكويني في فصوله ودروسه المختلفة. كما أكدت فلسفة الكتاب أهمية اكتساب الطالب المنهجية العلمية في التفكير والعمل، وتزويده بمهارات عقلية وعملية ضرورية، منها التجارب الاستهلالية والتجارب العملية الأخرى، والإثراء العلمي، ومختبر الأحياء، بالإضافة إلى حرصها على ربط المعرفة مع حياة الطالب، إلى جانب التكامل مع المواد الأخرى مثل الرياضيات واللغة، والتقنية والمجتمع.

والله نسأل أن يحقق الكتاب الأهداف المرجوة منه، وأن يوفق الجميع لما فيه خير الوطن وازدهاره.

قائمة المحتويات

دليل الطالب

كيف نستفيد من كتاب الجيولوجيا 2 ؟ vii

الفصل 1

الصفائح الأرضية 10

1-1: انجراف القارات 12

1-2 : توسع قاع المحيط 17

1-3 : حدود الصفائح وسبب حركتها؟ 24

مختبر الجيولوجيا 33

دليل مراجعة الفصل 35

مراجعة الفصل 36

الفصل 2

البراكين 40

2-1: ما البركان؟ 42

2-2: الثورانات البركانية 51

مختبر الجيولوجيا 58

دليل مراجعة الفصل 59

مراجعة الفصل 60

الفصل 3

الزلازل 64

3-1:الأمواج الزلزالية وبنية الأرض 66

3-2: قياس الزلازل وتحديد أماكنها 74

3-3: الزلازل والمجتمع 80

مختبر الجيولوجيا 88

دليل مراجعة الفصل 89

مراجعة الفصل 90

الفصل 4

الأحافير والسجل الصخري 94

4-1: السجل الصخري 96

4-2: التأريخ الجيولوجي 101

مختبر الجيولوجيا 114

دليل مراجعة الفصل 115

مراجعة الفصل 116

مرجعيات الطالب

سلم الزمن الجيولوجي 121

الجدول الدوري للعناصر 122

خريطة ظهور المحيطات 124

حدود الصفائح 126

جيولوجية شبه الجزيرة العربية 128

المصطلحات 130

كيف نستفيد من كتاب الجيولوجيا 2 ؟

عندما تقرأ كتاب الجيولوجيا (2) إنما تقرؤه للحصول على المعلومات؛ فالكتابة العلمية ليست مجرد كتابة خيالية، وإنما تصف أحداثًا حياتية واقعية تربط الناس مع الأفكار والتقنيات. وفيما يلي بعض الأدوات التي تضمنها الكتاب، والتي تساعدك على القراءة.

قبل أن تقرأ

اقرأ كلًّا من الفكرة العامة و الفكرة الرئيسية قبل قراءة الفصل أو في أثنائها؛ فهي تزودك بنظرة عامة تمهيدية لهذا الفصل.

الفصل 1 الصفائح الأرضية Plate Tectonics

الفكرة العامة تحدث معظم الأنشطة الجيولوجية عند حدود الصفائح.

1–1 انجراف القارات
الفكرة الرئيسية تدل جيولوجية القارات وأشكالها على أنها كانت متصلة معًا يومًا ما.

1–2 توسع قاع المحيط
الفكرة الرئيسية تتكوّن القشرة المحيطية عند ظهور المحيطات وتصبح جزءًا من قيعانها.

1–3 حدود الصفائح وسبب حركتها
الفكرة الرئيسية تتكون كل من الجبال والبراكين والأخاديد البحرية بين حدود الصفائح وتؤدي تيارات الحمل في الوشاح إلى حركة الصفائح الأرضية.

حقائق جيولوجية

- نشأ البحر الأحمر نتيجة انفصال الجزيرة العربية عن إفريقيا قبل 27 مليون سنة تقريبًا.
- أظهرت نتائج صور الأقمار الاصطناعية أن قاع البحر الأحمر يتوسع بمعدل 2 cm سنويًّا تقريباً، لذا يطلق الجيولوجيون عليه بالمحيط الصغير، ويتوقع أن يصبح قاعه محيطًا حقيقيًّا في المستقبل.
- توجد الصفيحة العربية، في هذه الصورة، على يمين البحر الأحمر، وصفيحة إفريقيا على يساره.

10

نشاط بركاني

حد تباعد

الفكرة العامة تقدم صورة شمولية لكل فصل، ولكل موضوع من موضوعات الفصل.

الفكرة الرئيسية تصف الموضوع، وتدعم فكرته العامة.

طرائق أخرى للتصفح

- اقرأ عنوان الفصل لتتعرَّف موضوعاته.
- تصفح الصور والرسوم والجداول.
- ابحث عن المفردات البارزة والمظلّلة باللون الأصفر.
- اعمل مخططًا للفصل مستعملاً العناوين الرئيسة والعناوين الفرعية.

عندما تقرأ

في كل جزء من الفصل ستجد أساليب لتعميق فهمك للموضوعات التي ستدرسها، واختبار مدى استيعابك لها.

1-1

الأهداف

- تعرّف الأدلة التي جعلت العالم فاجنر يقترح أن القارات قد تحركت.
- تناقش كيف دعم دليل المناخ القديم فرضية انجراف القارات.
- توضح لماذا لم تحظ فرضية انجراف القارات بالقبول منذ البداية.

مراجعة المفردات

الفرضية: تفسير لموقفٍ ما قابل للاختبار.

المفردات الجديدة

الانجراف القاري

بانجايا

انجراف القارات
Drifting Continents

الفكرة الرئيسة تدل جيولوجية القارات وأشكالها على أنها كانت متصلة معًا يومًا ما.

الربط مع الحياة ما خصائص القطع التي تستعملها في لعبة تركيب القطع المتداخلة؟ يستعمل العلماء خصائص – منها الشكل والموقع – لكي تساعدهم على معرفة كيف ترتبت حافات القارات المتطابقة قبل ملايين السنين.

الملاحظات القديمة Early observation

باستثناء الأحداث المفاجئة كالزلازل والبراكين والانزلاقات الأرضية، فإن معظم معالم سطح الأرض لا تظهر تغيرًا نسبيًّا في أثناء حياة الإنسان، ومع ذلك فإن الأرض مرت بتغيرات كثيرة عبر تاريخها الطويل الموثق في سلم الزمن الجيولوجي. وأول من اقترح فكرة تغير المعالم الرئيسة للأرض هم رسامو الخرائط. ففي نهاية القرن الخامس عشر لاحظ رسام الخرائط الهولندي إبراهام أورتيليوس تطابقًا بين حافات القارات على جانبي المحيط الأطلسي، فاقترح أن القارتين الأمريكيتين الشمالية والجنوبية قد انفصلتا عن قارتي إفريقيا وأوروبا بسبب الزلازل والفيضانات، وقد لاحظ العديد من العلماء وجود تطابق بين الحافات القارية، ويوضح **الشكل 1–1** خريطة أعدّها رسامو الخرائط في القرن التاسع عشر.

وكان أول من اقترح فكرة حركة القارات العالم الألماني "ألفرد فاجنر" "Alfred Wagener" في فرضيته العلمية التي قدمها عام 1912م إلى الأوساط العلمية آنذاك.

ماذا قرأت؟ استنتج ما الذي جعل رسامي الخرائط من أوائل الذين اقترحوا أن القارات كانت مجتمعة معًا يومًا ما.

الشكل 1–1 خريطتان تظهران التطابق الظاهري بين حواف القارات، أعدّهما رسامو الخرائط القدماء عام 1858م، بناءً على ملاحظاتهم.

12

الربط مع الحياة: يصف ارتباط المحتوى مع حياتك.

ماذا قرأت؟ أسئلة تقوّم مدى فهمك لما درسته.

سلم الزمن الجيولوجي
The Geologic Time Scale

يساعد سلم الزمن الجيولوجي العلماء على إيجاد العلاقات بين الأحداث الجيولوجية والظروف البيئية وأشكال حياة المخلوقات الحية الممثلة بالأحافير المحفوظة في السجل الصخري، وتترتب الوحدات الزمنية في سلم الزمن الجيولوجي من الأقدم إلى الأحدث كما في **الشكل 2–4**، حيث تكون الأقدم في الأسفل، وكلما انتقلنا الى أعلى السلم كانت كل وحدة أحدث من سابقتها، كما هو موجود في تتابع الطبقات الصخرية، حيث تصبح الطبقات أحدث كلما اتجهنا إلى أعلى.

ماذا قرأت؟ فسر لماذا يحتاج العلماء إلى سلم الزمن الجيولوجي؟

قُسّم سُلّم الزمن الجيولوجي إلى وحدات زمنية، وهي الدهور والحقب والعصور والأحيان. و **الدهر eon** أكبر هذه الوحدات، ويشمل الوحدات الأخرى، ومن الأمثلة عليه الهيديان والأركيان والبروتيروزوي والحياة الظاهرة. وتشكل الدهور الثلاثة الأولى 95% تقريبًا من سلم الزمن الجيولوجي، وتعرف مجتمعة معا **ما قبل الكامبري Precambrian**، وفي دهر ما قبل الكامبري تكونت الأرض، وأصبحت مؤهلة لاستقبال حياة حديثة؛ إذ تشير الأدلة الأحفورية إلى أن أشكال الحياة البسيطة بدأت في التشكل في دهر الأركيان، وتطوّرت مع نهاية دهر البروتيروزوي، حتى أصبحت بعض المخلوقات قادرة على الحركة بطريقة معقدة. ومعظم أجسام هذه الأحافير كالتي في **الشكل 3–4** كانت رخوة ودون أصداف وهياكل رخوة تشبه المخلوقات الحية الحديثة.

أما أحافير دهر الحياة الظاهرة فهي أحسن حفظًا؛ ليس لأنها أحدث عمرًا، بل لاحتواء مخلوقات الأحافير على أجزاء صلبة يسهل حفظها. ويمثل خط الزمن في **الشكل 4–4** بعض الأحافير المهمة والاكتشافات المتعلقة بتقنيات التأريخ.

الشكل 3–4 هذه أحفورة محفوظة بصورة جيدة لمخلوق حي وُجدت في صخور رسوبية تكوّنت في نهاية ما قبل الكامبري، وتمثل أحد أشكال الحياة المعقدة الأولى على الأرض.

استنتج كيف يتحرك هذا المخلوق الحي.

الشكل 4–4 اكتشاف الأحافير والتقنية غيّرت اكتشافات الأحافير وتقنيات التأريخ فهمنا للحياة على الأرض.

1857 اكتشف عمّال المقالع هيكلاً عظميًّا يسمى نيندرتال وهو نوع شبه بالإنسان الحديث

1929 يُعدّ أناسازي أول موقع أثري يؤرخ باستعمال حلقات الأشجار السنوية.

1796 رسم المساح وليام سميث أول خارطة جيولوجية اعتمادًا على أحافير محددة في الطبقات الصخرية.

1820 اكتشفت ماري انج أحافير عدة لمخلوقات حية قديمة، وأثارت بذلك اهتمامًا كبيرًا بعلم الأحافير.

1959 أدى اكتشاف أحافير في صخور غضار بيرغن في سلسلة جبال روكي في الولايات المتحدة الأمريكية، إلى بيان مدى تنوع اللافقاريات التي تطورت خلال عصر الكامبري.

98

كيف نستفيد من كتاب الجيولوجيا 2 ؟

مهارات قرائية

- اسأل نفسك: ما الفكرة العامة؟ وما الفكرة الرئيسية؟
- فكر في المخلوقات الحية والمواقع والمواقف التي مررت بها، هل بينها وبين دراستك لمادة الجيولوجيا علاقة؟
- اربط معلومات هذا الكتاب مع المجالات العلمية الأخرى.
- توقع نتائج من خلال توظيف المعلومات التي لديك.
- غيّر توقعاتك حينما تقرأ معلومات جديدة.

بعدما قرأت

اقرأ الخلاصة وأجب عن الأسئله لتقويم مدى فهمك لما درسته.

المحيط تدفع الصفيحة المحيطية نحو الأخدود عند نطاق الطرح، بعملية تُسمى **الدفع عند ظهر المحيط ridge push**.

أما العملية الثانية المهمة التي تسبب حركة الصفائح الأرضية فتسمى **سحب الصفيحة slab pull**؛ إذ يؤدي وزن الجزء الغاطس من الصفيحة إلى سحب الجزء المتبقي منها نحو نطاق الطرح. ومن المرجح أن مجموع هذه الآليات هي التي تؤدي إلى حركة الصفائح عند أنطقة الطرح.

التقويم 3–1

الخلاصة

- تقسم القشرة الأرضية والجزء العلوي الصلب من الوشاح العلوي إلى قطع صخرية ضخمة تسمى الصفائح الأرضية.
- تتحرك الصفائح الأرضية بسرعات وباتجاهات مختلفة على سطح الأرض.
- تتباعد الصفائح الأرضية بعضها عن بعض عند الحدود المتباعدة، وتتقارب بعضها من بعض عند الحدود المتقاربة، وتتحرك بمحاذاة بعضها بعضًا عند الحدود التحويلية (الجانبية).
- يتميز كل نوع من حدود الصفائح بمعالم جيولوجية محددة.
- الحمل الحراري هو نقل الطاقة عبر حركة المواد الساخنة.
- ينتج من تيارات الحمل نقل الطاقة الحرارية في الوشاح من باطن الأرض الساخن إلى سطحها الخارجي البارد.
- تنتج حركة الصفائح الأرضية بفعل عمليتي الدفع عند ظهر المحيط وسحب الصفيحة.

فهم الأفكار الرئيسية

1. **اكتب** صف كيف تتشكل معالم الأرض الرئيسة بفعل حركة الصفائح الأرضية وعلاقتها بتيارات الحمل في الوشاح.
2. **لخص** عمليات تقارب الصفائح الأرضية التي شكّلت جبال الهملايا.
3. **اعمل** قائمة بالمعالم الجيولوجية المرافقة لكل نوع من حدود الصفائح المتقاربة.
4. **حدّد** المعلم الجيولوجي الذي يوجد به معظم الحدود التحويلية.
5. **أعد التأكيد** على العلاقات بين كل من تيارات الحمل وظهور المحيطات وأنطقة الطرح.
6. **صمم** نموذجًا يوضح العمليات التكتونية لكل من الدفع عند ظهر المحيط وسحب الصفيحة.

التفكير الناقد

7. **اختر** أنواع حدود الصفائح الثلاث التي في الشكل 16–1، وتوقع ما يحدث عند كل حد منها بعد مرور فترة من الزمن؟
8. **صف** كيف تتحرك قطعتان لقشرة محيطية جديدة بين جزأين من ظهر المحيط ثم إزاحتهما بصدوع التحويل؟
9. **قوّم** الجملة الآتية: تحرك تيارات الحمل القشرة المحيطية فقط.
10. **لخص** كيف تعد تيارات الحمل مسؤولة عن ترتيب القارات على سطح الأرض؟

الكتابة في الجيولوجيا

11. **اكتب** تقريرًا إخباريًا حول تأثير البحر الأحمر بحركة الصفائح الأرضية.

31

يتضمن كل جزء من الفصل أسئلة وخلاصة. حيث تقدم الخلاصة مراجعة للمفاهيم الرئيسة، بينما تختبر الأسئلة فهمك لما درسته.

الفصل 1 مراجعة

اختبار مقنن

اختيار من متعدد

استعمل الشكل الآتي للإجابة عن السؤال 1:

1. ما العملية التي يمثلها الشكل أعلاه؟
   a. تباعد قاري–قاري. c. تباعد محيطي–قاري.
   b. طرح قاري–قاري. d. طرح محيطي–قاري.

استعمل الشكل أدناه للإجابة عن السؤالين 2 و 3.

2. ما نوع حد الصفيحة الذي يظهر في الشكل أعلاه؟
   a. ظهر محيط. c. حد قاري – قاري.
   b. حد تحويلي. d. حد محيطي – قاري.
3. ما الخاصية التي تشكل على امتداد هذا النوع من الحدود؟
   a. أنطقة طرح. c. أخاديد محيطية.
   b. أقواس الجزر. d. جبال تحتوي على طيات.
4. ما الدليل على انجراف القارات الذي يُستعمله فاجر في دعم فرضيته؟
   a. طبقات الفحم في أمريكا.
   b. أحافير الحيوانات التي تعيش على اليابسة.
   c. رسوبيات جليدية.
   d. بيانات المغناطيسية القديمة.
5. ما اسم العملية التي تُخلق عمل إنتاج قاع محيط جديد باستمرار؟
   a. انجراف القارات. c. التقع الساخنة.
   b. توسع قاع المحيط. d. الطرح.
6. يؤدي وزن الصفيحة الغاطسة إلى جرّ طرفها إلى نطاق الطرح. ما اسم هذه العملية؟
   a. السحب عند ظهر المحيط.
   b. الدفع عند ظهر المحيط.
   c. سحب الصفيحة.
   d. دفع الصفيحة.
7. من المعالم التي لا توجد عند الحدود المتقاربة:
   a. ظهر المحيط. c. سلسلة جبال مطوية.
   b. أخدود بحري عميق. d. قوس جزر بركاني.
8. تؤدي عملية طرح صفيحة محيطية تحت صفيحة أخرى إلى تكوّن:
   a. أخدود بحري عميق. c. حفرة انهدام.
   b. انقلاب مغناطيسي. d. قشرة محيطية جديدة.

أسئلة الإجابات القصيرة

9. كيف تسبب تيارات الحمل في حركة الصفائح؟

استعمل الشكل أدناه في الإجابة عن الأسئلة 10–12

10. صف ما تم نمذجته في الشكل أعلاه، ثم حدد كيف يؤثر في حركة الصفائح؟
11. هل يمكن أن تحدث هذه العمليات في الجزء الصلب من وشاح الأرض؟

38

في نهاية كل فصل أسئلة تقويم الفصل، فضلًا عن أسئلة الاختبارات المقننة.

طرائق أخرى للمراجعة

- حدّد الفكرة العامة.
- اربط الفكرة الرئيسية مع الفكرة العامة.
- استعمل كلماتك الخاصة لتوضيح ما قرأت.
- وظّف المعلومات التي تعلمتها في المنزل، أو في موضوعات أخرى تدرسها.
- حدد المصادر التي يمكن أن تستخدمها للبحث عن مزيد من المعلومات حول الموضوع.

الفصل 1 الصفائح الأرضية Plate Tectonics

الفكرة العامة تحدث معظم الأنشطة الجيولوجية عند حدود الصفائح.

1–1 انجراف القارات

الفكرة الرئيسية تدل جيولوجية القارات وأشكالها على أنها كانت متصلة معًا يومًا ما.

1–2 توسع قاع المحيط

الفكرة الرئيسية تتكوّن القشرة المحيطية عند ظهور المحيطات وتصبح جزءًا من قيعانها.

1–3 حدود الصفائح وسبب حركتها

الفكرة الرئيسية تتكون كل من الجبال والبراكين والأخاديد البحرية بين حدود الصفائح وتؤدي تيارات الحمل في الوشاح إلى حركة الصفائح الأرضية.

حقائق جيولوجية

- نشأ البحر الأحمر نتيجة انفصال الجزيرة العربية عن إفريقيا قبل 27 مليون سنة تقريبًا.
- أظهرت نتائج صور الأقمار الاصطناعية أن قاع البحر الأحمر يتوسع بمعدل 2 cm سنويًّا تقريباً، لذا يطلق الجيولوجيون عليه بالمحيط الصغير، ويتوقع أن يصبح قاعه محيطًا حقيقيًّا في المستقبل.
- توجد الصفيحة العربية، في هذه الصورة، على يمين البحر الأحمر، وصفيحة إفريقيا على يساره.

تجربة استهلالية

هل تتحرك مدينة جدة؟

كانت الجزيرة العربية جزءًا من قارة إفريقيا إلى أن حدث شق عظيم بينهما يُدعى حفرة الانهدام. وأخذ هذا الشق يتوسع ببطء، ثم اندفعت فيه المياه من خليج عدن حتى تكوّن البحر الأحمر وخليجَا العقبة والسويس، واستمر البحر بالتوسع بمعدل 2 cm كل عام، وهذا يعني أن مدينة جدة تبتعد أكثر فأكثر عن شرق إفريقيا وتتحرك في اتجاه الشمال الشرقي.

الخطوات

1. اقرأ نموذج السلامة في المختبر.
2. حدّد المسافة الفعلية بين مدينتي جدة في المملكة العربية السعودية ومدينة بورسودان في جمهورية السودان، وبين مدينتي جدة ومكة المكرمة **باستعمال المسطرة المترية ومقياس رسم الخريطة**.
3. احسب تغير المسافة بين مدينتي جدة وبورسودان، وبين مدينتي جدة ومكة المكرمة بعد 50 مليون سنة، مع افتراض أن البحر الأحمر يتوسع بالمعدل نفسه على طول الخط الواصل بين مدينتي جدة وبورسودان.

التحليل

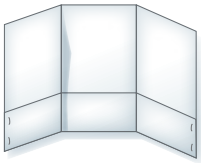
1. **استنتج** ما القوى التي أدت إلى ابتعاد قارة إفريقيا عن شبه الجزيرة العربية؟
2. **احسب** المدة الزمنية التي يستغرقها البحر الأحمر ليزداد عرضه 100 km عن عرضه الحالي، لو كان معدل توسعه 2 cm في العام الواحد.

المطويات
منظمات الأفكار

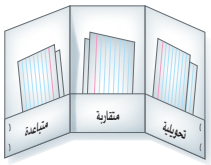
حدود الصفائح

اعمل المطوية الآتية للمقارنة بين أنواع حدود الصفائح والمعالم الجيولوجية المرتبطة معها.

الخطوة 1 اثن الطرف السفلي للورقة طوليًا بمقدار 3 cm، ثم اضغط بقوة على الجزء المطوي إلى أعلى.



الخطوة 2 اثن الورقة إلى ثلاثة أجزاء متساوية.



الخطوة 3 ألصق الجزء المثني من الورقة من الجوانب لعمل ثلاثة جيوب، وعنونها على النحو الآتي: متباعدة، متقاربة، تحويلية.

استعمل هذه المطوية في أثناء دراسة القسم 3–1، لخص الخصائص الجيولوجية لأنواع حدود الصفائح الثلاث والعمليات المرافقة لها على بطاقات معنونة وضعها في الجيوب المناسبة لها.

جيولوجيا عبر المواقع الإلكترونية

لمراجعة محتوى هذا الفصل ونشاطاته ارجع إلى الموقع
www.obeikaneducation.com

1-1

الأهداف

- **تتعرّف** الأدلة التي جعلت العالم فاجنر يقترح أن القارات قد تحركت.
- **تناقش** كيف دعم دليل المناخ القديم فرضية انجراف القارات.
- **توضح** لماذا لم تحظ فرضية انجراف القارات بالقبول منذ البداية.

مراجعة المفردات

الفرضية : تفسير لموقفٍ ما قابل للاختبار.

المفردات الجديدة

الانجراف القاري

بانجايا

انجراف القارات
Drifting Continents

الفكرة الرئيسية **تدل جيولوجية القارات وأشكالها على أنها كانت متصلة معًا يومًا ما.**

الربط مع الحياة ما خصائص القطع التي تستعملها في لعبة تركيب القطع المتداخلة؟ يستعمل العلماء خصائص – منها الشكل والموقع – لكي تساعدهم على معرفة كيف ترتبت حافات القارات المتطابقة قبل ملايين السنين.

الملاحظات القديمة Early observation

باستثناء الأحداث المفاجئة كالزلازل والبراكين والانزلاقات الأرضية، فإن معظم معالم سطح الأرض لا تظهر تغيرًا نسبيًّا في أثناء حياة الإنسان، ومع ذلك فإن الأرض مرت بتغيرات كثيرة عبر تاريخها الطويل الموثق في سلم الزمن الجيولوجي. وأول من اقترح فكرة تغير المعالم الرئيسية للأرض هم رسامو الخرائط. ففي نهاية القرن الخامس عشر لاحظ رسام الخرائط الهولندي إبراهام أورتيليوس تطابقًا بين حافات القارات على جانبي المحيط الأطلسي، فاقترح أن القارتين الأمريكيتين الشمالية والجنوبية قد انفصلتا عن قارتي إفريقيا وأوروبا بسبب الزلازل والفيضانات، وقد لاحظ العديد من العلماء وجود تطابق بين الحافات القارية، ويوضح **الشكل 1–1** خريطة أعدّها رسامو الخرائط في القرن التاسع عشر.

وكان أول من اقترح فكرة حركة القارات العالم الألماني "ألفرد فاجنر" "Alfred Wagener" في فرضيته العلمية التي قدمها عام 1912م إلى الأوساط العلمية آنذاك.

ماذا قرأت؟ استنتج ما الذي جعل رسامي الخرائط من أوائل الذين اقترحوا أن القارات كانت مجتمعة معًا يومًا ما.

القارات بعد الانفصال

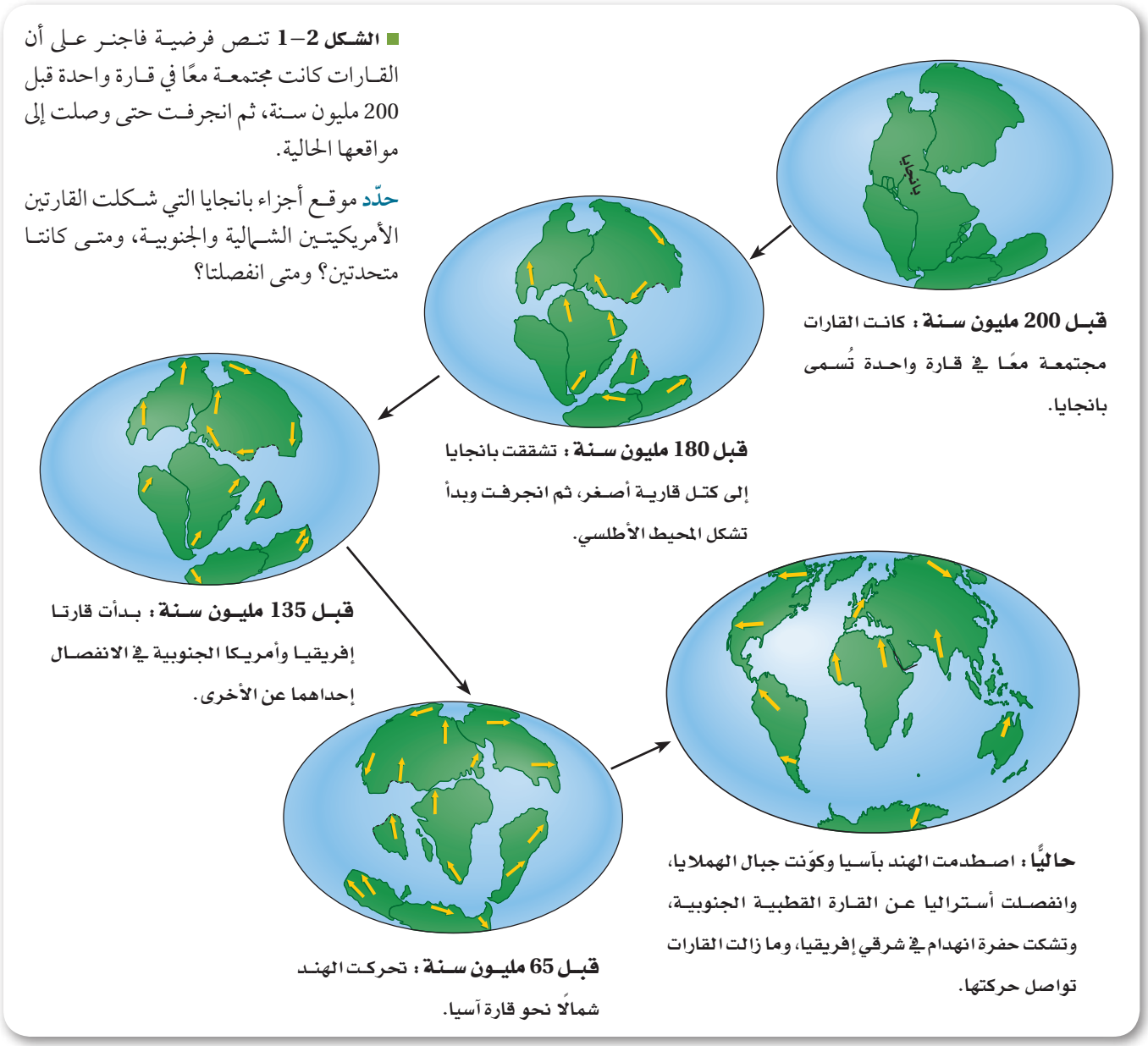
القارات قبل الانفصال

الشكل 1–1 خريطتان تظهران التطابق الظاهري بين حواف القارات، أعدّهما رسامو الخرائط القدماء عام 1858م، بناءً على ملاحظاتهم.

الانجراف القاري Continental Drift

طـوّر العالم فاجنر فكرة تُسـمى **الانجراف القـاري continental drift** ، مفادها أن القـارات كانت مجتمعة معًا في قارة واحدة ضخمة (القارة الأم أو الأصل) أُطلق عليها **بانجايـا Pangaea**، وهي كلمة من أصل إغريقي تعني جميع اليابسـة، واقترح أن هذه القارة بدأت في الانقسـام قبل 200 مليون سـنة، وانفصل بعضها عن بعض إلى أجزاء، ثم انجرفت هذه الأجزاء، واستمرت في الحركة ببطء حتى وصلت إلى مواقعها الحالية، كما في **الشكل 2–1**.

يُعد ألفرد فاجنر أول عالم قدَّم أكثر من دليل على تطابق شواطئ القارات على جانبي المحيط الأطلسي، وقد جمع أدلة أخرى لدعم فكرته، وهي أدلة صخرية ومناخية وأحفورية.



■ **الشكل 2–1** تنص فرضية فاجنر على أن القارات كانت مجتمعة معًا في قارة واحدة قبل 200 مليون سنة، ثم انجرفت حتى وصلت إلى مواقعها الحالية.

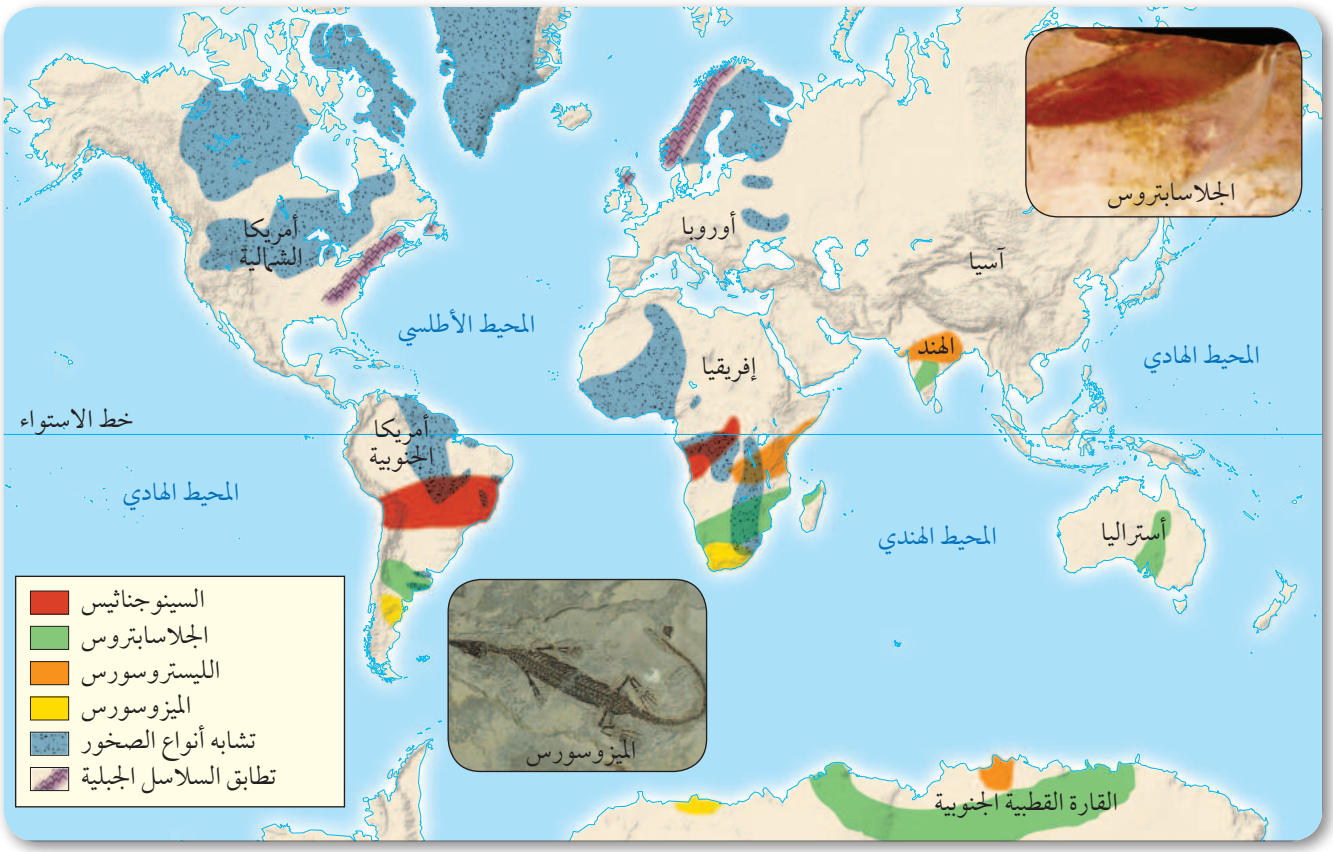
حدّد موقع أجزاء بانجايا التي شكلت القارتين الأمريكيتين الشمالية والجنوبية، ومتى كانتا متحدتين؟ ومتى انفصلتا؟

دليل من التكوينات الصخرية Evidence from rock formation بيّن فاجنر أنه عندما بدأت بانجايا في الانقسام إلى أجزاء أصغر، تكسرت تراكيب جيولوجية ضخمة مثل السلاسل الجبلية، بسبب انفصال القارات وابتعاد بعضها عن بعض. وبناءً على ذلك اعتقد فاجنر أنه لابد من وجود تشابه في أنواع الصخور على جانبي المحيط الأطلسي، وقد لاحظ وجود تشابه بين العديد من الطبقات الصخرية التي يزيد عمرها على 200 مليون سنة في جبال الأبلاش في أمريكا الشمالية مع الطبقات الصخرية للجبال الموجودة في جرينلاند وأوروبا، مما يدعم فكرته أن القارات كانت مجتمعة معًا قبل 200 مليون سنة، ويوضح **الشكل 3–1** المواقع التي تتشابه عندها مجموعات الصخور المشار إليها.

دليل من الأحافير Evidence from fossils جمع فاجنر أدلة أحفورية يثبت فيها وجود قارة بانجايا في وقت ما، حيث عثر على أحافير لأنواع مختلفة من الحيوانات والنباتات كانت تعيش على اليابسة وتنتشر انتشارًا واسعًا في القارات، كما في **الشكل 3–1**، واستطاع أن يبرهن على صحة فرضيته من خلال مجموعة من هذه الأحافير، مثل أحفورة الميزوسورس، وهو نوع من الزواحف كان يعيش في المياه العذبة فقط وغير قادر على السباحة مسافات طويلة في مياه المحيط المالحة، مما يؤكد أن القارات كانت متصلة معًا في زمن حياة هذا المخلوق الحي، كما أن أعمار هذه الأحافير أكبر من المدة الزمنية التي حدّدها فاجنر لانقسام بانجايا وانجراف أجزائها، ولذلك استطاع أن يبرهن على صحة فرضيته.

■ **الشكل 3–1** استعمل ألفرد فاجنر التشابه في أنواع الصخور والأحافير على جانبي المحيط الأطلسي دليلاً على أن القارات كانت مجتمعة معًا يومًا ما.

حدّد المجموعات التي تثبت أن القارات كانت تشكل قارة واحدة يومًا ما.

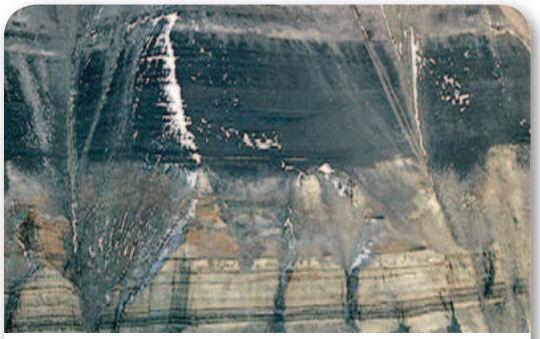


الدليل المناخي Climatic evidence استطاع العالم فاجنر أن يحدد المناخات القديمة من خلال دراسة الأحافير، ومن الأحافير التي استعملت لدعم فرضية انجراف القارات أحفورة جلاسابتروس، وهي أحفورة لنبات سرخسي بذري يشبه الشجيرات الصغيرة؛ وقد عُثر عليها في أماكن متعددة، منها أمريكا الجنوبية والقارة القطبية الجنوبية والهند، انظر **الشكل 3–1**، وقد فسر فاجنر هذا الدليل على النحو الآتي: لأن هذه الأحفورة موجودة في الوقت الحاضر في أماكن منفصلة بعضها عن بعض ومتباعدة جدًّا يصعب أن يسود فيها مناخ واحد، ولأن نبات هذه الأحفورة تعيش في مناخ معتدل، والأماكن التي وجدت فيها أحافير هذا النبات قريبة من خط الاستواء، لذا استنتج فاجنر من ذلك كله أن صخور هذه الأماكن التي تحوي أحفورة هذا النبات لابد أنها كانت متصلة معًا يومًا ما.

ماذا قرأت؟ استنتج كيف ساعدت خلفية فاجنر العلمية في الأرصاد الجوية على دعم فكرته حول انجراف القارات؟

توضعات الفحم الحجري Coal deposits توفر الصخور الرسوبية، أدلة على البيئة والمناخ القديمين. وقد وجد العالم فاجنر أدلة في هذه الصخور تثبت بوضوح أن المناخ قد تغير في بعض القارات، فقد وجدت توضعات من الفحم الحجري في القارة القطبية الجنوبية، انظر **الشكل 4–1**. ولمّا كان الفحم الحجري قد تكون نتيجة تراكم نباتات ميتة قديمة في مستنقعات المناطق الاستوائية، لذا فقد اعتبر فاجنر أن وجود طبقة من الفحم الحجري في القارة القطبية الجنوبية يدل دلالة قطعية على أن القارة القطبية الجنوبية كانت تقع على خط الاستواء أو قريبة منه في الزمن الماضي.

الترسبات الجليدية Glacial deposits تُعدُّ الترسبات الجليدية التي وُجدت في أجزاء من إفريقيا والهند وأستراليا وأمريكا الجنوبية، التي يعود عمرها إلى 290 مليون سنة دليلاً مناخيًّا آخر على انجراف القارات، مما جعل فاجنر يقترح أن هذه المناطق كانت ذات يوم مغطاة بغطاء سميك من الجليد، كما هو الحال في القطب الجنوبي اليوم؛ إذ لا يمكن لمناطق دافئة جدًّا أن تتشكل فيها أغطية جليدية، مما يؤكد أنها كانت في موقع قريب من القطب الجنوبي في ذلك الوقت، انظر **الشكل 5–1**. وقد اقترح فاجنر احتمالين لتفسير الترسبات الجليدية؛ الأول: أن القطب الجنوبي قد غيّر موقعه، والثاني: أن هذه القارات كانت في موقع القطب الجنوبي وغيّرت مواقعها. وقد رجَّح فاجنر الاحتمال الثاني، وهو أن القارات هي التي جرفت بعيدًا وليس محور الأرض هو الذي غيّر موقعه.



الشكل 4–1 يدل وجود ترسبات الفحم الحجري في القارة القطبية المتجمدة على أن نباتات المستنقعات قد ازدهرت في هذه المنطقة يومًا ما.

وضح كيف أن الفحم الحجري الذي تكون في المستنقعات القديمة وجد في القارة القطبية الجنوبية.

الشكل 5–1 إن وجود الترسبات الجليدية التي يعود عمرها إلى 300 مليون سنة تقريبًا في عدة قارات، جعلت فاجنر يقترح أن هذه القارات كانت مجتمعة معًا ومغطاة بالجليد في ذلك الوقت. ويبين اللون الأبيض المنطقة المغطاة بالجليد.

فكرة مرفوضة A Rejected Notion

كانت الفكرة السائدة في المجتمع العلمي في مطلع القرن العشرين أن قيعان المحيطات والقارات هي معالم ثابتة لا تتغير مع الزمن، مما جعل فاجنر يواصل رحلاته والسفر إلى مناطق نائية لجمع المزيد من الأدلة لدعم فكرته، ويوضح **الشكل 6–1** صورة له في رحلته الأخيرة إلى جرينلاند، وعلى الرغم من أنه حصل على مجموعة قيّمة من البيانات، إلا أن فكرة الانجراف القاري لم تُقبل في المجتمع العلمي آنذاك.

واجهت فرضية الانجراف القاري مشكلتين رئيستين حالتا دون قبولها:

أولاً: لم توضح على نحو مقنع القوة التي يتطلبها دفع الكتل الكبيرة من القارات ونقلها مسافات بعيدة. وقد أفاد فاجنر أن دوران الأرض حول نفسها قد يكون هو القوة المسؤولة عن ذلك حسب اعتقاده، غير أن الفيزيائيين بينوا أن هذه القوة غير كافية لتحريك القارات.

ثانيًا: تساؤل العلماء عن آلية حركة القارات. حيث اقترح فاجنر أن القارات تحركت فوق قيعان المحيطات الثابتة، وكان يعتقد في ذلك الوقت أن وشاح الأرض الذي يقع أسفل القشرة الأرضية صلب، فكيف تتحرك القارات عبر شيء صلب؟

وبسبب عجز فرضية انجراف القارات في الرد على هذين السببين فقد رُفضت في ذلك الوقت، غير أن التقنية الجديدة منذ مطلع الستينات كشفت عن المزيد من الأدلة حول كيفية حركة القارات، مما جعل العلماء يعيدون النظر في أفكار فاجنر؛ فقد أدّى إعداد الخرائط المتطورة لقيعان المحيطات وفهم المجال المغناطيسي للأرض إلى تقديم أدلة جوهرية حول آلية حركة القارات ومصدر القوى المحرّكة لها.

الشكل 6–1 جمع فاجنر المزيد من الأدلة لدعم نظريته في رحلة استكشافية عام 1930م إلى جرينلاند، وتوفي في أثناء هذه الرحلة، غير أن هذه البيانات التي جمعها أصبحت تشكل أساسًا لنظرية الصفائح الأرضية بعد سنوات عديدة.

التقويم 1–1

الخلاصة

- يوحي تطابق شواطئ القارات على جانبي المحيط الأطلسي بأن القارات كانت مجتمعة معًا يومًا ما.
- الانجراف القاري فكرة وُضعت في بداية القرن الماضي، تنص على أن القارات تتحرك على سطح الأرض.
- جمع العالم فاجنر أدلة من الصخور والأحافير والمناخات القديمة لدعم فرضيته.
- لم تقبل فكرة الانجراف القاري لأنها لم تقدم تفسيرًا حول كيفية حركة القارات وما يسبب حركتها.

فهم الأفكار الرئيسية

1. **الفكرة الرئيسية** **ارسم** كيف كانت القارات مجتمعة معًا في قارة بانجايا؟
2. **وضّح** كيف تدعم الرسوبيات الجليدية القديمة الموجودة في إفريقيا والهند وأستراليا والقارة القطبية الجنوبية فكرة الانجراف القاري.
3. **لخص** كيف تزودنا كل من الصخور والأحافير والمناخ القديم بأدلة على الانجراف القاري.
4. **استنتج** المناخ القديم في أمريكا الشمالية عندما كانت جزءًا من قارة بانجايا.

التفكير الناقد

5. **فسّر** انظر **الشكل 5–1**، لقد اكتشفت ترسبات نفطية في البرازيل عمرها 200 مليون سنة تقريبًا. فأين يمكن أن يعثر الجيولوجيون على ترسبات نفطية لها العمر نفسه؟
6. **قوّم** الجملة الآتية: "موقع المدينة التي أسكنها ثابت لا يتغير".

الكتابة في الجيولوجيا

7. اكتب رسالة على لسان عالم عاش في بداية القرن العشرين إلى مجلة علمية يتبنى فيها رفض فرضية الانجراف القاري.

1-2

الأهداف

- **تلخص** الأدلة التي أدت إلى اكتشاف توسع قاع المحيط.
- **توضح** أهمية الأنماط المغناطيسية في قاع المحيط.
- **توضح** عملية توسع قاع المحيط.

مراجعة المفردات

البازلت: صخر ناري سطحي ناعم الحبيبات لونه رمادي داكن إلى أسود.

المفردات الجديدة

جهاز قياس المغناطيسية

الانقلاب المغناطيسي

المغناطيسية القديمة

تساوي العمر

توسع قاع المحيط

توسع قاع المحيط
Seafloor Spreading

الفكرة الرئيسية **تتكون القشرة المحيطية عند ظهور المحيطات وتصبح جزءًا من قاع المحيط.**

الربط مع الحياة هل عددت ذات مرة الحلقات السنوية في جذع شجرة لمعرفة عمرها؟ يستطيع العلماء تقدير عمر قاع المحيط من خلال دراسة أنماط مشابهة.

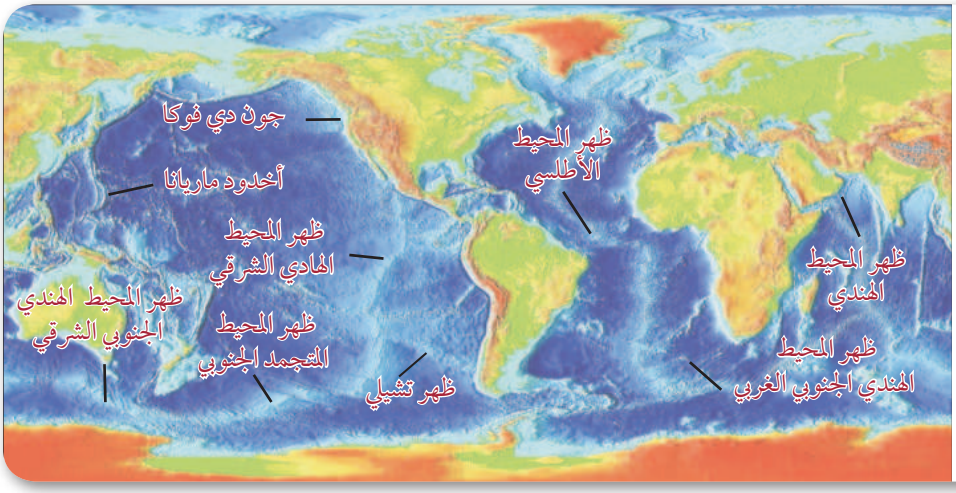
رسم خرائط لقاع المحيط Mapping the Ocean Floor

اعتقد معظم الناس والعديد من العلماء حتى منتصف القرن الماضي أن سطح قاع المحيطات عمومًا مستو، كما كانت تسيطر عليهم مفاهيم خاطئة حول القشرة المحيطية بأنها لا تتغير، وهي أقدم عمرًا من القشرة القارية. بَيْدَ أن التقدم في التقنية في الأربعينات والخمسينات من القرن الماضي أظهر أن جميع هذه الأفكار، التي كانت مقبولة على نطاق واسع، غير صحيحة.

ويعد **جهاز قياس المغناطيسية magnetometer** إحدى التقنيات المتقدمة؛ فقد استُعمل لدراسة قاع المحيط، انظر **الشكل 7–1**، وهو جهاز صغير يُستعمل للكشف عن التغيرات الطفيفة في المجالات المغناطيسية، ويتم وصله خلف السفينة لتسجيل المجالات المغناطيسية الأرضية الناجمة عن صخور قاع المحيط. وسوف تتعلم المزيد عن المغناطيسية، وكيف أنها دعمت فرضية الانجراف القاري، في وقت لاحق في هذا القسم.

وهناك تطور آخر أتاح للعلماء دراسة قاع المحيط بقدر كبير من التفصيل، هو تطوير طرائق السبر الصوتي. ومن الأدوات المستعملة في ذلك السونار، وهو جهاز يستعمل الموجات الصوتية لتحديد المسافات عن طريق قياس الزمن الذي تستغرقه هذه الموجات المرسلة من السفينة إلى قاع البحر وارتدادها عنه ثم عودتها إلى السفينة، وقد مكّنت التطورات في مجال تقنية السونار العلماء من قياس عمق المياه، ثم رسم خريطة لتضاريس قاع المحيطات.

الشكل 7–1 يُستعمل جهاز قياس المغناطيسية للكشف عن التغيرات الطفيفة في المجالات المغناطيسية. وقد عززت البيانات التي تم جمعها باستعمال هذا الجهاز فهم العلماء للصخور الموجودة أسفل قاع المحيط.



■ **الشكل 8–1** كشفت البيانات المسجلة بالسونار وجود ظهور المحيطات، والأخاديد البحرية العميقة، حيث يكثر على امتدادهما الزلازل والبراكين.

تضاريس قاع المحيط Ocean-Floor Topography

أدهشت الخرائط التي رُسمت باستعمال بيانات جهازي قياس المغناطيسية والسونار العلماء، وساعدتهم على اكتشاف أن للمحيطات تضاريس كما لليابسة، انظر **الشكل 8–1**، الذي يبين تضاريس المحيطات الرئيسة، ومن أهم هذه التضاريس التي أثارت فضول العلماء سلسلة جبلية ضخمة تحت الماء تمتد على طول قيعان المحيطات في جميع أنحاء الأرض، أطلقوا عليها اسم ظهر المحيط، وهي أطول سلسلة جبلية على كوكب الأرض، إذ يصل طولها إلى 80,000 km، وارتفاعها 3 km فوق قاع المحيط، واكتشفوا فيما بعد أن الزلازل والبراكين تحدث على امتدادها بصورة مستمرة.

ماذا قرأت؟ صف أين توجد أطول سلسلة جبلية على الأرض؟

كما كشفت خرائط السونار تضاريس أخرى تحت سطح الماء، وهي عبارة عن أخاديد ضيقة عميقة تمتد طوليًّا في قاع البحر آلاف الكيلومترات تسمى الأخاديد البحرية، انظر **الشكل 8–1**، ويعد أخدود ماريانا في المحيط الهادي أعمق أخدود بحري؛ إذ يزيد عمقه على 11 km. فلو وضعنا جبل إفرست وهو أعلى جبل في العالم حيث يبلغ ارتفاعه 9 km فوق مستوى سطح البحر في هذا الأخدود بالإضافة إلى ما يساوي ارتفاع برج دبي مرتين ونصفًا فسوف نصل إلى مستوى سطح البحر.

احتار علماء الجيولوجيا بعد اكتشافهم لهذين المعلمين من تضاريس المحيطات مدة تزيد على عقدين من الزمان، وهذان المعلمان هما: ظهور المحيطات، والأخاديد البحرية، فبرزت جملة من التساؤلات، منها: كيف تشكلت سلسلة الجبال تحت الماء التي تمتد حول الأرض؟ وما مصدر البراكين المرتبطة مع هذه الجبال؟ وما القوى المؤثرة التي جعلت قشرة الأرض تنخفض إلى عمق 11 km في بعض المناطق؟ سوف تجد الإجابة عن هذه الأسئلة لاحقًا في هذا الفصل.

المفردات

مفردة أكاديمية

الأخدود

منطقة منخفضة عند حدود الصفائح تنتج عن إنزلاق صفيحة تحت صفيحة أخرى.

المعنى اللغوي: شق مستطيل في الأرض.

صخور ورسوبيات المحيطات
Ocean Rock and Sediments

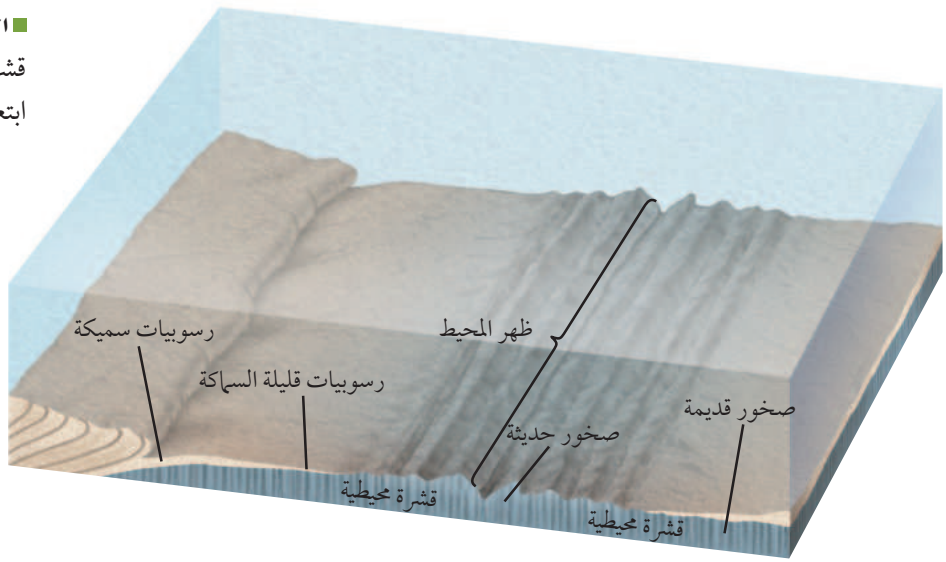
لم يكتفِ العلماء برسم خرائط لقاع المحيط، بل قاموا بجمع عينات من صخور قاع المحيط ورسوبياته وحلّلوها، وتوصلوا إلى اكتشافات مهمة، منها **الاكتشاف الأول**: اختلاف أعمار الصخور عبر قاع المحيط وفق نمط معين يمكن توقعه، حيث تزداد أعمار صخور القشرة المحيطية كلما ابتعدنا عن ظهر المحيط نحو القارات، وبصورة متناظرة على جانبيه، انظر **الشكل 9–1**، كما اكتشف العلماء أن أقدم صخور قاع المحيط لا يزيد عمرها على 180 مليون سنة تقريبًا، وهو عمر قصير مقارنة بعمر أقدم صخور القشرة القارية الذي لا يقل عن 3.5 مليارات سنة. فلماذا تعد صخور قشرة المحيط أقل عمرًا مقارنة بعمر صخور القشرة القارية؟ كما أن الجيولوجيين يعرفون أن المحيطات كانت موجودة قبل 180 مليون سنة، مما دفعهم إلى التساؤل: لماذا لا يوجد أثر للقشرة المحيطية التي يزيد عمرها على 180 مليون سنة؟

أما الاكتشاف الثاني: يتعلق برواسب قاع المحيط؛ إذ تشير القياسات أن سمك رسوبيات المحيطات يصل إلى بضع مئات من الأمتار عادة، بينما سمك الصخور الرسوبية التي تغطي مساحات واسعة من القارات يصل إلى 20 كيلومترًا. وعلى الرغم من أن العلماء يعرفون أن المحيطات تتعرض لعمليتي الحت والترسيب، إلا أنهم لم يعرفوا لماذا يقل سمك رواسب قاع المحيط عن سمك نظيراتها القارية،فأفترضوا أن سمك الرسوبيات مرتبط مع عمر القشرة المحيطية، وهذا ما أيّدته الملاحظات الميدانية؛ إذ يزداد سمك الرواسب مع زيادة البعد عن ظهر المحيط، وبصورة متناظرة على جانبيه، كما في **الشكل 9–1**.

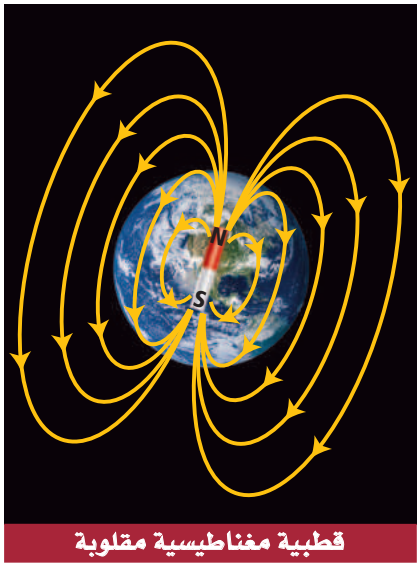
المهن في علم الأرض

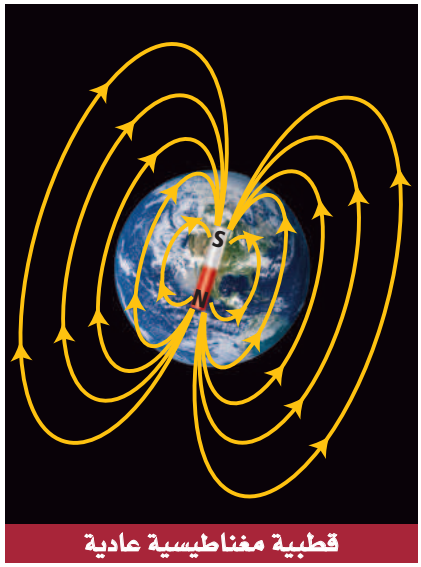
الجيولوجي البحري

يطلق على علماء الجيولوجيا الذين يدرسون قاع المحيط لفهم العمليات الجيولوجية مثل حركة الصفائح الأرضيةَ الجيولوجيون البحريون.



■ **الشكل 9–1** يزداد كل من عمر صخور قشرة المحيط وسمك الرسوبيات كلما ابتعدنا عن ظهر المحيط.





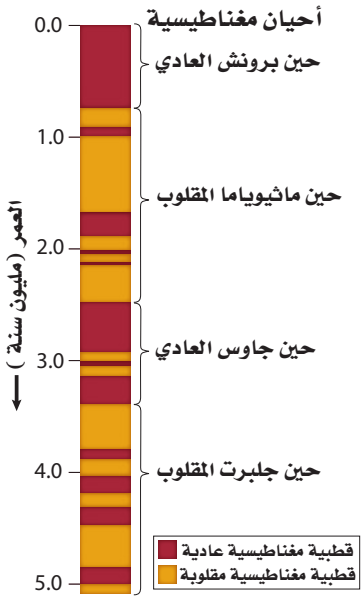
■ **الشكل 10–1** يتولد المجال المغناطيسي للأرض بفعل جريان مصهور الحديد في اللب الخارجي. وتتغير قطبية المجال المغناطيسي للأرض من قطبية مغناطيسية عادية إلى قطبية مغناطيسية مقلوبة.

المغناطيسية Magnetism

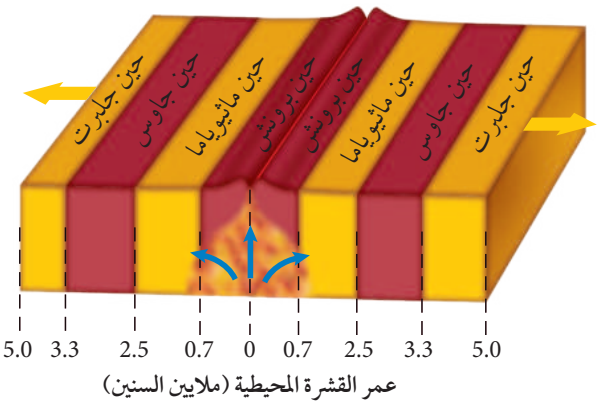
يتولّد المجال المغناطيسي للأرض بفعل جريان مصهور الحديد في اللب الخارجي، وهو الذي يجعل إبرة البوصلة تشير إلى اتجاه الشمال، ويحدث **الانقلاب المغناطيسي magnetic reversal** وهو تغير قطبية المجال المغناطيسي للأرض من عادية إلى مقلوبة ويحدث بسبب تغير اتجاه المجال المغناطيسي الأرضي عندما يتغير اتجاه جريان مصهور الحديد في اللب الخارجي، وعندها تشير البوصلات إلى اتجاه الجنوب. وقد حدث ذلك في تاريخ الأرض مرات عديدة. ويطلق على قطبية المجال المغناطيسي قطبية عادية إذا كان اتجاهه في اتجاه المجال المغناطيسي الحالي، وقطبية مقلوبة إذا كان اتجاهه عكس اتجاه المجال المغناطيسي الحالي، انظر **الشكل 10–1**.

السلم الزمني للقطبية المغناطيسية Magnetic polarity time scale **المغناطيسية القديمة Paleomagnetism** هي دراسة لتاريخ المجال المغناطيسي للأرض، فعندما تتبلور المعادن الحاملة للحديد في اللابة مثل تبلور معدن الماجنتيت فإنها تتصرف في أثناء تبلورها مثل البوصلات الصغيرة، فيتخذ مجالها المغناطيسي اتجاه المجال المغناطيسي للأرض، واستطاع العلماء من بيانات المغناطيسية القديمة التي جمعت من دراسات حمم اللابة القارية، بناء السلم الزمني المغناطيسي، كما في **الشكل 11–1**.

التماثل المغناطيسي Magnetic symmetry لأن معظم القشرة المحيطية تتكون من صخور بازلتية وتحتوي على كميات كبيرة من المعادن الحاملة للحديد بركانية المنشأ، لذا افترض العلماء أن صخور قاع المحيط لا بد أنها تحتفظ بسجلات للانقلابات المغناطيسية. لذا بدأ العلماء في اختبار فرضيتهم باستعمال جهاز قياس المغناطيسية **magnetometer** لقياس اتجاهات المجالات المغناطيسية لصخور قاع المحيط، وحصلوا على نتائج مذهلة، منها وجود سلسلة من أشرطة مغناطيسية ذات قطبية مغناطيسية عادية ومقلوبة بصورة متعاقبة ومتوازية وموازية لظهر المحيط، ولكنهم اندهشوا أكثر عندما اكتشفوا أن أعمار الأشرطة المغناطيسية وعرضها متماثلان على جانبي ظهر المحيط. قارن النمط المغناطيسي على جانبي ظهر المحيط في **الشكل 12–1**.



■ **الشكل 11–1** تتعاقب فترات القطبية المغناطيسية العادية مع فترات القطبية المغناطيسية المقلوبة، وتسمى التغيرات الطويلة في المجال المغناطيسي الأرضي أحيانًا ومفردها حين، والتغيرات القصيرة أحداثًا.



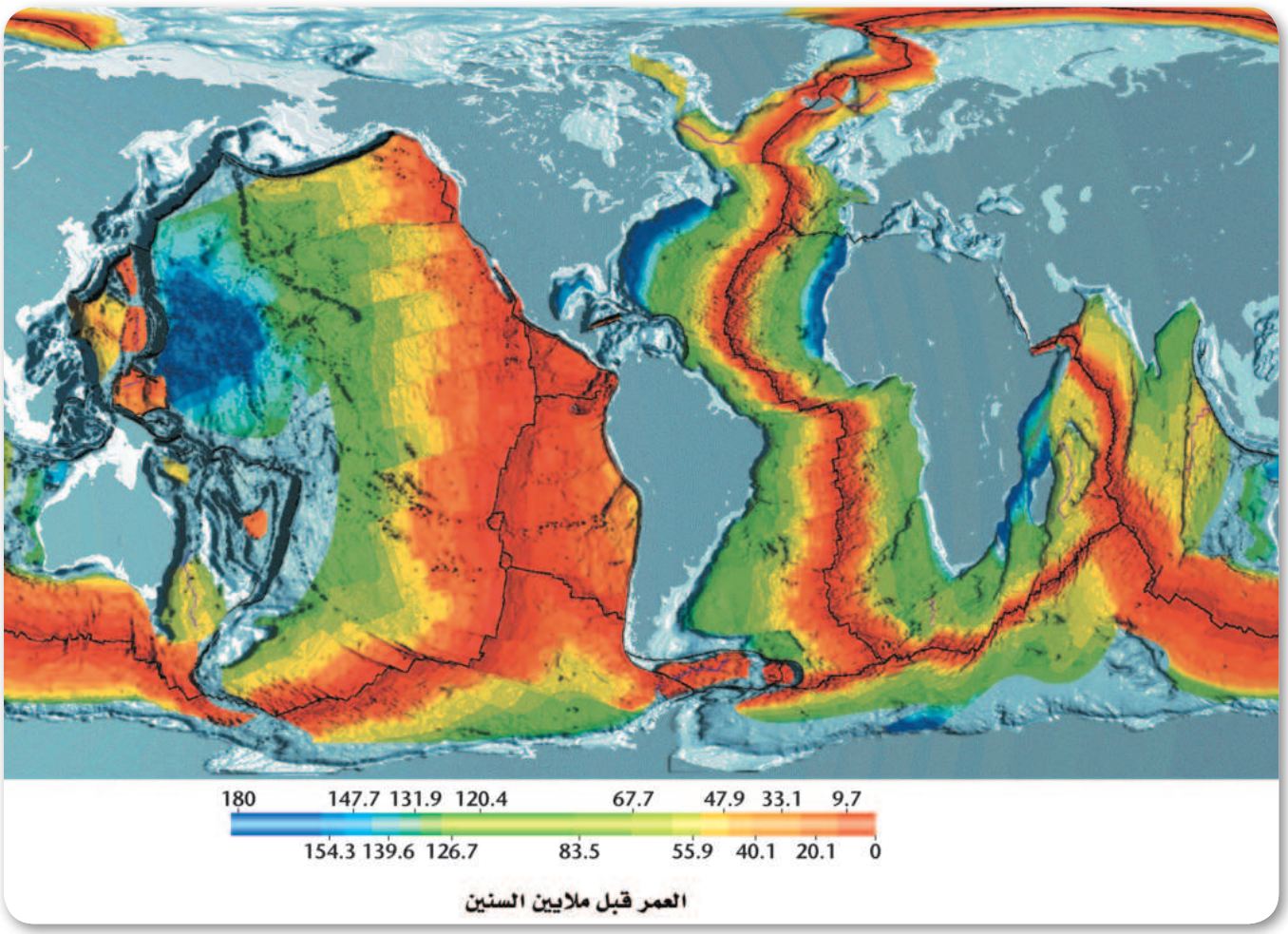
■ **الشكل 12–1** سجلات القطبية العادية والمقلوبة للمجال المغناطيسي الأرضي في صخور قاع المحيط.

حدّد قطبية البازلت المتكون حديثًا في ظهر المحيط.

استطاع العلماء تحديد عمر قاع المحيط من خلال مقارنة الأنماط المغناطيسية المقلوبة في قاع المحيط بمثيلاتها المعروفة على اليابسة. وهذه الطريقة مكّنتهم من إعداد خرائط **تساوي العمر isochron** لجميع قيعان المحيطات بسرعة، كما في **الشكل 13–1**. وخط تساوي العمر عبارة عن خط وهمي على الخريطة يصل بين نقاط لها العمر نفسه. لاحظ أيضًا من الشكل أن القشرة المحيطية الحديثة توجد بالقرب من ظهور المحيطات، في حين أن القشرة المحيطية القديمة تكون على طول الأخاديد البحرية.

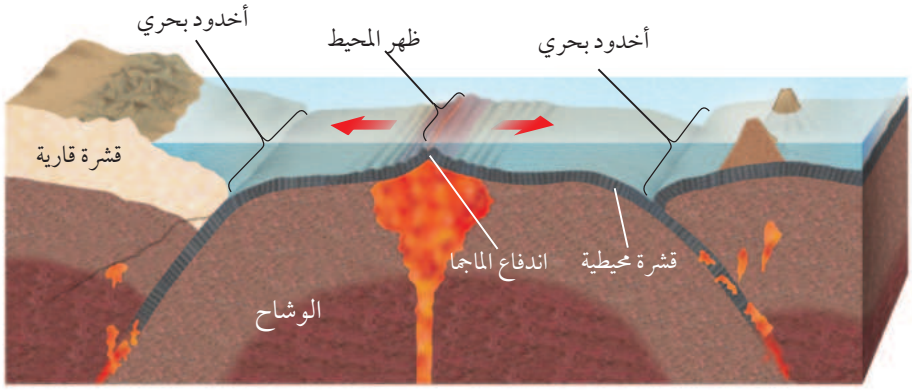
■ **الشكل 13–1** تمثل كل حزمة لونية في خريطة تساوي أعمار قاع المحيط عمر قطاع من قشرة المحيط.

لاحظ. ما النمط الذي تلاحظه في خريطة تساوي العمر؟

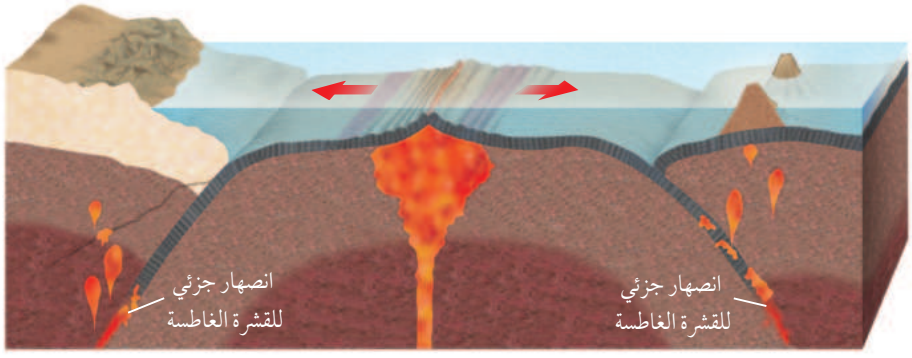


توسع قاع المحيط Seafloor Spreading

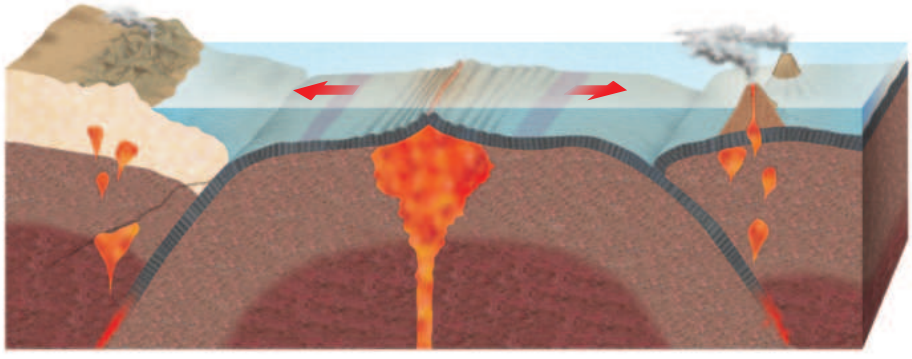
الشكل 14–1 قادت بيانات تضاريس قاع المحيط ورسوبياته ومغناطيسيته القديمة العلماء إلى اقتراح فرضية توسع قاع المحيط. وتوسُّع قاع المحيط عملية تتشكل من خلالها قشرة محيطية جديدة عند ظهور المحيطات، ثم تتحرك هذه القشرة ببطء بعيدًا عن مركز التوسع حتى تُطرح ويعاد تدويرها عند الأخاديد البحرية.



تندفع الماجما إلى قاع المحيط من خلال الفراغات التي تشكلت على امتداد سلسلة ظهر المحيط، وتتصلّب مشكِّلةً قشرة محيطية جديدة.



يؤدي استمرار اندفاع الماجما وتوسع قاع المحيط ببطء إلى تشكل قشرة محيطية جديدة وبشكل متساوٍ على جانبي ظهر المحيط.



تغطس الأطراف البعيدة للقشرة المحيطية التي تشكلت عند ظهر المحيط أسفل القشرة القارية في الوشاح وبسبب وجود المياه داخل المعادن المكونة للصفيحة تقل درجة الانصهار وتنصهر الصفيحة الغاطسة مكونة ماجما جديدة، ثم ترتفع الماجما وتتصلّب داخل القشرة أو على السطح وتصبح جزءًا من القشرة القارية.

توسع قاع المحيط Seafloor Spreading

وضعت فرضية **توسع قاع المحيط seafloor spreading** بناء على بيانات تضاريس قاع المحيط ورسوبياته ومغناطيسيته القديمة، وتنص على أن القشرة المحيطية الجديدة تتشكل عند ظهور المحيطات، وتستهلك عند الأخاديد البحرية. ويوضح **الشكل 14–1** كيف تحدث عملية توسع قاع المحيط. تندفع الماجما إلى أعلى في أثناء توسع قاع المحيط؛ لأنها أسخن وأقل كثافة من الصخور التي حولها، وتملأ الفراغات الناتجة عن ابتعاد جانبي ظهر المحيط أحدهما عن الآخر، وعندما تتصلب الماجما تتشكل قشرة محيطية جديدة تُضاف إلى سطح الأرض. وباستمرار عملية التوسع على طول ظهر المحيط، تندفع ماجما أخرى إلى أعلى وتتصلب. وتؤدي استمرار التوسع واندفاع الماجما إلى استمرار تكون قشرة محيطية، تتحرك ببطء مبتعدة عن ظهر المحيط. وتحدث عملية التوسع في الغالب، تحت سطح البحر. أما في جزيرة أيسلندا- وهي جزء من ظهر المحيط الأطلسي- فيحدث التوسع فوق مستوى سطح البحر، انظر **الشكل 15–1** الذي يبين تدفق اللابة على طول ظهر المحيط. درست سابقًا أن العالم فاجنر جمع العديد من البيانات لدعم فكرة انجراف القارات فوق سطح الأرض، إلا أنه لم يتمكن من تفسير كيف تحركت القارات، وسبب حركتها. لاحظ أن فكرة توسع قاع المحيط هي الحلقة المفقودة التي كان يحتاج إليها لإكمال نموذجه عن انجراف القارات؛ فالقارات لم تندفع فوق قشرة المحيط كما اقترح فاجنر، بل تتحرك القشرة المحيطية ببطء مبتعدة بعضها عن بعض عند ظهور المحيطات ساحبةً معها القارات. وستعرف في القسم التالي كيف أدت فرضية توسع قاع المحيط إلى فهم جديد لكيفية حركة كل من القشرة الأرضية وأعلى الوشاح الصلب كقطعة واحدة.

الشكل 15–1 تقع جزيرة أيسلندا بأكملها على مركز توسع ظهر المحيط الأطلسي؛ لذا يزداد حجمها باستمرار، فمثلاً تدفّق أكثر من $12\ km^3$ من الحمم البركانية في عام 1783م.

وفي عام 2011م حدث فوران لبركان في جنوب شرق أيسلندا مما تسبب في تعطيل الملاحة الجوية في أوروبا.

التقويم 2–1

الخلاصة

- توفر الدراسات التي أجريت لقيعان المحيطات أدلة على أنها ليست مستوية، وأنها تتغير باستمرار.
- القشرة المحيطية صغيرة العمر من الناحية الجيولوجية.
- تتكون قشرة محيطية جديدة عند ظهر المحيط عندما ترتفع الماجما وتتصلب.
- عندما تتشكل قشرة محيطية جديدة تتحرك القشرة المحيطية القديمة مبتعدةً عن ظهر المحيط.

فهم الأفكار الرئيسية

1. الفكرة الرئيسية **صف** لماذا تشبه عملية توسع قاع المحيط حركة الحزام الناقل (المتحرك)؟
2. **وضح** كيف توفر كل من صخور قاع المحيط ورسوبياته أدلة على توسع قاع المحيط؟
3. **ميّز** بين مصطلحي القطبية المغناطيسية العادية والقطبية المغناطيسية المقلوبة.
4. **صف** تضاريس قاع المحيط.

التفكير الناقد

5. **وضّح** كيف تدعم خريطة تساوي العمر لقاع المحيط فرضية توسع قاع المحيط.
6. **حلّل** لماذا يكون عرض الأشرطة المغناطيسية في شرق المحيط الهادي أكبر من نظائرها في المحيط الأطلسي؟

الرياضيات في الجيولوجيا

7. **حلّل** الشكل 11–1، ما نسبة فترات القطبية المغناطيسية المقلوبة في آخر خمسة ملايين سنة.

1-3

الأهداف

- **تصف** كيف تتشكل معالم الأرض بفعل حركة الصفائح الأرضية.
- **تقارن** بين حدود الصفائح الأرضية الثلاث والمعالم المرتبطة مع كل منها.
- **تعمِّم** العمليات الجيولوجية المصاحبة لأنطقة الطرح.
- **تلخص** كيف ترتبط حركة الصفائح مع تيارات الحمل.
- **توضح** كيف أن تيارات الحمل التي تحدث في الوشاح ترتبط مع حركة الصفائح الأرضية.
- **تقارن** بين عمليتي الدفع عند ظهر المحيط والسحب للصفيحة.

مراجعة المفردات

ظهر المحيط: معلم رئيس يمتد على طول قاع المحيط ويرتفع عن القاع 3 km تقريبًا، ويوجد في وسطه واد عميق.

المفردات الجديدة

الصفيحة الأرضية
الحدود التباعدية
حفرة الانهدام
الحدود المتقاربة
نطاق الطرح
الحدود التحويلية
الدفع عند ظهر المحيط
سحب الصفيحة

حدود الصفائح وسبب حركتها
Plate Boundaries and Causes for motion

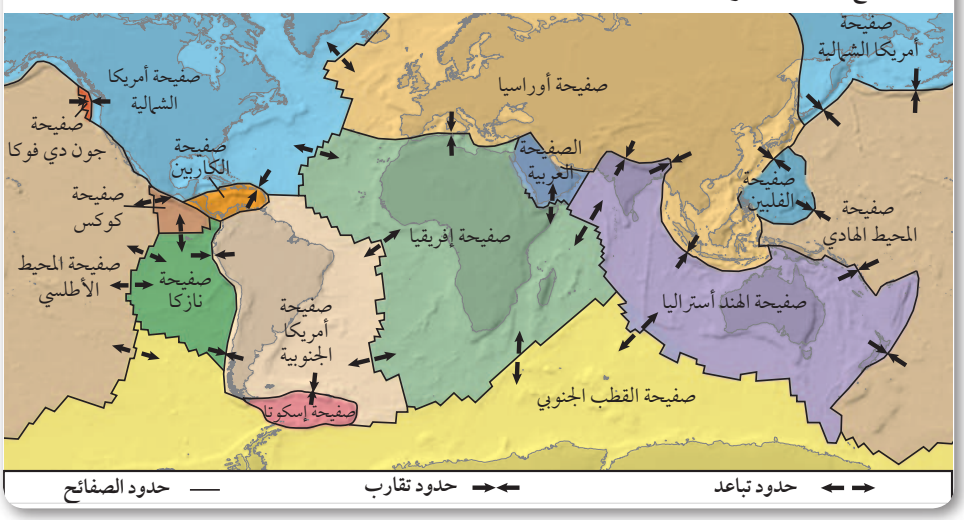
الفكرة الرئيسية **تتكون كل من البراكين، والجبال، والأخاديد البحرية بين حدود الصفائح وتؤدي تيارات الحمل في الوشاح إلى حركة الصفائح الأرضية.**

الربط مع الحياة لو وضعت إناء من الحساء في مجمد الثلاجة وتركته فترة من الزمن فستتجمد المواد الدهنية في الحساء مكونّة طبقة صلبة، ولو أملت الإناء إلى الأمام وإلى الخلف، فستنثني هذه الطبقة وتتشقق. هذا النموذج يشبه العلاقة بين طبقات الأرض المختلفة.

نظرية الصفائح الأرضية Theory of Plate Tectonics

يشير الدليل على توسع قاع المحيط إلى أن القشرة القارية والقشرة المحيطية تتحركان كصفائح ضخمة، يطلق عليها الجيولوجيون الصفائح الأرضية، **والصفائح الأرضية Tectonic plates** قطع ضخمة من الغلاف الصخري والذي يتكون من القشرة الأرضية وأعلى الوشاح الصلب، وتتطابق حواف بعضها مع بعض لتغطي سطح الأرض. ويوضح **الشكل 16–1** الصفائح الأرضية الرئيسة ومجموعة من الصفائح الصغيرة. وتتحرك الصفائح الأرضية حركة بطيئة جدًّا (بضعة سنتمترات في السنة). وتصف نظرية الصفائح الأرضية حركة الصفائح ومعالم سطح الأرض الناجمة عن هذه الحركة؛ حيث تتحرك الصفائح الأرضية باتجاهات ومعدلات مختلفة بعضها بالنسبة إلى بعض، وتتفاعل معًا عند حدودها، مما يؤدي إلى تكوين معالم جيولوجية مختلفة حسب نوع حدود الصفائح، فتقترب الصفائح الأرضية بعضها إلى بعض عند الحدود المتقاربة، ويبتعد بعضها عن بعض عند الحدود المتباعدة، وتتحرك أفقيًّا متحاذية عند الحدود التحويلية (الانزلاقية).

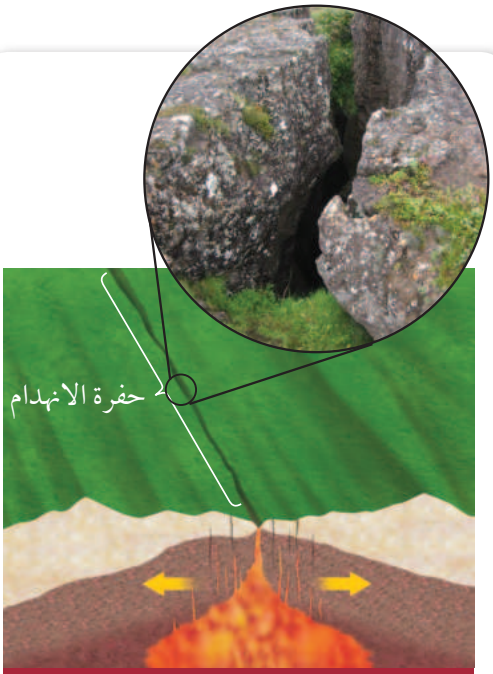
الشكل 16–1 تتكون الصفيحة الارضية من القشرة الأرضية وأعلى الوشاح الصلب، وتتفاعل هذه الصفائح معًا عند حدودهما.



حدود متباعدة Divergent boundaries تسمى المناطق التي تبتعد عندها الصفائح بعضها عن بعض **الحدود المتباعدة divergent boundaries**. وتوجد معظم الحدود المتباعدة على امتداد قاع المحيط في **حفر الانهدام rift valley** التي تقع في وسط ظهر المحيط. وهي منخفض طولي ضيق يتكون نتيجة تباعد الصفائح بعضها عن بعض، وتبدأ في هذا المكان عملية توسع قاع المحيط. وتتشكل القشرة المحيطية الجديدة في معظم الحالات عند الحدود المتباعدة، فضلاً عن ارتباط هذه الحدود بالبراكين والزلازل والتدفق الحراري الأرضي المرتفع نسبيًّا.

ماذا قرأت؟ حدّد السبب الذي يجعل الزلازل والبراكين ترتبط مع ظهور المحيطات.

يمكن أن تسبب عملية توسع قاع المحيط عبر ملايين السنين في زيادة عرض قاع المحيط على نطاق واسع. وعلى الرغم من أن معظم الحدود المتباعدة تشكل ظهور المحيطات في قيعان المحيطات، إلا أن بعضها يتشكل في القارات؛ فعندما تبدأ القشرة القارية في الانفصال إلى أجزاء طولية تتشكل حفرة الانهدام، ويوضح **الشكل 17–1** حفرة الانهدام العظيم التي تتشكل حاليًّا في شرق إفريقيا، وقد تتطور في النهاية إلى حوض محيطي جديد.



الشكل 17–1 الحدود المتباعدة هي الأماكن التي يحدث عندها انفصال الصفائح؛ وتعد ظهور المحيطات في قاع المحيط وحفر الانهدام في القارات ومنها حفرة الانهدام العظيم في شرق إفريقيا كمثال على حدود التباعد.

تجربة

عمل نموذج لتشكّل قاع المحيط

كيف أدت الحدود المتباعدة إلى تشكل جنوب المحيط الأطلسي؟ أدت حدود التباعد قبل 150 مليون سنة إلى انقسام قارة كانت موجودة سابقًا، ومع مرور الوقت أضيفت قشرة جديدة على طول الحدود المتباعدة، وزاد الاتساع بين إفريقيا وأمريكا الجنوبية.

خطوات العمل

1. اقرأ نموذج السلامة في المختبر.
2. استعمل **خريطة العالم** لإنشاء **نموذجين ورقيين** لقارتي أمريكا الجنوبية وإفريقيا.
3. ضع نموذجي القارتين في وسط **ورقة كبيرة**، وطابقهما معًا على طول سواحلهما الأطلسية.
4. خطط بدقة حول النموذجين باستعمال **قلم الرصاص**، وارسم شكل القارتين، ثم أزل النموذجين واكتب تحتهما 150 مليون سنة .
5. ارسم ست خرائط تبين مراحل تطور المحيط الأطلسي مبتدئًا من 150 مليون سنة، على أن تكون الفترة الزمنية لكل مرحلة 30 مليون سنة، ومتوسط معدل التوسع 4 cm /y، وبمقياس رسم 1 cm = 500 km.

التحليل

1. **قارن** الخريطة التي رسمتها وتمثل المرحلة الأخيرة بخريطة العالم الحالية. وهل عرض جنوب المحيط الأطلسي في الخريطتين هو نفسه؟
2. **تأمل** إلام تعود الفروق بين العرض الفعلي لجنوب المحيط الأطلسي الحالي وعرضه وفق نموذجك؟

حدود متقاربة Convergent boundaries تقترب الصفائح بعضها من بعض عند الحدود المتقاربة **convergent boundaries**، فعندما تصطدم صفيحتان معًا فإن الصفيحة الأكبر كثافة تغوص تحت الأقل كثافة، وتُسمى هذه العملية **الطرح subduction**. وتتكون القشرة المحيطية من معادن غنية بالحديد والماغنيسيوم تكوّن الصخور البازلتية، وهي صخور داكنة ذات كثافة كبيرة نسبيًّا، انظر **الشكل 18–1**. أما القشرة القارية فيتكون معظمها من الصخور الجرانيتية، وهي صخور فاتحة اللون وقليلة الكثافة نسبيًّا وتتكون من معادن الفلسبار، انظر **الشكل 18–1**. ويؤثر اختلاف كثافة القشرة في كيفية حدوث عملية التقارب. وبناءً على ذلك، توجد ثلاثة أنواع من الحدود المتقاربة، انظر **الجدول 1–1**، ولاحظ أيضًا التضاريس المصاحبة لكل نوع منها.

تقارب محيطي-محيطي Oceanic-oceanic تحدث عملية الطرح في التقارب المحيطي–المحيطي، كما في **الجدول 1–1**، عندما تقترب صفيحة محيطية من صفيحة محيطية أخرى؛ إذ تغوص الصفيحة الأكبر كثافة، ونتيجة للتبريد، تحت الصفيحة الأخرى، وتؤدي هذه العملية إلى تشكيل الأخدود البحري، وعندما تهبط الصفيحة الغاطسة في الوشاح يحدث لها انصهار جزئي؛ حيث يعمل الماء الموجود في الصفيحة على خفض درجة الانصهار، فتنصهر الصفيحة انصهارًا جزئيًّا على أعماق قليلة، وتكون الماجما الناتجة أقل كثافة من الصخور المحيطة بها، فترتفع إلى أعلى في اتجاه السطح، وتثور مشكِّلةً قوسًا من الجزر البركانية يوازي الأخاديد البحرية. ومن ذلك أخدود وأقواس جزر ماريانا في غرب المحيط الهادي، وأخدود وأقواس جزر ألوتيان في شمال المحيط الهادي، ويوضح **الجدول 1–1** قمة بركان في قوس جزر بركاني.

تقارب محيطي-قاري Oceanic-continental تحدث عملية الطرح أيضًا في حالة تقارب محيطي–قاري. انظر **الجدول 1–1**، ولاحظ أن القشرة المحيطية هي التي تُطرح؛ لأن كثافتها أكبر من الصفيحة القارية، كما ينجم عن هذا النوع من التقارب أخدود بحري وقوس بركاني يتشكل على شكل سلسلة من البراكين تمتد على طول حافة الصفيحة القارية. ويعد كل من سلسلة جبال الأنديز وأخدود بيرو–تشيلي اللذين يمتدان على جانبي ساحل أمريكا الجنوبية من المعالم المرتبطة مع هذا النوع من التقارب.

تقارب قاري-قاري Continental-continental يتشكل النوع الثالث من الحدود المتقاربة عندما تصطدم صفيحة قارية بصفيحة قارية أخرى، وتحدث بعد فترة طويلة من انتهاء مرحلة طرح صفيحة محيطية أسفل صفيحة قارية. تذكّر أنه لا توجد في الغالب صفيحة قارية إلا ومعها جزء محيطي، لذا فإنه مع طرح هذا الجزء كاملاً في الوشاح، وبعد مرور فترة من الزمن، فإنه يجر وراءه القارة الملتصقة به إلى نطاق الطرح، فتصطدم الصفيحتان القاريتان معًا بدلاً من غوصهما في الوشاح لانخفاض كثافتيهما، مما يؤدي إلى ارتفاع الصخور وطيها في منطقة التصادم، وتتشكل سلسلة جبلية ضخمة على طول منطقة التصادم، مثل جبال الهملايا، كما في **الجدول 1–1**.

بازلت

الجرانيت

■ **الشكل 18–1** تتكون معظم القشرة المحيطية من البازلت. وتتكون معظم القشرة القارية من الجرانيت مع وجود طبقة رقيقة نسبيًّا من الصخور الرسوبية، وكلتاهما أقل كثافة من البازلت.

المفردات

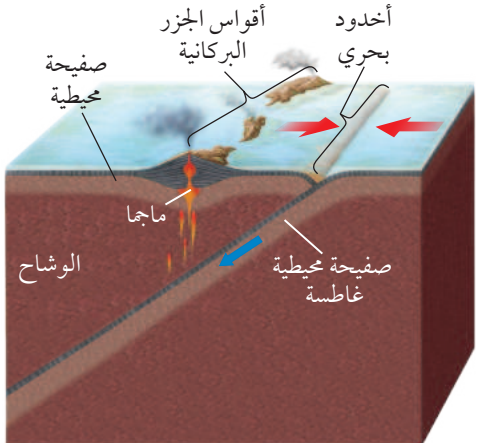
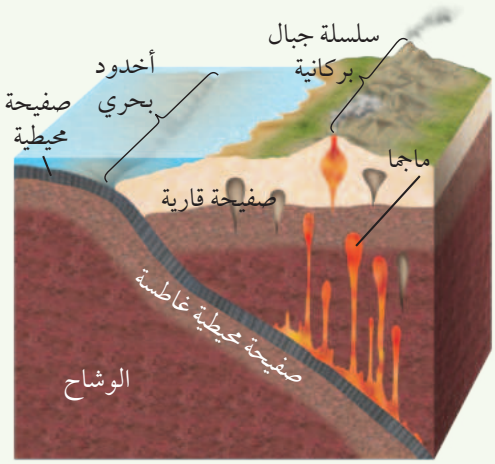
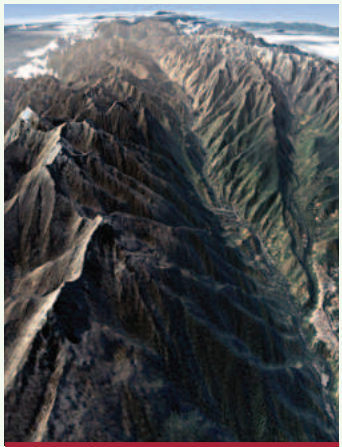
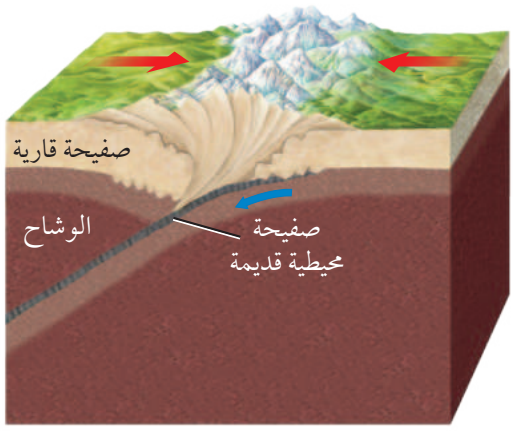
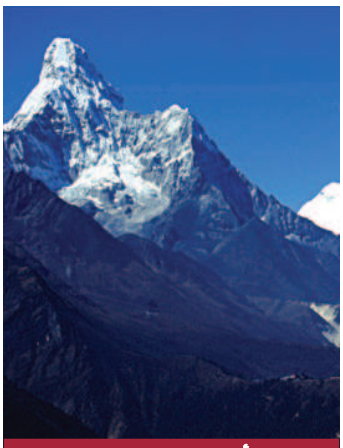
مفردة أكاديمية

المتوازي

خطان يمتدان في اتجاه واحد ولا يلتقيان، والمسافة بينهما متساوية.

يسير قطار الركاب بمحاذاة الطريق السريع عدة كيلومترات دون أن يقطعه.

الجدول 1-1 **ملخص أنواع الحدود المتقاربة**

نوع الحد التقاربي	مثال على منطقة تأثرت بالحدود المتقاربة	مثال على التضاريس
تقارب محيطي ـ محيطي 	 جزر الألوتيان	 جزيرة شاجولاك في آلاسكا
تقارب محيطي ـ قاري 	 سلسلة جبال الأنديز	 بركان أزورنو في تشيلي
تقارب قاري ـ قاري 	 سلسلة جبال الهملايا	 قمة أما ـ دبلان في نيبال

حدود تحويلية (جانبية) Transform boundaries تسمى المنطقة التي تتحرك عندها صفيحتان أفقيًّا إحداهما بجانب الأخرى **الحدود التحويلية transform boundaries**، كما في **الشكل 19–1**، وتمتاز بأنها تحدث على صدوع طويلة قد يمتد بعضها مئات الكيلومترات، كما تمتاز بحدوث زلازل ضحلة على طولها، وسميت هذه الحدود بالتحويلية لأن اتجاه الحركة النسبي والسرعة يختلفان على طولها من جانب إلى آخر. تذكر أن القشرة الجديدة تتشكل عند الحدود المتباعدة وتستهلك عند الحدود المتقاربة، أما عند الحدود التحويلية فلا تتكون قشرة جديدة ولا تستهلك، بل تتشوه أو تتكسر على طولها إلى حد ما.

توجد معظم الحدود التحويلية في قاع المحيط؛ حيث تؤدي إلى إزاحة قِطع ظهور المحيطات جانبيًّا، كما ستلاحظ في مختبر حل المشكلات الآتي، ولكن في بعض الحالات تحدث الصدوع التحويلية على القارات.

ومن الأمثلة المعروفة صدع البحر الميت التحويلي، وصدع سان أندرياس في ولاية كاليفورنيا غرب الولايات المتحدة الأمريكية، تُحدث هذان الصدعان العديد من الزلازل الضحلة، فمعظم الزلازل التي تضرب كاليفورنيا في كل عام تُعزى إلى صدع سان أندرياس. كما يعد صدع البحر الميت التحويلي السبب الرئيس في نشوء الزلازل التي تحدث في الأردن وفلسطين.

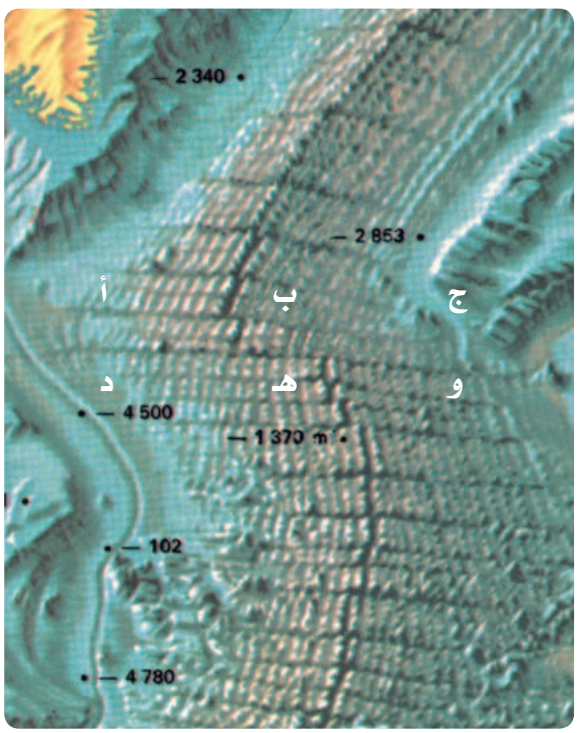
المطويات

ضَمّن المعلومات في هذا الدرس في المطوية الخاصة بك.

مختبر حل المشكلات

تفسير الرسم

كيف تتحوّل حركة الصفيحة الأرضية على طول الحدود التحويلية؟ يوضح الشكل المجاور الجزء الشمالي من ظهر المحيط الأطلسي والذي يفصل بين قارتّي أمريكا الشمالية وأوروبا. انسخ الشكل على دفترك ثم نفذ الخطوات الآتية:



التحليل

1. **ارسم** أسهمًا على نسختك، مبينًا الحركة النسبية لقشرة المحيط في المواقع: أ ب ج د هـ و.
2. **قارن** اتجاه الحركة في المواقع الآتية: أ مع د، ب مع هـ، ج مع و.

التفكير الناقد

3. **ميّز** أي المواقع الثلاثة تقع على صفيحة أمريكا الشمالية؟
4. **استنتج** الحد الفاصل بين أمريكا الشمالية وأوروبا الذي يقع في نطاق الكسر.
5. **قوّم** حدّد أقدم موقعين في القشرة المحيطية من النقاط الستة.

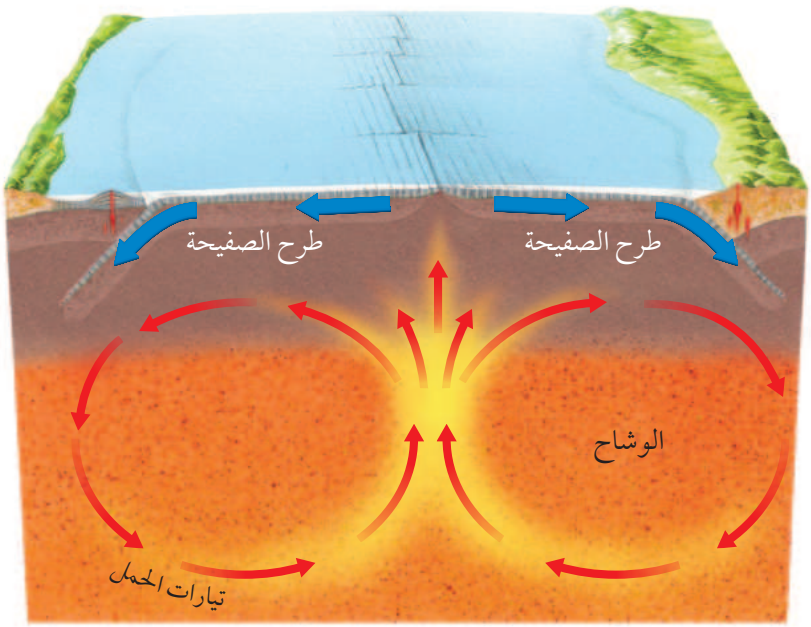
■ **الشكل 19–1** تتحرك الصفيحتان أفقيًّا متحاذيتين على طول الحدود التحويلية. الانثناء في السكة الحديدية ناتج عن حركة الصدع التحويلي.

أسباب حركة الصفائح Causes of Plate Motions

وضع العلماء الكثير من الفرضيات لتفسير أسباب حركة الصفائح. ومن هذه الفرضيات:

تيارات الحمل currents convection يعتقد العلماء أن تيارات الحمل في الوشاح هي المسؤولة عن تحريك الصفائح. انظر **الشكل 20–1**، وتحدث تيارات الحمل على النحو الآتي: نتيجة لتسخين مناطق معينة في الوشاح تقل كثافته المواد المكونة لها وترتفع إلى أعلى وتحل محلها مادة الوشاح التي تقع في الأعلى أسفل الصفائح الأرضية الباردة نسبيًّا والأكبر كثافة ، وتغوص ببطء إلى أسفل.

تؤدي تيارات الحمل المستمرة في الوشاح – من هبوط المادة الباردة وارتفاع المادة الساخنة – إلى نقل الطاقة الحرارية من المناطق الساخنة في باطن الأرض إلى المناطق الباردة في الأعلى.



■ **الشكل 20–1** تؤدي تيارات الحمل التي تنشأ في الوشاح إلى حركة الغلاف الصخري (القشرة الأرضية وأعلى الوشاح الصلب)، وتنقل الطاقة الحرارية من باطن الأرض إلى سطحها الخارجي.

وعلى الرغم من أن تيارات الحمل في الوشاح تيارات ضخمة، قد تمتد إلى آلاف الكيلومترات، إلا أنها تتدفق بمعدلات تصل إلى بضعة سنتمترات في السنة، ويعتقد العلماء أن هذه التيارات تبدأ الحركة بسبب سحب الصفيحة الغاطسة نحو الأسفل في الوشاح.

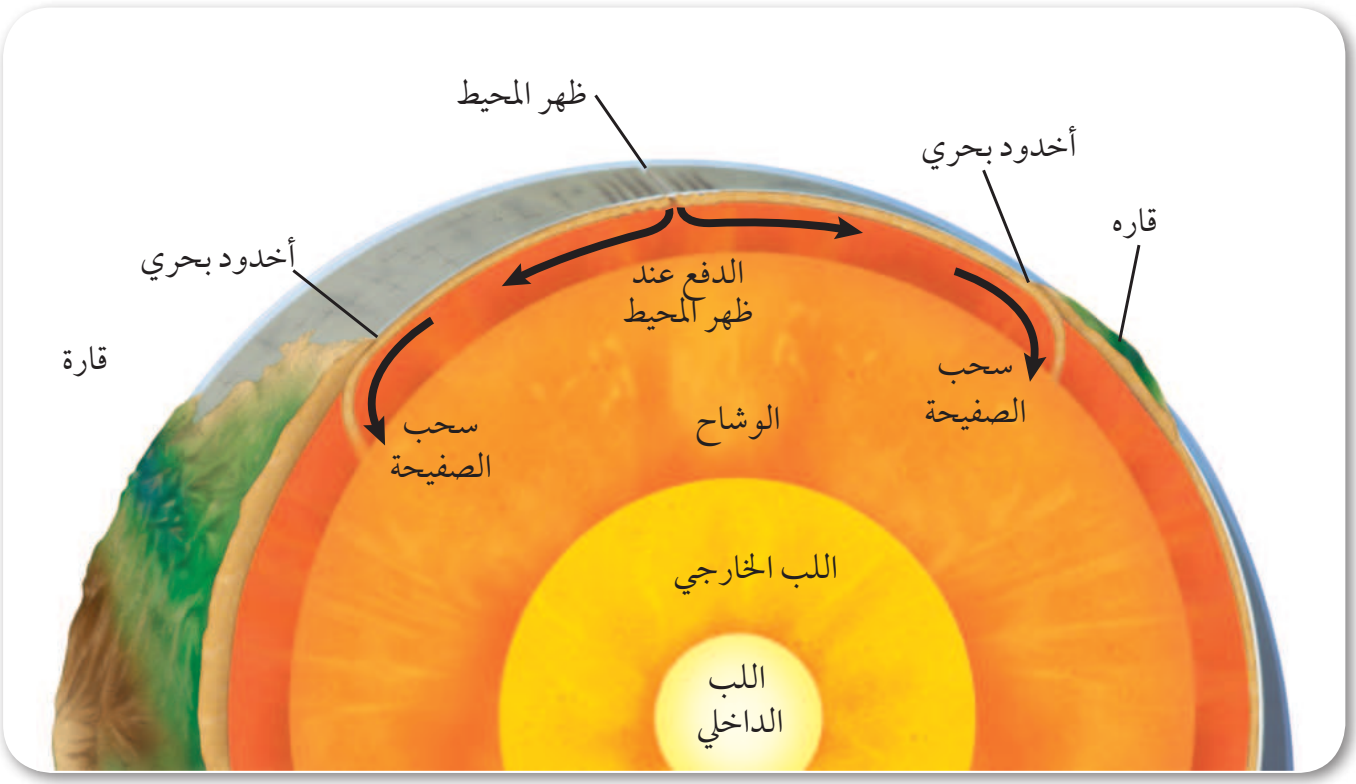
ماذا قرأت؟ ناقش ما الذي يؤدي إلى تدفق تيارات الحمل: ارتفاع المواد الساخنة إلى أعلى أم هبوط المواد الباردة إلى أسفل؟

كيف ترتبط حركات الصفائح الأرضية المتقاربة والمتباعدة مع تيارات الحمل في الوشاح؟ تنتشر المواد الصاعدة إلى أعلى في تيارات الحمل لدى وصولها إلى الصفيحة الأرضية، لذا ينجم عنها قوى رأسية وجانبية، مما يؤدي إلى رفع الغلاف الصخري وتشققه عند الحدود المتباعدة، فترتفع المواد المصهورة (الماجما) من الوشاح لتملأ التشققات هناك، ثم تتصلب مكوّنة قشرة محيطية جديدة.

أما الجزء الهابط من تيار الحمل فيحدث عند الحدود المتقاربة؛ إذ تؤثر هذه التيارات بقوة سحب تسبب غوص الصفائح الأرضية إلى أسفل في الوشاح.

الدفع والسحب Push and Pull يفترض العلماء وجود عمليات عدة تحدد كيف تؤثر تيارات الحمل في حركة الصفائح الأرضية. لاحظ **الشكل 21–1**، وأن القشرة المحيطية القديمة نسبيًّا تبرد كلما ابتعدت عن الحدود المتباعدة في مناطق ظهر المحيط، وتصبح أكثر كثافة مقارنة بالقشرة المحيطية الحديثة الأقل كثافة، فتهبط مكونة الجوانب المنحدرة لظهر المحيط، ونتيجة لزيادة وزن الجزء المرتفع والمنحدر لظهر

■ **الشكل 21–1** الدفع عند ظهر المحيط وسحب الصفيحة عمليتان تؤديان إلى تحريك الصفائح الأرضية على سطح الأرض.



المحيط تدفع الصفيحة المحيطية نحو الأخدود عند نطاق الطرح، بعملية تُسمى **الدفع عند ظهر المحيط ridge push**.

أما العملية الثانية المهمة التي تسبب حركة الصفائح الأرضية فتسمى **سحب الصفيحة slab pull** ؛ إذ يؤدي وزن الجزء الغاطس من الصفيحة إلى سحب الجزء المتبقي منها نحو نطاق الطرح. ومن المرجح أن مجموع هذه الآليات هي التي تؤدي إلى حركة الصفائح عند أنطقة الطرح.

التقويم 3–1

الخلاصة

- تقسم القشرة الأرضية والجزء العلوي الصلب من الوشاح العلوي إلى قطع صخرية ضخمة تسمى الصفائح الأرضية.
- تتحرك الصفائح الأرضية بسرعات وباتجاهات مختلفة على سطح الأرض.
- تبتعد الصفائح الأرضية بعضها عن بعض عند الحدود المتباعدة، ويقترب بعضها من بعض عند الحدود المتقاربة، وتتحرك بمحاذاة بعضها بعضًا عند الحدود التحويلية (الجانبية).
- يتميز كل نوع من حدود الصفائح بمعالم جيولوجية محددة.
- الحمل الحراري هو نقل الطاقة عبر حركة المواد الساخنة.
- ينتج عن تيارات الحمل نقل الطاقة الحرارية في الوشاح من باطن الأرض الساخن إلى سطحها الخارجي البارد.
- تنتج حركة الصفائح الأرضية بفعل عمليتي الدفع عند ظهر المحيط وسحب الصفيحة.

فهم الأفكار الرئيسية

1. **الفكرة الرئيسية** **صف** كيف تتشكل معالم الأرض الرئيسة بفعل حركة الصفائح الأرضية وعلاقتها بتيارات الحمل في الوشاح.
2. **لخص** عمليات تقارب الصفائح الأرضية التي شكّلت جبال الهملايا.
3. **اعمل** قائمة بالمعالم الجيولوجية المرافقة لكل نوع من حدود الصفائح المتقاربة.
4. **حدّد** المعلم الجيولوجي الذي يوجد به معظم الحدود التحويلية.
5. **أعد** التأكيد على العلاقات بين كل من تيارات الحمل وظهور المحيطات وأنطقة الطرح.
6. **صمم** نموذجًا يوضح العمليات التكتونية لكل من الدفع عند ظهر المحيط وسحب الصفيحة.

التفكير الناقد

7. **اختر** أنواع حدود الصفائح الثلاث التي في الشكل 16–1، وتوقع ما يحدث عند كل حد منها بعد مرور فترة من الزمن؟
8. **صف** كيف تتحرك قطعتان لقشرة محيطية جديدة بين جزأين من ظهر المحيط تم إزاحتهما بصدوع التحويل؟
9. **قوّم** الجملة الآتية: تحرك تيارات الحمل القشرة المحيطية فقط.
10. **لخص** كيف تعد تيارات الحمل مسؤولة عن ترتيب القارات على سطح الأرض؟

الكتابة في الجيولوجيا

11. اكتب تقريرًا إخباريًّا حول تأثر البحر الأحمر بحركة الصفائح الأرضية.

البحر الأحمر

سـمي البحـر الأحمر بهذا الاسـم لوفـرة الطحالب الخضراء المزرقة التي تطفو على سطحه، والتي تحتوي على صبغة حمراء يمكن مشـاهدتها من ارتفاعات عاليـة. وقد بدأ تكون البحر الأحمر في عصر الإيوسـين بسـبب تباعـد الصفيحتين العربية والإفريقيـة، وهو محيط وليد يتميز بنشـاط زلزالي عند حوافه القاريـة ونشـاط بركاني عنـد المرتفعات المحيطية في وسـطه، ممـا ينتج عنه إضافـة قشرة محيطية جديدة تقوم بزيادة مسـافة التباعد بين الصفيحتين بمقدار 2 cm سـنويًّا، كما يقدر طوله بحوالي 2000 km، وعرضه بحوالي 300 km، وأعمق نقطة فيه حوالي 2000 m، وأعلى مد قد يصل تقريبا إلى 1m فقط، والمتوسط الإجمالي لدرجة حرارة مياه البحر الأحمر (22°C) والمتوسط الإجمالي لدرجة ملوحته 40 جزءًا في الألف.

ويتم إجراء العديد من الدراسـات على البيئة البحرية للبحر الأحمـر، منهـا ما يتعلـق بدراسـة التغـيرات التـي تنتج على طول السـاحل، ودراسـة كل من الخـواص الفيزيائية كاتجاه حركة التيـارات وسرعتها، وحرارة ميـاه البحر وملوحتها، وخواصـه الكيميائيـة كتحديـد العنـاصر المغذية ومسـتوى الأحمـاض؛ لمعرفـة جـودة الميـاه وتحديـد مسـتوى التلـوث ومصادره وتأثيرها في الرواسب وصحة الشعاب المرجانية، ومعالجـة القضايـا البيئيـة والتلـوث البحري، وتأثـير الحياة البشريـة والمنشـآت في ظـل النمـو الاقتصـادي والتجـاري والسياحي على المدن الساحلية.

يتميـز البحـر الأحمر بوجود العديد من الجـزر، منها: جزيرة فرسان في السـعودية، والتي تبعد عن مدينة جازان 50 Km تقريبًـا، وجزيـرة بيوتان في مـصر، وجزيرة بريـم في اليمن. بعـض هذه الجزر بركانيـة تكونت مع تكـون البحر الأحمر،

كجزيـرة بريم، وهي إحدى الجـزر البركانية التي تكونت في حين الميوسين. بينما تكونت جزيرة فرسان نتيجة اندفاع كتل ضخمـة من الملح المتكـون في حين الميوسـين إلى أعلى مكونًا قبابًـا ملحيـة صخريـة قامت برفع مـا عليها من الترسـبات الكلسية. ولايتعدى ارتفاع الجزيرة عن سطح البحر 20 m.

الكتابة في الجيولوجيا

ابحث في النشاط الجيولوجي والتنوع البيولوجي الفريـد للبحر الأحمـر. أكتب مقـالاً يصف تنوع المخلوقـات الحيـة وطبيعـة البيئة البحريـة للبحر الأحمر وأصل نشأته.

نمذجة حدود الصفائح وتساوي أعمار الصخور

خلفية علمية: طُوّرت خرائط تساوي العمر Isochrons لقاع المحيط للمرة الأولى بناءً على بيانات من صخور ورواسب المحيط نفسه. وهي عبارة عن خطوط وهمية افتراضية ترسم على الخريطة لتظهر الأجزاء المتساوية في العمر على سطح الأرض. وقد اكتشف الجيولوجيون للمرة الأولى عند تحليل خرائط تساوي العمر لقاع المحيط. أن القشرة الأرضية تتكون على امتداد ظهور المحيطات، وتستهلك عند الأخاديد المحيطية. وقد أدى هذا الاكتشاف إلى وضع نظرية تُعرف باسم نظرية الصفائح الأرضية. ويواصل الجيولوجيون استعمال هذه الخرائط لدراسة حركة الصفائح الأرضية.

سؤال: هل يمكن تحديد عمر القشرة المحيطية، ومعرفة نوع حدود الصفائح؟

الأدوات

ورق — أقلام خشبية ملونة — مقص
آلة حاسبة — مسطرة مترية

احتياطات السلامة

خطوات العمل

1. اقرأ نموذج السلامة في المختبر.
2. يظهر **الشكل 1** الحركة النسبية بين الصفيحة (A) والصفيحة (B). ارسم الصفائح على ورقة منفصلة وقصّها.
3. تدل الأسهم على حركة الصفيحة (B) بالنسبة للصفيحة (A)، حرِّك الصفيحة (A) كما في **الشكل 1**.
4. استعمل الرموز الموجودة في المفتاح لتحديد أنواع حدود الصفائح والحركة النسبية على جانبي الحدود في كل جزء من أجزاء **الشكل 1**.
5. يظهر **الشكل 2** صفيحتين (A) و(B) مفصولتين إحداهما عن الأخرى بظهري محيط وصدع تحويلي. تبتعد الصفيحتان (A)، (B) إحداهما عن الأخرى بسرعة 2 cm/y. حوِّل السرعة من cm/y إلى km/y.
6. ارسم **الشكل 2** على ورقة منفصلة، وافترض أن شكل الحدود في **الشكل 2** لم يتغير مع الزمن، وبناءً على ذلك ارسم خطوط تساوي العمر لكل من: 10 و20 و30 و 40 مليون سنة.
7. لوِّن القشرة بناءً على عمرها على أن يكون اللون:

أحمر: 10–0 ملايين سنة

أصفر: 20–10 مليون سنة

أخضر: 30–20 مليون سنة

أزرق: 40–30 مليون سنة

التحليل والاستنتاج

1. **حدّد** حركة الصفيحة A (من جميع جوانبها) نسبة إلى حركة الصفيحة B.
2. **طبّق** ما أسهل الطرائق لتحديد موقع الحدود التحويلية باستعمال خريطة تساوي العمر؟
3. **فسر** انظر إلى **الشكل 3**، وحدّد مواقع حدود التباعد في المحيطين الأطلسي والهادي مستعينًا بنسق خطوط تساوي العمر لقاع المحيط.
4. **ميِّز** أي المحيطات تتميز بوجود أعرض نطاقات تساوي العمر (المسافات بين خطوط تساوي العمر كبيرة)؟ وأي حدود الصفائح تتباعد بمعدل أكبر، بناءً على مقدار القشرة المحيطية المتكونة في فترة زمنية معطاة؟
5. **استنتج** لا يوجد في وسط المحيط الهادي مركز للتوسع كما في المحيط الأطلسي. فكيف يعد ذلك دليلاً على وجود حدود صفائح متقاربة؟

الكتابة في الجيولوجيا

اكتب رسالة. لم يستطع العالم ألفرد فاجنر إقناع الأوساط العلمية بفرضية الانجراف القاري، فقد توفي قبل فترة قصيرة من رسم خرائط لقيعان المحيطات. تخيل أنك تكتب رسالة في الماضي توضح فيها لفاجنر ما أظهرته خرائط قيعان المحيطات، وكيف أدى ذلك إلى اكتشاف نظرية الصفائح الأرضية؟

مفتاح

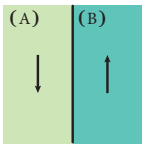
استعمل الرموز المجاورة لتحديد نوع حدود الصفائح التالية:

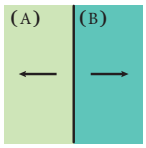
حدود متباعدة.

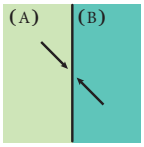
حدود متقاربة (تشير المثلثات إلى الصفيحة التي تبقى على السطح).

حدود جانبية: تشير الأسهم إلى الحركة النسبية على حدود الصفائح.

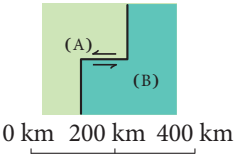
الشكل 1



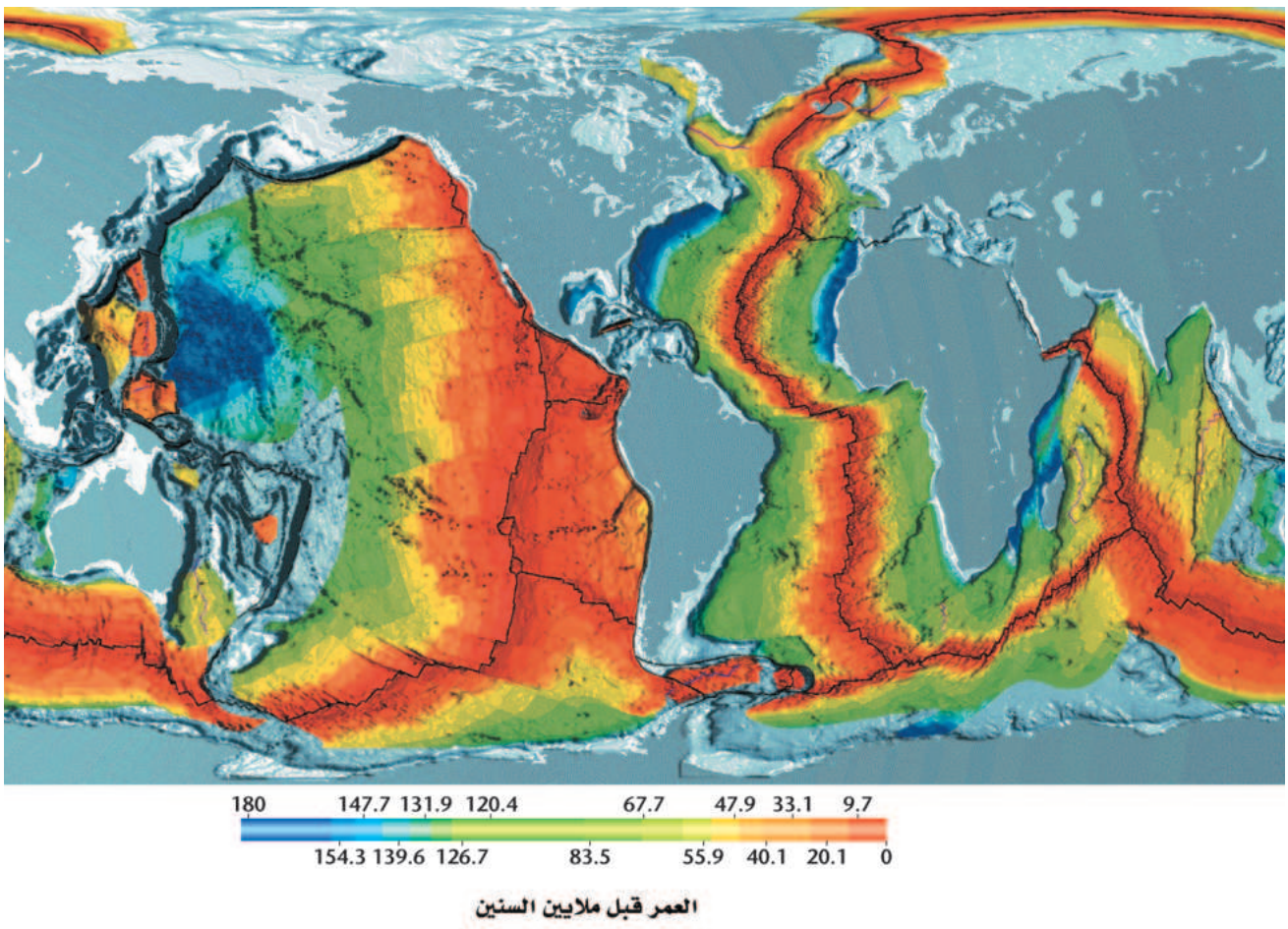




الشكل 2



الشكل 3



الفصل 1

دليل مراجعة الفصل

الفكرة العامة تحدث معظم الأنشطة الجيولوجية عند حدود الصفائح.

المفردات	المفاهيم الرئيسة
1–1 انجراف القارات	
انجراف القارات بانجايا	**الفكرة الرئيسية** تدل جيولوجية القارات وأشكالها على أنها كانت متصلة معًا يومًا ما. • يوحي تطابق شواطئ القارات على جانبي المحيط الأطلسي بأن القارات كانت مجتمعة معًا يومًا ما. • الإنجراف القاري فكرة وضعت في بداية القرن الماضي، وتنص على أن القارات تتحرك على سطح الأرض. • جمع العالم فاجنر أدلة من الصخور والأحافير والمناخات القديمة لدعم نظريته. • لم تقبل فكرة الانجراف القاري؛ لأنها لم تقدم تفسيرًا حول كيفية حركة القارات وما يسبب حركتها.
1–2 توسع قاع المحيط	
جهاز قياس المغناطيسية الانقلاب المغناطيسي المغناطيسية القديمة تساوي العمر توسع قاع المحيط	**الفكرة الرئيسية** تتكون القشرة المحيطية عند ظهور المحيطات وتصبح جزءًا من قاع المحيط. • توفر الدراسات التي أجريت لقيعان المحيطات أدلة على أنها ليست مستوية وأنها تتغير باستمرار. • القشرة المحيطية صغيرة العمر من الناحية الجيولوجية. • تتكون قشرة محيطية جديدة عند ظهر المحيط عندما ترتفع الماجما وتتصلب. • عندما تتكون قشرة محيطية جديدة تتحرك القشرة المحيطية القديمة مبتعدة عن ظهر المحيط.
1–3 حدود الصفائح وسبب حركتها	
الصفيحة الأرضية الحدود التباعدية حفرة الانهدام الحدود المتقاربة نطاق الطرح الحدود التحويلية الدفع عند ظهر المحيط سحب الصفيحة	**الفكرة الرئيسية** تتكون كل من البراكين والجبال والأخاديد البحرية عند حدود الصفائح، وتسبب تيارات الحمل المتكونة في الوشاح حركة الصفائح الأرضية. • تقسم القشرة الأرضية والجزء العلوي الصلب من الوشاح العلوي إلى قطع صخرية ضخمة تسمى الصفائح الأرضية. • تتحرك الصفائح الأرضية بسرعات واتجاهات مختلفة على سطح الأرض. • تبتعد الصفائح الأرضية بعضها عن بعض عند الحدود المتباعدة، ويقترب بعضها من بعض عند الحدود المتقاربة، وتتحرك بمحاذاة بعضها بعضا عند الحدود التحويلية (الجانبية). • يتميز كل نوع من حدود الصفائح بمعالم جيولوجية محددة. • الحمل الحراري هو نقل الطاقة عبر حركة المواد الساخنة. • ينتج عن تيارات الحمل نقل الطاقة الحرارية في الوشاح من باطن الأرض الساخن إلى سطحها الخارجي البارد. • تنتج حركة الصفائح الأرضية بفعل عمليتي دفع ظهر المحيط وسحب الصفيحة.

مراجعة المفردات

ضع المصطلح الصحيح بدلاً من الكلمات التي تحتها خط:

1. الصفائح الأرضية اسم يُطلق على القارة الأم (الأصل) التي كانت موجودة قبل 200 مليون سنة.
2. التشقق القاري هو الفكرة القائلة بأن القارات الحالية المفصولة بالمحيطات كانت متصلة معًا يومًا ما.
3. تُسمى عملية غطس الصفائح الأرضية في الوشاح التباعد.
4. تُسمى الحدود الناجمة عن اقتراب صفيحتين إحدهما من الآخرى الحدود التحويلية.
5. يتشكّل الأخدود داخل القارات بفعل الحدود المتباعدة.

اختر المفردات المناسبة للجمل التالية:

6. خط على الخريطة يصل بين الأماكن في القشرة الأرضية التي تكوّنت في الوقت نفسه.
7. العملية التي تشكل فيها قشرة محيطية جديدة من خلال اندفاع الماجما عند ظهور المحيطات.
8. دراسة تاريخ المجال المغناطيسي الأرضي المحفوظ في الصخور.
9. جهاز لقياس المغناطيسية.

عرّف المصطلحات التالية بجمل تامة:

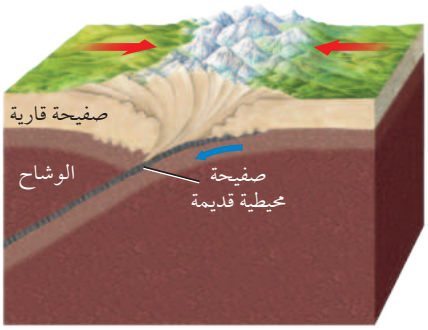
10. الصفيحة الأرضية.
11. الدفع عند ظهر المحيط.
12. سحب الصفيحة.

حدّد ما هو مشترك بين كل مصطلحين في الجمل التالية:

13. الحدود المتباعدة، الحدود التحويلية.
14. نطاق الطرح، الحدود المتقاربة.
15. الانجراف القاري، الصفائح الأرضية.
16. توسع قاع المحيط، المغناطيسية المقلوبة.

تثبيت المفاهيم الرئيسة

استعمل الشكل الآتي للإجابة السؤالين 17 و18



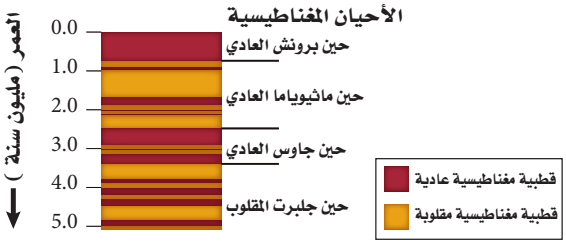
17. ما نوع حدود الصفائح في الشكل أعلاه؟

a. ظهر المحيط. c. حدود تحويلية.
b. حدود قارية–قارية. d. حدود قارية–محيطية.

18. ما المعلم الجيولوجي الذي يتكون على طول هذا النوع من حدود الصفائح؟

a. أنطقة الطرح. c. أقواس الجزر.
b. أخاديد بحرية. d. جبال مطوية.

استعمل الشكل الآتي في الإجابة عن السؤالين 19، 20



19. ما المدة الزمنية التي استغرقها حين جاوس تقريبًا؟

a. 5 ملايين سنة. c. 1 مليون سنة.
b. 3 ملايين سنة. d. 100,000 سنة.

20. ما الحين الذي حدثت في أثنائه معظم التذبذبات في القطبية المغناطيسية العادية والمقلوبة؟

a. جاوس. c. جلبرت.
b. ماثيوياما. d. برونش.

21. ما عمر القشرة المحيطية، عمومًا؟

1 مراجعة الفصل

a. لها نفس عمر القشرة القارية.

b. أحدث من القشرة القارية.

c. أقدم من القشرة القارية.

d. لم يحدد العلم عمرها.

أسئلة بنائية

22. **لخص** ما الملاحظات التي أدّت إلى وضع فرضية الانجراف القاري؟

23. **مهن في علم الأرض** فسر ما وجده علماء المحيطات من أن سمك رسوبيات قاع المحيط تزداد بتزايد المسافة بعيدًا عن ظهر المحيط.

24. **ميز** بين تولّد المجال المغناطيسي في لب الأرض والمغناطيسية المحفوظة في القشرة المحيطية.

25. **حلّل** لماذا توجد فروق بين حدود التقارب القاري-القاري وبين حدود التقارب محيطي- محيطي؟

26. **لخص** لماذا لاقت فكرة حركة القارات قبولاً واسعًا بعد صدور فرضية توسع قاع المحيط؟

التفكير الناقد

استعمل الشكل الآتي للإجابة على السؤال 27.

27. **استنتج** اكتشفت رواسب نفطية قديمة عمرها 200 مليون سنة في ناميبا. أين تتوقع أن يجد الجيولوجيون رواسب نفطية من فئة عمرية مماثلة؟ وضح إجابتك.

28. **قارن** بين فرضيتي الدفع عند ظهر المحيط وسحب الصفيحة.

29. **لخص** كيف تسهل أنظمة مراقبة الأقمار الاصطناعية مثل نظام تحديد الموقع العالمي GPS دراسة حركات الصفائح الأرضية وتقلل من التكلفة.

30. **فكر** هل يبقى شكل الصفائح الأرضية وحجمها ثابتين مع مرور الزمن؟ وضح إجابتك.

31. **انقد** الجملة الآتية: "هناك نوعان من الصفائح الأرضية هما: الصفائح المحيطية والصفائح القارية."

خريطة مفاهيمية

32. استعمل المصطلحات الآتية لبناء خريطة مفاهيم: متقاربة، حفر انهدام، متباعدة، تحويلية، أقواس الجزر، زلازل ضحلة، سلاسل جبلية، حدود الصفيحة، أخاديد بحرية.

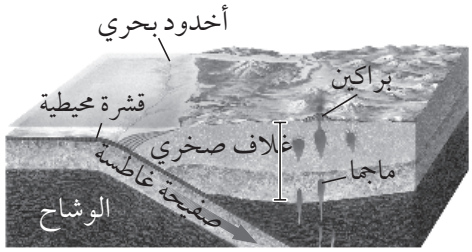
سؤال تحدّ

33. **تنبأ** ارسم المواقع النسبية للقارات في الكرة الأرضية بعد 60 مليون سنة، مع افتراض أن الصفائح الأرضية مستمرة في الحركة وفي الاتجاهات نفسها، كما في **الشكل (2–1)**.

اختبار مقنن

اختيار من متعدد

استعمل الشكل الآتي للإجابة عن السؤال 1:

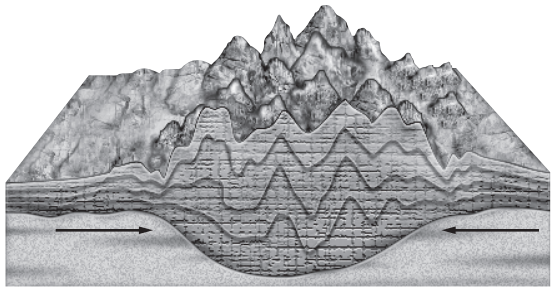


1. ما العملية التي يمثّلها الشكل أعلاه؟

a. تباعد قاري–قاري. c. تباعد محيطي–قاري.

b. طرح قاري–قاري. d. طرح محيطي–قاري.

استعمل الشكل أدناه للإجابة عن السؤالين 2 و 3 .



2. ما نوع حد الصفيحة الذي يظهر في الشكل أعلاه:

a. ظهر محيط. c. حد قاري – قاري.

b. حد تحويلي. d. حد محيطي – قاري.

3. ما الخاصية التي تتشكل على امتداد هذا النوع من الحدود؟

a. أنطقة طرح. c. أخاديد محيطية.

b. أقواس الجزر. d. جبال تحتوي على طيات.

4. ما الدليل على انجراف القارات الذي لم يستعمله فاجنر في دعم فرضيته؟

a. طبقات الفحم في أمريكا.

b. أحافير الحيوانات التي تعيش على اليابسة.

c. رسوبيات جليدية.

d. بيانات المغناطيسية القديمة.

5. ما اسم العملية التي تُطلق على إنتاج قاع محيط جديد باستمرار؟

a. انجراف القارات. c. البقع الساخنة.

b. توسع قاع المحيط. d. الطرح.

6. يؤدي وزن الصفيحة الغاطسة إلى جرّ طرفها إلى نطاق الطرح. ما اسم هذه العملية؟

a. السحب عند ظهر المحيط.

b. الدفع عند ظهر المحيط.

c. سحب الصفيحة.

d. دفع الصفيحة.

7. من المعالم التي لا توجد عند الحدود المتقاربة:

a. ظهر المحيط. c. سلسلة جبال مطوية.

b. أخدود بحري عميق. d. قوس جزر بركاني.

8. تؤدي عملية طرح صفيحة محيطية تحت صفيحة أخرى إلى تكوّن:

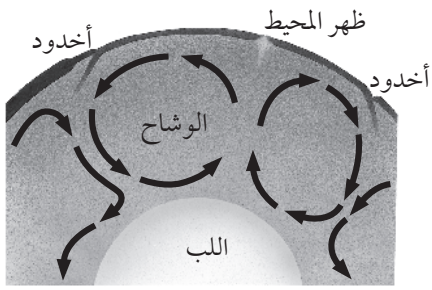
a. أخدود بحري عميق. c. حفرة انهدام.

b. انقلاب مغناطيسي. d. قشرة محيطية جديدة.

أسئلة الإجابات القصيرة

9. كيف تسبب تيارات الحمل في حركة الصفائح؟

استعمل الشكل أدناه في الإجابة عن الأسئلة 10–12



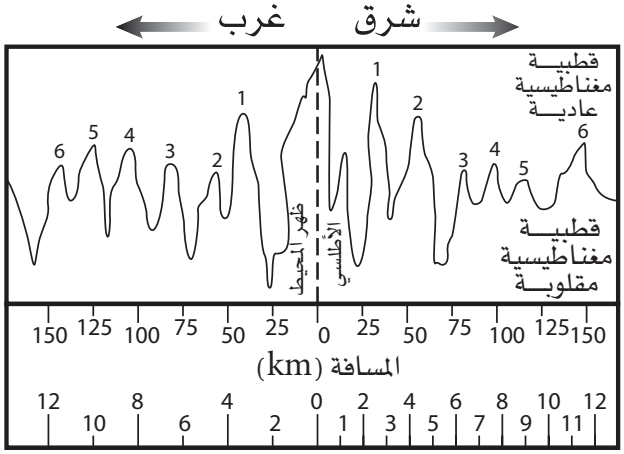
10. صف ما تم نمذجته في الشكل أعلاه، ثم حدد كيف يؤثر في حركة الصفائح؟

11. هل يمكن أن تحدث هذه العمليات في الجزء الصلب من وشاح الأرض؟

12. لماذا لا تسبب حركة تيارات الحمل الدائرية زيادة مقدار الحركة على سطح الأرض؟

13. انتشرت مستنقعات استوائية بصورة واسعة شمال أمريكا قبل نحو 200 مليون سنة، كما غطت الكتل الجليدية في الوقت نفسه مناطق في جنوب إفريقيا وجنوب شرق أمريكا الجنوبية وجزء كبير من الهند وأجزاء من أستراليا ومعظم القارة القطبية الجنوبية. كيف يمكن لهذه المعلومات أن تدعم فكرة فاجنر حول الانجراف القاري؟

استعمل الشكل أدناه في الإجابة عن السؤالين 14 و 15.



14. يستعمل العلماء جهاز قياس المغناطيسية وأجهزة أخرى للحصول على مخطط يمثل شدة المجال المغناطيسي لجزء من قاع المحيط. ما المعلومات التي يمكن أن نحصل عليها عند دراسة المخطط؟

15. ماذا يمكن أن يستنتج العلماء حول كيفية تكون قاع المحيط بالقرب من ظهر المحيط الأطلسي؟

القراءة والاستيعاب

خرائط قاع المحيط

في عام 2005م تحطمت غواصة نووية نتيجة اصطدامها بأحد الجبال الموجودة تحت الماء في جنوب المحيط الهادي. وقد وضَّح هذا الحادث أن معلومات الإنسان حول القمر أكبر من معلوماته عن جغرافية قاع المحيط. وتتفاوت التقديرات بين 2 % و3 % من مساحة قاع المحيط التي وضع لها خرائط.

وعلى الرغم من أن سفن المسح المجهزة بأنظمة السبر الصوتي يمكن أن تزودنا بخرائط دقيقة لقاع المحيط إلا أن هذه الطريقة تستطيع رسم خرائط لنطاقات ضيقة فقط من قاع المحيط. ولذلك فإن رسم خرائط لجميع المحيطات يحتاج إلى آلاف السنين وبلايين الدنانير. ومع ذلك فقدتكون بعض الخرائط حاسمة في دعم الجهود المبذولة لمواجهة التسونامي. وبغض النظر عن عمق المحيط فإن موجات التسونامي تتحرك على امتداد قاع المحيط، ولهذا فإن مسارها يتأثر بمعالم القاع. إن معرفة مواقع كل من الأخاديد والجبال البحرية ومعالم قاع المحيط الأخرى يعد أساسًا في حساب كيفية حركة التسونامي، وأين ستتحرك، والقوى المؤثرة في الشاطئ. ومن الدراسات التي يمكن أن تستفيد من رسم خرائط قاع المحيط الدراسات المتعلقة بمواطن المخلوقات الحية البحرية، ومعدلات مزج مياه المحيطات؛ والتي تعد أساسية في امتصاص غازات الدفيئة. وجميعها يعتمد على معلومات أكثر تفصيلًا عن 70 % من سطح الأرض.

16. ماذا تستنتج من النص أعلاه؟

a. من الضروري تزويد السفن والغواصات بأجهزة السبر الصوتي حتى تسير بين الجبال البحرية.

b. رسم خرائط قاع المحيط مكلفة وغير مهمة بشكل كافٍ للإنسان.

c. لا يعرف إلا القليل عن قيعان المحيطات، وتحسين هذه المعرفة يعود بالنفع على كل من الإنسان والحيوانات.

d. العديد من الحيوانات البحرية التي تعيش في المحيطات سوف تتأثر إذا استمر العلماء في رسم خرائط لقاع المحيط.

17. كيف يساعد معرفة معالم قاع المحيط علماء المحيطات على تتبع التسونامي؟

الفصل 2

البراكين Volcanoes

الفكرة العامة تتشكل البراكين من الماجما القادمة من باطن الأرض.

2–1 ما البركان؟

الفكرة الرئيسية ترتبط مواقع البراكين عمومًا، بحركة الصفائح.

2–2 الثورانات البركانية

الفكرة الرئيسية تحدّد مكوّنات الماجما خصائص الثوران البركاني.

حقائق جيولوجية

- يمكن رصف شارع ثلاث مرات حول الأرض من اللابة المتدفقة من أحد البراكين الكبيرة.
- يوجد حاليًا 500 بركان نشط على الأرض.
- كلمة ماجما magma مأخودة من الكلمة الإغريقية dough، وتعني عجينة.
- العديد من معالم الأرض الجغرافية تنتج بفعل البراكين.

تجربة استهلالية

ما الذي يجعل الماجما ترتفع إلى أعلى؟

الماجما صخور مصهورة توجد أسفل سطح الأرض. وستمثل في هذا النشاط حركة الماجما في باطن الأرض بعمل نموذج "مصباح من اللابة".

الخطوات

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

التحليل

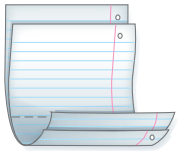
1. **حدّد** أي المكوّنين في نموذجك يمثل الماجما؟
2. **صف** ماذا حدث للزيت قبل إضافة الملح وبعده؟
3. **كوِّن فرضية** ما الذي يسبب صعود الماجما إلى أعلى؟

المطويات منظمات الأفكار

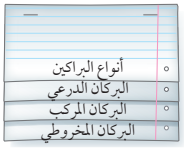
تصنيف البراكين

اعمل المطوية الآتية لمساعدتك على تصنيف البراكين.

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



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



الخطوة 3 ثبّت أوراق المطوية معًا بالدبابيس، وعنون الألسنة على النحو الآتي: أنواع البراكين (للسان العلوي): البركان الدرعي، البركان المركب، البركان المخروطي.

استعمل هذه المطوية في القسم **1-2**، مع قراءتك لهذا الدرس، اكتب خصائص كل نوع من البراكين أسفل كل لسان.

جيولوجيا عبر المواقع الإلكترونية

لمراجعة محتوى هذا الفصل ونشاطاته ارجع إلى الموقع www.obeikaneducation.com

الأهداف

- **تصف** كيف تؤثر حركة الصفائح في تشكل البراكين.
- **تحدد** المناطق الرئيسية للنشاط البركاني.
- **تتعرف** أجزاء البركان.
- **تميز** بين التضاريس البركانية.

مراجعة المفردات

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

المفردات الجديدة

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

What is a Volcano ? ما البركان؟

الفكرة الرئيسية **ترتبط مواقع البراكين عمومًا بحركة الصفائح.**

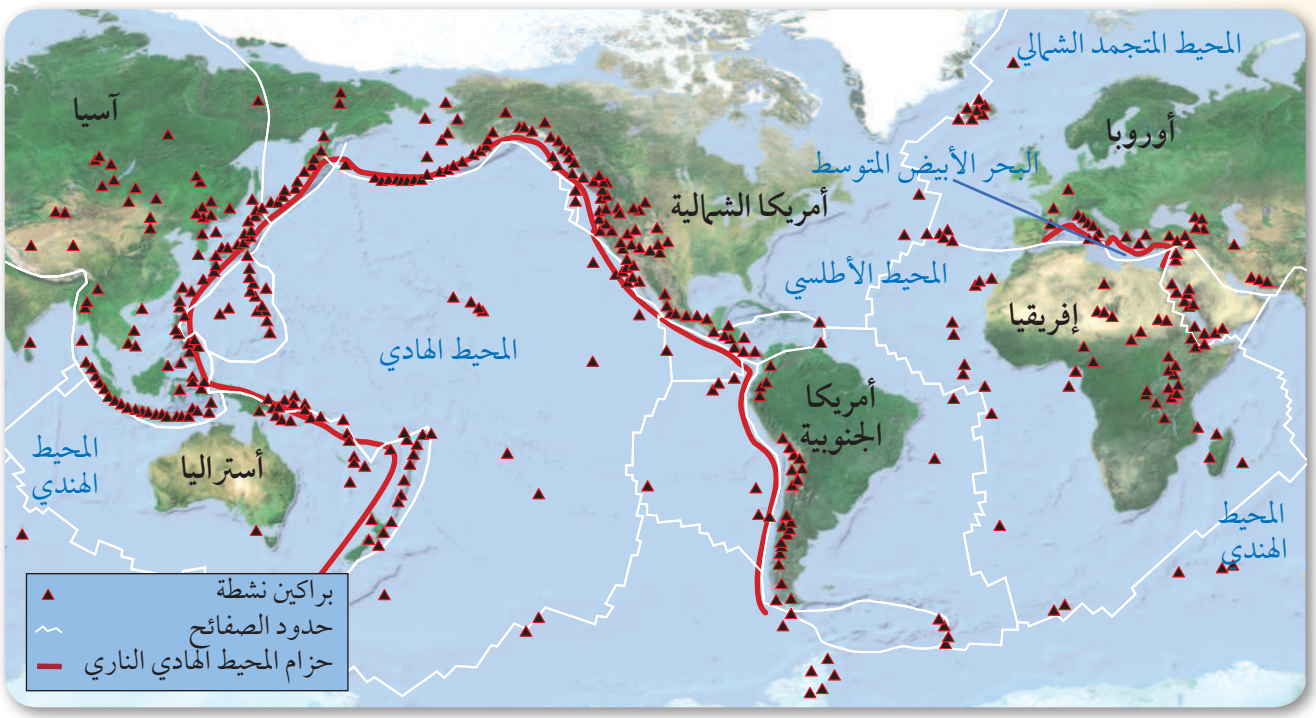
الربط مع الحياة يرش الملح على الشوارع المغطاة بالثلوج في فصل الشتاء؛ إذ يعمل الملح على خفض درجة انصهار الثلج. كذلك فإن الماء يقلل من درجة انصهار الصخور؛ فالصخور ذوات درجات الانصهار المرتفعة جدًّا في باطن الأرض تنصهر بسهولة أكثر إذا اختلطت بالمياه.

مناطق النشاط البركاني Zone of Volcanism

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

يثور تقريبًا 60 بركانًا في مواقع مختلفة على الأرض في السنة الواحدة، ويوضح **الشكل 1–2** خريطة لتوزيع البراكين النشطة في العالم. لاحظ من الشكل أن البراكين لا تتوزع على سطح الأرض بصورة عشوائية، بل تتجمع في مناطق معينة وهي حدود الصفائح؛ فقد وجد أن معظم البراكين تتشكل عند الحدود المتقاربة والمتباعدة، ولا يوجد سوى 5 % منها تثور بعيدًا عن حدود الصفائح.

الشكل 1–2 تقع معظم البراكين النشطة على الأرض على امتداد حدود الصفائح.

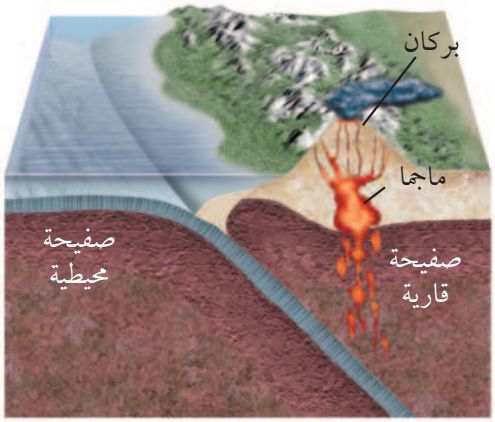


النشاط البركاني عند الحدود المتقاربة Convergent volcanism

تلتقي الصفائح الأرضية معًا عند الحدود المتقاربة فتشكّل أنطقة طرح، وذلك عندما تغطس صفيحة محيطية أسفل الصفيحة الأخرى في الوشاح، كما في **الشكل 2–2**. ولاحظ من الشكل أن الماجما تتشكل بفعل الانصهار الجزئي للصفيحة 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) مكوّنة البراكين. ومعظم البراكين الموجودة على اليابسة ناجمة عن تقارب صفيحة قارية مع أخرى محيطية، وتمتاز هذه البراكين بثورانات شديدة الانفجار.

ماذا قرأت؟ **حدّد** المقصود بالنشاط البركاني عند الحدود المتقاربة.

حزامان رئيسيان Tow major belts تشكّل البراكين المرافقة للحدود المتقاربة حزامين رئيسين،هما: انظر **الشكل 1–2**، **الحزام الأول هو حزام المحيط الهادي**، وهو الحزام الكبير الذي يحيط بسواحل المحيط الهادي، ويعرف أحيانًا بحلقة النار، وتنطبق حدود هذا الحزام تمامًا على حدود صفيحة المحيط الهادي، ويمتد على طول السواحل الغربية للأمريكتين الشمالية والجنوبية إلى جزر الألوتيان، ومنها إلى سواحل شرق قارة آسيا. ومن أمثلة البراكين التابعة لهذا الحزام براكين سلاسل الجبال في غرب الولايات المتحدة الأمريكية، وبركان بيناتيوبو في الفلبين. أما **الحزام الآخر فيسمى حزام حوض البحر المتوسط**. وأشهر البراكين التابعة له هما البركانان إتنا وفيزوف في إيطاليا، وتنطبق حدود هذا الحزام عمومًا على الحدود التي تفصل بين صفائح أوراسيا وإفريقيا والصفيحة العربية.



الشكل 2–2 في نطاق طرح قاري – محيطي تنزلق الصفيحة المحيطية الأكبر كثافة في الوشاح أسفل الصفيحة القارية، فتنصهر أجزاء من هذه الصفيحة، مما يؤدي إلى صعود الماجما إلى أعلى مشكّلةً البراكين.

حدد البركان المصاحب لحدود التقارب القاري–المحيطي في **الشكل 1–2**.

مختبر تحليل البيانات

* بُني هذا النشاط على بيانات حقيقية

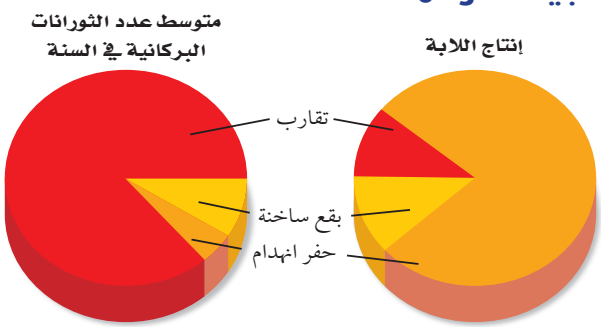
تفسير الرسم البياني

كيف ترتبط أنطقة 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 نطاق اعتمادًا على بيانات أخذت من 5337 ثوران بركاني.

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 الماجما والمقذوفات البركانية

*المصدر: *Journal of Volcanology and Geothermal Reserarch 20: 177–211*

■ **الشكل 3–2** تثور البراكين المصاحبة لحدود التباعد بصورة هادئة دون حدوث انفجارات، وتكوِّن هذه الثورانات في قاع المحيط أشكالاً على هيئة وسائد ضخمة، يُطلق عليها وسائد اللابة.

النشاط البركاني عند الحدود المتباعدة Divergent volcanism

تبتعد الصفائح الأرضية بعضها عن بعض عند الحدود المتباعدة؛ حيث تصعد الماجما إلى أعلى لتملأ الفراغ الناجم عن التباعد، مشكّلة قشرة محيطية جديدة؛ وتأخذ اللابة عند ظهور المحيطات شكل وسائد ضخمة، كما في **الشكل 3–2**، ويطلق عليها وسائد اللابة. 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 4–2** بعض براكين التباعد.

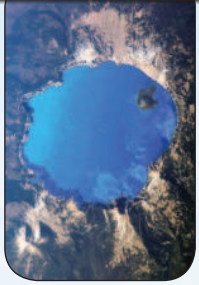
ماذا قرأت؟ **حوّل** الكسور الاعتيادية لبراكين التباعد التي تشكّلت تحت الماء إلى نسبة مئوية.

البقع الساخنة Hot spot تتشكل بعض البراكين بعيدًا عن حدود الصفائح فوق بقع ساخنة، ويفترض العلماء أن **البقع الساخنة Hot spot** عبارة عن مناطق ساخنة بصورة غير عادية في وشاح الأرض، حيث يصعد عمود من الماجما ذات درجة حرارة عالية إلى أعلى في اتجاه سطح الأرض.

■ **الشكل 4–2 البراكين موضع الاهتمام**
تُشكل البراكين بعض تضاريس سطح الأرض باستمرار.

عام 79 قبل الميلاد أدّى ثوران بركان فيزيونيوس في إيطاليا إلى دفن مدينتين بالرماد البركاني.

6000 بعد الميلاد — 3000 بعد الميلاد

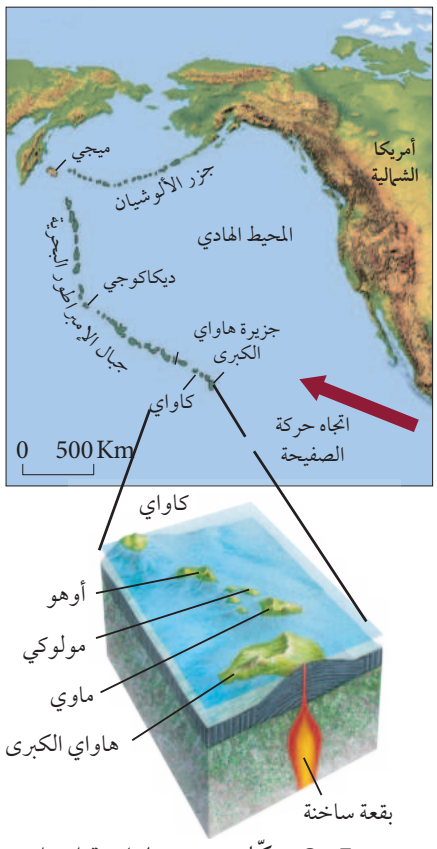


4845 قبل الميلاد خريطة تضاريسية لبركان جبل مازاما في ولاية أوريجون، حيث أدّى ثورانه إلى انهيار الجبل وأصبح منخفضًا عرضه 9km، ويُعرف حاليًا باسم بحيرة الفوهة البركانية.

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

براكين البقع الساخنة Hot spot volcanoes تشكّلت بعض البراكين الأكثر شهرة بفعل البقع الساخنة تحت المحيط. تقع جزر هاواي التي تظهر في الخريطة المجاورة، انظر **الشكل 5–2**، على عمود من الماجما، وهي جزر بركانية تكوّنت نتيجة ارتفاع الماجما إلى أعلى من خلال القشرة الأرضية. وتبقى البقعة الساخنة المتكونة بوساطة عمود من الماجما ثابتةً 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 جزر غير نشطة (خامدة)؛ لأنها لا تقع حاليًّا فوق البقعة الساخنة الثابتة، وينطبق ذلك أيضًا على البراكين القديمة الواقعة إلى الشمال الغربي وأصبحت أسفل مستوى سطح البحر. ويُعد بركان كيلاوي في جزيرة هاواي الكبرى الذي يقع حاليًّا فوق بقعة ساخنة من أكثر البراكين نشاطًا في العالم، كما في بركان لوهي الذي يتشكل حاليًّا في قاع المحيط في جنوب شرق جزيرة هاواي الكبرى، ويمكن أن يرتفع عن مستوى سطح البحر، في نهاية المطاف، مشكّلاً جزيرة جديدة.

البقع الساخنة وحركة الصفيحة Hot spots 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 5–2** أن جزر هاواي تمثل الطرف الأول من سلسلة جبال هاواي البركانية، في حين يمثل جبل ميجي الطرف الآخر من السلسلة الأقدم عمرًا، 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.



■ **الشكل 5–2** تشكّلت جزر هاواي قبل ملايين السنين؛ نتيجة لحركة صفيحة المحيط الهادي البطيئة فوق بقعة ساخنة ثابتة الموقع، حيث تقع حاليًّا أسفل جزيرة هاواي الكبرى.

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

1991 أطلق بركان جبل بيناتوبو في الفلبين $10\ km^3$ من الرماد البركاني، مما أدّى إلى خفض درجة حرارة الأرض $0.5\ ^{o}C$.

2000 — 1900 — 1800

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

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

■ **الشكل 6–2** أدّى تراكم كميات هائلة من اللابة على السطح إلى تشكيل طبقات بسمك 1km، ثم تعرضت مع مرور الزمن إلى عمليات حت بفعل الأنهار والقوى الجيولوجية مكوّنةً الهضاب.

المفردات

الاستعمال العلمي مقابل الاستعمال الشائع

العصر الحالي

الاستعمال العلمي: العصر الجيولوجي الأخير، وهو العصر الرباعي.

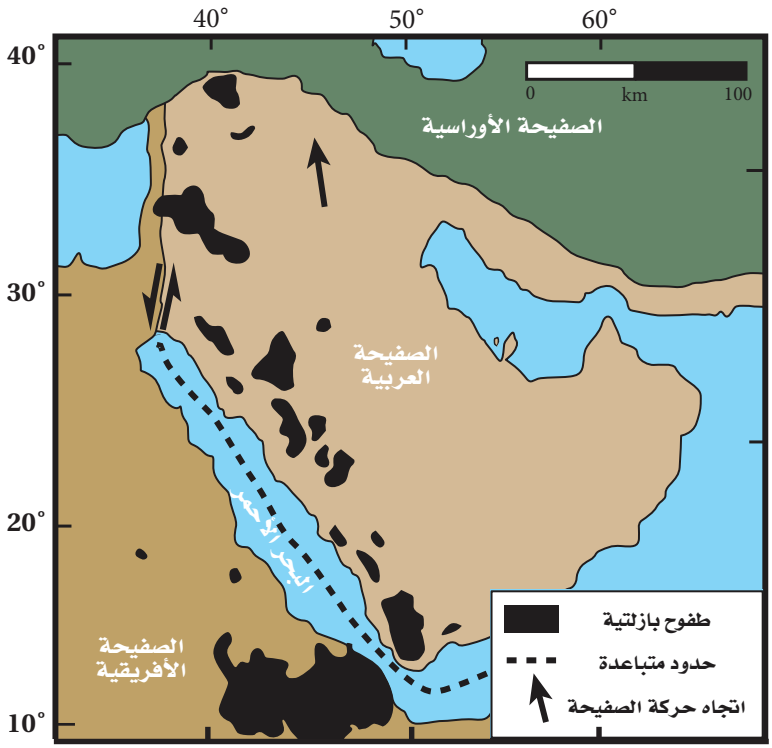
الاستعمال الشائع: الوقت الحاضر.

طفوح البازلت 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 ثورانات الشقوق هذه إلى تكوين سهول منبسطة تُسمى الهضاب، كما في **الشكل 6–2**. 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 arabia peninsala تغطي طفوح البازلت جزءًا كبيرًا من المنطقة الغربية للصفيحة العربية، تصل إلى 180,000 km^2 على هيئة حزام واسع متقطع يمتد من اليمن جنوبًا على طول ساحل البحر الأحمر إلى الأردن وحتى سوريا شمالاً، انظر **الشكل 7–2**. ويعود تشكّل هذا الحزام إلى الشقوق والصدوع المصاحبة لتكوّن البحر الأحمر، التي بدأت قبل 25 مليون سنة، واستمرت إلى العصر الحالي؛ حيث سُجّل آخر ثوران بركاني حدث في جزيرة جبل الطير في عام 2007م. وقد أدّى تدفق اللابة منذ 25 مليون سنة إلى تكوين الهضاب البازلتية، التي تغطي 10,000 km^2 من الجزيرة العربية وساحل البحر الأحمر.

تركيب البركان Volcano Structure

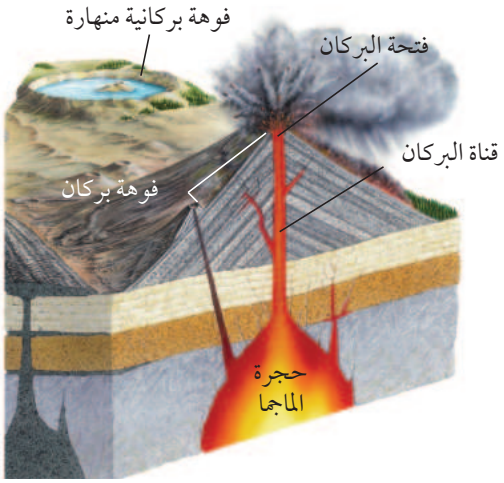
إن اللابة هي ماجما وصلت إلى سطح الأرض، وتمر الماجما من خلال تركيب يشبه الأنبوب يسمى **قناة البركان conduit**، ثم تخرج إلى سطح الأرض من خلال **فتحة البركان vent**، حيث تنساب اللابة وتتصلب حول الفتحة، وباستمرار انسياب اللابة وتراكمها مع الزمن يؤدي إلى تكوين جبل يسمى البركان. ويُسمى المنخفض الذي يوجد في قمة البركان حول الفتحة **فوهة البركان crater**، حيث تتصل مع حجرة الماجما عبر القناة.



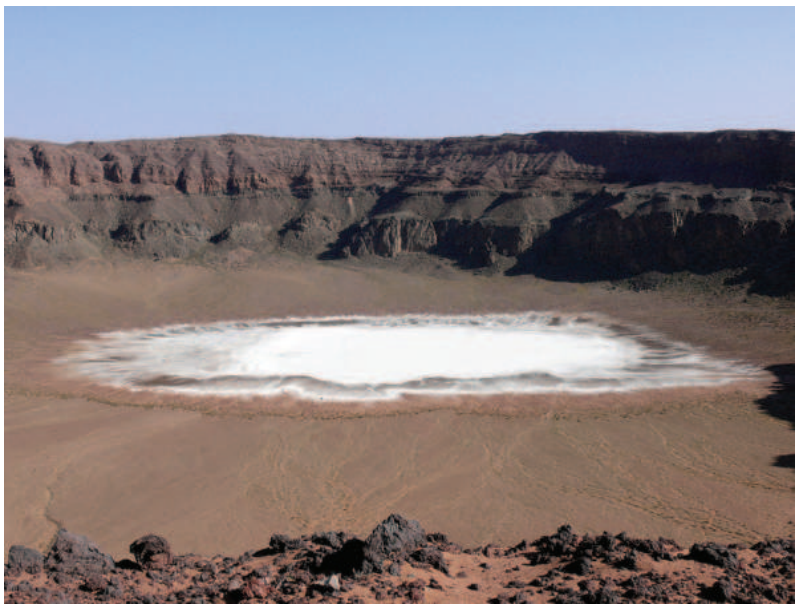
■ **الشكل 7–2** طفوح البازلت التي تغطي المنطقة الغربية من الجزيرة العربية، وقد تشكلت بفعل تدفقات اللابة عبر الشقوق التي أصابت الصفيحة العربية في أثناء تشكّل البحر الأحمر قبل 25 مليون سنة، واستمر تشكل هذه البراكين إلى العصر الحالي.

لاحظ موقع كل من فوهة البركان والقناة وفتحة البركان في **الشكل 8–2**.

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 عبارة عن منخفض ضخم أكبر من الفوهة. وتتشكّل الفوهة البركانية المنهارة نتيجة انهيار قمة البركان أو جوانبه بعد أن تستفرغ حجرة الماجما مكوناتها الواقعة أسفل البركان بفعل الثورانات البركانية الرئيسية، ولاحقًا قد يمتلئ السطح المنهار بالمياه، مما يؤدي إلى تشكل بحيرات خلابة. ومن الفوهات البركانية المنهارة في شبه الجزيرة العربية فوهة الهتيمة أنظر **الشكل 9–2**.



■ **الشكل 8–2** ترتفع الماجما إلى أعلى من باطن الأرض مرورًا بالقناة، ومنها إلى السطح من خلال العنق، مكوّنة البركان. وتسمى المنطقة المحيطة بالعنق فوهة البركان، وقد تتطور إلى فوهة بركانية منهارة عندما تنهار القشرة الأرضية في حالة وجود فراغ في حجرة الماجما.



الشكل 9–2 تمثل فوهة الهتيمة إحدى الفوهات البركانية المنهارة، ويتراكم على سطحها كميات من الملح نتيجة تبخر المياه التي تتجمع فيها.

تجربة

نمذجة الفوهة البركانية المنهارة

كيف تتشكّل الفوهة البركانية المنهارة؟ الفوهة البركانية المنهارة هي عبارة عن فوهات بركانية توسعت وتعمقت نتيجة انهيار قمة البركان أو جوانبه في حجرة الماجما التي كانت تغذي البركان.

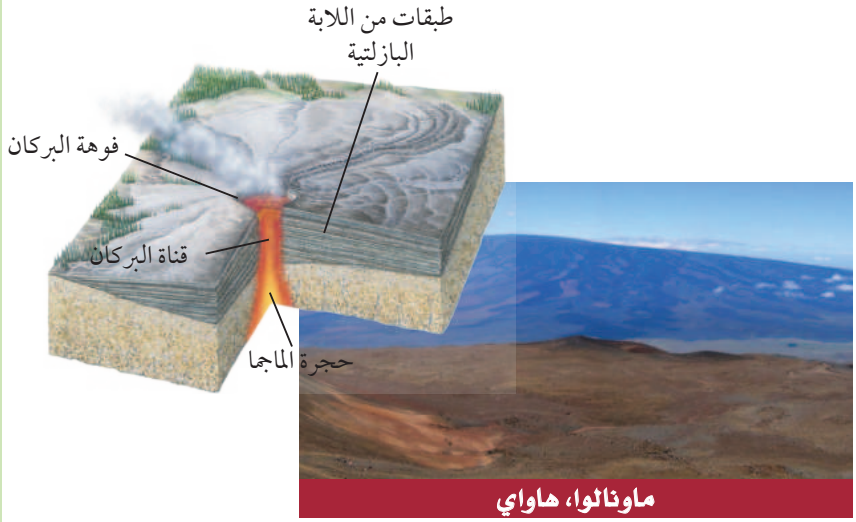
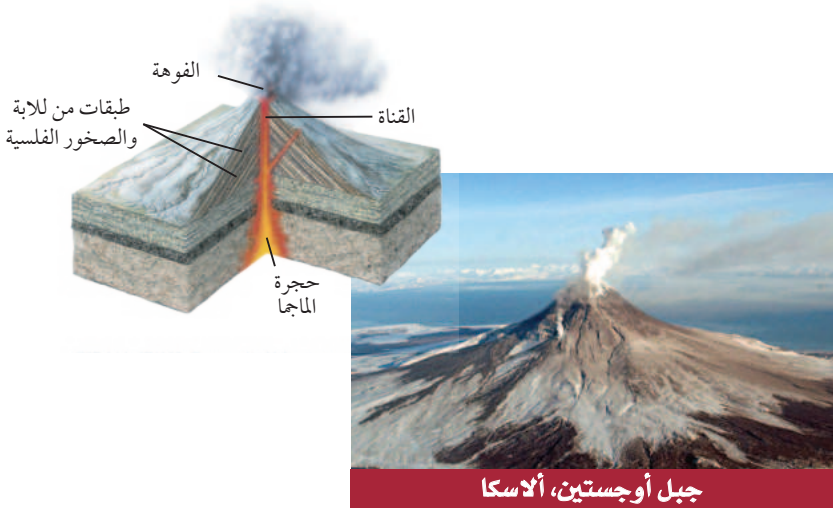
خطوات العمل

1. اقرأ نموذج السلامة في المختبر.
2. احصل من معلمك على صندوق صغير وأنبوب مطاطي طوله 10 cm ومشبك وبالون.
3. بطِّن الصندوق بورق جرائد، واثقبه ثقبًا صغيرًا باستعمال المقص من الجنب.
4. مرر عنق البالون عبر الثقب، بحيث يكون البالون في داخل الصندوق، وأدخل الأنبوب المطاطي في عنق البالون، وثبتهما **باللاصق**، وانفخ البالون من خلال النفخ بالأنبوب، وأغلق البالون بالمشبك.
5. صبّ ستة أكواب من **الرمل** على البالون.
6. كوّن من **الرمل** شكلاً على صورة بركان، وقد تحتاج إلى تغيير كمية الرمل ونوع الصندوق للتوصل إلى النتيجة المرجوة.
7. انزع المشبك لإخراج الهواء من البالون، ثم لاحظ كيف تتشكل الفوهة البركانية المنهارة الخاصة بك، وسجل ملاحظاتك.
8. قارن نموذجك بنماذج زملائك في الصف.

التحليل

1. **رتّب** مراحل تشكّل الفوهة البركانية المنهارة.
2. **قارن** بين معالم الفوهة البركانية المنهارة ومعالم الفوهة البركانية.
3. **استنتج** كيف يختلف شكل الفوهة البركانية المنهارة باختلاف مقدار النفخ في البالون؟

الجدول 1–2 أنواع البراكين

الوصف	أمثلة على البراكين
البراكين الدرعية • أضخم أنواع البراكين الثلاثة • قليلة الانحدار وتمتد لمسافات طويلة • تتكون من طبقات متعاقبة من اللابة البازلتية المتصلبة. • ثوراناتها هادئة.	 ماونالوا، هاواي
البراكين المخروطية • أصغر أنواع البراكين الثلاثة. • شديدة الانحدار وشكلها مخروطي • تتألف عادة من اللابة البازلتية. • ثورانها عنيف. • تتشكل عادة على أطراف البراكين الكبيرة الحجم.	 بركان بارك لاسين، كاليفورنيا
البراكين المركّبة • أكبر كثيرًا من البراكين المخروطية. • تشكّل جبالاً طويلة وشاهقة. • تتألف من طبقات متعاقبة من تدفقات اللابة. • تتألف من تعاقبات من ثورانات بركانية عنيفة وثورانات بركانية هادئة.	 جبل أوجستين، ألاسكا

أنواع البراكين Types of Volcanoes

يعتمد مظهر البركان على عاملين اثنين، هما: نوع المواد المكوّنة للبركان، ونوع الثورانات البركانية التي تحدث. وبناءً على هذين المعيارين، هناك ثلاثة أنواع رئيسة من البراكين تختلف في الحجم والشكل والمكوّنات، انظر **الجدول 1–2**.

البراكين الدرعية Shield volcano البركان الدرعي **shield volcano** جبل عريض ذو انحدار قليل وقاعدة شبه دائرية، يتكون عندما تتراكم طبقات من اللابة في أثناء الثورانات البركانية الهادئة وهو من أكبر أنواع البراكين، ويعد بركان وجبل مار في حرة رهط والذي يقع بين المدينة المنورة شمالًا ووادي فاطمة بالقرب من مكة المكرمة في **الجدول 1–2** من البراكين الدرعية.

البراكين المخروطية Cindercones تتشكل البراكين المخروطية **cindercones** 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 ارتفاعها على 500 m. وبراكين حرة الشاقة (لونير) بالقرب من مدينة العيص مثلًا، على البراكين المخروطية.

البراكين المركبة Composite volcanoes تتكون البراكين المركبة **composite volcanoes** من طبقات مكونة من قطع لابة متصلبة في أثناء ثورانات عنيفة متعاقبة مع طبقات من اللابة انسابت نحو الأسفل قبل أن تتصلب، وتكون البراكين المركبة عمومًا مخروطية الشكل، مع وجود منحدرات مقعرة الشكل، وحجمها أكبر كثيرًا من البراكين المخروطية. وبسبب طبيعتها المتفجرة تشكّل خطرًا على الإنسان والبيئة. ومن الأمثلة عليها بركان جبل القدر في حرة خيبر شمال المدينة المنورة، كما في **الجدول 1–2**.

المهن في علم الأرض

عالم البراكين

يُسمى العالم الذي يدرس الثورانات البركانية وطفوح اللابة والماجما وظروف تكونها عالمَ البراكين. ويقوم العلماء في الميدان بدراسة البراكين النشطة، ويعملون أيضًا في المختبر لفهم كيف تنصهر الصخور لتشكيل الماجما.

المطويات

ضَمّن المعلومات في هذا الدرس في المطوية الخاصة بك.

التقويم 1–2

الخلاصة

- تتضمن عملية النشاط البركاني جميع العمليات التي تصعد فيها الماجما والغازات إلى سطح الأرض.
- توجد معظم البراكين على اليابسة ضمن حزامي البراكين الرئيسة، وهما حزام المحيط الهادي، وحزام البحر الأبيض المتوسط.
- تتضمن أجزاء البركان: القناة، و الفتحة، والفوهة، والفوهة البركانية المنهارة.
- توجد طفوح البازلت على هيئة سهول منبسطة أو هضاب، وتتكون نتيجة لتدفق اللابة من شقوق القشرة الأرضية.
- هناك ثلاثة أنواع رئيسة للبراكين هي: الدرعية المخروطية والمركبة.

فهم الأفكار الرئيسية

1. **الفكرة الرئيسية** **وضح** كيف ترتبط مواقع البراكين مع نظرية الصفائح الأرضية؟
2. **اذكر** بركانين في حزام البحر المتوسط.
3. **ارسم** بركانًا وحدّد أجزاءه على الرسم.
4. **اقترح** إذا علمت أن في شبه الجزيرة العربية منطقة نشاط بركاني سابق، فاقترح نوع أو (أنواع) العمليات الأرضية التي حدثت في هذه المنطقة مستعينًا بالخريطة.

التفكير الناقد

5. **قوّم** الجملة الآتية: "توجد البراكين على طول السواحل فقط".
6. **قرّر** ما إذا كانت طفوح البازلت بركانًا أم لا.

الرياضيات في الجيولوجيا

7. هب أن صفيحة المحيط الهادي تحركت 500 km في 4.7 ملايين سنة، فاحسب متوسط سرعة صفيحة محيط الهادي بالسنتمتر في السنة (cm /y).

2-2

الأهداف

- **توضح** كيف يؤثر نوع الماجما في النشاط البركاني.
- **تصف** دور الضغط والغازات الذائبة في الثورانات البركانية.
- **تتعرف** المواد التي تقذفها الثورانات البركانية.

مراجعة المفردات

البازلتية: ترتبط مع نوع من الصخور غنية بالمعادن الداكنة التي تحتوي على الماغنيسيوم والحديد.

المفردات الجديدة

اللزوجة

المقذوفات البركانية الصلبة

تدفق المقذوفات البركانية الصلبة

الثورانات البركانية Volcanic Eruptions

الفكرة الرئيسية **تحدّد مكوّنات الماجما خصائص الثوران البركاني.**

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

تشكُّل الماجما Making Magma

ما الذي يجعل بعض الثورانات البركانية هادئة أحيانًا وشديدة الانفجار أحيانًا أخرى؟ يعتمد النشاط البركاني وخصائص اللابة على مكوّنات الماجما. ويوضح **الشكل 10–2** نوعين من اللابة: لابة رقيقة ومنخفضة اللزوجة تتدفق بسرعة، أو سميكة ولزجة وتتدفق ببطء. ويتطلب فهم سبب اختلاف الثورانات البركانية، معرفة كيف تنصهر الصخور لتشكيل الماجما.

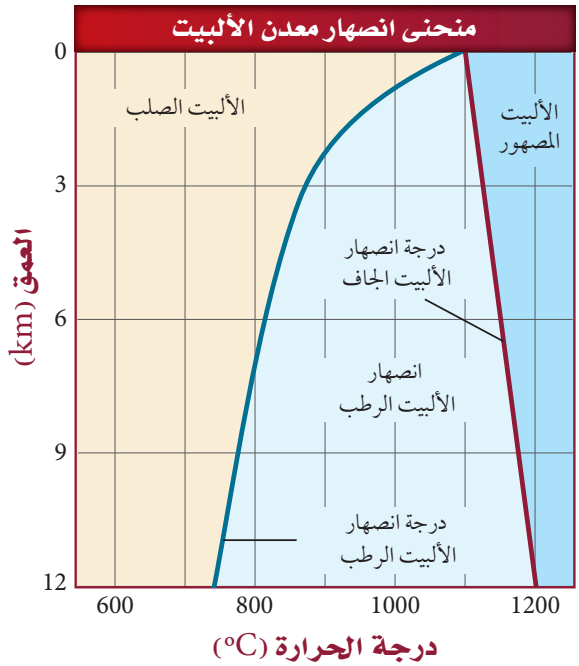
درجة الحرارة Temperature تنصهر معظم الصخور ضمن مدى من درجات الحرارة يتراوح بين 800 °C إلى 1200 °C، ويعتمد ذلك على مكوّناتها والضغط الواقع عليها ووجود الماء فيها. ومن ذلك صخور القشرة الأرضية وأعلى الوشاح. حيث تزداد درجة حرارة القشرة الأرضية بزيادة العمق، ويصاحبها زيادة في الضغط، وكل من درجة الحرارة والعمق والضغط ووجود الماء يؤثر في نوعية الماجما المتشكلة.

الضغط Pressure يزداد الضغط بزيادة العمق بسبب زيادة وزن الصخور، إلا أن زيادة الضغط تؤدي إلى رفع درجة الانصهار، انظر **الشكل 11–2**، الذي يبين منحنيي انصهار لمعدن الفلسبار الصودي (الألبيت). لاحظ أن درجة انصهار الألبيت 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 أيضًا كيف يفسر عامل الضغط سبب انصهار معظم الصخور أسفل القشرة الأرضية وأعلى الوشاح.

الشكل 10–2 تعتمد كيفية تدفق اللابة على مكوّنات الماجما؛ فلزوجة لابة بركان جبل إتنا قليلة، وتتدفق بسرعة مقارنة بلابة بركان جبل سانت هيلين ذات اللزوجة المرتفعة القليلة التدفق.

جبل إتنا

جبل سانت هيلين



الشكل 11–2 يؤثر كل من المحتوى المائي والضغط في كيفية انصهار معدن الألبيت. حيث يزداد الضغط بزيادة العمق.

حدد موقع منحنى انصهار الألبيت الرطب. كيف تختلف درجة انصهار الألبيت الرطب عن درجة انصهار الألبيت الجاف على عمق 3 km ، وعلى عمق 12 km ؟

مكوّنات الماجما
Composition of Magma

تُحدّد مكوّنات الماجما شدة ثوران البركان، وكيفية تدفق اللابة على سطح الأرض. ما العوامل التي تحدد مكوّنات الماجما؟ استطاع العلماء تحديد العوامل التي تتحكم في مكونات الماجما، وهي، تفاعل الماجما مع صخور القشرة الأرضية التي تعلوها، ودرجة حرارتها، والضغط الواقع عليها، وكميات الغازات الذائبة، فيها ومحتواها من السيليكا. ويُعد العامل الأخير من أكثر العوامل تأثيرًا. ويرى العلماء أن هذه العوامل تساعدهم على معرفة سلوك الماجما وتوقع شدة الثورانات البركانية.

الغازات الذائبة Dissolved gases تزداد شدة الانفجار البركاني للماجما بزيادة كمية الغازات الذائبة فيها. مثلما يحدث في المشروب الغازي عندما يزداد فورانه بزيادة الغازات الذائبة فيه. ومن الغازات المهمة في الماجما بخار الماء، وثاني أكسيد الكربون، وثاني أكسيد الكبريت، وكبريتيد الهيدروجين، ويُعد بخار الماء من أكثر الغازات الذائبة أهمية؛ لأنه يحدد أين يمكن للماجما أن تتكون. ويوضح **الشكل 11–2** أن المعادن في الوشاح مثل معدن الألبيت تنصهر عند درجات حرارة مرتفعة، ولكن وجود بخار الماء يقلل من درجة الانصهار، مما يساعد على انصهار مواد الوشاح وتكوُّن الماجما، ثم ثورانها على هيئة براكين.

اللزوجة Viscosity تُسمى الخاصية الفيزيائية التي تصف مقاومة المواد للتدفق **اللزوجة Viscosity**. وتؤثر كل من درجة حرارة الماجما ومحتواها من السيليكا في لزوجتها. وعمومًا، تزداد لزوجة الماجما بانخفاض درجة حرارتها.

ماذا قرأت؟ أيهما أكثر لزوجة: الماء أم العسل؟

أما زيادة محتوى الماجما من السيليكا فيجعلها كثيفة القوام ولزجة. وتؤدي زيادة لزوجة الماجما إلى جعلها تحتفظ بالغازات الذائبة أكثر فلا تسمح لها بالانفلات بسهولة، لذا تنتج ثورانات بركانية متفجرة. وبصورة عامة، إذا كان محتوى الماجما من السيليكا منخفضًا تكون لزوجتها منخفضة، و خفيفة القوام وتتدفق بسرعة ويسر، كما في العسل الساخن، كما أنها تُنتج ثورانات هادئة غير مصحوبة بانفجارات.

أنواع الماجما Types of Magma

لا يحدد محتوى الماجما من السيليكا لزوجة الماجما وشدة ثورانها فقط، بل يحدد أيضًا نوع الصخر البركاني الذي سيتشكل حينما تبرد الماجما. ادرس **الشكل 12–2** لتلخيص أنواع الماجما.

ماجما بازلتية Basaltic magma تتكوّن الماجما البازلتية عندما تنصهر صخور الوشاح العلوي عادة، وتتكون من كمية السيليكا نفسها التي يحتويها صخر البازلت، وهي أقل من 50%. وعندما تصعد الماجما من الوشاح العلوي إلى سطح الأرض فإنها تتفاعل مع قليل من صخور القشرة الأرضية والرسوبيات التي تعلوها، وتكون لزوجتها منخفضة لانخفاض محتواها من السيليكا، لذا تخرج الغازات منها بسهولة، وتكون ثوراناتها هادئة. ويوضح **الشكل 13–2** كيف تحدد خصائص الماجما نوع الثوران البركاني الذي سيحدث. ومن البراكين التي تكوّنت بفعل نشاط ماجما بازلتية بركان كيلاوي وبركان مونالوا.

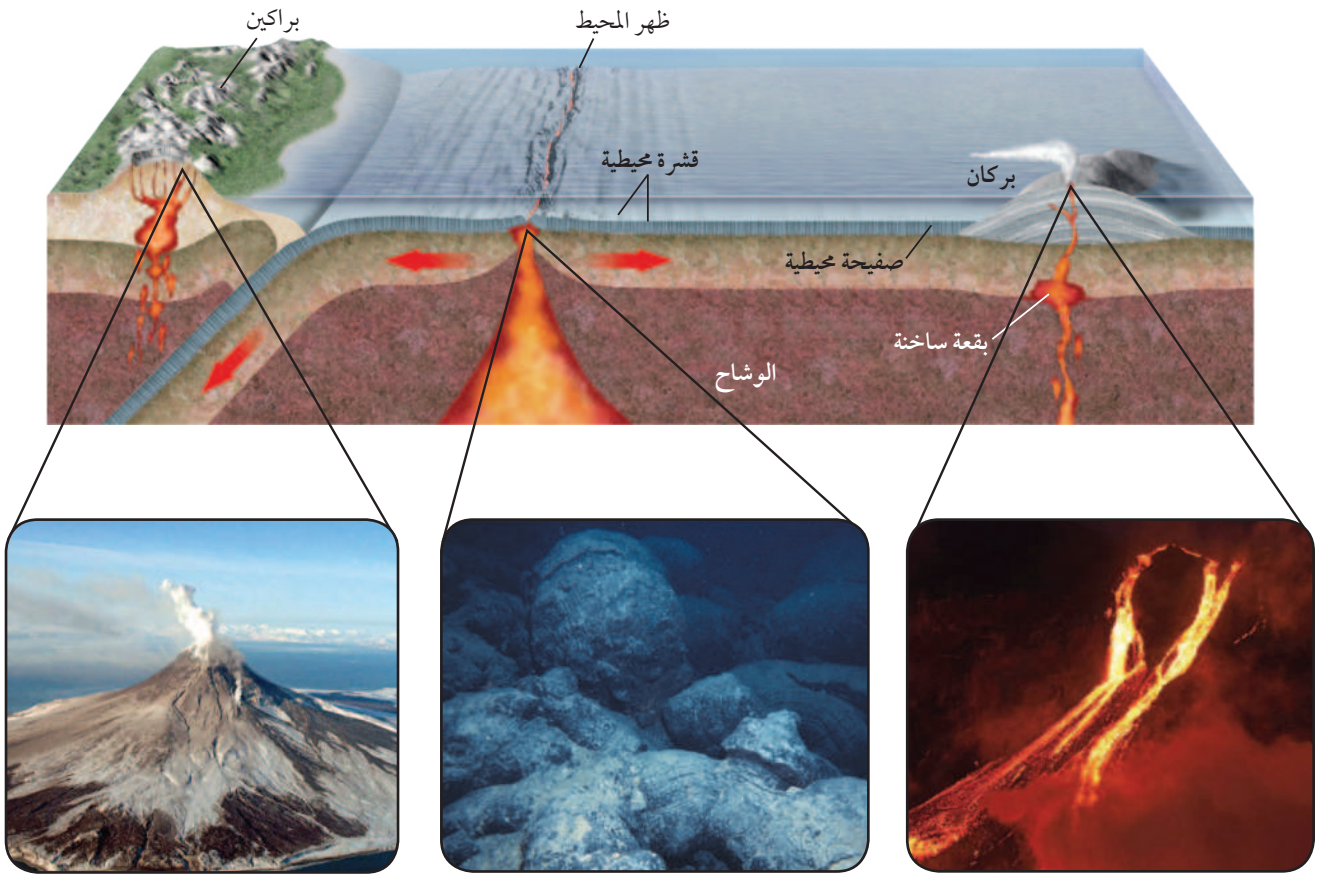
ماجما أنديزيتية Andesitic magma تتكون الماجما الأنديزيتية من الكمية نفسها من السيليكا المكوّنة لصخر الأنديزيت التي تتراوح بين 60%–50%، وتوجد على طول نطاق الطرح القاري–المحيطي، ومصدرها إما القشرة المحيطية أو رواسب المحيطات، ولأنها تحتوي على كمية متوسطة من السيليكا فإن لزوجتها متوسطة وثوراناتها متوسطة الشدة، ومنها بركان تامبورا في إندونيسيا، وأنتج انفجارات أطلقت كميات ضخمة من الرماد والحطام البركاني في الغلاف الجوي، فلم تؤدِّ فقط إلى تدمير المجتمعات المحلية، بل أثرت أيضًا في البيئة العالمية.

ماجما ريوليتية Rhyolitic magma تتكون الماجما الريوليتية عندما تمتزج الماجما الصاعدة إلى أعلى مع صخور القشرة القارية العلوية الغنية بالسيليكا والماء، وتتكون من الكمية نفسها من السيليكا المكوّنة لصخر الجرانيت التي تزيد على 60%، وتؤدي لزوجتها المرتفعة إلى جعلها تتدفق ببطء، كما أن لزوجتها المرتفعة أيضًا مع وجود كمية كبيرة من الغازات المحصورة يجعل ثوراناتها متفجرة جدًّا. وقد تكونت البراكين الخامدة بفعل ثوران الماجما الريوليتية.

■ **الشكل 12–2** إذا كانت الماجما أو اللابة فقيرة بالسيليكا فإن لزوجتها تكون منخفضة، وإذا كانتا غنيتين بالسيليكا تكون لزوجتها مرتفعة.

الثورانات البركانية Volcanic Eruptions

الشكل 13–2 عندما تصعد الماجما إلى أعلى بفعل حركات الصفائح الأرضية والبقع الساخنة، فإنها تختلط مع قشرة الأرض، ويؤدي هذا الاختلاط إلى الاختلاف في درجة حرارة الماجما ومحتواها من السيليكا والغازات. وتحدد خصائص الماجما هذه كيفية ثوران البراكين.



ثورانات بركانية هادئة

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

ثورانات بركانية تحت الماء

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

ثورانات بركانية متفجرة

تحدث ثورانات بركانية متفجرة عندما تعبر ماجما غنية بالسيليكا قشرة قارية، وتحتفظ هذه الماجما بالغازات، مما يؤدي إلى تولد ضغط شديد جدًّا بداخلها ، وعند تحرر هذا الضغط تنشأ انفجارات عنيفة.

رماد بركاني

كتلة بركانية

الثورانات البركانية المتفجرةُ Explosive Eruptions

عندما تكون اللابة في القناة لزجة جدًّا فإنها لا تتدفق من فوهة البركان بحرية، بل تتراكم فيها الغازات إلى أن تخرج على 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 تصلّبت في أثناء وجودها في الهواء، أو قطعًا من قشرة أرضية حملتها الماجما معها قبل ثورانها. وتصنف المقذوفات البركانية الصلبة حسب حجمها؛ فالقطع الصغيرة التي يقل حجمها عن 2 mm تُسمى رمادًا بركانيًّا، وتُسمى المقذوفات البركانية الأكبر حجمًا كتلاً بركانية. انظر **الشكل 14–2**، وقد يبلغ إرتفاع بعض الكتل البركانية متراً، وقد يصل حجم بعضها إلى حجم سيارة. وتنثر الثورانات البركانية المتفجرة الضخمة كميات هائلة من المقذوفات البركانية فوق معظم الأرض، ويمكن أن 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 15–2** 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 أدّى إلى حجب أشعة الشمس، ثم انخفاض درجة حرارة الأرض.

■ **الشكل 14–2** يُعد الرماد البركاني أصغر المقذوفات البركانية الصلبة من حيث الحجم، في حين أن الكتلة البركانية هي مثال على أكبر صنف من المقذوفات البركانية الصلبة.

قارن بين هذين النوعين من المقذوفات البركانية الصلبة. ما الشيء المشترك بينهما؟

■ **الشكل 15–2** بركان جبل بيناتوبو في الفلبين عام 1991 م أطلق كميات هائلة من الرماد البركاني وتراكم في طبقة الستراتوسفير، مما أدى إلى انخفاض درجة حرارة الأرض لمدة سنتين.

بركان بيلي عام 1902م

تدفق الفتات البركاني

الشكل 16–2 أدّى تدفق الفتات البركاني الشديد من جبل بيلي إلى تدمير بلدة سانت بيير في دقائق معدودة.

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. وتُسمى غيوم المقذوفات البركانية الصلبة الممزوجة مع الغازات الساخنة **تدفق المقذوفات البركانية الصلبة pyroclastic flow**، والتي يمكن أن تزيد درجة حرارتها الداخلية على 700C°. ويوضح **الشكل 16–2** تدفق مقذوفات بركانية صلبة تنهمر نحو الأسفل لبركان مايون في المكسيك في عام 2000 م.

التقويم 2–2

الخلاصة

- هناك ثلاثة أنواع رئيسية من الماجما، هي: البازلتية والأنديزيتية والريوليتية.
- اعتمادًا على نسبة محتوى الماجما من السيليكا فإن الماجما البازلتية تكون أضعف أنواع الماجما في شدة الثوران، في حين تكون الماجما الريوليتية أكثرها شدة.
- درجة الحرارة والضغط ووجود الماء عوامل تؤثر في تشكل الماجما.
- تسمى اللابة المتصلبة والقطع الصخرية التي تطلقها البراكين أثناء ثورانها المقذوفات البركانية الصلبة.

فهم الأفكار الرئيسة

1. الفكرة الرئيسية **ناقش** كيف تحدد مكونات الماجما خصائص ثورانها؟
2. **أعد صياغة** كيف ترتبط لزوجة الماجما بشدة انفجارها؟
3. **توقع** شدة انفجار بركان ناتج عن ماجما غنية بالسيليكا والغازات.
4. **ميز** بين المقذوفات البركانية الصلبة من حيث حجومها.

التفكير الناقد

5. **استنتج** مكوّنات الماجما التي أدت إلى اندلاع بركان جبل فيزيونيوس في عام 79 قبل الميلاد.

الكتابة في الجيولوجيا

6. اكتب نشرة إخبارية تتناول فيها أحداث بركان ما.

مرصد هاواي البركاني

كيلاوي من البراكين الدرعية في جزيرة هاواي، وهو أحد البراكين الأكثر نشاطًا والأكثر خطورة. يقوم العلماء بمراقبة الظروف المحيطة ببركان كيلاوي. ويعد مرصد هاواي البركاني بمثابة مختبر؛ حيث يقوم بدراسة العينات التي تجمع من منطقة البركان.

جمع الحمم البركانية تخيل نفسك واقفًا بجوار الحمم البركانية المتحركة التي تبلغ درجة حرارتها 1170 °C. للحصول على القياس المباشر لدرجة الحرارة، أو لجمع العينات على العلماء تحمل درجات الحرارة المرتفعة وتوخي الحذر في أثناء سيرهم ومتابعة خطواتهم. يتم 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 كامل معداتهم، كما توضحه الصورة أعلاه.

النشاط الزلزالي يسبق ثوران البراكين في الغالب نشاط زلزالي، وهو 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 عينات من الغازات المنبعثة من فوهات البراكين لمعرفة نسبة غازي ثاني أكسيد الكبريت وثاني أكسيد الكربون في مختبر هاواي البركاني. وتشير الزيادة في انبعاث غازي ثاني أكسيد الكبريت وثاني أكسيد الكربون إلى ثوران محتمل للبركان.

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 ليساعدهم على رصد البراكين الأرضية والتنبؤ بثورانها. ففي أثناء صعود الماجما نحو سطح الأرض قد يحدث ميلان للسطح أو انخفاض أو انتفاخ بسبب ما تشكله الماجما من الضغوط في أثناء صعودها.

يقوم 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 أبحاث هؤلاء العلماء المستمرة.

الجيولوجيا في الكتابة

ابحث في الطرائق التي يتبعها العلماء لتوقع وقت وحجم ونوع ثوران البركان. ولمزيد من المعلومات يمكنك تصفح مواقع الإنترنت المختلفة. لخص معلوماتك وشارك ببياناتك مع زملائك في الصف.

مختبر الجيولوجيا

توقع: البركان الآمن

خلفية علمية بعض البراكين متفجرة وخطيرة، وتشمل المخاطر البركانية غيوم الرماد البركاني والكتل البركانية وتدفق الفتات البركاني والانزلاقات الأرضية والتدفقات الطينية. ولكن قد لا يشكل البركان المتفجر خطرًا على حياة الإنسان والممتلكات إذا وقع في منطقة نائية أو إذا كان نادر الحدوث.

سؤال: ما العوامل التي يجب أخذها في الحسبان عند تقويم البركان؟

تنقل الطائرات المروحية العلماء إلى أماكن البراكين البعيدة. ويحلل العلماء البيانات لتحديد المخاطر.

الأدوات

مواقع الإنترنت أو بيانات عن البراكين يزوّدك بها المعلم، مراجع علمية ، أقلام تخطيط أو أقلام تلوين خشبية.

خطوات العمل

تخيّل أنك تعمل لدى دائرة أو جهة رسمية جيولوجية، وطُلب إليك تقويم عدة براكين حول العالم، لتحديد هل هي براكين آمنة للسكان المجاورين أم لا، وفي حال كانت هذه البراكين غير آمنة يتعين عليك أن تضع توصيات لضمان سلامة الأشخاص القريبين منها.

1. اقرأ نموذج السلامة في المختبر.
2. كوّن فريقًا من 3 أو 4 طلاب.
3. ناقش الفريق، مستعملاً أسلوب العصف الذهني، في بعض العوامل التي قد تستعملها في تقويم البراكين، ثم دوّن أفكارك في أثناء ذلك. ويمكنك تضمين عوامل مثل؛ فترات الانفجار، ومكوّنات اللابة، والعدد التقريبي للأشخاص الذين يعيشون بالقرب من البركان، وتاريخ آخر انفجار.
4. حدّد، مع فريقك، أي العوامل التي سيتم تناولها.
5. اعمل جدول بيانات مستعينًا بالعوامل التي اخترتها ، وتأكد من أن المعلم قد وافق على ذلك قبل إكماله.
6. استعمل شبكة الانترنت أو المعلومات التي يزودك بها المعلم، واختر بلدة في العالم يوجد بها بركان معروف.
7. أكمل جدول بياناتك للبلد الأول.
8. كرّر الخطوتين 6 و 7 لبلدين آخرين.

التحليل والاستنتاج

1. **فسّر البيانات** هل يُعد العيش بالقرب من البراكين سالفة الذكر آمنًا؟ ولماذا؟
2. **فسّر البيانات** هل تشكل أي من البراكين تهديدًا مباشرًا للأشخاص الذين يعيشون بالقرب منها؟ ولماذا؟
3. **استنتج** حضّر عرضًا تقدم فيه نتائجك لمجموعة من علماء العالم، وضمّنه توقعاتك وتوصياتك، وكن مستعدًا لتلقي الأسئلة والإجابة عنها. ثم اعرض جدول البيانات على زملائك للاطلاع على نتائجك.

شارك بياناتك

راجع مع أقرانك واكتب ملخصًا لبياناتك وتوصياتك حول كل بركان خاص بك، ثم قارنها مع الطلبة في الصف.

الفصل 2

دليل مراجعة الفصل

الفكرة العامة تتشكل البراكين من الماجما القادمة من باطن الأرض.

المفردات	المفاهيم الرئيسية
2–1 ما البركان؟	
النشاط البركاني البقعة الساخنة طفوح البازلت الشقوق قناة البركان فوهة البركان الفوهة البركانية المنهارة البركان الدرعي البركان المخروطي البركان المركب	**الفكرة الرئيسية** ترتبط مواقع البراكين بحركة الصفائح. • تتضمن عملية النشاط البركاني جميع العمليات التي تصعد فيها الماجما 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، والفتحة، والفوهة، والفوهة البركانية المنهارة. • توجد طفوح البازلت على هيئة سهول منبسطة أو هضاب، وتتكون نتيجة لتدفق اللابة من شقوق القشرة الأرضية. • هناك ثلاثة أنواع رئيسية للبراكين وهم: الدرعية، والمخروطية، والمركّبة.
2–2 الثورانات البركانية	
اللزوجة المقذوفات البركانية الصلبة تدفق المقذوفات البركانية الصلبة	**الفكرة الرئيسية** تحدّد مكوّنات الماجما خصائص الثوران البركاني. • هناك ثلاثة أنواع من الماجما، هي البازلتية، والأنديزيتية، والريوليتية. • اعتمادًا على نسبة محتوى الماجما من السيليكا فإن الماجما البازلتية تكون أضعف أنواع الماجما في شدة الثوران، في حين تكون الماجما الريوليتية أكثرها شدة. • درجة الحرارة والضغط ووجود الماء عوامل تؤثر في تشكّل الماجما. • تُسمى اللابة المتصلبة والقطع الصخرية التي تطلقها البراكين في أثناء ثورانها المقذوفات البركانية الصلبة.

مراجعة المفردات

ضع المصطلح الصحيح بدلاً من الكلمات التي تحتها خط:

1. تتراكم اللابة في أشد أنواع الثورانات البركانية انفجارًا مكوّنة بركانًا درعيًّا.
2. تصعد الماجما إلى أعلى عبر القناة وتثور على سطح الأرض من خلال الشقوق الموجود في قمة البركان.
3. يشير مصطلح البقع الساخنة إلى جميع العمليات المرافقة لخروج الماجما والمياه الساخنة والبخار إلى سطح الأرض.
4. الرماد البركاني أصغر أنواع تدفق اللابة حجمًا.

أكمل الجمل الآتية مستعملاً المفردات المناسبة:

5. ..... تجويف منخفض يحيط بالفتحة عند قمة البركان.
6. ..... تتشكل في الانخفاض الناتج عن انهيار سقف حجرة ماجما فارغة.
7. يُسمى أصغر أنواع البراكين وأشدها انحدارًا .....

اختر المصطلح المناسب لكل من الجمل الآتية:

8. تجمُّع من الماجما يقع أسفل الصفيحة، ولا يقع عند حدودها، ويتكوَّن بسبب اندفاع عمود من الماجما في الوشاح في موقع ثابت ويحدث عنده البركان.
9. بركان تتدفق منه اللابة بسرعة وسهولة، ولزوجته وانحداره قليلان.
10. غيمة متدفقة من المقذوفات البركانية الصلبة واللابة مختلطة بغازات حارة خانقة.

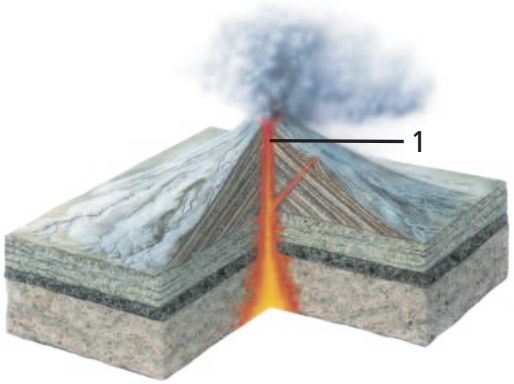
حدّد المشترك بين كل مصطلحين فيما يأتي:

11. الرماد البركاني، الكتلة البركانية.
12. البركان الدرعي، الطفح البازلتي.
13. الشق، القناة.
14. فوهة البركان المنهارة، فوهة البركان.

تثبيت المفاهيم الرئيسية

15. ما المنطقة التي يحيط بها حزام النار الكبير؟
    a. المحيط الأطلسي.
    b. قارة أمريكا الشمالية.
    c. البحر المتوسط.
    d. المحيط الهادي.

استعمل الشكل الآتي في الإجابة عن السؤالين 17 و16.



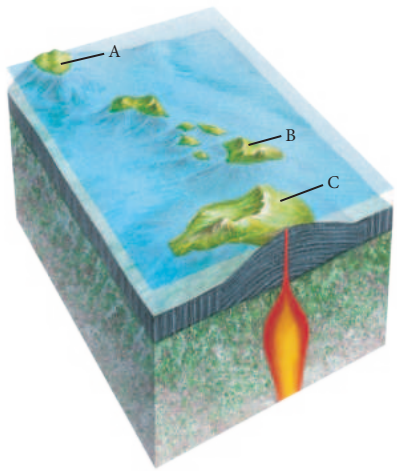
16. ما نوع البركان في الشكل أعلاه؟
    a. درعي. c. طفح بازلتي.
    b. مركب. d. مخروطي.
17. ما المعلم الجيولوجي المشار إليه بالرقم 1 في الشكل أعلاه؟
    a. فوهة البركان. c. فتحة البركان.
    b. قناة البركان. d. حجرة الماجما.
18. أي الجمل الآتية غير صحيحة؟
    a. تزداد لزوجة الماجما بازدياد محتواها من السيليكا.
    b. المحتوى الغازي وشدة ثوران الماجما الأنديزيتية متوسطان.
    c. تزداد لزوجة الماجما بازدياد درجة الحرارة.
    d. الماجما البازلتية لزوجتها منخفضة وتحتفظ بكمية قليلة من الغازات.

2 مراجعة الفصل

أسئلة بنائية

19. **صف** البقعة الساخنة.
20. **حدّد** مثالاً واحدًا على كل نوع من أنواع البراكين الثلاثة.
21. **حلّل** لماذا تُعد الكتل البركانية غير شائعة في براكين الدروع؟

استعمل الشكل الآتي للإجابة عن السؤال 22.



22. **ميز** ما أقدم جزيرة؟ وما الاتجاه الذي تتحرك فيه الصفيحة؟ فسر إجابتك.
23. **وضح** العلاقة بين لزوجة الماجما ودرجة حرارتها.
24. **وضح** كيف يمكن أن يؤثر النشاط البركاني في الطقس العالمي؟

التفكير الناقد

استعمل الجدول التالي للإجابة عن السؤالين 25 و 26.

مكونات الماجما وخصائصها

	ماجما بازلتية	ماجما أنديزيتية	ماجما ريوليتية
مصدر المادة	أعلى الوشاح	قشرة محيطية ورسوبيات	قشرة قارية
اللزوجة	منخفضة	متوسطة	مرتفعة
نسبة الغازات	1-2 %	3-4 %	4-6 %
نسبة السيليكا	50 % تقريبًا	60 % تقريبًا	70 % تقريبًا
موقع الماجما	كلتا القشرتين القارية والمحيطية	حواف قارية مرافقة لأنطقة الطرح	قشرة قارية

25. **حلّل** أنواع الماجما، ورتبها حسب شدة انفجارها بناءً على البيانات في الجدول أعلاه، وفسر إجابتك.
26. **صنّف** البراكين إلى ثلاثة أنواع، وصفها حسب خصائص الماجما الواردة في الجدول أعلاه.
27. **توقع**. ماذا يمكن أن يحدث إذا لم يكن هناك صفائح أرضية؟

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.

سؤال تحدٍّ

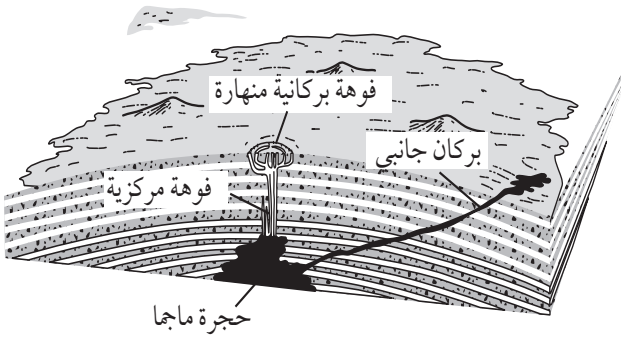
29. **فسر** لماذا تتشكل البراكين الدرعية بفعل البقع الساخنة من ماجما بازلتية وليست ريوليتية؟

اختبار مقنن

اختيار من متعدد

1. ما نوع البركان الذي يمثل أكبر خطر على الإنسان والبيئة؟
   a. البركان الدرعي .
   b. البركان المركب.
   c. البركان المخروطي.
   d. طفوح البازلت.
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 الثورانات البركانية غير العنيفة.
   b. عندما تتعاقب طبقات صخرية صلبة ناتجة عن ثورانات بركانية عنيفة مع طبقات تكونت من ثورانات بركانية هادئة.
   c. عندما تعود المواد البركانية الصغيرة الحجم المقذوفة في الهواء إلى الأرض، وتتراكم حول فوهة البركان.
   d. عندما يكوّن عمود من الماجما في الوشاح بقعة ساخنة.
4. ما العامل الذي لا يؤثر في تشكل الماجما؟
   a. الزمن.
   b. درجة الحرارة.
   c. الضغط.
   d. المياه.

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؛ بركان يتكون من تراكم طبقة فوق أخرى، في أثناء ثوران هادئ غير متفجر.
   b. منخفض بركان يتكون من تعاقب طبقات من اللابة مع طبقات من الحطام البركاني.
   c. متوسط؛ بركان صغير يتكون عندما تُقذف قطع من الماجما وتتراكم حول فوهة البركان.
   d. مرتفع؛ بركان ذو ثوران متفجر.

أسئلة الإجابات القصيرة

استعمل الجدول أدناه للإجابة عن الأسئلة 9-7

ثورانات بركانية لا يمكن نسيانها			
البركان	التاريخ	حجم المقذوفات	ارتفاع الغيمة البركانية
توبا	قبل 74.000 سنة	2.800 Km^3	50– 80 Km
فيزيوفيوس	79 قبل الميلاد	4 Km^3	32 Km
تامبورا	1815 م	150 Km^3	44 Km
كاركاتاو	1883 م	21 Km^3	36 Km
جبل سانت هيلين	1980 م	1 Km^3	19 Km
جبل بيناتوبو	1991 م	5 Km^3	35 Km

7. رتّب الثورانات البركانية وفق كميات الفتات البركاني الناجمة عنها.

8. كوِّن فرضية تتناول لماذا يُعد بركان فيزيوفيوس في عام 79 قبل الميلاد أكثر فتكًا من بركان جبل بيناتوبو في عام 1991م، على الرغم من أن حجمي البركانين متساويان تقريبًا.

9. احسب فرق ارتفاع الغيمة البركانية لبركان تامبورا 1815م مقارنة بارتفاعها في بركان جبل سانت هيلين 1980م.

10. حجر الخفاف صخر ناري فقاعي يطفو على الماء. فما الذي تستنتجه عن حجم الغازات الموجودة في اللابة التي شكلت هذا الحجر؟

11. 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؟

القراءة والاستيعاب

ثوران بركان جبل بيناتوبو

ثار بركان جبل بيناتوبو في 15 من يونيو 1991م بعد سُبات دام ستة قرون، حيث قذف 1760 m من السحب المكونة من الغازات والرماد البركاني المعروفة بمواد الفتات البركاني، وبلغت درجة حرارتها 816 °C ، وصعدت تيارات من غاز ثاني أكسيد الكبريت والرماد البركاني إلى ارتفاع 40 km في طبقة الستراتوسفير. كما وقع انفجار آخر بعيدًا عن جانب الجبل، حيث انبعث منه الكثير من حجر الخفاف والرماد البركاني في الهواء، مما أدى إلى ظلمة السماء بعد ظهر ذلك اليوم. كما سقطت قطع من الصخور البركانية بقوة كتساقط حبات البرد. وفي مساء ذلك اليوم، ضربت الزلازل المدينة التي تضررت بفعل البركان، وأدى إلى انهيار الكهف الذي تكوّن تحت الأرض بفعل ثوران بركان بيناتوبو.

12. ماذا تستنتج من النص أعلاه؟

a. لا يمكن توقع حدوث البراكين في أي وقت.

b. تثور البراكين في صورة انفجارات دائمًا.

c. يمكن أن تغير البراكين من معالم سطح الأرض بطرائق مختلفة.

d. يرافق حدوث البراكين دائمًا حدوث الزلازل.

13. أي الجمل الآتية غير صحيحة بناءً على النص أعلاه؟

a. يمكن أن تطلق البراكين غازات في طبقة الستراتوسفير.

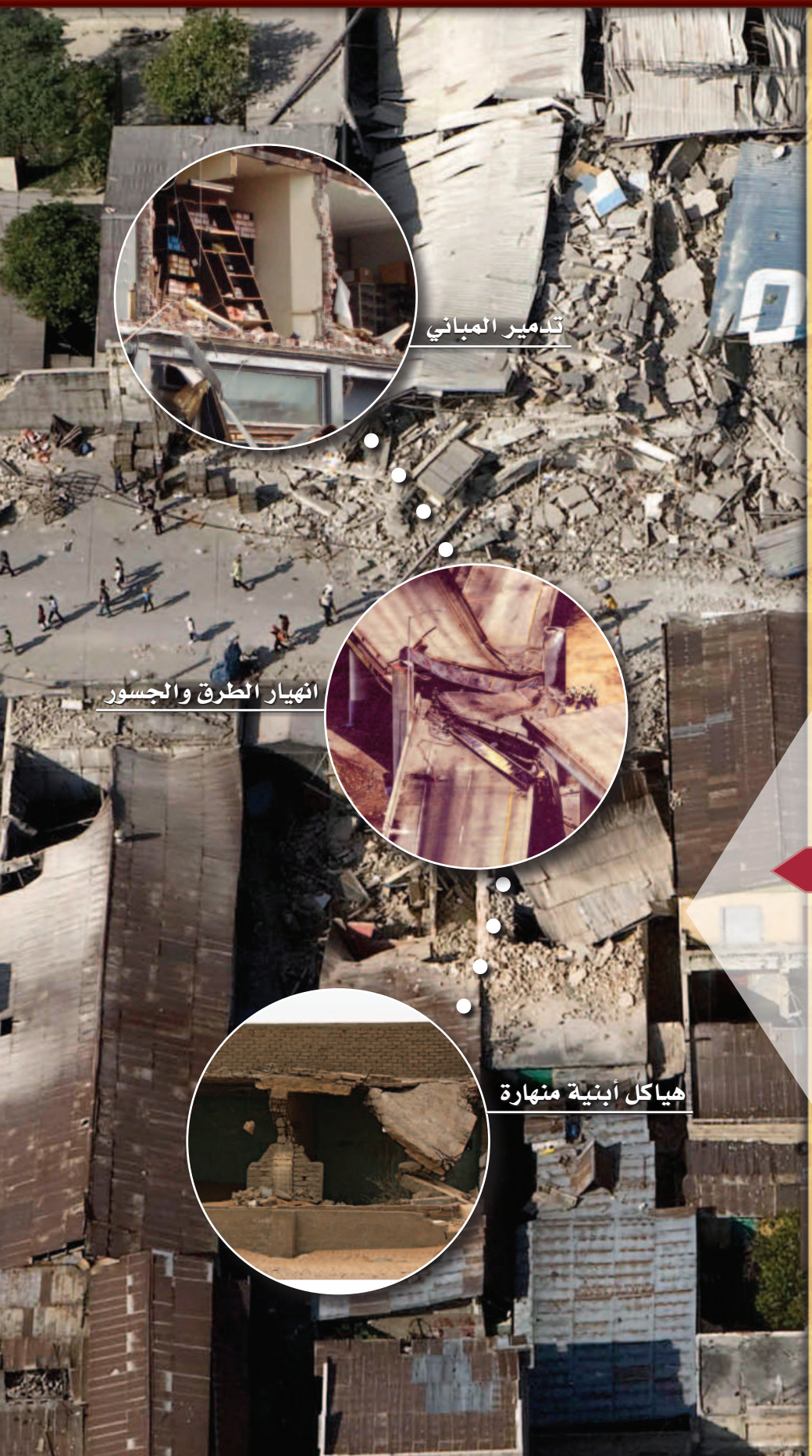
b. حدث ثوران جبل بيناتوبو بسبب انهيار كهف تحت الأرض.

c. الغاز والرماد البركاني اللذان انبعثا من بركان جبل بيناتوبو 1991م ساخنان بلغت درجة حرارتيهما 816°C.

d. يمكن أن تُغير الثورانات البركانية شكل الجبل.

14. لقد أُخليت المناطق المحيطة بجبل بيناتوبو، في الأيام التي سبقت اندلاع بركان 15 من يونيو 1991م. بناءً على النص أعلاه، وضّح لماذا يُعد إخلاء هذه المناطق ضروريًّا.

الفصل 3 الزلازل
Earthquakes



الفكرة العامة الـزلازل هـزات أرضية طبيعية، ينتج بعضها بفعل الحركة على طول الصدوع في القشرة الأرضية.

3–1 الأمواج الزلزالية وبنية الأرض

الفكرة الرئيسية يمكـن اسـتعمال الأمـواج الزلزالية في تصوّر بنية الأرض الداخلية.

3–2 قياس الزلازل وتحديد أماكنها

الفكرة الرئيسية يقيـس العلماء قـوة الزلازل ويحـددون مكانهـا عـلى الخريطة باسـتعمال الأمواج الزلزالية.

3–3 الزلازل والمجتمع

الفكرة الرئيسية يمكن معرفة احتمال حدوث الزلـزال من خلال تاريخ الزلازل، ومعرفة أين وكيف تتراكم الاجهادات بسرعة.

حقائق جيولوجية

- تتعرض الأرض إلى 500,000 زلزال في العام الواحد.
- معظـم الزلازل ضعيفـة جدًا حيث لا نشعر بها.
- حـدث في منطقة مكة المكرمة منذ عام 800م ولحـد الآن 12 زلـزالاً مدمـرًا بسبب قربها من البحر الأحمر.

تجربة استهلالية

ما سبب حدوث الزلزال؟

تحدث الزلازل عندما تتحرك قطعة من القشرة الأرضية فجأة بالنسبة إلى قطعة أخرى. وتحدث هذه الحركة على طول كسور في القشرة الأرضية تسمى الصدوع.

الخطوات

1. اقرأ نموذج السلامة في المختبر.
2. حرك **كتلتين خشبيتين** مصقولتين أفقيًّا على طول سطحيهما الكبيرين. صف هذه الحركة.
3. قص **ورقتي صنفرة** (ورق الزجاج) من النوع الخشن، بحيث يزيد طول كل منهما عن 1 cm على طول السطح الكبير لكلتا الكتلتين الخشبيتين.
4. ضع ورقة الصنفرة على السطح الكبير للكتلة الخشبية، بحيث يكون الوجه الخشن للورقة إلى أعلى، واثنها حول حواف الكتلة، وثبتها **بدبابيس تثبيت الورق**.
5. حرِّك الكتلتين الخشبيتين أفقيًّا إحداهما فوق الأخرى على طول السطحين المغطيين بورقة الصنفرة. صف هذه الحركة.

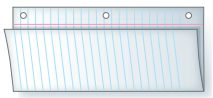
التحليل

1. **قارن** بين حركتي الكتلتين الخشبيتين في الحالتين.
2. **طبق** أي أجزاء الأرض تمثلها الكتلتان الخشبيتان؟
3. **استنتج** أي الحركتين تُظهر ما يحدث فعليًّا في أثناء حدوث الزلزال؟

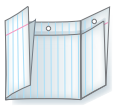
المطويات
منظمات الأفكار

الأمواج الزلزالية

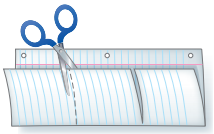
اعمل المطوية الآتية لتعرف أنواع الأمواج الزلزالية.



الخطوة 1 اثن الورقة أفقيًّا إلى جزأين، بحيث يزيد الجزء الخلفي للورقة بمقدار 2 cm عن حافة الجزء الأمامي.



الخطوة 2 اثن الورقة عموديًّا إلى ثلاثة أجزاء متساوية.



الخطوة 3 افرد الورقة وقص الأجزاء المطوية في الجزء الأمامي للورقة، لعمل ثلاثة جيوب.

الخطوة 4 عنون الجيوب الثلاثة: أنواع الأمواج الزلزالية: الأولية، الثانوية، السطحية.

استعمل هذه المطوية في أثناء دراسة القسم 1–3، لتتعرف على مميزات الحركة في الأمواج الزلزالية.

جيولوجيا عبر المواقع الإلكترونية

لمراجعة محتوى هذا الفصل ونشاطاته ارجع إلى الموقع
www.obeikaneducation.com

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

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

مفردات جديدة

الأمواج الزلزالية
الأمواج الأولية
الأمواج الثانوية
بؤرة الزلزال
المركز السطحي للزلزال
مقياس الزلازل
المخطط الزلزالي

الفكرة الرئيسية **يمكن 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 نسبيًّا، 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 تشوه 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 التشوُّه اللدن. وعندما تنكسر الصخور أو تنزلق عبر السطوح تتحرر الطاقة المختزنة 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 أيضًا أمواج P. تعمل **الأمواج الأولية Primary Waves** على تضاغط الصخور وتخلخلها في نفس اتجاه حركتها، انظر **الشكل 1–3**. لاحظ من الشكل أن حجم الصخر المشار إليه بالمربعات الحمراء الصغيرة يتغير مع مرور الأمواج الأولية فيه. وتشبه الحركة التضاغطية للأمواج الأولية الحركة التي تحدث على طول نابض رخو؛ إذ تنتقل الحركة الموجية على طوله في اتجاه موازٍ لاتجاه شدِّه في البداية.

الأمواج الثانوية Secondary waves

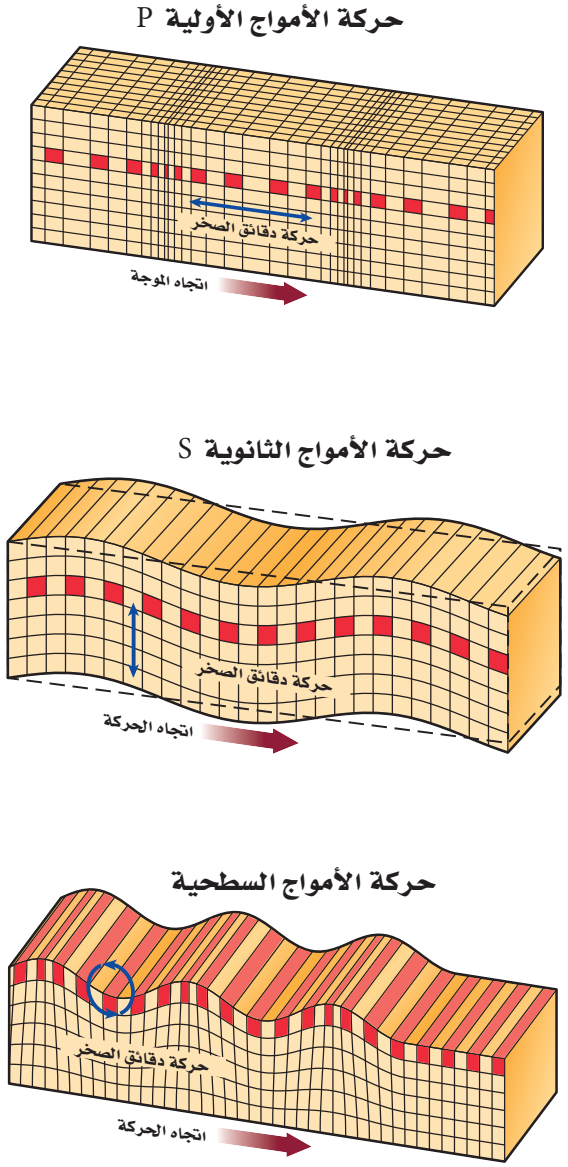
يطلق عليها أيضًا أمواج S. وسميت **الأمواج الثانوية Secondary Waves** لأنها أبطأ من الأمواج الأولية، كذلك فهي ثاني الأمواج الزلزالية وصولاً إلى محطة الرصد. وتُسبب الأمواج الثانوية في أثناء حركتها حركة جسيمات الصخر عموديًّا على اتجاه حركتها، كما في **الشكل 1–3**، وتشبه الحركة الموجية في الحبل؛ حيث تنتقل عموديًّا إلى أعلى وإلى أسفل من أحد طرفيه إلى الطرف الآخر. وتسمى كل من الأمواج الأولية والثانوية الأمواج الجسمية؛ لأنها تنتقل في داخل الأرض.

الأمواج السطحية Surface waves

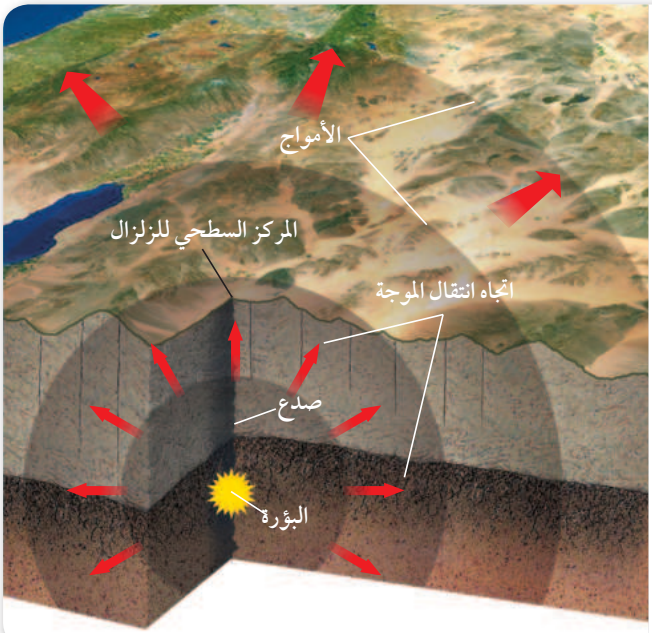
تنتقل الموجات السطحية فقط على سطح الأرض، وهي أبطأ الأمواج الزلزالية، لذلك فهي ثالث الأمواج وصولًا إلى محطة الرصد وتتسبب في حركة جسيمات سطح الأرض حركة جانبية إلى أعلى وإلى أسفل كحركة الأمواج البحرية، كما في **الشكل 1–3**، وتعد من أكثر الأمواج الزلزالية تدميرًا؛ لأنها تسبب معظم أنواع الحركة، كما أنها تستغرق وقتًا 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**، وتنشأ الأمواج

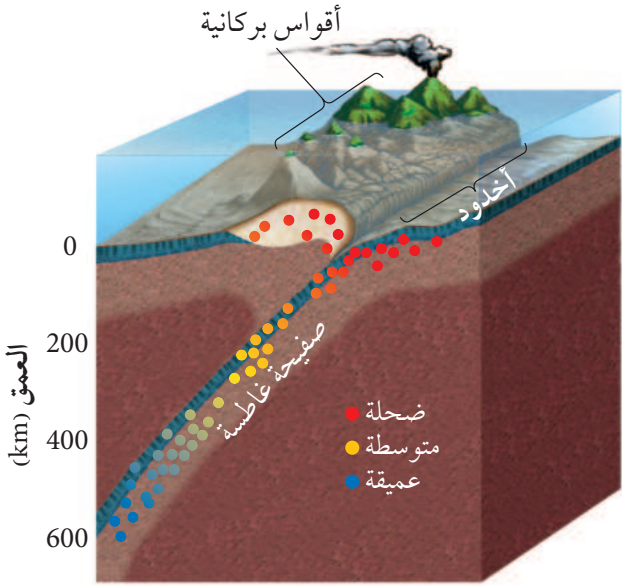


الشكل 1–3 تمتاز الأمواج الزلزالية بنوع الحركة التي تسببها للصخور التي تمر فيها؛ حيث تكون حركة عمودية على خط انتشار الموجة في أمواج S، وإلى أعلى وإلى أسفل ومن جانب إلى آخر في أمواج السطح.



الشكل 2–3 بؤرة الزلزال هي النقطة التي ابتدأ عندها تشكُّل الكسر في الصدع. وتسمى النقطة التي تقع على سطح الأرض مباشرة فوق البؤرة المركَز السطحيَّ للزلزال.

استنتج. حدد النقطة التي يكون عندها الدمار، الذي تسببه الأمواج السطحية، أكبر ما يمكن.



الشكل 3–3 تصنف الزلازل بناء على عمق البؤرة إلى زلازل ضحلة ومتوسطة وعميقة. وتعد الزلازل الضحلة أكثرها تدميرًا.

الزلزالية السطحية عن المركز السطحي للزلزال، وتنتشر منها على سطح الأرض ، كما في **الشكل 2–3**.

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 فإن قوة الموجات الزلزالية تقل وتخفت بسبب المقاومة التي تواجهها في أثناء مرورها في صخور القشرة الأرضية. وتصنف الزلازل حسب عمق البؤرة، كما في **الشكل 3–3** ، 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.

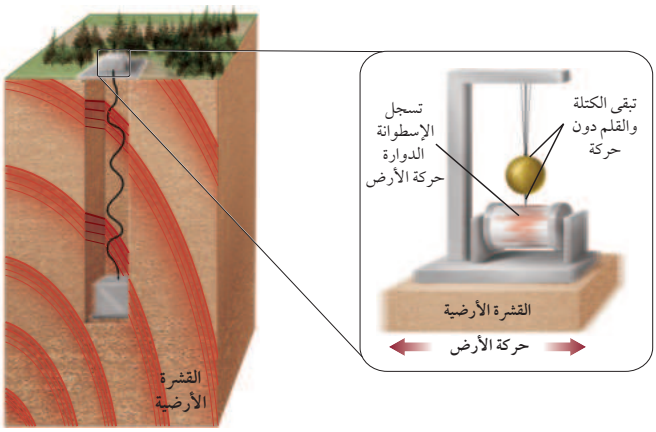
مقياس الزلزال ومخططه
Seismometer and Seismogram

لا يمكن الإحساس بالاهتزازات الناجمة عن الأمواج الزلزالية على مسافات بعيدة جدًّا عن المركز السطحي، ولكن يمكن اكتشافها عن طريق جهاز حساس يسمى **مقياس الزلزال seismometer**. تتألف بعض أجهزة السيزمومتر من أسطوانة دوارة مغطاة بورقة، وقلم أو أي أداة للتسجيل، وكتلة معلقة كالبندول. تختلف أجهزة السيزمومتر في تصميمها، ولكنها جميعًا تتضمن؛ إطارًا مثبتًا في الأرض، وكتلة معلقة على نابض أو سلك، كما في **الشكل 4–3**. عندما يحدث الزلزال تبقى الكتلة والقلم في أثناء حدوث الاهتزاز 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 **مُخَطّط الزلزال seismogram**، ويوضح **الشكل 5–3** جزءًا من السيزموجرام.

منحنيات المسافة-زمن الوصول للأمواج الزلزالية Travel-time curves

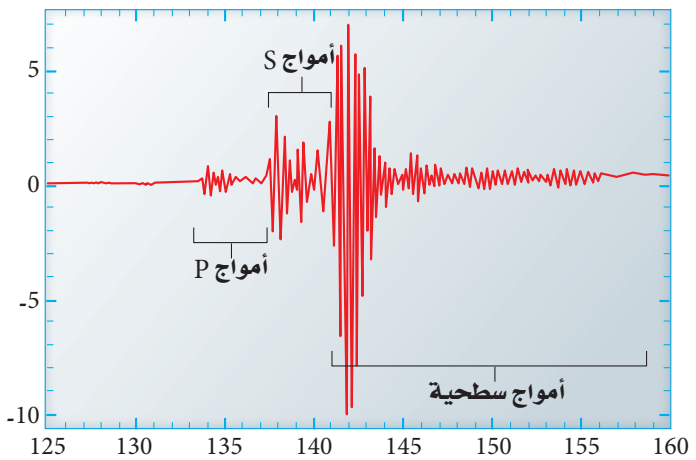
تنتقل الأمواج الزلزالية من بؤرة الزلزال، وتُسجل بوساطة أجهزة السيزمومتر، حيث يتم زراعة هذه الأجهزة على مسافات بعيدة. وقد استطاع علماء الزلازل من خلال بيانات أزمنة وصول الأمواج الزلزالية التي جمعوها عبر سنوات عديدة في مناطق متعددة من العالم أن يعدّوا منحنيات معيارية عالمية للعلاقة بين المسافة و زمن الوصول للأمواج الزلزالية P و S، كما في **الشكل 6–3**، وتزودنا هذه المنحنيات بمتوسط أزمنة وصول جميع أمواج P و S من أي مكان على الأرض يحدث فيه الزلزال.

ماذا قرأت؟ **لخص** كيف يُستعمل السيزموجرام في إعداد منحنيات عالمية لمنحنى المسافة – زمن الوصول؟

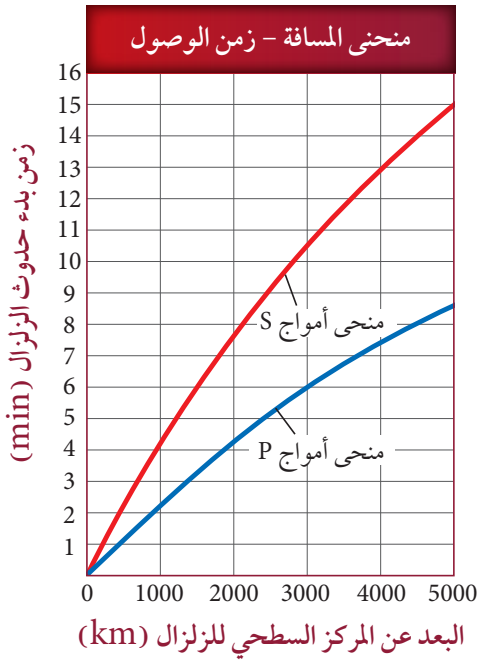


الشكل 4–3 إطار جهاز سيزمومتر قديم مثبت بالأرض. عندما يحدث الزلزال يتحرك الإطار بينما تبقى الكتلة المعلقة وملحقاتها دون حركة، فيُسجل الكتلة والقلم الحركة النسبية للإطار والطبلة.

قارن ذلك بأجهزة الاستقبال والإرسال الحديثة.



الشكل 5–3 يوفر السيزموجرام سجلا للأمواج الزلزالية التي عبرت نقطة معينة.



■ **الشكل 6–3** تظهر منحنيات المسافة – زمن الوصول للأمواج الزلزالية أن الفترات الزمنية التي تستغرقها أمواج P و S للوصول إلى محطات رصد الزلازل مختلفة لاختلاف بُعد المحطات عن المركز السطحي للزلزال.

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؟

البُعد عن المركز السطحي للزلزال Distance from the epicenter لاحظ من **الشكلين 5–3 و 6–3** أن أمواج P هي أول الأمواج الزلزالية وصولاً إلى محطات الرصد، ويليها الأمواج الثانوية، وأخيرًا الأمواج السطحية. يلاحظ أن الفرق الزمني بين منحنيي P و S في **الشكل 6–3** يزداد كلما زاد البُعد عن المركز السطحي للزلزال، أي أن فرق زمنَي 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.

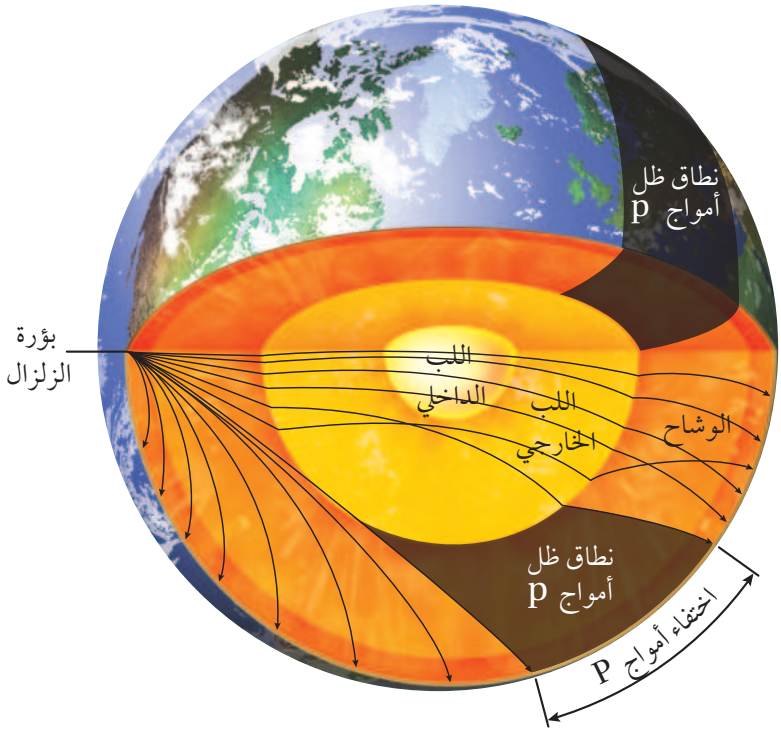
أدلة على بنية الأرض الداخلية
Clues to Earth's Interior

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

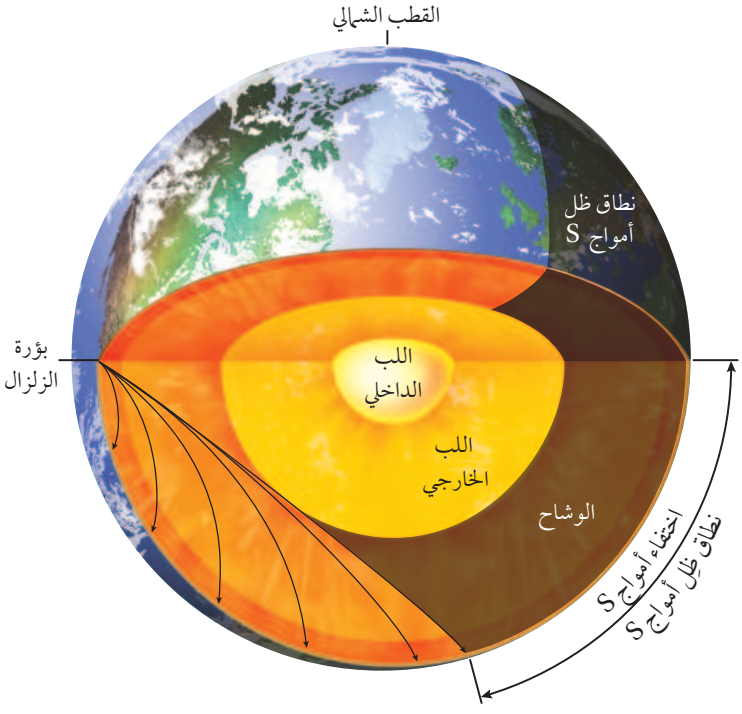
بنية الأرض الداخلية Earth's internal structure تتغير سرعة الأمواج الزلزالية واتجاهها عندما تواجه مواد مختلفة في باطن الأرض. لاحظ من **الشكل 7–3** كيف تتّبع أمواج P و S في البداية مسارات مباشرة إلى حد ما في أثناء عبورها الوشاح، ولكنها تعاني من انكسار وانعكاس عندما تعبر الحدود الرئيسة داخل الأرض. لذلك استطاع علماء الزلازل من خلال رصد زمن ومسافة الأمواج الزلزالية ومسار كل موجة وتمثيلها بيانيًّا في منحنيات المسافة – زمن الوصول، معرفة أن الأرض من الداخل تختلف في المكونات والكثافة.

الأمواج الزلزالية Seismic Waves

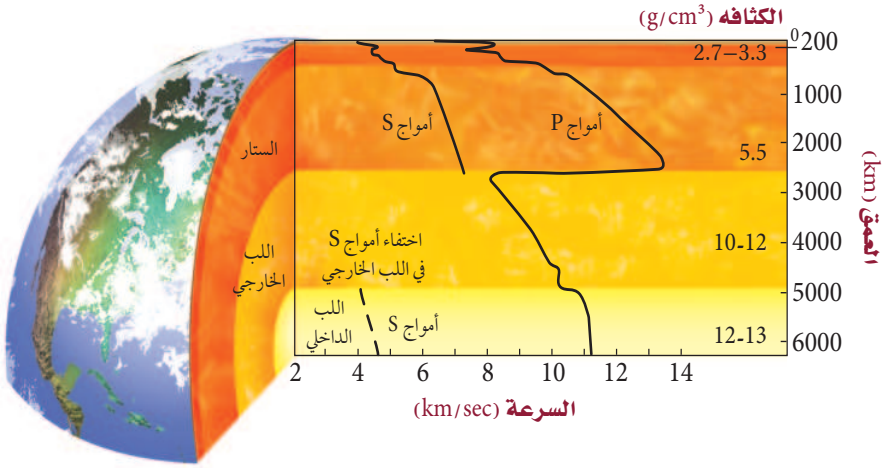
الشكل 8–3 يزودنا كل من زمن الوصول وسلوك الموجات الزلزالية بصورة تفصيلية لبنية الأرض الداخلية. كذلك تزودنا هذه الأمواج بأدلة على مكونات أجزاء الأرض المختلفة.



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 للزلزال، بينما تظهر أمواج P على أجهزة السيزمومتر في الجانب المقابل للمركز السطحي للزلزال.



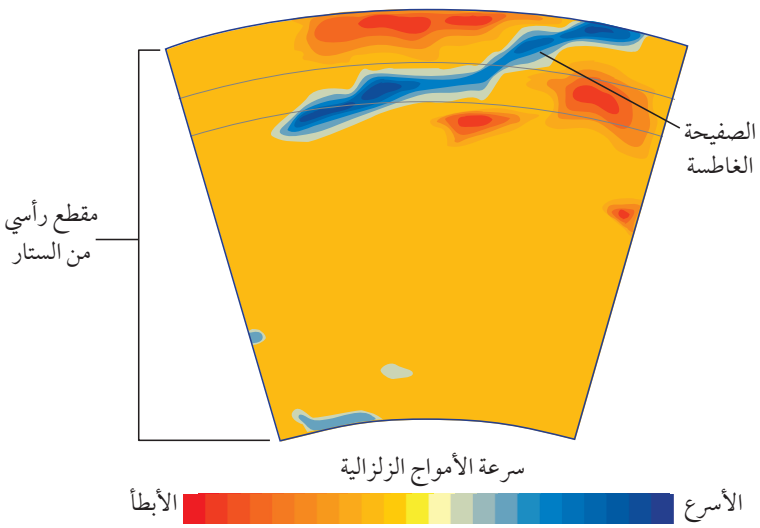
لأن أمواج S لا تمر من خلال اللب الخارجي للأرض السائل، لذلك فإنها لا تظهر ضمن نطاق يسمى ظل أمواج S على بعد زاوي يتراوح بين $103^\circ - 180^\circ$ عن المركز السطحي للزلزال.



■ **الشكل 7–3** تختلف طبقات الأرض الداخلية في مكوناتها؛ وقد استطاع العلماء تحديد مكوناتها من خلال معرفة سلوك الأمواج الزلزالية عبر أنواع مختلفة من الصخور.

ماذا يحدث لأمواج S عندما تنشأ بفعل الزلازل؟ للإجابة عن هذا السؤال: أولًا، توصل علماء الزلازل إلى أن أمواج S لا تسير في الأوساط السائلة، ولاحظوا أنها لا تسير في مركز الأرض، مما جعلهم يكتشفون أن باطن الأرض جزءًا منه يوجد في الحالة السائلة. وقد أيّدت البيانات التي جُمعت حول مسار الأمواج الزلزالية وزمن وصولها في باطن الأرض إلى أن لب الأرض الخارجي سائل ولبها الداخلي صلب.

مكونات الأرض Earth's composition يوضح **الشكل 8–3** أن الأمواج الزلزالية يتغير مسارها وسرعتها عندما تواجه حدودًا فاصلة بين طبقتين مختلفتين في مكوناتهما، وبذلك استطاع العلماء أن يحددوا سمك طبقات الأرض ومكوناتها بمقارنة سرعة الأمواج الزلزالية مع القياسات التي حصلوا عليها في المختبرات لأنواع مختلفة من الصخور. وتوصلوا نتيجة لذلك إلى أن الوشاح العلوي يتكون من صخر البيرودوتيت (يتكون معظمه من معدن الأوليفين)، وأن اللب الخارجي يتكون معظمه من سائل الحديد والنيكل، أما اللب الداخلي فيتكون معظمه من الحديد والنيكل الصلب.



■ **الشكل 9–3** تم التقاط هذه الصورة في اليابان من خلال التقاط مسارات الأمواج الزلزالية في باطن الأرض؛ حيث تشير المناطق الحمراء إلى سرعات الأمواج الزلزالية الأبطأ من القيمة المتوسطة، و تشير المناطق الزرقاء إلى سرعات الأمواج الأسرع من القيمة المتوسطة. كذلك تمثل المنطقة الزرقاء في الصورة الصفيحة الغاطسة.

تصور باطن الأرض Imaging Earth's interior تتأثر كل من سرعة الأمواج الزلزالية وكثافة الصخور بعوامل أخرى غير العمق، منها درجة الحرارة. تذكر ما درسته سابقًا بأن الصفيحة المحيطية الباردة تغوص في الوشاح في أثناء عملية الطرح، وأن اندفاعات الماجما الساخنة (أعمدة الماجما) ترتفع إلى أعلى في الوشاح. ولهذا وبما أن سرعة الأمواج الزلزالية تعتمد على درجة الحرارة والمكونات، لذلك فمن الممكن استعمالها في تصور تراكيب الأرض الداخلية مثل الصفائح وأعمدة الماجما الساخنة، وتقل سرعة الأمواج الزلزالية عمومًا مع تزايد درجات الحرارة، لذلك تنتقل ببطء في المناطق الساخنة، وبسرعة أكبر في المناطق الباردة. وباستعمال قياسات الأمواج الزلزالية الملتقطة بأجهزة قياس الزلازل (السيزمومترات) في مختلف أنحاء العالم، وسجلات الأمواج الزلزالية لعدة آلاف من الزلازل، يمكن الحصول على صور لبنية الأرض الداخلية تتضمن بعض التراكيب، ومنها الصفيحة الغاطسة التي تتضح في **الشكل 9–3** ويمكن تشبيه هذه الصور بالصور الملتقطة بالأشعة السينية.

التقويم 1–3

الخلاصة

- أنواع الأمواج الزلزالية ثلاثة: أولية وثانوية وسطحية.
- مقياس الزلازل (السيزمومتر) جهاز يستقبل الأمواج الزلزالية، ويسجلها على مخطط الزلزال (السيزموجرام).
- استطاع العلماء أن يحددوا المركز السطحي للزلازل من الفرق الزمني بين زمني وصول كل من أمواج P وأمواج S.
- تتغير سرعة واتجاه كل من أمواج P وأمواج S عندما تواجه حدودًا فاصلة بين مواد مختلفة.
- يمكن الحصول على صورة مفصلة عن مكونات الأرض الداخلية من خلال تحليل الأمواج الزلزالية التي تعبر باطن الأرض.

فهم الأفكار الرئيسة

1. **الفكرة الرئيسة** **وضح** كيف تستعمل كل من أمواج P وأمواج S في تحديد خواص لب الأرض؟
2. **ارسم** مخططًا لسيزمومتر يوضح كيف تُقاس اهتزازات الأرض وتسجيلها على السيزموجرام.
3. **صف** كيف يُستعمل منحنى المسافة–زمن الوصول في دراسة الزلازل؟
4. **ميز** بين سرعة الأمواج الزلزالية في أثناء مرورها في المواد الباردة والمواد الساخنة.

التفكير الناقد

5. **اربط** بين حركة الأمواج الزلزالية مع ملاحظات شخص يراقب كيفية انتقالها على سطح الأرض.
6. **استنتج** باستعمال **الشكل 5–3** الذي يمثل مخططًا زلزاليًّا، اقترح تفسيرًا يوضّح لماذا تعد الأمواج السطحية أكثر الأمواج الزلزالية تدميرًا، رغم أنها آخر الموجات وصولاً إلى محطات الرصد.

الكتابة في الجيولوجيا

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

3-2

الأهداف

- **تقارن** بين قوة الزلزال وشدته وبين مقاييس أخرى.
- **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 على رسم بياني.

مفردات جديدة

مقياس رختر

قوة الزلزال

سعة الموجة الزلزالية

مقياس العزم الزلزالي

مقياس ميركالي المعدَّل

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 جيدًا، ويضعف صوته كلما ابتعد عنك. وبالكيفية نفسها تضعف طاقة الأمواج الزلزالية كلما ابتعدت عن مصدر الزلزال.

قوة الزلزال وشدته
Earthquake Magnitude and intensity

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

مقياس رختر ابتكر **مقياس رختر Richter scale** الجيولوجي تشارلز رختر Charles Richeter، 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 حسب مقياس رختر أكبر عشرة مرات، من سعة الأمواج الزلزالية لزلزال قوته 7. لكن الفرق في كمية الطاقة الصادرة عن الزلازل أكبر كثيرًا من الفرق في سعة الأمواج الزلزالية؛ فالطاقة الزلزالية الصادرة عن زلزال عند درجة ما أكبر 32 ضعفًا من الطاقة الصادرة عن الدرجة التي تسبقها، لذا فطاقة الزلزال الذي قوته 8 أكبر 32 مرة من طاقة زلزال قوته 7. ويوضح **الشكل 10–3** دمارًا سببه زلزال قوته 7.6 درجة على مقياس رختر.

الشكل 10–3 دمار ناجم عن زلزال قوته 7.6 درجة على مقياس رختر، وهو زلزال قوي ضرب الباكستان في شهر يناير من عام 2005 م.

مقياس العزم الزلزالي moment magnitude scale رغم أن مقياس رختر يُستعمل لوصف قوة الزلزال، إلا أن معظم العلماء يستعملون **مقياس العزم الزلزالي moment magnitude scale**، وهو مقياس رقمي يشير إلى الطاقة المتحررة من الزلزال، مأخوذًا في الاعتبار حجم الجزء المتمزق من الصدع، ومقدار الحركة على طول الصدع، وقساوة الصخر. والرقم الذي تسمعه في نشرات الأخبار عند وقوع الزلازل هو مقياس العزم الزلزالي.

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 الزلزال حسب هذا المقياس إلى 12 درجة؛ باستعمال الأرقام الرومانية للدلالة على درجة شدة الزلزال، حيث تصف كل درجة آثارًا معينة، وكلما زادت الدرجة كانت الأضرار الناجمة عن الزلزال أسوأ. ويبين **الجدول 1-3** مقياس ميركالي المعدل. ويمكنك استعمال المعلومات الواردة في هذا الجدول لتقدير شدة الزلازل الذي في **الشكل 11-3**

الشكل 11-3 يمكن أن يقيس مقياس ميركالي الأضرار التي يحدثها الزلزال، كالتي في الشكل، وهو زلزال قوي قادر على إيقاع المواد الموجودة على الرفوف، ويمكن تقدير شدة هذا الزلزال من الدرجة V.

الجدول 1-3 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 والسيارت 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 تتهدم 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، تتهدم الجسور، تنقطع السكك الحديدية والأسوار، وتتشكل شقوق كبيرة في الأرض.
XII	دمار شامل، تقذف الأجسام في الهواء.

شـدة الزلزال Earthquake intensity تعتمد شـدة الزلزال بصورة رئيسـة على سعة الأمواج الزلزالية السـطحية. ويضعف حجم الأمواج السـطحية مثل الأمواج الأوليـة والثانوية كلما زاد البُعد عن بؤرة الزلزال، تقل شـدة الزلزال كلما زاد البعد عن المركز السـطحي للزلزال. فإن أعلى شـدة للزلزال نجدها بالقرب من المركز السـطحي، وتقل قيم ميركالي إلى الدرجة I على مسافات بعيدة عن المركز السطحي.

سـوف تبني في التجربة الآتية خريطة الشـدة الزلزالية باستعمال مقياس ميركالي المعدل، وتوضح هذه الخرائط الشـدة الزلزالية الفعلية؛ إذ تصل خطوط الكنتور بين الأماكن المتسـاوية في الشدة، كما توضح أن أكبر شدة للزلزال تكون بالقرب من المركز السطحي له.

إنَّ كلًّا من شدة الزلزال وقوته يُعبّران عن حجم الأمواج الزلزالية الناجمة عن الزلزال، وأن شدة الزلـزال تعتمد على سـعة الامواج الزلزالية والبعد عن المركز السـطحي للزلـزال، كذلك تعتمد شـدة الزلـزال عـلى عمق بورة الزلـزال. فالزلازل القوية التي تسـبب الكوارث هـي في الغالب زلازل ضحلة.

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

تجربة

إعداد خريطة

كيف يمكن إعداد خريطة الشدة الزلزالية؟

يساعد إسقاط بيانات الشدة الزلزالية على خرائط المناسيب (الكنتورية) على إعطاء العلماء صورة واقعية عن موقع المركز السطحي للزلزال والشدة الزلزالية.

خطوات العمل

1. **اقرأ** نموذج السلامة في المختبر.
2. **ضع** ورقة فوق الخريطة وارسم الخريطة، ثم حدد على خريطة المواقع المشار إليها بالأحرف.
3. **أسقط** بيانات الشدة لمقياس ميركالي على الخريطة التي رسمتها، بحيث تضع بجانب كل حرف الشدة الزلزالية الخاصة به.

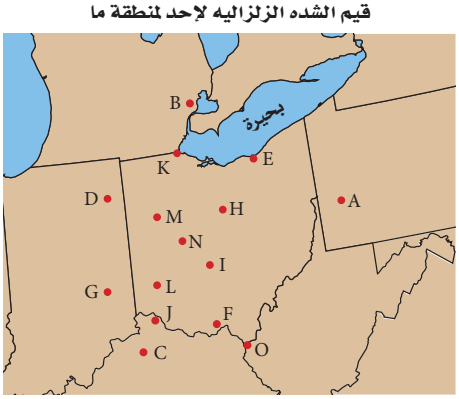
A: I ، B: III ، C: II ، D: III ، E: IV ، F: IV ، G: IV ، H: V ، I: V ، J: V ، K: VI ، L: VIII ، M: VII ، N: VIII ، O: III

4. لتحصل على خريطة مناسيب (كنتورية) للشدة الزلزالية، صل بين النقاط المتساوية الشدة.

التحليل

1. **حدد** أعلى قيمة للشدة الزلزالية.
2. **أوجد** موقع أعلى قيمة للشدة الزلزالية.
3. **قدر** موقع المركز السطحي للزلزال.

قيم الشده الزلزاليه لاحد لمنطقة ما



تحديد موقع الزلزال Locating an Earthquake

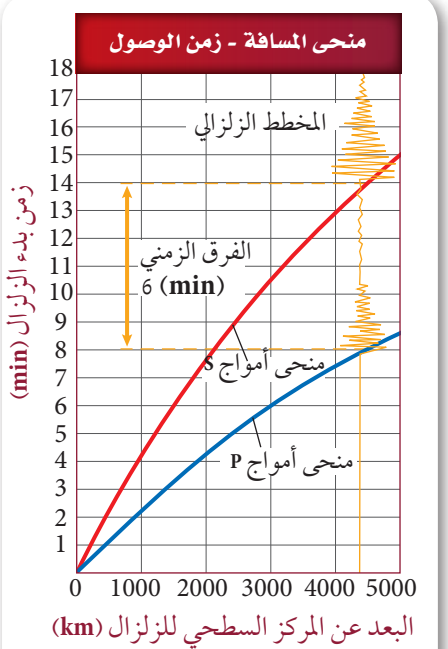
إن موقع المركز السطحي للزلزال ووقت حدوثه يكونان، في البداية، غير معروفين، ولكن يمكن تحديدهما باستعمال المخطط الزلزالي (السيزموجرام) ومنحنيات المسافة – زمن الوصول.

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 12–3** منحنى المسافة–زمن الوصول الذي ورد في **الشكل 6–3**، ولكن هذه المرة يمثل السيزموجرام زلزالًا معينًا؛ 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 بُعد الزلزال.

ويوضح **الشكل 12–3** أن الفرق الزمني يساوي 6 دقائق، لذا فإن المسافة بين المركز السطحي للزلزال ومحطة رصد الزلازل تساوي 4500 km ، حسب 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؟

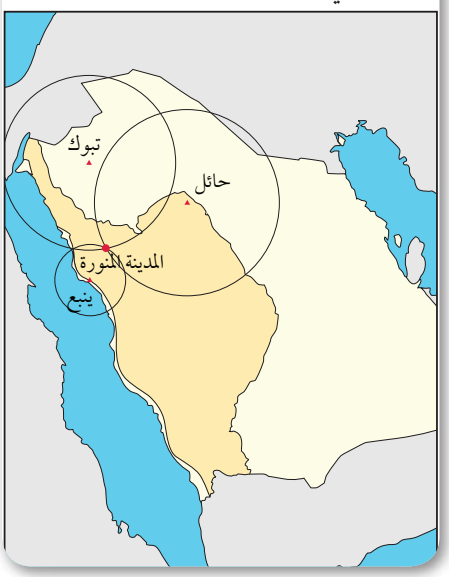
يحلل علماء الزلازل بيانات مخططات زلزالية عديدة لتحديد موقع المركز السطحي للزلزال، فبحساب المسافة بين المركز السطحي للزلزال وبين محطة الرصد يحدد العلماء بُعد المركز السطحي بدقة ، ولكن هذا لا يُحدد في أي اتجاه يقع المركز السطحي بالنسبة لمحطة الرصد. ويمكن التعبير عن ذلك بدائرة مركزها محطة الرصد ونصف قطرها بُعد المركز السطحي عن المحطة. ولو مثّلنا بُعد المركز عن محطة أخرى بدائرة ثانية، فسوف تتقاطع الدائرتان في نقطتين، ولا نعرف في أيهما يقع المركز السطحي. ولو مثّلنا بُعد محطة ثالثة بدائرة ثالثة، فعندئذ تتقاطع الدوائر الثلاث في نقطة، وتمثل هذه النقطة المركز السطحي، انظر **الشكل 13–3**.



■ **الشكل 12–3** يبين منحنى المسافة–زمن الوصول هذا بيانات زلزالية لزلزال ما.

■ **الشكل 13–3** 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.



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 6–3**. تسجل محطات الرصد في السيزموجرام زمن وصول أمواج P وأمواج S بدقة متناهية، ويستطيع العلماء قراءة الزمن الذي استغرقته أمواج P وS من المركز السطحي إلى محطة الرصد باستعمال رسوم بيانية كالتي في **الشكل 6–3**. فعلى سبيل المثال، افترض أن السيزموجرام سجل زمن وصول أمواج P في تمام الساعة 10:00 صباحًا باستعمال منحنى المسافة–زمن الوصول يمكن 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 صباحًا.

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

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.

مختبر تحليل البيانات

تفسير البيانات

كيف يمكنك أن تحدد موقع المركز السطحي للزلزال؟

لكي تحدد موقع المركز السطحي للزلزال بدقة، عليك أن تحلل بيانات أمواج P وأمواج S التي سُجلت في محطة رصد زلزالية.

تحليل

1. احصل على خريطة للجزيرة العربية من معلمك، وعيّن مواقع محطات الرصد الزلزالي في الجدول عليها.
2. احسب الفرق الزمني بطرح زمن وصول أمواج P من زمن وصول أمواج S، وسجلها في الجدول.
3. أوجد بُعد المركز السطحي للزلزال عن كل محطة رصد باستعمال الفرق بين أزمنة الوصول ومنحنى المسافة–زمن الوصول (**الشكل 5–3**) وسجلها في الجدول.
4. ارسم دائرة حول كل محطة، نصف قطرها يساوي المسافة بين المركز السطحي والمحطة.
5. حدد المركز السطحي للزلزال.

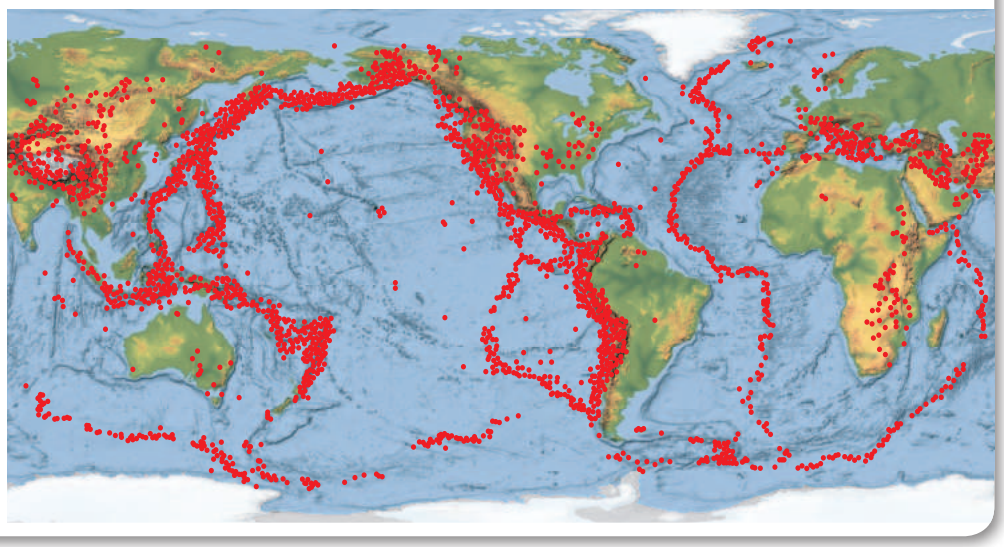
البيانات والملاحظات

محطة الرصد	زمن وصول أمواج P	زمن وصول أمواج S	الفرق الزمني (دقائق)	بُعد المركز السطحي (km)
(A)	8:39:02	8:44:02		
(B)	8:35:22	8:37:57		
(C)	8:35:38	8:38:17		

التفكير الناقد

6. **وضح** لماذا تحتاج إلى إيجاد الفرق الزمني بين وصول كل من أمواج P وأمواج S لكل محطة.
7. **حدد** مصادر الخطأ عند تحديد المركز السطحي للزلزال.
8. **فسر** لماذا يعد زيادة محطات الرصد الزلزالي المأخوذ منها البيانات أكثر فائدةً في تحديد موقع المركز السطحي للزلزال.

مواقع المراكز السطحية للزلازل في العالم



■ **الشكل 14–3** لاحظ النمط الذي تظهر به مواقع المراكز السطحية للزلازل العالمي على الخريطة.

حدد اعتمادًا على الخريطة هل تعيش بالقرب من مركز سطحي لزلزال .

يُلاحظ من **الشكل 14–3** 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 أنطقة طرح؛ حيث تلتقي صفيحتان معًا، وتغوص إحداهما 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.

التقويم 2–3

الخلاصة

- قوة الزلزال هي مقياس للطاقة التي تتحرر في أثناء حدوث الزلزال، ويمكن قياسها بمقياس رختر.
- شدة الزلزال هي مقياس للدمار الذي يُحدثه 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.

فهم الأفكار الرئيسة

1. الفكرة الرئيسية **لخص** الطرائق التي يستعمل فيها العلماء الأمواج الزلزالية لقياس الزلازل وتحديد موقعها.
2. **قارن** بين قوة الزلزال وشدته، وكذلك بين المقياسين المستخدمين لقياسيهما.
3. **فسر** لماذا نحتاج إلى ثلاث محطات رصد على الأقل لتحديد موقع الزلزال؟
4. **صف** كيف يمكن مقارنة حدود الصفائح الأرضية مع موقع معظم الزلازل على خريطة العالم، كما في **الشكل 14–3** ؟

التفكير الناقد

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

الرياضيات في الجيولوجيا

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

3-3

الأهداف

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

مراجعة المفردات

الجيولوجيا: دراسة المواد المكونة للأرض، والعمليات التي تعمل على تغيير هذه المواد.

مفردات جديدة

تسييل التربة

تسونامي

فجوة زلزالية

الزلازل والمجتمع
Earthquakes and Society

الفكرة الرئيسية **يمكن معرفة احتمال حدوث الزلزال من خلال تاريخ الزلازل، ومعرفة أين وكيف تتراكم الإجهادات بسرعة.**

الربط مع الحياة إذا كانت مدينتك تشهد سقوط أمطار في شهر مارس، بمعدل 11 يومًا 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 31/ 11. وبالكيفية نفسها تستطيع أن تتوقع احتمالية حدوث الزلازل عن طريق التاريخ الزلزالي للمنطقة.

الخطر الزلزالي Earthquake Hazards

من المعروف أن الزلازل تحدث على حدود الصفائح بصورة متكررة، وتسبب أضرارًا في الممتلكات والأرواح في المناطق التي تصيبها. ويمكن لزلزال قوته 5 أن يسبب كارثة في منطقة وأضرارًا 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 السيئة التصميم بالزلزال أكثر من غيرها؛ فالمبنى المصنوع من الخرسانة وأساساته غير مدعومة، قد يتضرر أكثر من المبنى المصنوع من الخشب، انظر **الشكل 15–3**؛ لأن الخرسانة مادة هشة بينما الهياكل الخشبية أكثر مرونة.

الشكل 15–3 المباني الخرسانية (الأسمنتية) هشة غالبًا، ويمكن أن تتلف بسهولة إذا وقع زلزال؛ فالمبنى الظاهر في الصورة أزيح من فوق أساسه عندما حدث الزلزال، وتم إسناده بعمود من الخشب.

■ **الشكل 16–3** يوضح الشكل أحد أنواع الدمار الناجمة عن الزلازل، حيث تتسبب الاهتزازات في انهيار الجدران الداعمة للمبنى وسقوط الطوابق العليا واحدة فوق الأخرى، فتظهر الطوابق على هيئة كومة من الفطائر.

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 كومة من الفطائر، لذا تسمى هذه العملية صنع الفطائر pancaking، ويوضح **الشكل 16–3** دمارًا مأساويًّا ناتجًا عن هذا النوع من انهيار المنشآت، والذي وقع في إسلام أباد في الباكستان، في عام 2005 م.

ماذا قرأت؟ وضح كيف تتشكل "كومة الفطائر" عند حدوث زلزال؟

هناك نوع آخر من انهيار المنشآت يتعلق بارتفاع المباني. حيث تدمر معظم المباني التي يتراوح ارتفاعها بين 5 إلى 15 طابقًا تدميرًا تامًّا، كما في **الشكل 17–3**، بينما تعاني المباني الأقصر أو الأطول من أضرار طفيفة؛ وذلك لأن التردد الناتج عن اهتزاز سطح الأرض الناتج عن الزلزال مساوٍ للتردد الناتج عن الاهتزاز الطبيعي للمباني المتوسطة، مما جعل هذه المباني تهتز بعنف في أثناء الزلزال، في حين أن تردد الاهتزازات الأرضية أقل من تردد اهتزازات المباني المرتفعة وأكبر من تردد اهتزازات المباني المنخفضة.

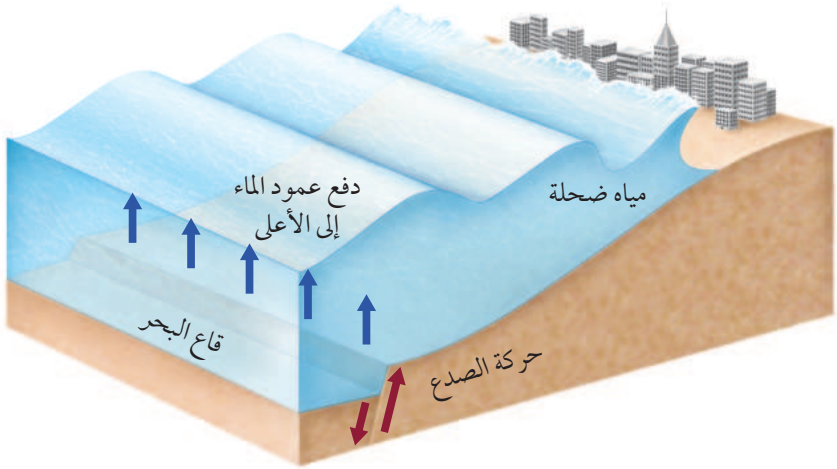
■ **الشكل 17–3** تدمرت المباني المتوسطة الارتفاع في أثناء حدوث الزلزال؛ لأن تردد اهتزازات هذه المباني يساوي تردد اهتزازات الأمواج الزلزالية.

■ **الشكل 18–3** يحدث تسييل التربة 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 شيّدها الإنسان، يمكن للزلازل أن تشوه المناظر الطبيعية في الأرض. ففي المناطق المنحدرة، يمكن أن تؤدي الزلازل إلى انهيارات أرضية ضخمة. وبسبب الانهيار الأرضي الناجم عن الزلزال، أدى إلى دفن العديد من البلدات؛ فالاهتزازات الزلزالية تجعل المناطق الرملية المشبعة بالماء، تسلك سلوك السائل عندما تسير فيها. تسمى هذه الظاهرة **تسييل التربة soil liquefacation** . ويمكن أن تولد الاهتزازات الزلزالية انهيارات أرضية حتى في المناطق القليلة الانحدار، كما يمكن أن تتسبب في سقوط الأشجار والمنازل أو غوصها في الأرض، ورفع الأنابيب والخزانات الموجودة تحت الأرض لتصبح فوق السطح. ويبين **الشكل 18–3** مباني مائلة بسبب تسييل التربة تحتها في أثناء الزلزال.

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

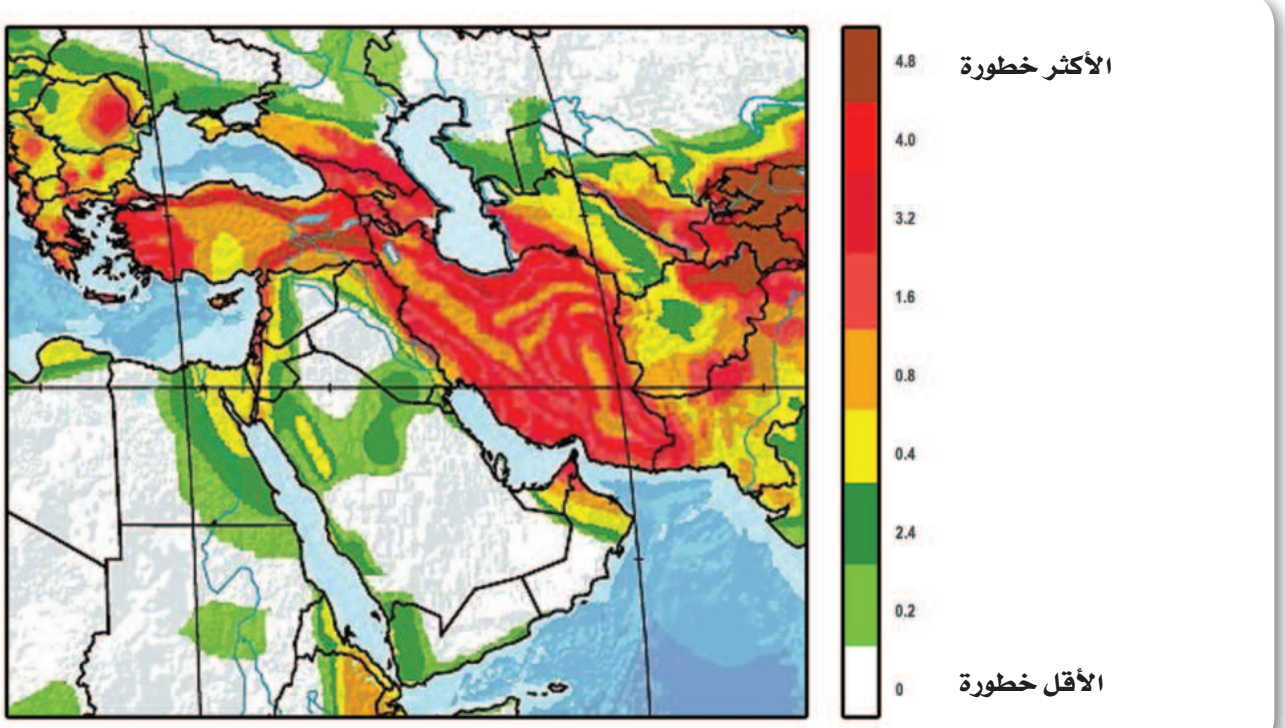
بالإضافة إلى مخاطر الانزلاقات الأرضية، فإن نوع المادة المكونة لسطح الأرض أثّر في شدة الزلزال في المنطقة؛ إذ تتضخم الموجات الزلزالية في بعض المواد الطرية ومنها الرواسب المفككة، بينما تخفت في الصخور الأكثر صلابة ومنها الجرانيت.



■ **الشكل 19–3** يتكون التسونامي عندما يسبب الصدع تحت الماء في إزاحة عمود الماء فوق سطح الأرض إلى أعلى.

تسونامي Tsunami نوع آخر من مخاطر الزلازل. وهي 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 19–3**، حيث تكون هذه الأمواج في البداية في صورة موجة طويلة جدًّا 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 لأمواج التسونامي وسرعتها التي تتراوح بين 800 km /h و 500 خطورة تهدد المناطق الساحلية بالقرب من المركز السطحي للزلزال أو بعيدًا عنه. وتسونامي اليابان في 11 مارس، عام 2011م نجم عن زلزال قوته 8.9 في 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 20–3** أثر ذلك الحدث الكارثي.

■ **الشكل 20–3** لم يقتصر الدمار الناتج عن تسونامي اليابان في 11 مارس شرق مدينة طوكيو، على الشواطىء، بل تجاوز ذلك إلى المناطق الداخلية، وأسفر عن وفاة ما لا يقل عن 20,000 شخص.



■ **الشكل 21–3** 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 مبينًا الخطر الزلزالي فيها.

توقع الزلازل Earthquake Forecasting

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

ماذا قرأت؟ تعرف اثنين من العوامل يستعملها علماء الزلازل لتحديد احتمال حدوث زلزال في منطقة معينة.

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 كثيرًا في هذه الأحزمة من أي مكان آخر على وجه الأرض. ويعد نمط الزلازل التاريخية مؤشرًا موثوقًا به لتوقع حدوث الزلازل في المستقبل في منطقة معينة، حيث تستعمل السيزمومترات والصخور الرسوبية لتحديد تكرار الزلازل الكبيرة. ويمكن استعمال تاريخ النشاط الزلزالي للمنطقة لإعداد خرائط الخطر الزلزالي. تشهد كثير من الدول – ومنها اليابان وتركيا وإيران – حظرًا زلزاليًّا مرتفعًا نسبيًّا. وقد عانت هذه المناطق من بعض الزلازل القوية في الماضي، وربما ستشهد نشاطًا زلزاليًا كبيرًا في المستقبل. ويوضح **الشكل 21–3** الخطر الزلزالي لشبه الجزيرة العربية وما حولها، حيث تزداد الخطورة الزلزاليه في الدول الواقعه إلى الشمال والشمال الشرقي من شبه الجزيرة العربية.

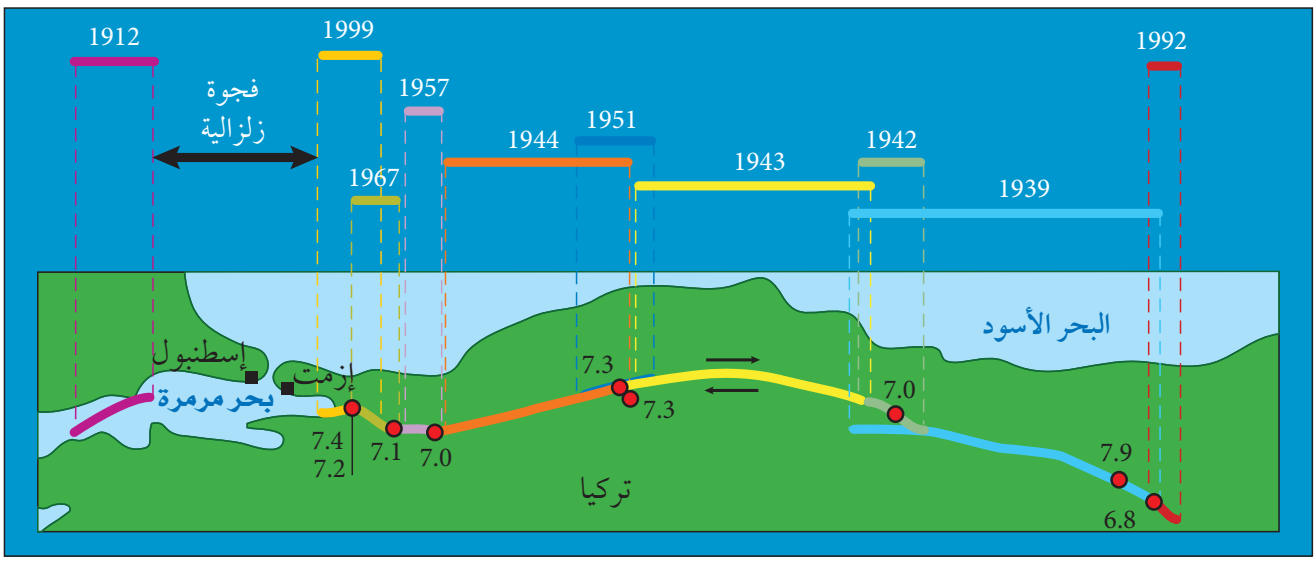
معدلات التكرار Recurrence rate يمكن أن تشير معدلات تكرار الزلازل التي تحدث على طول الصدع إلى ما إذا كان الصدع يولد زلازل مماثلة على فترات منتظمة أم لا. فلو أخذنا على سبيل المثال معدلات تكرار الزلازل على طول صدع في سان أندرياس، فسنجد أن سلسلة من الزلازل بقوة 6 تقريبًا ضربت المنطقة في كل 22 عامًا من 1857 م حتى عام 1966م. ففي عام 1987م 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 3–22**، لقياس الزلازل في حالة وقوعها. وفي سبتمبر 2004 م، وقع زلزال قوته 6. 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.

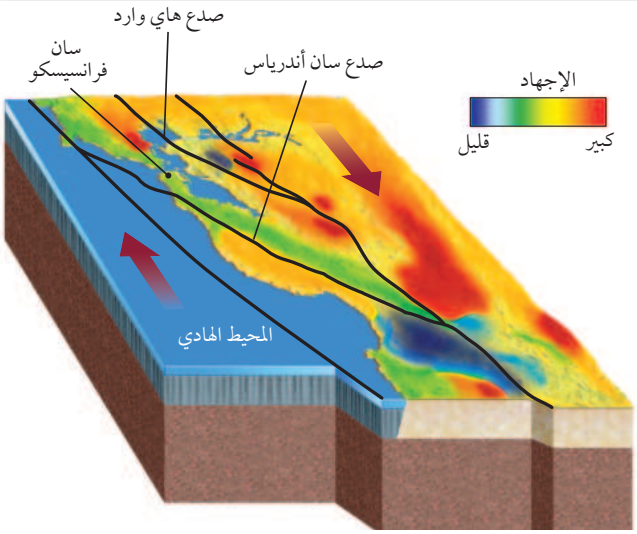
ماذا قرأت؟ استنتج أهمية دراسة معدلات تكرار الزلازل.

الفجوات الزلزالية Seismic gaps يعتمد توقع احتمالي وقوع الزلزال أيضًا على موقع الفجوات الزلزالية. والفجوات الزلزالية seismic gaps أجزاء نشطة تقع على امتداد صدع لم تتعرض لزلازل كبيرة في فترة طويلة من الزمن. ويبين **الشكل 3–23** خريطة الفجوات الزلزالية لصدع يعبر منطقة تركيا، حيث هناك تاريخ طويل للزلازل تقع على طول الصدع الكبير الموضح في الأسفل.

الشكل 22–3 استعملت منصة الحفر هذه لحفر بئر بعمق 2.3 km في المنطقة. وبعد الانتهاء من حفر البئر، تم توصيلها مع الأجهزة لتسجيل البيانات في أثناء الهزات الكبرى والصغرى. ويهدف هذا المشروع إلى فهم آلية حدوث الزلازل، وما يؤدي إلى حدوثها بصورة أفضل. وتساعد هذه المعلومات العلماء على توقع متى تحدث الزلازل.

الشكل 23–3 وقع زلزالان عامي 1912م و 1999م 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 24–3** تساعد خرائط تراكم الجهود في الصخور العلماء على توقع احتمال وقوع زلزال في مكان ما.

وضح. لماذا يعد تراكم الجهود في المناطق مهمًّا؟

تراكم الجهد في الصخر Stress accumulation يستعمل علماء الزلازل معدل تراكم الجهد في الصخور بوصفه عاملاً آخر لتحديد احتمال وقوع زلزال على طول مقطع من الصدع؛ حيث تزول هذه الجهود ، في نهاية المطاف، مسببة حدوث زلزال. ويستعمل العلماء تقنيات الأقمار الاصطناعية، ومنها نظام تحديد المواقع (GPS) لتحديد موقع تراكم الجهود على طول الصدع. ويساعد هذا في وضع تصور لتوزيع الجهود المتراكمة على طول الصدع. حيث يستعمل العلماء الجهود المتراكمة في جزء معين من الصدع مع كمية الجهود المتحررة من آخر زلزال وقع على نفس الجزء المعين من الصدع في تطوير صور كالتي تظهر في **الشكل 24–3**. وثمة عامل آخر يستعمله العلماء في توقع الزلازل، وهو معرفة الوقت الذي انقضى على حدوث زلزال وقع في ذلك الجزء من الصدع.

التقويم 3–3

الخلاصة

- يعتمد توقع 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، وتسييل التربة والتسونامي.
- الفجوات الزلزالية أجزاء من صدع نشط لم تتعرض لزلازل كبيرة منذ فترة طويلة من الزمن.

فهم الأفكار الرئيسة

1. **الفكرة الرئيسة** **اعمل** قائمة ببعض الأمثلة حول الطرائق التي يستعملها العلماء لتحديد احتمال وقوع زلزال.
2. **لخص** الآثار المترتبة على أنواع المخاطر المختلفة الناجمة عن الزلازل.
3. **ارسم** مجموعة من الرسوم تبين ما يحدث على طول صدع قبل حدوث زلزال وبعده.
4. **لخص** الأحداث التي تؤدي إلى حدوث التسونامي.

التفكير الناقد

5. **قوّم** أي الأماكن الأكثر احتمالًا 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 لزلزالين؛ زلزال قبل 20 سنة وزلزال قبل 60 سنة؟

الكتابة في الجيولوجيا

6. تخيل أنك في لجنة مساعدات دولية. اكتب تقريرًا تتناول فيه طرائق مقترحة لتعرف المناطق الأكثر عرضة لوقوع الزلازل.

الجيولوجيا والمجتمع

دروس من الماضي

زلزال بومرداس مايو 2003م الساعة 7:44 مساءً يوم الأربعاء. خرج سكان الجزائر العاصمة والمدن المحيطة بها – وخصوصًا مدينة 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 ارتجّت الأرض، وزلزلت زلزالاً شديدًا. وقد قدّره الخبراء بـ 6.8 درجات على مقياس رختر.

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

وقد حدث ما كان متوقعًا 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 الزلازل في مدينة الثنية في مدينة 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 تدريجيًّا، حيث وقعت صخور المنطقة تحت تأثير قوى، حتى وصلت حدًّا يفوق قدرتها على التحمل، مما أدى إلى تكسرها وتحرك أجزائها. وقد تعرضت المنطقة للعديد من الزلازل نتيجة وقوعها بين هاتين الصفيحتين.

زلزال بومرداس2003م

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

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

الكتابة في الجيولوجيا

ابحث استعمل الإنترنت، واكتب بحثًا أو أنشئ عرضًا تقديميًّا تقارن فيه زلزال بو مرداس2003م بزلزال الفيوم بمصر عام 1969م.

العلاقة بين المركز السطحي للزلزال والصفائح الأرضية

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

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

الأدوات

خريطة الوطن العربي

آلة حاسبة، فرجار، مسطرة مترية، خريطة الصفائح الأرضية (**الشكل 16–1**) و**الشكل 6–3**

خطوات العمل

حدد موقع المركز السطحي لزلزال 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 6–3** والفرق بين زمن وصول الأمواج الأولية والثانوية لتحديد بُعد المركز السطحي للزلزال عن كل محطة رصد زلزالي. دوِّن هذه المسافات في الجدول في صف "بُعد المركز السطحي".
3. احصل على خريطة الوطن العربي من معلمك، وحدد عليها بدقة مواقع محطات رصد الزلزال الثلاث بمساعدة المعلم.
4. استعمل مقياس رسم الخريطة بالسنتمتر لتحديد المسافة على الخريطة بالسنتمتر التي حصلت عليها في الخطوة 2 وتمثل بُعد المركز السطحي. ثم دوِّن المسافة في صف المسافة على الخريطة.

بيانات زلزالية			
محطة رصد الزلازل	بغداد	الدمام	دمشق
الفرق الزمني بين وصول أمواج P و S (دقيقة)	3.9	3.6	3.6
بُعد المركز السطحي (km)			
المسافة على الخريطة (cm)			

5. استعمل القيمة التي حسبتها على خريطة المسافة 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 الزلزال الأخريين.
8. حدد نقطة تقاطع الدوائر الثلاث. تمثل هذه النقطة المركز السطحي للزلزال.

التحليل والاستنتاج

1. **حلل البيانات** أين يقع المركز السطحي للزلزال؟
2. **صف** هل يتبع الزلزال أيًّا من الأحزمة الزلزالية الرئيسة؟
3. **فسر البيانات** استعمل **الشكل 16–1** لتحديد الصفائح التي سببت حدوث هذا الزلزال.
4. **استنتج** صف كيف تؤدي حركات الصفائح إلى حدوث هذا الزلزال.

الكتابة في الجيولوجيا

تخيل نفسك مراسلًا لصحيفة مقرها قريب من المركز السطحي لهذا الزلزال، واكتب مقالًا توضح فيه كيف أدت العمليات الجيولوجية إلى وقوع هذا الزلزال. صف ما إذا كان الزلزال سيكون مفاجأة للسكان بسبب موقعه بالنسبة إلى حدود الصفائح.

الفصل 3

دليل مراجعة الفصل

الفكرة العامة الـزلازل هـزات أرضية طبيعية، ينتـج بعضها بفعل الحركة على طـول الصدوع في القشرة الأرضية.

المفردات	المفاهيم الرئيسة
3–1 الأمواج الزلزالية وبنية الأرض	
الأمواج الزلزالية الأمواج الأولية الأمواج الثانوية بؤرة الزلزال المركز السطحي لزلزال مقياس الزلزال المخطط الزلزالي	**الفكرة الرئيسية** يمكن استعمال الأمواج الزلزالية في تصور بنية الأرض الداخلية. • أنواع الأمواج الزلزالية ثلاثة: أولية وثانوية وسطحية. • مقيـاس الـزلازل (السـيزمومتر) جهاز يسـتقبل الأمـواج الزلزالية، ويسـجلها على المخطط الزلزالي (السيزموجرام) . • اسـتطاع العلـماء أن يحـددوا المركز السـطحي للزلازل مـن الفرق الزمني بـين زمني وصول أمواج P وأمواج S. • تتغير سرعة واتجاه كل من أمواج P وأمواج S عندما تواجه حدودًا فاصلة بين مواد مختلفة. • يمكـن الحصول على صورة مفصّلة عن مكونات الأرض الداخلية من خلال تحليل الأمواج الزلزالية التي تعبر باطن الأرض.
3–2 قياس الزلازل وتحديد أماكنها	
مقياس رختر قوة الزلزال سعة الموجة الزلزالية مقياس العزم الزلزالي مقياس ميركالي المعدَّل	**الفكرة الرئيسية** يقيـس العلـماء قوة الزلازل ويحـددون مكانها على الخريطة باسـتعمال الأمواج الزلزالية. • قوة الزلزال هي مقياس للطاقة التي تتحرر في أثناء حدوث الزلزال، ويمكن قياسها بمقياس رختر. • شدة الزلزال هي مقياس للدمار الذي يُحدثه 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.
3–3 الزلازل والمجتمع	
تسييل التربة تسونامي فجوة زلزالية	**الفكرة الرئيسية** يمكـن معرفة احتمال حدوث الزلزال من خـلال تاريخ الزلازل، ومعرفة أين تتراكم الجهود، وكيف تتراكم 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، وتسييل التربة والتسونامي. • الفجوات الزلزالية أجزاء من صدع نشط لم تتعرض لزلازل كبيرة منذ فترة طويلة من الزمن.

مراجعة المفردات

أكمل الجمل الآتية بالمفردات المناسبة.

1. يسمى المقياس الذي يقيس كلًّا من كمية الطاقة المنبعثة من الزلزال وسعة الأمواج الزلزالية مقياس _____.
2. يحدث _____ عندما تسبب الاهتزازات الزلزالية تسييل المواد الأرضية تحت السطحية، وتجعلها تسلك سلوك الرمال المتحركة.
3. يوضح منحنى المسافة - زمن الوصول العلاقة بين زمن انتقال الأمواج الزلزالية و _____.
4. يُسمى نوع الأمواج الزلزالية الذي لا يمر خلال اللب الخارجي للأرض _____.
5. _____ موجة تتولد بسبب الحركة الرأسية لقاع المحيط.
6. تسمى نقطة الكسر في صخور القشرة الأرضية، حيث تنشأ أولى الأمواج الزلزالية الجسمية فيها وتنتشر منها إلى جسم الأرض _____.

ضع المصطلح الصحيح بدلاً من الكلمة أو الجملة التي تحتها خط.

7. البؤرة جزء من صدع نشط لم يحدث فيه زلزال كبير منذ فترة زمنية طويلة ويتوقع أن يحدث فيه مستقبلاً.
8. يوصف الدمار الذي يسببه الزلزال باستعمال مقياس العزم الزلزالي.
9. الزلزال الذي يحدث تحت الماء يتسبب في حركة الماء إلى أعلى يسمى الأمواج الزلزالية.
10. السجل الزلزالي الذي يتم الحصول عليه من السيزمومتر يسمى فجوة زلزالية.

وضح العلاقة بين المصطلحات الآتية في كل زوج مما يأتي:

11. البؤرة، المركز السطحي للزلزال.
12. الأمواج الثانوية، الأمواج السطحية.
13. مقياس رختر، مقياس العزم الزلزالي.
14. قوة الزلزال، شدة الزلزال.

تثبيت المفاهيم الرئيسة

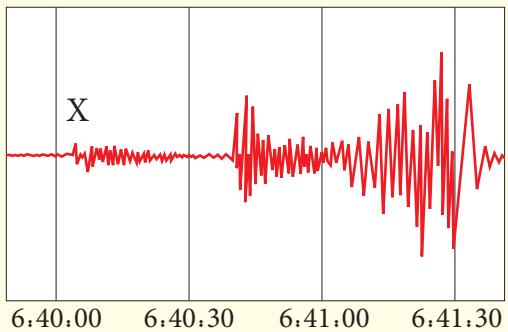
15. أي المواد الجيولوجية الآتية لها قابلية للتسييل أكبر ما يمكن عند مرور أمواج زلزالية فيها؟

a. الجرانيت. c. التربة والرسوبيات المفككة.

b. الصخر المتحول. d. اللابة.

أجب عن الأسئلة 16-18 مستعينًا بالرسم أدناه.

المخطط الزلزالي



16. ما نوع الموجة الزلزالية المشار إليها بالرمز x؟

a. أمواج p. c. أمواج S .

b. أمواج سطحية. d. أمواج قص.

17. ما زمن وصول الأمواج السطحية؟

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

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

3 مراجعة الفصل

18. يُستعمل الفرق الزمني بين وصول أمواج P وأمواج S في تحديد:
   a. بُعد المركز السطحي للزلزال عن محطة الرصد.
   b. نوع الصدع.
   c. عمق الزلزال.
   d. ما إذا كان اللب سائلاً.

19. ما نوع الخطر الزلزالي الذي ينتج عنه انهيار المنشآت؟
   a. تسونامي.
   b. صنع الفطائر.
   c. تسييل التربة.
   d. فجوة زلزالية.

أسئلة بنائية

استعن بالجدول أدناه للإجابة عن الأسئلة 22–20:

بعض الزلازل الحديثة		
الموقع	السنة	مقياس رختر
تشيلي	1960	8.5
كاليفورنيا	1906	7.9
ألاسكا	1964	8.6
تايوان	1999	7.6
اليابان	2011	8.9

20. **احسب** كم مرة تزيد الطاقة المتحررة من زلزال تشيلي على الطاقة المتحررة من زلزال تايوان؟

21. **قدر** كم مرة تزيد سعة الموجة الزلزالية المتولدة عن زلزال اليابان عن تلك المتولدة عن زلزال تايوان؟

22. **صنف** الزلازل حسب موقعها بالنسبة إلى نوع حدود الصفائح، واقترح كيف ترتبط، في معظم الأحيان، بالعمليات التكتونية؟

23. **قارن** بين موجة التسونامي والموجة السطحية.

24. **فسر** لماذا يحتاج العلماء إلى قياسات من أكثر من جهازين من أجهزة السيزمومتر لتحديد موقع الزلزال بدقة. اعمل مخططًا مماثلًا **للشكل 13–3** لدعم إجابتك.

التفكير الناقد

25. **لخص** العوامل التي يجب أن تؤخذ في الاعتبار في تقويم الخطر الزلزالي.

26. **ارسم** المكونات الرئيسية للسيزمومتر.

27. **انقد** الجملة الآتية: "إذا لم تعانِ منطقة ما من حدوث زلزال لأكثر من مائة سنة، فإنه لا يحتمل أن تحدث فيها زلازل على الإطلاق".

28. **صمم** منزلًا بحيث يبقى هيكله سليمًا في حالة وقوع زلزال. حدد معالمه مبينا كيف ستحميه من دمار الزلزال؟

خريطة مفاهيمية

29. استعمل المصطلحات والجمل 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.

سؤال تحدٍّ

30. **فسر** لماذا تكون معظم الزلازل الضحلة قريبة من سطح الأرض؟ استعن بمعلوماتك حول درجة حرارة الأرض الداخلية وبالجملتين الآتيين: "تحدث الزلازل في الصخور الهشة ولا تحدث في الصخور اللدنة". "تتأثر لدونة الصخور بدرجة الحرارة؛ إذ تزداد بزيادة درجة الحرارة".

اختبار مقنن

اختيار من متعدد

1. ما نوع الموجات الزلزالية التي تخترق اللب الخارجي للأرض؟
   a. الموجات الثانوية.
   b. الموجات السطحية.
   c. الموجات الأولية.
   d. الموجات الأولية والثانوية.

استعمل الجدول الآتي للإجابة عن السؤالين 2 و 3.

بعض الزلازل الحديثة		
الموقع	السنة	مقياس رختر
تشيلي	1960	8.5
كاليفورنيا	1906	7.9
ألاسكا	1964	8.6
تايوان	1999	7.6
اليابان	2011	8.6

2. احسب بشكل تقريبي كم مرة تزيد الطاقة المتحررة من زلزال ألاسكا على الطاقة المتحررة من زلزال كاليفورنيا؟
   a. مرتين. c. 32 مرة.
   b. 10 مرات. d. 1000 مرة.

3. قدّر كم مرة تزيد سعة الموجة الزلزالية المتولدة عن زلزال ألاسكا عن تلك المتولدة عن زلزال تايوان؟
   a. مرتين. c. 100 مرة.
   b. 10 مرات. d. 1000 مرة.

4. أبطأ الموجات الزلزالية وصولًا إلى محطات الرصد الزلزالي:
   a. الموجات الأولية. c. الموجات الثانوية.
   b. الموجات السطحية. d. الموجات الجسمية.

5. ماذا تسمى أجزاء الصدع النشط التي لم تتعرض لزلازل كبيرة منذ فترة طويلة من الزمن؟
   a. الفجوات الزلزالية. c. تسييل التربة.
   b. الزلازل الكامنة. d. التسونامي.

6. لتحديد موقع الزلزال نحتاج إلى معرفة موقع:
   a. محطة زلزالية واحدة.
   b. محطتين زلزاليتين على الأقل.
   c. 3 محطات زلزالية على الأقل.
   d. 5 محطات زلزالية على الأقل.

7. ما المقياس الذي يستعمل في قياس شدة الزلازل؟
   a. رختر c. مقياس ميركالي المعدل
   b. مقياس العزم الزلزالي d. السيزموجرام

أسئلة الإجابات القصيرة

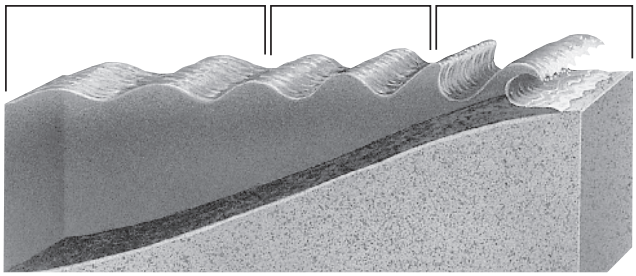
استعن بالخريطة الآتية للإجابة عن الأسئلة من 10 – 8.

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

9. ما أهمية استعمال ثلاث محطات رصد لتحديد المركز السطحي للزلزال؟

10. هـل يمكـن أن يؤثر هذا الزلـزال في المناطق المجاورة للجزيرة العربية؟

استعمل الشكل أدناه للإجابة عن السؤالين 11 و12.



11. صـف التغـير في حركـة الموجـات عنـد اقترابهـا من الشاطئ.

12. كيف تختلف حركة المياه والطاقة في الموجة المحيطية؟

القراءة والاستيعاب

التنبؤ بالزلازل

منـذ عدة قرون سـاد اعتقاد أن الحيوانات تسـتطيع التنبؤ بالزلازل. فقد سـجل المؤرخون أن حيوانـات – منها الفئـران والثعابين وابن عـرس – قـد هجرت المدينـة الإغريقيـة هيليس عـام 373 م قبل أن يضرب الزلزال المدينة. وقد سـجلت حـوادث مماثلة على امتداد القرون عند حدوث الزلازل، منها الحركة العنيفة للأسماك، وتوقف الدجاج عن البيض، وهجرة النحل خلاياه. ولكن بقي (كيف تحس الحيوانات بالزلزال) غامضًا. ومن الفرضيات التي وضعت لتفسير ذلك أن الحيوانات البرية والأليفة تشـعر بالاهتزازات الأرضية قبل الإنسـان. وبعض الأفكار تفترض أن الحيوانات تسـتطيع اكتشاف تغيرات كهربائية في الهواء أو الغاز المتحرر من الأرض.

والزلازل ظاهرة فجائية لا يسـتطيع الجيوفيزيائيون معرفة متى وأيـن تحـدث بالضبط. وتقـدر الـزلازل التي تسـجل في العام الواحد بـ 500000 زلزال. يوجد منها فقط 100000 زلزال يستطيع أن يشعر به الإنسان. و100 زلزال تقريبًا يسبب الدمار. ويجـري الباحثون دراسـات عميقـة على الحيوانات لاكتشـاف ماذا تسـمع أو تشـعر قبـل أن يحدث الزلـزال. واسـتعمل هذا الإحسـاس أداة للتنبؤ بالزلازل. وقد شـكك العلماء في إمكانية تنبؤ الحيوانات بالزلازل، بالرغم من توثيق حالات لسلوكيات غريبـة لبعـض الحيوانات قبل حـدوث الـزلازل؛ وذلك لعدم وجود صلة بين تكرار حدوث سلوك معين وحدوث الزلزال.

13. ماذا يمكن أن نستنتج بعد قراءة النص السابق؟

a. تسـتطيع الحيوانـات التنبـؤ بالـزلازل لأنها تشـعر باهتزازات الأرض قبل الإنسان.

b. لا تستطيع الحيوانات التنبؤ بالزلازل.

c. هناك حاجة لدراسـة إضافية وبحـث قبل تأكيد أو نفي قدرة الحيوانات على التنبؤ بالزلازل.

d. الحيوانات تتنبأ بالزلازل منذ قرون.

14. أي سـلوكيات الحيوانات ليسـت مـن الأدلة على تنبؤ الحيوانات بالزلازل؟

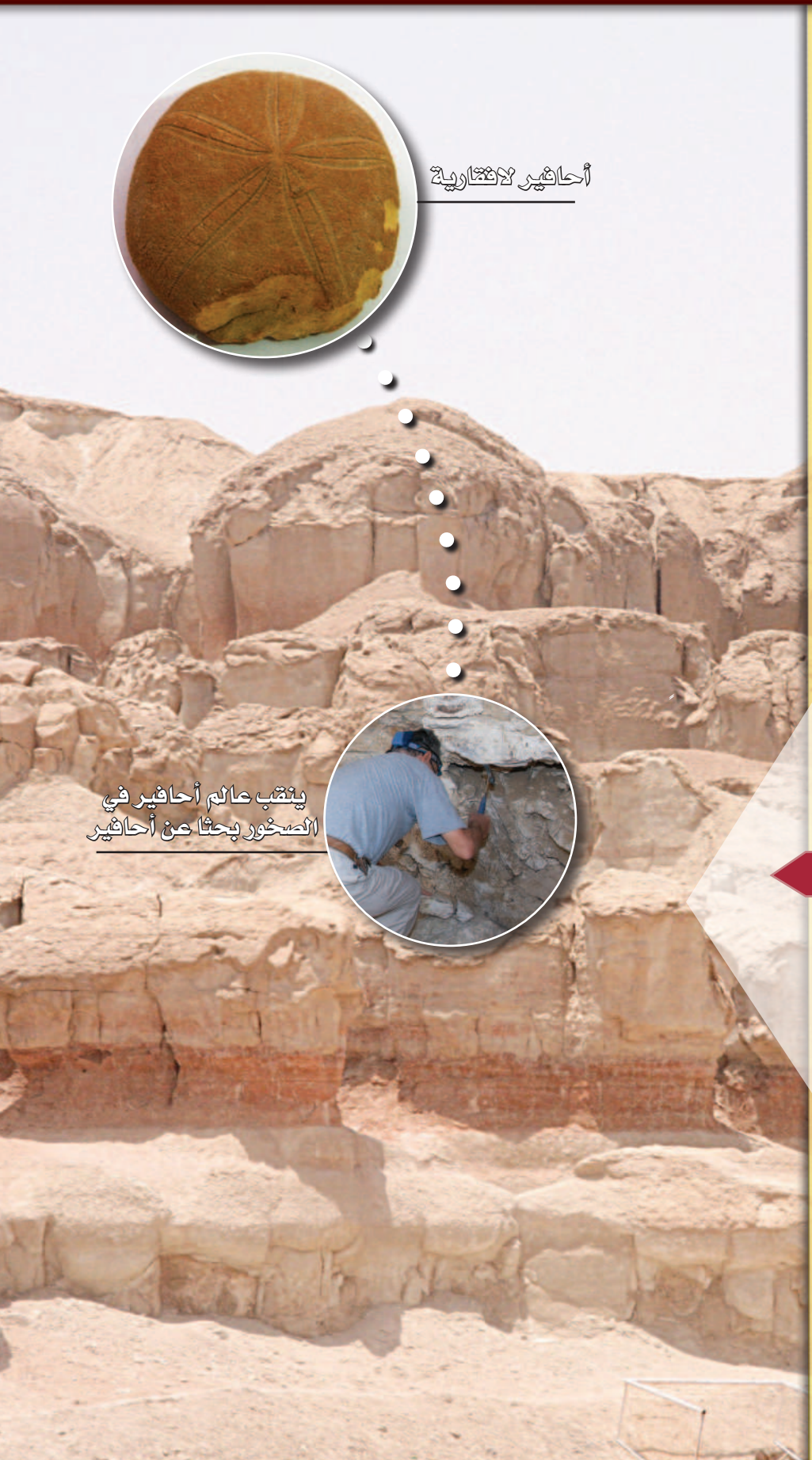
a. الحركة العنيفة للأسماك.

b. هجرة النحل لخلاياه.

c. وضع الدجاج للبيض.

d. هجرة الثعابين لجحورها.

الفصل 4 الأحافير والسجل الصخري
Fossils and the Rock Record



أحافير لافقارية

ينقب عالم أحافير في الصخور بحثا عن أحافير

الفكرة العامة يستعمل العلماء طرائق متعددة لدراسة تاريخ الأرض الطويل.

4–1 السجل الصخري

الفكرة الرئيسية يرتب العلماء الزمن الجيولوجي لمساعدتهم على التواصل حول تاريخ الأرض.

4–2 التأريخ الجيولوجي

الفكرة الرئيسية يستعمل العلماء المبادئ الجيولوجية لمعرفة ترتيب الأحداث الجيولوجية وَفْق حدوثها زمنيًّا. كما يستعملون العلماء طرائق الاضمحلال الإشعاعي وبعض أنواع الرسوبيات لتحديد العمر المطلق لكثير من الصخور.

حقائق جيولوجية

- تخفي رمال الصحاري العربية مجاري أودية وأنهارًا قديمة وبقايا آثار مدن، و مواطن مولد الكثير من الفقاريات.
- تحوي السجلات الصخرية دلائل تشير إلى وجود فترات جليدية سادت شبه الجزيرة العربية.

تجربة استهلالية

كيف تعمل أحافير؟

لعلك زرت أحد المتاحف، ووقفت أمام عظام متحجرة لأحد الديناصورات. تقدم العظام المتحجرة دليلاً على وجود الديناصورات والمخلوقات الحية الأخرى في الزمن الماضي. وتتكون الأحفورة عند دفن عظام المخلوق الحي أو الأجزاء الصلبة منه بسرعة في مواد مثل الطين أو الرمل أو رسوبيات أخرى، وتصبح متحجرة بعد مرور مدة طويلة من الزمن؛ إذ تمتص العظام والأجزاء الصلبة المعادن من الأرض.

الخطوات

1. اقرأ نموذج السلامة في المختبر.
2. اسكب 500 mL من **الرمل** في **علبة كرتونية** بعد إزالة الجزء العلوي.
3. ادفن **قطعة إسفنجية** في وسط الرمل .
4. اسكب 250 mL من **ماء ساخن** في **إناء سعته 500 mL**.
5. أضف 100 mL من **الملح** إلى الإناء وحرّك الخليط **بساق تحريك** بسرعة.
6. اسكب الماء على الرمل ثم عرّض الإناء مباشرة لأشعة الشمس لمدة 7–5 أيام دون تحريك.
7. احفر في الرمل لتحصل على "أحفورة إسفنجية".

التحليل

1. صف في دفتر العلوم ما حدث للقطعة الإسفنجية.
2. فسر كيف ينمذج هذا النشاط عملية تكون الأحافير؟

المطويات
منظمات الأفكار

التأريخ النسبي مقابل التأريخ المطلق

اعمل المطوية الآتية للمقارنة بين التأريخ النسبي والتأريخ المطلق لأعمار الصخور.

الخطوة 1 استعمل ورقة طولية وحدد وسطها.

الخطوة 2 اثن الورقة من أعلى ومن أسفل نحو وسطها لعمل مطوية ذات مصراعين.

الخطوة 3 عنون الألسنة. تأريخ نسبي، تأريخ مطلق .

استعمل هذه المطوية في القسم 2–4 في أثناء دراستك التأريخ النسبي والتأريخ المطلق، و لخص المعلومات عليها، واكتب فيها أمثلة على إيجابيات وسلبيات كل منهما.

جيولوجيا عبر المواقع الإلكترونية

لمراجعة محتوى هذا الفصل ونشاطاته ارجع إلى الموقع
www.obeikaneducation.com

4-1

الأهداف

- **توضح** لماذا يحتاج العلماء إلى سلم الزمن الجيولوجي.
- **تميز** بين الدهر والحقبة والعصر والحين.
- **تصف** مجموعات النباتات والحيوانات التي عاشت خلال الحقب المختلفة من تاريخ الأرض.

مراجعة المفردات

الأحفورة: بقايا أو آثار أو طبعات نبات أو حيوان عاش يومًا ما على سطح الارض.

المفردات الجديدة

سلم الزمن الجيولوجي
الدهر
ما قبل الكامبري
الحقب
العصور
الأحيان
الانقراض الجماعي

السجل الصخري
The Rock Record

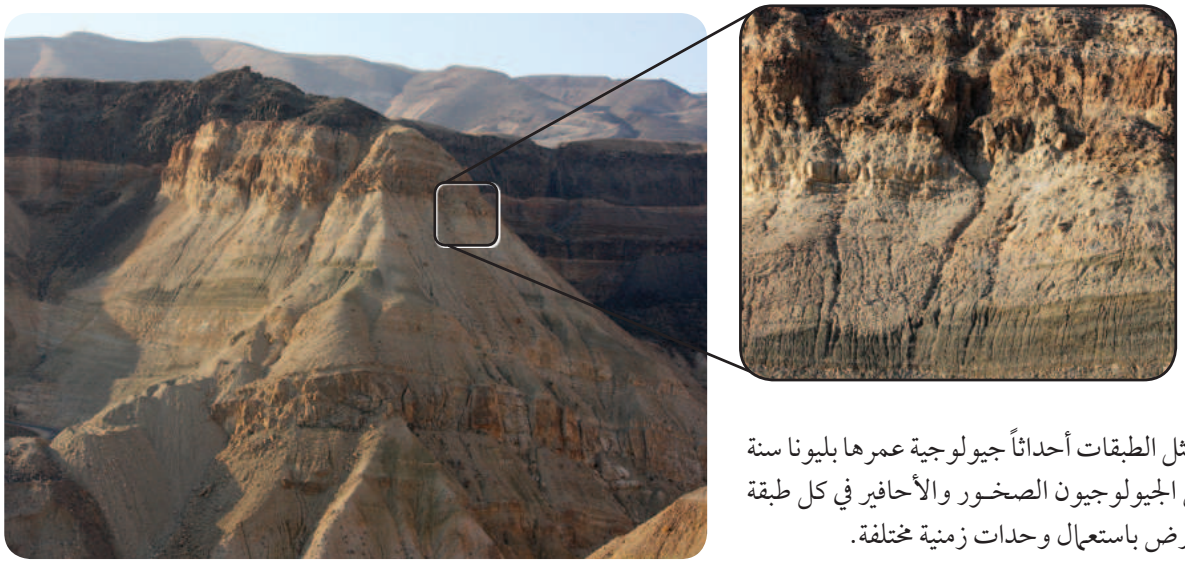
الفكرة الرئيسية **يرتب العلماء الزمن الجيولوجي لمساعدتهم على التواصل حول تاريخ الأرض.**

الربط مع الحياة تخيّل الصعوبة التي تواجهها عندما ترتب لقاء مع صديق لك لو لم يكن الزمن مقسماً إلى وحدات شهور وأسابيع وأيام وساعات ودقائق. وترتيب الزمن الجيولوجي في صورة وحدات زمنية يُمكّن العلماء من التواصل بفاعلية حول أحداث تاريخ الأرض.

ترتيب الزمن الجيولوجي Organizing Time

لو قمت برحلة مشيًا على الأقدام في وادٍ من الأودية لتكشّفت لك على جانبيه طبقات صخرية متعددة الألوان كما في **الشكل 1–4**. بعض هذه الطبقات تحتوي على أحافير تمثل بقايا أو آثاراً أو طبعات لمخلوقات حية عاشت في الزمن الماضي. ويستطيع الجيولوجيون من خلال دراسة الطبقات الصخرية والأحافير التي تحتويها معرفة تاريخ الأرض القديم من نواحٍ عدة، منها المناخ والبيئة القديمان، وتفسيرها.

ولفهم صخور الأرض وتفسير نشأتها، قسّم الجيولوجيون تاريخ الأرض إلى وحدات زمنية بناء على الأحافير التي تحتويها، وهذه الوحدات جزء من **سلم الزمن الجيولوجي geologic time scale** الذي يؤرخ تاريخ الأرض قبل 4.6 بلايين عام وحتى أيامنا الحالية. ومنذ تسمية أول وحدة زمنية في سلم الزمن الجيولوجي- وهي العصر الجوراسي في عام 1795م - استمر تطوير سلم الزمن الجيولوجي إلى يومنا هذا، بعض الوحدات الزمنية بقي دون تغيير لقرون خلت، بينما البعض الآخر تم إعادة ترتيبها من قبل العلماء لحصولهم على معلومات جديدة. ويوضح **الشكل 2–4** سلم الزمن الجيولوجي.

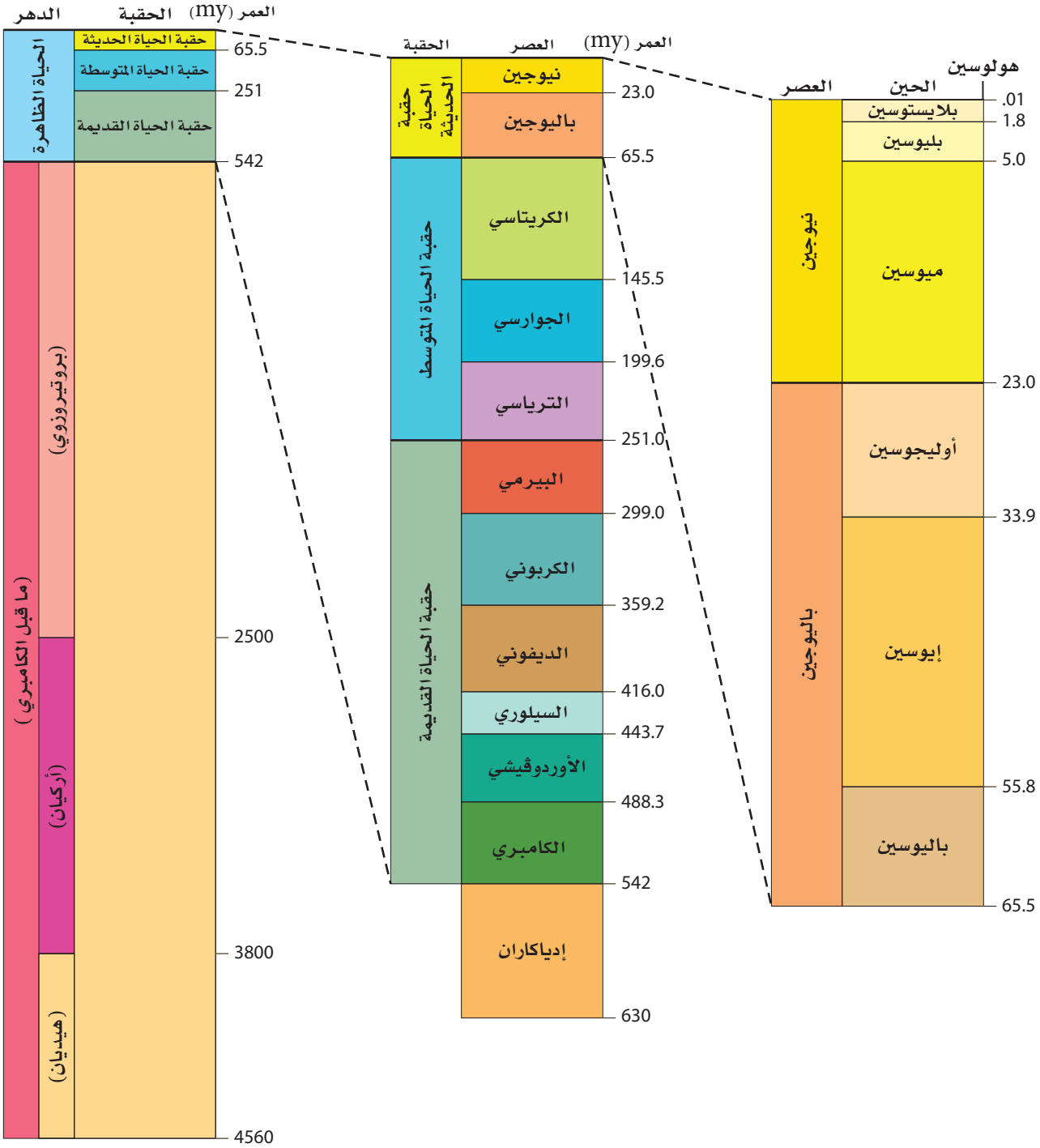


الشكل 1–4 تمثل الطبقات أحداثاً جيولوجية عمرها بليونا سنة تقريبًا. ويدرس الجيولوجيون الصخور والأحافير في كل طبقة لمعرفة تاريخ الأرض باستعمال وحدات زمنية مختلفة.

سلم الزمن الجيولوجي Geologic Time Scale

الشكل 2–4 يبدأ سلم الزمن الجيولوجي منذ نشأة الأرض قبل 4.6 بلايين عام. ويقسِّم الجيولوجيون تاريخ الأرض إلى مجموعات، أكبرها الدهر، حيث يحتوي كل دهر على حقب، وكل حقبة على عصور، وكل عصر على أحيان، ويسمى الحين الحالي هولوسين. ويوجد لكل وحدة في سلم الزمن الجيولوجي اسم ومدى زمني بملايين السنين.

حدد أحدث وحدة زمنية لكل من؛ الحين والعصر والحقبة والدهر في سلم الزمن الجيولوجي.



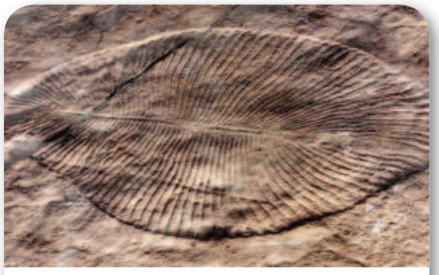
سلم الزمن الجيولوجي
The Geologic Time Scale

يساعد سلم الزمن الجيولوجي العلماء على إيجاد العلاقات بين الأحداث الجيولوجية والظروف البيئية وأشكال حياة المخلوقات الحية الممثلة بالأحافير المحفوظة في السجل الصخري، وتترتب الوحدات الزمنية في سلم الزمن الجيولوجي من الأقدم إلى الأحدث كما في **الشكل 2–4**، حيث تكون الأقدم في الأسفل، وكلما انتقلنا الى أعلى السلم كانت كل وحدة أحدث من سابقتها ، كما هو موجود في تتابع الطبقات الصخرية، حيث تصبح الطبقات أحدث كلما اتجهنا إلى أعلى.

ماذا قرأت؟ فسر لماذا يحتاج العلماء إلى سلم الزمن الجيولوجي؟

قُسّم سُلّم الزمن الجيولوجي إلى وحدات زمنية، وهي الدهور والحقب والعصور والأحيان. و **الدهر eon** أكبر هذه الوحدات، ويشمل الوحدات الأخرى، ومن الأمثلة عليه الهيديان والأركيان والبروتيروزوي والحياة الظاهرة. وتشكل الدهور الثلاثة الأولى 95% تقريبًا من سلم الزمن الجيولوجي، وتعرف مجتمعة معا **ما قبل الكامبري Precambrian** ، وفي دهر ما قبل الكامبري تكونت الأرض، وأصبحت مؤهلة لاستقبال حياة حديثة؛ إذ تشير الأدلة الأحفورية إلى أن أشكال الحياة البسيطة بدأت في التشكل في دهر الأركيان، وتطوّرت مع نهاية دهر البروتيروزوي، حتى أصبحت بعض المخلوقات قادرة على الحركة بطريقة معقدة. ومعظم أجسام هذه الأحافير كالتي في **الشكل 3–4** كانت رخوة ودون أصداف وهياكل رخوة تشبه المخلوقات الحية الحديثة.

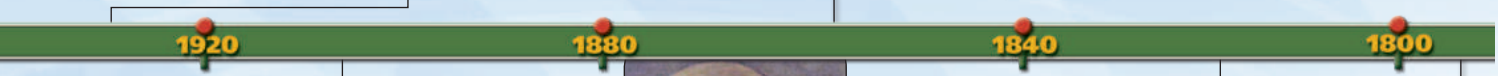
أما أحافير دهر الحياة الظاهرة فهي أحسن حفظًا؛ ليس لأنها أحدث عمرًا، بل لاحتواء مخلوقات الأحافير على أجزاء صلبة يسهل حفظها. ويمثل خط الزمن في **الشكل 4–4** بعض الأحافير المهمة والاكتشافات المتعلقة بتقنيات التأريخ.



الشكل 3–4 هذه أحفورة محفوظة بصورة جيدة لمخلوق حي وُجدت في صخور رسوبية تكوّنت في نهاية ما قبل الكامبري، وتمثل أحد أشكال الحياة المعقدة الأولى على الأرض.

استنتج كيف يتحرك هذا المخلوق الحي.

الشكل 4–4 اكتشاف الأحافير والتقنية غيّرت اكتشافات الأحافير وتقنيات التأريخ فهمنا للحياة على الأرض.



1796 رسم المساح وليام سميث أول خارطة جيولوجية اعتمادًا على أحافير محددة في الطبقات الصخرية.

1820 اكتشفت ماري انج أحافير عدة لمخلوقات حية قديمة، وأثارت بذلك اهتمامًا كبيرًا بعلم الأحافير.

1857 اكتشف عمّال المقالع هيكلاً عظميًّا يسمى نيندرتال وهو نوع شبيه بالإنسان الحديث

1929 يُعدّ أناسازي أول موقع أثري يؤرخ باستعمال حلقات الأشجار السنوية.

1959 أدى اكتشاف أحافير في صخور غضار بيرغن في سلسلة جبال روكي في الولايات المتحدة الأمريكية، إلى بيان مدى تنوع اللافقاريات التي تطورت خلال عصر الكامبري.

الحقب Eras تتكون جميع الدهور من حقب، **والحقبة Era** هي ثاني أكبر وحدة زمنية، وتتراوح بين عشرات إلى مئات ملايين السنين. وتُحدّد الحقبة كما تُحدد بقية الوحدات الأخرى بناء على أنواع الحياة المختلفة التي نجدها في الصخور. أما أسماء الحقب فهي مشتقة من كلمات إغريقية بُنيت على الأعمار النسبية لأشكال الحياة. فعلى سبيل المثال كلمة paleo تعني قديمًا، وكلمة meso تعني متوسطًا، وكلمة ceno تعني حديثًا، وكلمة zoic تعني الحياة، لذا فإن Paleozoic تعني الحياة القديمة، و Mesozoic تعني الحياة المتوسطة، و Cenozoic تعني الحياة الحديثة.

العصور Periods تُقسم جميع الحقب إلى **عصور Periods**، وتصل مدة العصر إلى ملايين السنين، ولكن بعض عصور ما قبل الكامبري أكبر من ذلك. سُمّيت بعض العصور بأسماء المواقع الجغرافية التي اكتُشفت فيها لأول مرة أحافير مرشدة، وهي أحافير لها عمر محدد. فعلى سبيل المثال، سُمّي عصر الإديكاران باسم تلال الإديكارا في أستراليا، انظر **الشكل 5–4**، وأضيف إلى سلم الزمن الجيولوجي في نهاية ما قبل الكامبري في عام 2004م.

الأحيان Epochs أصغر الوحدات الزمنية في سلّم الزمن الجيولوجي، وتتراوح مدة **الأحيان Epochs** بين مئات آلاف السنين وملايين السنين. ومع أن العصور جميعها مقسمة إلى أحيان، إلا أن سلّم الزمن الجيولوجي في **الشكل 2–4** لم يُظهر تقسيم العصور إلى أحيان إلا في حقبة الحياة الحديثة. وتعد صخور ورسوبيات حقبة الحياة الحديثة أكثر اكتمالاً مقارنة بالصخور الأقدم منها، لأنها لم تتعرض لعمليات التجوية والتعرية إلا لفترات زمنية قصيرة، ولم تفقد الأدلة على الحياة من تاريخ الأرض إلا لجزء بسيط، ولهذا السبب فإن أحيان هذه الحقبة قصيرة زمنيًّا، فعلى سبيل المثال حين الهولوسين الذي يتضمن الزمن الحديث بدأ منذ 11,000 عام فقط.

الشكل 5–4 تلال الإديكارا في أستراليا التي اكتشفت فيها لأول مرة أحفورة مرشدة لعصر الإديكاران، وأصبح يُطلق على أية أحافير مشابهة توجد في أي مكان في العالم أحافير إديكاران.

1946 توصل عدد من العلماء إلى أنه يمكن تحديد أعمار الأجسام العضوية والآثار الحديثة نسبيًّا باستعمال الكربون المشع.

1993 تُعد الأحافير التي وجدت في غرب أستراليا دليلاً على وجود البكتيريا قبل ٣,٥ بلايين عام.

2006 أحفورة تشبه القندس عمرها 164 مليون عام اكتشفها الصينيون، على أنها ثدييات مائية، ويتوقعون أنها ازدهرت مع الديناصورات.

2000 | 1970 | 1940

1987 قادت جيني كلاك حملة استكشافية إلى جرينلاند، اكتشفت خلالها أحفورة لحيوانات عاشت قبل 360 مليون سنة، حيث كان لها أقدام قبل أن تنتقل إلى اليابسة.

تعاقب أشكال الحياة Succession of Life-Form

بدأت المخلوقات الحية عديدة الخلايا في التنوع في دهر الحياة الظاهرة. لذلك فإن أحافيرها أكثر شيوعًا من أحافير ما قبل الكامبري القليلة نوعًا ما. وفي أثناء أول حقبة من دهر الحياة الظاهرة – وهي حقبة الحياة القديمة– امتلأت المحيطات بأنواع مختلفة من الحياة، ومن بينها الترايلوبيت (الثلاثية الفصوص) ، وهي حيوانات ذات أصداف صلبة مقسمة إلى أجزاء صغيرة، انظر **الشكل 6–4**، وتعد من أشكال المخلوقات الحية الأولى ذوات الأصداف، وقد سادت هذه المخلوقات في المحيطات في بدايات حقبة الحياة القديمة. أما نباتات الأرض فظهرت لاحقًا وتبعها ظهور حيوانات اليابسة، كما وفرت مستنقعات العصر الكربوني بيئة مناسبة لنمو النباتات، والتي تحولت لاحقًا إلى فحم حجري. وقد شهدت نهاية حقبة الحياة القديمة أكبر أحداث الانقراض الجماعي في تاريخ الأرض؛ إذ اختفت % 90 من المخلوقات الحية البحرية.

والانقراض الجماعي mass extinction هو اختفاء مجموعات من المخلوقات الحية في السجل الصخري في فترة حياتها.

الشكل 6–4 الترايلوبيت أحافير حقبة الحياة القديمة توجد في بقاع مختلفة من العالم. وقد أدى الانقراض الجماعي الذي حدث في نهاية هذه الحقبة إلى اختفاء ٪90 تقريبًا من أشكال الحياة.

عمر الديناصور The age of dinosaurs اشتهرت حقبة الحياة المتوسطة بظهور الديناصورات، كما ظهرت مخلوقات حية أخرى كالزواحف المفترسة الكبيرة التي سادت المحيطات، والمرجانيات التي بنت أنظمة شعابية ضخمة. أما البرمائيات التي قطنت الماء فقد بدأت التكيف مع البيئات الأرضية، كما عاشت حشرات بحجم الطيور، وظهرت أيضا الثدييات البدائية والنباتات المزهرة والأشجار. وتميزت نهاية حقبة الحياة المتوسطة بحادث انقراض ضخم؛ إذ انقرضت مجموعات كبيرة من المخلوقات الحية بما فيها الديناصورات غير الطائرة والزواحف البحرية الضخمة. أما في حقبة الحياة الحديثة فقد ظهرت الثدييات وتنوعت وزادت أعدادها.

التقويم 1–4

الخلاصة

- يرتب العلماء سلم الزمن الجيولوجي في دهور وحقب وعصور وأحيان.
- يقسم العلماء الزمن إلى وحدات اعتمادًا على أحافير النباتات والحيوانات.
- يُشكّل دهر ما قبل الكامبري 90% من سلّم الزمن الجيولوجي.
- يتغيَّر سلّم الزمن الجيولوجي مع زيادة معرفة العلماء العلمية عن تاريخ الأرض.

فهم الأفكار الرئيسة

1. الفكرة الرئيسة **وضح** الهدف من بناء سلم الزمن الجيولوجي.
2. **ميّز** بين الدهور والحقب والعصور والأحيان، ذاكراً بعض الأمثلة.
3. **صف** أهمية الأحداث التي تمثل الانقراض الجماعي بالنسبة للجيولوجيين.
4. **فسر** لماذا يعرف العلماء معلومات كثيرة عن حقبة الحياة الحديثة أكثر مما يعرفون عن بقية الحقب.

التفكير الناقد

5. **ناقش** لماذا يعرف العلماء معلومات قليلة عن الحياة في دهر ما قبل الكامبري؟

الرياضيات في الجيولوجيا

6. **ارسم** رسمًا بيانيًّا بالأعمدة توضح فيه الفترات الزمنية النسبية لكل حقبة من حقب دهر الحياة الظاهرة.

4-2

الأهداف

- **تصف** مبدأ النسقية وتبيّن أهميته في الجيولوجيا.
- **تطبّق** المبادئ الجيولوجية في تفسير التتابعات الصخرية وتحدد أعمارها النسبية.
- **تقارن** بين أنواع مختلفة من عدم التوافق.
- **توضح** كيف يستعمل العلماء المضاهاة في فهم تاريخ منطقة ما.
- **تقارن** بين التأريخ المطلق والتأريخ النسبي.
- **تصف** كيف يحدد العلماء الأعمار المطلقة للصخور والمواد الأخرى باستعمال العناصر المشعة.
- **توضح** كيف يستعمل العلماء مواد محددة غير مشعة في تأريخ الأحداث الجيولوجية.

مراجعة المفردات

نظير: هو شكل واحد من شكلين أو اكثر من ذرات عنصر ما تختلف في عدد النيترونات.

المفردات الجديدة

مبدأ النسقية
التأريخ النسبي
مبدأ الترسيب الأفقي
مبدا تعاقب الطبقات
مبدأ القاطع والمقطوع
مبدأ الاحتواء
عدم التوافق
المضاهاة
الطبقة المرشدة
التأريخ المطلق
الاضمحلال الإشعاعي
التأريخ الإشعاعي
عمر النصف
التأريخ بالكربون المشع
التأريخ بالأشجار

التأريخ الجيولوجي
Geolgical Dating

الفكرة الرئيسية **يستعمل العلماء المبادئ الجيولوجية لمعرفة ترتيب الأحداث الجيولوجية وَفْق حدوثها زمنيًّا. كما يستعملون طرائق الاضمحلال الإشعاعي وبعض أنواع الرسوبيات لتحديد العمر المطلق لكثير من الصخور.**

الربط مع الحياة إذا طلب إليك أن ترتب الأحداث الآتية: زمنيًّا من الأقدم إلى الأحدث، فكيف تفعل ذلك؟ (ذهابك إلى المدرسة، استيقاظك من النوم، ارتداؤك الملابس، تناولك الطعام). ستعتمد على الأرجح على خبرتك السابقة في ترتيب هذه الأحداث. يستعمل العلماء أيضًا معلومات من الماضي لترتيب الأحداث في تعاقب زمني مماثل. ولكنهم أيضًا يرون أنه من المفيد معرفة زمن وقوع الأحداث بالضبط.

التفسير الجيولوجي Interpreting Geology

يمتد عمر الأرض إلى بلايين السنين، ولم يعرف العلماء القدماء سابقًا عمر الأرض؛ حيث كانت الأفكار الأولى عن عمر الأرض في سياق زمني قصير، بحيث يمكن لشخص أن يتصورها بالنسبة إلى عمره. وقد تغير هذا المفهوم عن عمر الأرض مع بدء استكشاف الإنسان للأرض وللعمليات الأرضية بطريقة علمية. ويعد جيمس هاتون – وهو جيولوجي أسكتلندي عاش في نهاية القرن الثامن عشر – من أوائل العلماء الذي اعتقدوا أن عمر الأرض كبير؛ فقد حاول فهم تاريخ الأرض من خلال العمليات الجيولوجية، التعرية وتغيرات مستوى سطح البحر، التي تحدث ضمن فترات زمنية كبيرة. لقد ساعد عمله هذا في بناء سلّم الزمن الجيولوجي وتطويره.

مبدأ النسقية uniformitarianism أرسى عمل جيمس هاتون حجر الأساس لمبدأ النسقية **uniformitarianism** الذي ينص على أن العمليات الجيولوجية التي تحدث الآن كانت تحدث منذ أن خُلقت الأرض. فعلى سبيل المثال إذا وقفت على شاطئ محيط وراقبت الأمواج القادمة إلى الشاطئ فإنك تشاهد عملية لم تتغير منذ نشوء المحيطات؛ إذ إن الأمواج التي تكسرت على شواطئ البحار في العصر الجوارسي تشبه إلى حد كبير الأمواج التي تتكسر على شواطئ البحار في هذه الأيام. والصورة في **الشكل 7–4** أخذت حديثًا لأحد الشواطئ، وهي تشبه إلى حد كبير الشواطئ التي كانت موجودة قبل ملايين السنين.

■ **الشكل 7–4** ربما كانت شواطئ مملكة البحرين قبل 5 ملايين عام مثل هذا الشاطئ؛ ذلك أن العمليات الجيولوجية التي كوّنتها لم تتغير.

مبادئ تحديد العمر النسبي
Principles for Determining Relative Age

المطويات

ضمِّن معلومات من هذا القسم في مطويتك

المفردات

مفردات أكاديمية

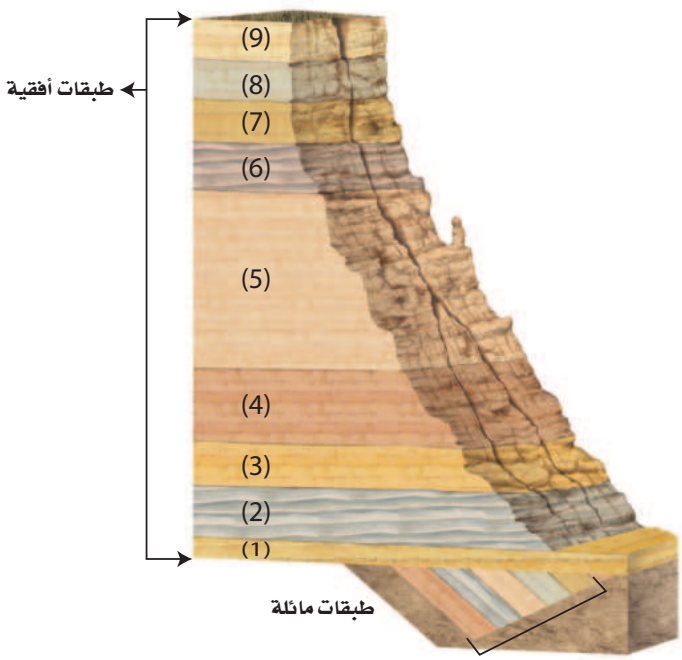
المبدأ

هو فرضية عامة تختبر بصورة متكررة وتسمى أحيانًا قانونًا.

تم توضيح المبدأ الجيولوجي في الطبقات الصخرية التي شاهدها الطالب.

بناء على مبدأ النسقية يستطيع العلماء أن يعرفوا الكثير عن الماضي بدراستهم للحاضر، متبعين في ذلك طرائق عدة، منها **التأريخ النسبي relative-age dating**، وهي دراسة ترتيب الأحداث الجيولوجية وفق حدوثها زمنيًّا. وهذه الطريقة لا تمكن العلماء من معرفة عدد السنين التي استغرقتها الأحداث الجيولوجية، ومتى وقعت بالضبط، ولكنها تساعدهم على فهم الأحداث الجيولوجية التي وقعت عبر تاريخ الأرض بصورة واضحة. ويستعمل العلماء طرائق عدة لتحديد الأعمار النسبية تسمى مبادئ التاريخ النسبي. وتتضمن هذه المبادئ؛مبدأ الترسيب الأفقي ومبدأ تعاقب التطبيقات، ومبدأ القاطع والمقطوع ومبدأ الاحتواء.

مبدأ الترسيب الأفقي original horizontality ينص **مبدأ الترسب الأفقي original horizontality** على أن الصخور الرسوبية تترسب في طبقات أفقية أو شبه أفقية. ويشبه هذا ما يحدث عندما تترسب الرمال على الشاطئ بصورة



■ **الشكل 8–4** تكونت الطبقات الأفقية في الشكل من خلال ترسيب الرسوبيات عبر ملايين السنين. وينص مبدأ الترسيب الأفقي على أن الطبقات المائلة في أسفل التتابع تكونت في البداية في وضع أفقي.

أفقية؛ حيث تعمل الجاذبية على نشر الرسوبيات المحمولة بالرياح والمياه بانتظام. وأي تغير يحدث لوضع الطبقات الأفقي يكون بسبب حدث جيولوجي لاحق لعملية الترسيب. ويوضح **الشكل 8–4** طبقات رسوبية أفقية على جانبي أحد الأودية، أسفلها طبقات مائلة.

مبدأ تعاقب الطبقات superposition لا يستطيع الجيولوجيون تقدير أعمار الطبقات الصخرية الموضحة في **الشكل 8–4** بالسنوات باستعمال التأريخ النسبي، ولكن يمكنهم أن يفترضوا أن الطبقات السفلى في التعاقب هي الأقدم والعليا هي الأحدث، لذا يمكنهم أن يستنتجوا أن الطبقة (9) في قمة التعاقب أحدث من الطبقة (1) في أسفل التعاقب. ويعد هذا تطبيقًا على **مبدأ تعاقب الطبقات superposition** الذي ينص على أنه في أي تعاقب طبقي تكون أقدم الطبقات الصخرية في الأسفل والأحدث في الأعلى، وكل طبقة في التعاقب تكون أحدث من الطبقة التي تحتها، ما لم تتعرض الطبقات في التعاقب الطبقي إلى تغيير عن وضعها الأفقي الأصلي.

مبدأ القاطع والمقطوع cross-cutting relationship تتميز صخور الدرع العربي – الذي يشكل الجزء الغربي من شبه الجزيرة العربية – بوجود الكثير من القواطع المكونة من الصخور النارية القاعدية والفلسية التي تقطع الصخور الأقدم منها. ويوضح **الشكل 9–4** صخور الشيست المتحولة مقطوعة بقواطع رأسية جرانيتية. والقواطع صخور تتكون بفعل تصلُّب الماجما داخل صخور موجودة أصلًا.

■ **الشكل 9–4** حسب مبدأ القاطع والمقطوع فإن القواطع النارية أحدث من صخور الشيست.

استنتج كيف تكونت القواطع النارية؟

تجربة

تحديد العمر النسبي

كيف تحدد العمر النسبي؟ يستعمل العلماء المبادئ الجيولوجية في تحديد العمر النسبي للطبقات الصخرية.

خطوات العمل

1. اقرأ نموذج السلامة في المختبر.
2. ارسم شكلاً يتكون من أربع طبقات صخرية أفقية، ورقمها من أسفل إلى أعلى من 1 إلى 4.
3. ارسم قاطعًا ناريًّا رأسيًّا يمر من خلال الطبقات من 1 الى 3.
4. حدد النقطة X على أسفل الطرف الأيسر للشكل، والنقطة Y على أعلى الطرف الأيمن له.
5. قص الورقة قطريًّا من X إلى Y، ثم حرّك القطعة الناتجة 1.5 cm على طول القطع.

التحليل

1. **صف** ما المبادئ التي ستستعملها في تحديد الأعمار النسبية للطبقات في الشكل.
2. **وضح** مبدأ القاطع والمقطوع، وبيّن كيف يمكن استعماله في تحديد العمر النسبي للقاطع الرأسي؟
3. **استنتج** ماذا يمثل القطع XY، وهل هو أقدم أم أحدث من الصخور المحيطة به؟

■ **الشكل 10–4** عدم التوافق هو سطح تعرية يفصل بين طبقتين صخريتين ترسبتا في أوقات مختلفة. ويوضح الشكل أدناه الأنواع الثلاثة لعدم التوافق.

عدم توافق انقطاعي

اللاتوافق

عدم توافق زاوي

وينص **مبدأ القاطع والمقطوع cross-cutting relationship** على أن القاطع أحدث من المقطوع. لذلك فإن قواطع الجرانيت في الشكل أحدث من صخور الشيست. ولأن الصدوع كسور في الأرض يمكن أن تحدث حركة على طولها، لذا يمكن تطبيق مبدأ القاطع والمقطوع عليها؛ حيث يكون الصدع أحدث من الطبقات والمعالم الجيولوجية التي يقطعها. هناك الكثير من الصدوع في المناطق المعرضة للزلازل، ومنها البحر الميت.

مبدأ الاحتواء Inclusions يمكن تحديد العمر النسبي لطبقة صخرية عندما تحتوي قطعًا من صخور مجاورة لها. ويمكن أن يحدث هذا إذا تعرضت طبقة صخرية متكشفة إلى التجوية وفقدت أجزاء منها، ثم أصبحت هذه الأجزاء المفقودة جزءًا من الطبقة التي تترسب فوقها. وينص **مبدأ الاحتواء principle of inclusion** على أن القطع الصخرية (المحتبسة) أقدم من الصخور التي تحتويها.

إن الفتات الصخري الناتج عن تجوية الصخور يُنقل ويعاد ترسيبه على بعد كيلومترات عدة. لذلك من المتوقع أن يحتوي صخر من العصر الكريتاسي قطعًا صخرية من العصر الكامبري، كما يمكن أن تحتوي اللابة المتدفقة على السطح قطعًا صخرية قادمة من الأعماق.

عدم التوافق unconformity يتغير سطح الأرض باستمرار بفعل التجوية والتعرية والزلازل والبراكين وعمليات أخرى، لذلك من الصعب أن تجد تعاقبًا صخريًّا لم يطرأ عليه أي تغيرات. وفي بعض الأحيان قد تُفقد أحداث زمنية ماضية كليًّا من تاريخ الأرض. فعلى سبيل المثال لو أن صخورًا نتجت عن ثوران بركاني تعرضت لعمليات التعرية فقد يؤدي ذلك إلى فقدان حدث الثوران البركاني في السجل الصخري. وعليه فلو غُطيت هذه المنطقة بطبقة جديدة من الرسوبيات فإن سطح التعرية هذا سيمثل فراغًا (فترة زمنية مفقودة) في السجل الصخري. وتسمى سطوح التعرية المدفونة **عدم توافق unconformity**؛ حيث تكون الطبقة الصخرية التي تعلو سطح عدم التوافق مباشرة أحدث عمرًا من الطبقة التي تقع تحته. ويميز العلماء ثلاثة أنواع من سطوح عدم التوافق موضحة في **الشكل 10–4**.

عـدم التوافـق الانقطاعـي Disconformity عندمـا تعلو طبقة رسـوبية أفقية طبقة رسـوبية أفقية أخرى، يسمى سـطح التعرية بين هاتـين الطبقتين عـدم التوافق الانقطاعي. ويمكن تمييز سـطح عدم التوافـق الانقطاعـي عندمـا يكون سـطح التعريـة متعرجًـا، ولكن تصعب رؤيته عندما يكون مستويًا.

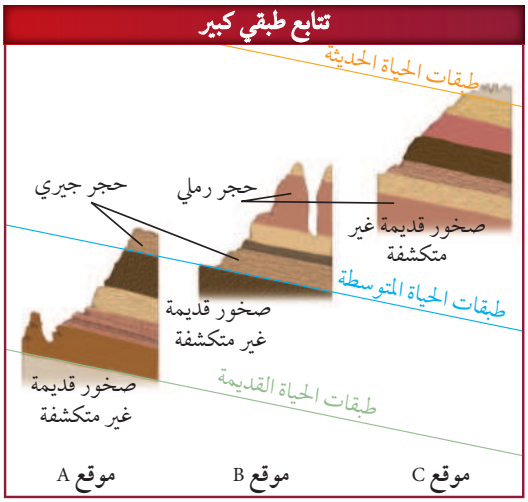
اللاتوافق Nonconformity هو سـطح يتكـون عندما تعلو طبقة رسـوبية صخـورًا نارية أو متحولـة كالجرانيت أو الرخام، وسـطح اللاتوافق سطح تعرية يسهل تعرُّفه. لأن الجرانيت والرخام يتكونان في الأعماق فإن سـطح اللاتوافق سـوف يشـير إلى فترة زمنية ضائعة في السـجل الصخـري، وهي الفـترة التي انقضت في أثنـاء رفع هذه الصخـور مـن باطـن الأرض إلى أعلى وتعريتها على سـطح الأرض وترسيب طبقة صخرية جديدة فوقها.

ماذا قرأت؟ مَيِّز بين عدم التوافق الانقطاعي واللاتوافق؟

عدم التوافق الزاوي Angular unconformity تتعرض الطبقات الصخرية الرسوبية الأفقية إلى تشوه خلال العمليات البانية للجبال؛ حيـث تتعرض للرفـع والميلان، كما تتعـرض خلال هـذه العمليات للتجويـة والتعريـة، ثـم إذا ترسـبت فوق هـذه الطبقـات المائلة بعد تعريتها طبقة أفقية من صخور رسوبية فسيتكون سطح عدم التوافق يسمى عدم التوافق الزاوي. ويبين **الشكل 10–4** كيف يُسجل عدم التوافق الزاوي تأريخًا معقدًا لعمليات تكوّن الجبال والتعرية.

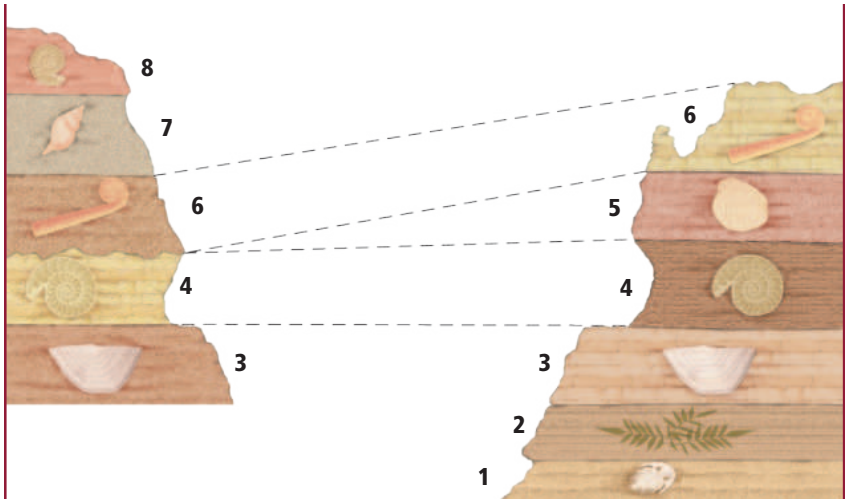
المضاهـاة correlation يوضـح **الشـكل 11–4** أن الحجر الجيري يمثل أعلى الطبقات الصخرية في الموقع A، ولكنه في أسفلها في الموقع B الـذي يبعد 100 km عـن الموقع A. كيف يعرف الجيولوجيون أن هـذه الطبقـات الصخريـة البعيـدة بعضها عن بعض قـد تكوّنت في الفـترة الزمنية نفسـها ؟ والجواب على ذلك هو اتبـاع طريقة واحدة تسمى **المضاهاة correlation**، وهي مطابقة بين تكشفات صخرية محددة في منطقة ما، مع تكشـفات مماثلة لها في منطقة جغرافية أخرى اعتمادًا على المكونات المعدنية والخصائص الفيزيائية أو على المحتوى الأحفـوري. ومن خـلال مضاهاة الطبقـات الصخريـة المختلفة في **الشـكل 11–4** قد توصل الجيولوجيون إلى أن التعاقبات الصخرية كلها في المواقع A و B و C هي جزء من تعاقب طبقي كبير.

الطبقـات المرشـدة (الدّالـة) key beds تترسـب أحيانًـا طبقات صخرية مميزة تمتد فوق منطقة جغرافية واسـعة، نتيجة سـقوط نيزك أو ثـوران بـركان أو أي حـدث آخـر، ولأنها طبقات يسـهل تعرفها وتمييزها، فإنها تسـاعد الجيولوجيين عـلى مضاهاة ومقارنة التكاوين الصخرية المتكشفة في مناطق مختلفة.



الشـكل 11–4 يمثـل الحجـر الجيري أحـدث الطبقات الصخريـة في الموقع A وأقدمهـا في الموقع B، وطبقة الحجر الرملي تمثل أحدث الطبقات الصخرية في الموقع B ولكنها تعد صخورًا غير متكسفة في الموقع C.

اسـتنتج تركيب الطبقـة المدفونـة أسـفل الطبقـة عند الموقع B.



الشكل 12–4 المضاهاة بالأحافير بين طبقات صخرية في موقع ما، مع طبقات صخرية تحتوي على الأحافير نفسها في موقع آخر، مما يدل على أن هذه الطبقات ترسبت في الفترة الزمنية نفسها على الرغم من اختلافها في المكونات.

المهن في علم الأرض

جيولوجي البترول

يستعمل جيولوجيو البترول المبادئ الجيولوجية في تعرّف السجل الصخري لخزانات النفط والغاز الطبيعي.

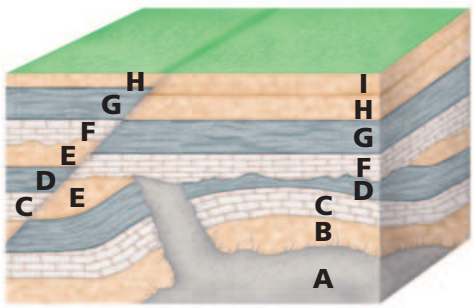
ويسمى الصخر أو الطبقة الرسوبية المستعملة على أنها مؤشر أو علامة بهذه الكيفية **طبقة مرشدة key bed** ؛ حيث تُرشد الجيولوجيين إلى أن الطبقات التي تقع فوق الطبقة المرشدة تكون أحدث من الطبقات التي تقع أسفل منها. فتعد طبقة الرماد البركاني مثلاً طبقة مرشدة.

المضاهاة بالأحافير Fossil Correlation يستعمل الجيولوجيون الأحافير أيضًا لمضاهاة التكوينات الصخرية بين أماكن متباعدة. ويوضح **الشكل 12–4** أن الطبقات الصخرية ترسبت في زمن واحد؛ لاحتوائها على أحافير متشابهة على الرغم من اختلافها كليًّا في المكونات.

مختبر حل المشكلات

تفسير الرسم

كيف تفسر الأعمار النسبية للطبقات الصخرية؟ يوضح الشكل الآتي تعاقبًا صخريًّا. ويستعمل الجيولوجيون مبادئ التأريخ النسبي لترتيب الطبقات الصخرية حسب زمن تكوّنها.



التحليل

1. **حدد** نوع عدم التوافق بين أي طبقتين صخريتين. وضح إجابتك.
2. **فسر** أي الطبقات الصخرية أقدم؟
3. **استنتج** أين يمكن أن توجد المحتبسات؟ وضح إجابتك.
4. **قارن** بين الطبقات الصخرية عن يمين الشكل مع تلك التي عن يساره. لماذا لا تتشابه؟

التفكير الناقد

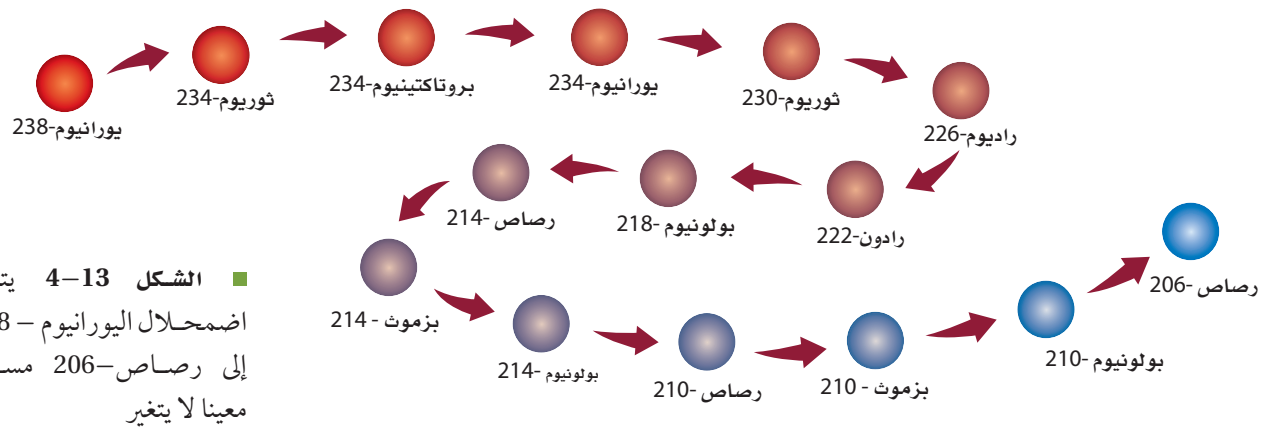
5. **طبق** ما أحدث المعالم الجيولوجية في الشكل: القاطع أم الطبقات المطوية؟ ما المبدأ الذي استعملته في معرفة ذلك؟
6. **اقترح** لماذا لا توجد الطبقة I عن يسار الشكل؟

تساعد المضاهاة بالأحافير وبالطبقات الصخرية على التأريخ النسبي للتعاقبات الصخرية، كما تساعد الجيولوجيين على فهم التأريخ الجيولوجي لمناطق جغرافية واسعة. كما يستعمل جيولوجيو البترول المضاهاة في تحديد مواقع خزانات النفط والغاز الطبيعي، فعلى سبيل المثال لو أن طبقة من الحجر الرملي في مكان ما تحتوي على النفط فمن الممكن أن تحتوي الطبقة نفسها في أماكن أخرى على النفط. وعمومًا اعتمد الجيولوجيون على المضاهاة بصورة كبيرة في بناء سلم الزمن الجيولوجي.

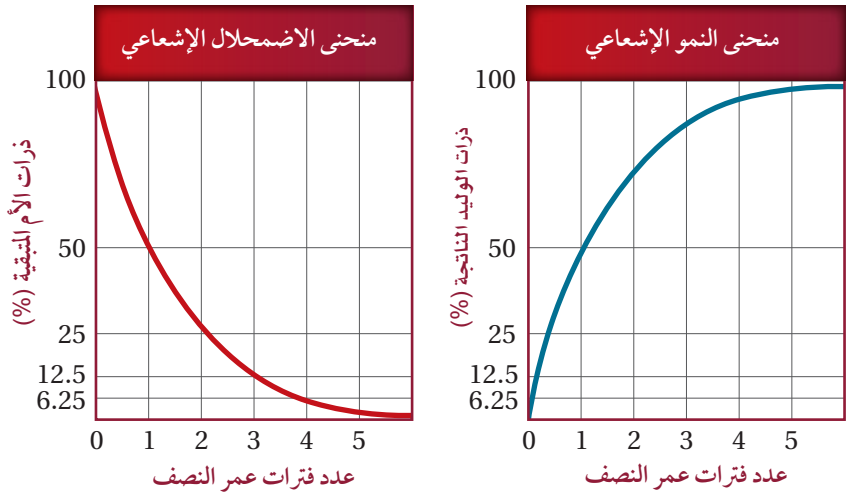
التأريخ المطلق Absolute–Age Dating

إن التأريخ النسبي طريقة لمقارنة الأحداث الجيولوجية السابقة بناء على ترتيب الطبقات في السجل الصخري، في المقابل فإن **التأريخ المطلق absolute age dating** يُمَكّنُ العلماء من تحديد عمر الصخور والأجسام الأخرى بدقة (بالأرقام). وباستعمال طرائق التأريخ المطلق يقيس العلماء اضمحلال النظائر المشعة في الصخور النارية والمتحولة وفي بعض بقايا المخلوقات الحية المحفوظة في الصخور الرسوبية.

الاضمحلال الإشعاعي Radioactive decay تنبعث جسيمات نووية من النظائر المشعة بمعدل ثابت. إن العنصر يتميز بعدد محدد من البروتونات. ولأن عدد البروتونات يتغير مع كل انبعاث، لذا فإن النظير المشع الأصلي الذي نسميه الأم يتغير تدريجيًّا إلى عنصر مختلف نسميه الوليد. فمثلًا، يتحلل نظير اليورانيوم المشع U–238 إلى نظير وليد وهو الرصاص–206 (Pb–206) في فترة زمنية محددة، كما في **الشكل 13–4**. وفي النهاية، يتحلل قدر كبير من الأم بحيث لا يبقى منه كمية قابلة للقياس، بينما يصبح الوليد الناتج هو القابل للقياس. تسمى عملية انبعاث الجسيمات المشعة وما ينتج عن ذلك من نظائر عبر الزمن **الاضمحلال الإشعاعي radioactive decay**. ولأن معدل الاضمحلال الإشعاعي ثابت بغض النظر عن الضغط والحرارة أو أي متغيرات فيزيائية أخرى، لذا فإن العلماء يستعملونه لتحديد العمر المطلق للصخر أو الأجسام الأخرى التي تحوي هذه النظائر.



الشكل 13–4 يتبع اضمحلال اليورانيوم – 238 إلى رصاص–206 مسارا معينا لا يتغير



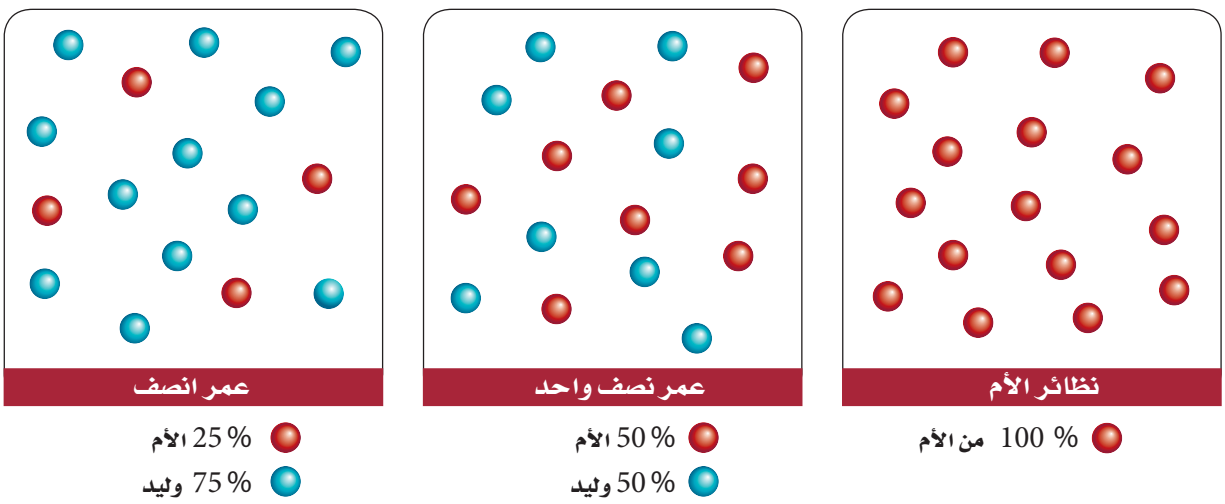
■ **الشكل 14–4** ينقص عدد ذرات نظير الأم بينما يزداد عدد ذرات الوليد بالقدر نفسه في أثناء عملية الاضمحلال الإشعاعي.

فسر ما النسبة المئوية للنظير الوليد في عينة تحوي 50 % من النظير الأم ؟

التأريخ الإشعاعي Radiometric Dating يوضح **الشكل 14–4** كيف ينقص عدد ذرات الأم بالقدر نفسه الذي يزداد فيه عدد ذرات الوليد في أثناء عملية الاضمحلال الإشعاعي؛ حيث تشير نسبة النظير الأم إلى الوليد الناتج في معدن ما إلى زمن تشكل هذا المعدن. يستطيع الجيولوجي مثلاً من خلال قياس هذه النسبة في معدن موجود في صخر ناري أن يحدد بدقة زمن تبلور هذا المعدن من الماجما. وعندما يؤرخ العلماء جسمًا بالنظائر المشعة فإنهم يستعملون طريقة تسمى **التأريخ الإشعاعي radiometric dating** .

عمر النصف Half-life يقيس العلماء المدة الزمنية اللازمة لتحلل نصف ذرات النظير الأصلي، ويسمى هذا **عمر النصف half-life** ؛ إذ يبقى 50% من الأم بعد مضي عمر نصف واحد، وتكون النسبة بين الأم والوليد هي 1:1، وبعد مرور عمري نصف، يتحلل نصف الـ 50٪ الباقية من الأم، وتصبح النسبة المئوية بين الأم الأصلية والوليد هي 75:25 أو نسبة 3:1، انظر **الشكل 15–4** الذي يوضح هذه العملية.

■ **الشكل 15–4** تحوي العينة بعد مرور عمر نصف الأول 50 % من الأم و 50 % من الوليد. وبعد مضي عمرَيْ نصف تحوي العينة 25 % من الأم 75 % من الوليد.



الجدول 1-4 عمر النصف لنظائر مشعة مختارة

النظير الأم المشع	عمر النصف التقريبي	الوليد الناتج
روبيديوم-87 (Rb-87)	48.6 بليون سنة	سترانشيوم-87 (Sr-87)
ثوريوم-232 (Th-232)	14.0 بليون سنة	رصاص-208 (Pb-208)
بوتاسيوم-40 (K-40)	1.3 بليون سنة	أرجون-40 (Ar-40)
يورانيوم-238 (U-238)	4.5 بليون سنة	رصاص-206 (Pb-206)
يورانيوم-235 (U-235)	0.7 بليون سنة	رصاص-207 (Pb-207)
كربون-14 (C-14)	5730 سنة	نيتروجين-14 (N-14)

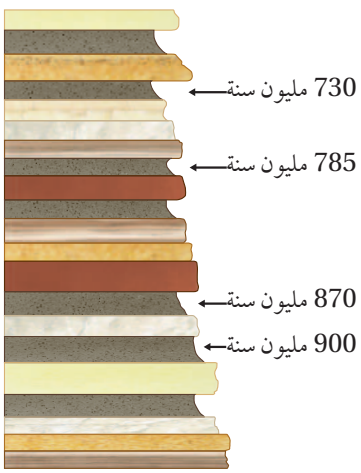
تأريخ الصخور Dating rocks لتأريخ صخر ناري أو متحول، يتفحص العلماء نسب النظائر المشعة للأم إلى الوليد في المعادن المكونة للصخر. يوضح **الجدول 1-4** بعض النظائر المشعة التي يمكن أن تُستعمل. ويعتمد استعمال النظير الأفضل لتأريخ أعمار الصخور على العمر التقريبي للصخر المراد تحديد عمره. مثال ذلك، قد يستعمل العلماء يورانيوم-235 (U-235) الذي له عمر نصف يساوي 700 مليون سنة في تأريخ عمر صخر عمره بضع عشرات ملايين السنين. أما إذا أريد تحديد عمر صخر يقدر بمئات ملايين السنين فيُستعمل عندها يورانيوم-238 الذي عمر نصفه أطول؛ إذ لو استعملنا نظيرًا ذا عمر نصف قصير في تحديد عمر صخر قديم. فقد نصل إلى نقطة تكون فيها نسبة الأم إلى الوليد صغيرة لا يمكن قياسها.

لا تصلح طريقة التأريخ الإشعاعي لتحديد أعمار الصخور الرسوبية الفتاتية؛ لأن المعادن في الصخور الرسوبية الفتاتية قد تشكلت من صخور سابقة. ويوضح **الشكل 16-4** كيف يحدد الجيولوجيون العمر التقريبي للصخور الرسوبية الفتاتية من خلال تحديد أعمار الصخور النارية الموجودة بين طبقات الصخور الرسوبية.

ماذا قرأت؟ **فسّر** لماذا لا تصلح طريقة التأريخ الإشعاعي في تحديد أعمار الصخور الرسوبية الفتاتية؟

التأريخ بالكربون المشع Radiocarbon dating لاحظ أن عمر النصف للكربون-14 (C-14) في **الجدول 1-4**، أقصر كثيراً من عمر النصف لأي نظير آخر. ويستعمل العلماء C-14 لتحديد عمر المواد العضوية، التي تحتوي على الكثير من الكربون من خلال عملية تسمى **التأريخ بالكربون المشع radiocarbon dating**. وتشمل المواد العضوية التي تُستعمل في هذا النوع من التأريخ، موادَّ من أصل حيواني أو نباتي، منها العظام والفحم النباتي والعنبر.

■ **الشكل 16-4** لمساعدة العلماء على تحديد أعمار الصخور الرسوبية الفتاتية، فإنهم يؤرخون طبقات الصخور النارية أو الرماد البركاني الموجودة بين الطبقات الرسوبية.



تاريخ الرماد البركاني إشعاعيًّا

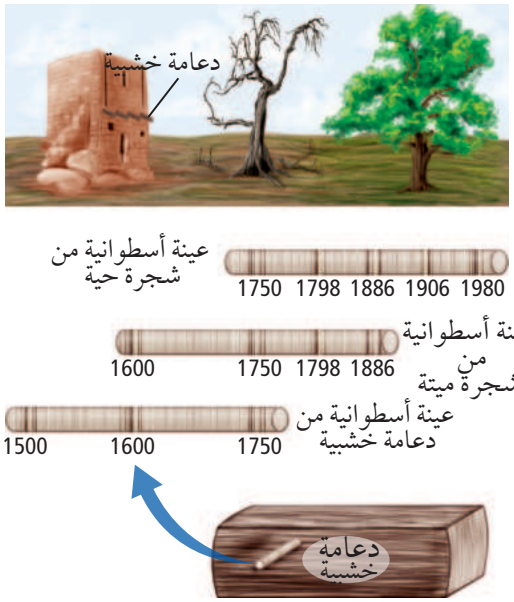
تحـوي أنسـجة المخلوقات الحيـة جميعها –ومنها الإنسـان – على كمية قليلة من الكربـون–14. ويضمحل الكربون–14 في أثناء حياة المخلوق الحي ولكنه يتجدد باسـتمرار بوساطة عمليـة التنفـس. وعندما يموت المخلوق الحـي فإنه لا يأخذ الكربـون–14 مـن جديد، لذا تنقص كميـة الكربون–14 في جسمه مع مرور الوقت.

ويسـتطيع العلـماء من خلال قيـاس كمية الكربـون–14 في المـادة العضويـة أن يحـددوا الزمـن الـذي انقـضى منذ موت المخلـوق الحـي. وتعد هـذه الطريقـة مفيدة عمليًّـا في تحديد أعـمار الأحداث الجيولوجيـة الحديثة التي تحـوي بقايا المادة العضوية.

طرائق أخرى لتحديد العمر المطلق
Other Ways to Determine Absolute Age

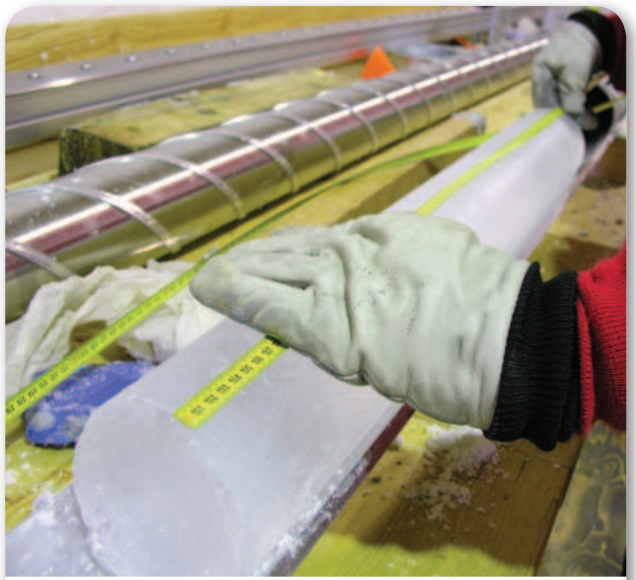
تُعـدّ طريقـة التأريخ الإشـعاعي من أكثـر الطرائق الشـائعة لـدى الجيولوجيـين لتحديد عمـر المـواد الجيولوجية؛ إلا أن هنـاك طرائق تأريخ أخرى كثيرة؛ إذ يمكنهم أيضًا اسـتعمال مـواد أخـرى تسـاعدهم عـلى تحديد أعـمار بعض الأجسـام أو الأحـداث، ومـن ذلك حلقات الشـجر وعينـات الجليد الأسـطوانية ورسوبيات قيعان البحيرات ورسوبيات قيعان المحيطات.

حلقـات الأشجـار السنويـة Tree rings يحـوي الكثـير مـن الأشـجار سـجلًّا زمنيًّـا في حلقـات جذوعها. تسـمى هذه الحلقات حلقات الأشـجار السـنوية. تتكوّن كل حلقة شـجرية سـنوية من زوج مـن حلقات نمو موسـمية مبكّرة، وأخـرى متأخـرة. ويعتمـد عـرض الحلقـات عـلى ظروف بيئيـة محددة؛ حيث تكون عريضـة عند توافر مطر غزير؛ لأن الأشـجار تنمو بسرعـة، وتكون رفيعة في المنـاخ الجاف. لذا فـإن الأشـجار التي تنمـو في الإقليم الجغرافي نفسـه وضمن فـترة زمنية معينة يكون عرض الحلقات هو نفسـه. ويوضح **الشكل 17–4**، كيف اسـتطاع العلماء تحديد أعمار الأشجار على أنها 10,000 سـنة، من خلال إجراء مقارنة بين حلقات هذه الأشجار.

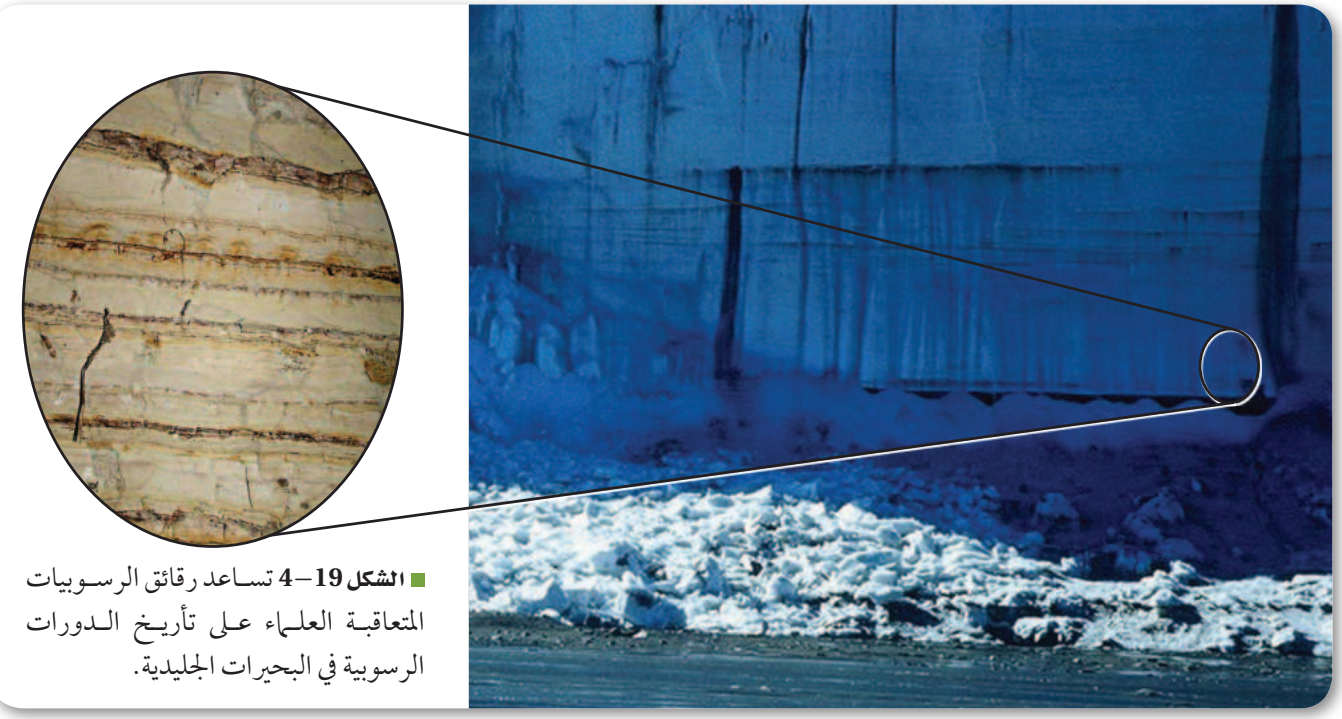


الشكل 17–4 يمكـن تحقيـق التأريـخ بالحلقات السـنوية الشـجرية من خـلال مضاهـاة الحلقات السـنوية بين عينات خشـبية مختلفـة حيـة وميتـة. يسـمى العلـم الذي يسـتعمل حلقات الشجر السنوية في التأريخ المطلق التأريخ بالأشجار.

احسب عدد السنين التي يمثلها الشكل أعلاه.



الشكل 18–4 يسـتعمل العلماء عينات الجليد الأسـطوانية لتأريخ الرسـوبيات الجليدية ولمعرفة المزيد عن مناخ الأرض القديم.



■ **الشكل 19–4** تساعد رقائق الرسوبيات المتعاقبة العلماء على تأريخ الدورات الرسوبية في البحيرات الجليدية.

ماذا قرأت؟ صف كيف يمكن لحلقات الأشجار السنوية أن تبين الظروف البيئية القديمة؟

يسمى العلم الذي يحدد العمر المطلق باستعمال حلقات الأشجار السنوية **التأريخ بالأشجار dendrochronology** ، وقد ساعد هذا العلم الجيولوجيين على تحديد عمر بعض الحوادث الحديثة نسبيًّا التي أدت إلى اقتلاع الأشجار، ومنها البراكين والزلازل والجليديات، كما يفيد علم التأريخ بالأشجار في الدراسات الأثرية، كما يتيح التأريخ بالأشجار للجيولوجيين التأكد من نتائج التأريخ بالكربون المشع.

عينات الجليد الأسطوانية Ice cores تُعدّ عينات الجليد مماثلة لحلقات الأشجار السنوية في أنها تحوي سجلاً للظروف البيئية الماضية في ترسبات الثلج السنوية؛ حيث يحوي جليد الصيف فقاعات أكثر وبلورات أكبر مقارنة بجليد الشتاء. يستعمل الجيولوجيون تأريخ عينات الجليد لدراسة الدورات الجليدية عبر التأريخ الجيولوجي.

ويتم تخزين آلاف الأمتار من عينات الجليد المأخوذة من المسطحات الجليدية، كما في **الشكل 18–4**. ولأن عينات الجليد الأسطوانية تحوي معلومات عن الظروف البيئية الماضية، لذا فإن الكثير من العلماء يستعملونها في دراسة المناخ القديم.

الرقائق Varves تسمى الأحزمة المتعاقبة الفاتحة اللون والقاتمة من رسوبيات الرمل والصلصال والغرين رقائق varves . وتمثل الرقائق ترسبات رسوبية موسمية تتكون عادة في البحيرات، وتتكون ترسبات الصيف من حبيبات رملية مع قليل من المادة الحية، بينما تكون رقائق الشتاء أقل سمكًا وحبيباتها أنعم. توجد الرقائق بصورة مثالية في ترسبات البحيرات القريبة من الجليديات، حيث تحمل المياه المنصهرة الرمل إلى البحيرة وترسبها، بينما يكون الترسيب قليلا أو منعدما في الشتاء، كما في **الشكل 4–19**. يستطيع العلماء باستعمال عينات أسطوانية من الرقائق أن يؤرخوا دورات الرسوبيات الجليدية حتى 120,000 سنة الماضية.

التقويم 2–4

الخلاصة

- ينص مبدأ النسقية على أن العمليات التي تحدث في أيامنا الحالية كانت موجودة منذ أن خلق الله الأرض.
- يستعمل الجيولوجيون المبادئ الجيولوجية لتحديد العمر النسبي للتعاقبات الصخرية.
- يمثل عدم التوافق انقطاعًا زمنيًّا في السجل الصخري.
- يستعمل الجيولوجيون المضاهاة لمقارنة الطبقات الصخرية في مواقع جغرافية مختلفة.
- تساعد تقانات التأريخ المطلق في تحديد الأعمار الدقيقة (بالأرقام) للأحداث الجيولوجية.
- يمكن استعمال معدل إضمحلال عناصر مشعة معينة كساعة جيولوجية.
- يمكن استعمال حلقات الأشجار السنوية وعينات الجليد الأسطوانية والرقائق في تأريخ الأحداث الجيولوجية الحديثة.

فهم الأفكار الرئيسة

1. **الفكرة الرئيسة** **لخص** المبادئ التي يستعملها الجيولوجيون في تحديد الأعمار النسبية للصخور.
2. **ارسم** رسومًا توضيحية للمقارنة بين أنواع عدم التوافق الثلاثة.
3. **فسر** كيف يستعمل الجيولوجيون الأحافير لفهم التأريخ الجيولوجي لمنطقة جغرافية كبيرة.
4. **ناقش** كيفية استعمال طبقة رقيقة من الفحم بوصفها طبقة مرشدة.
5. **فسر** كيف يمكن أن يساعد مبدأ النسقية الجيولوجيين على تحديد أن الطبقة الرسوبية أصلها صخور نارية.
6. **وضح** كيف يمكن أن تُعطي عملية الاضمحلال الإشعاعي أعمارًا أكثر دقة من عملية التأريخ النسبي.
7. **قارن** بين اليورانيوم–238 والكربون–14 من حيث استعمالهما في تحديد العمر المطلق.
8. **صف** أهمية الرقائق بالنسبة لجيولوجي يدرس رسوبيات بحيرات جليدية.
9. **ناقش** العلاقة بين النسقية والتأريخ المطلق.

التفكير الناقد

10. **اقترح** كيف يستطيع عالم أن يدعم فرضيته إذا كانت تنص على: أن صخراً في مقلع ما تكوّن في الفترة الزمنية نفسها التي تكوّن فيها صخر آخر من مقلع آخر.
11. **استنتج** لماذا يختار العلماء طريقتين مختلفتين لتأريخ شجرة جرفتها جليديات متحركة. ما الطرائق التي يمكن أن يستعملها العلماء؟

الكتابة في الجيولوجيا

12. **اكتب** فقرة توضح كيف يمكن أن يؤدي حدث ما كإعصار إلى تكوين طبقة مرشدة. استعمل في فقرتك مثالاً محدداً.

الرياضيات في الجيولوجيا

13. **تحوي** عينة معدنية 25% بوتاسيوم – 40 و75% نظير وليد من آرجون–40 . فإذا كان عمر النصف للبوتاسيوم– 40 هو 1.3 بليون سنة، فما عمر هذا المعدن؟

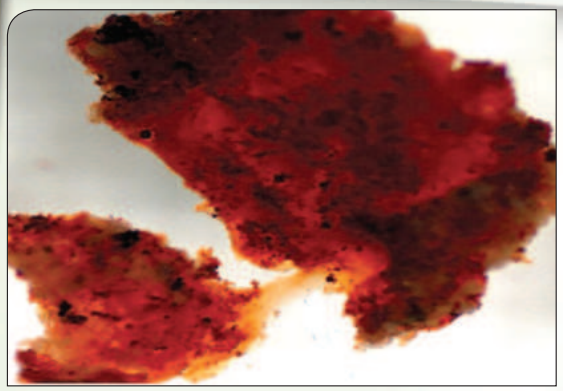
اكتشاف أنسجة لديناصور

من الأدوات التي يستعملها علماء الأحافير لحفر ونقل أحفورة ديناصور كبير، الطائرات العمودية والمتفجرات والجرافات. تعد الصورالطبقية، والمجاهر، والنمذجة الحاسوبية من أحدث التقنيات المستعملة في تحليل الأنسجة التي عثر عليها مؤخرًا للعديد من أحافير الديناصورات.

أنسجة رخوية خلال صيف عام 2000 م اكتشف علماء الأحافير أنسجة تعود إلى الهادراصور (hadrosour) المحفوظة جيدا، وهو نوع من الديناصورات آكلة النباتات التي عاشت منذ ما يقارب 77 مليون سنة. وكان الجزء المثير في هذا الاكتشاف عندما أدرك العلماء أن العينة المكتشفة تتكون من الجلد وأنسجة عضلية للكتف، وأنسجة نادرة من اللوزتين. كما كشفت الحفريات عن احتواء العينة لمحتويات المعدة، والتي دلت على نوعية الغذاء الذي تناوله الديناصور قبل موته، وكانت عبارة عن سراخس وأوراق لنبات منجوليا.

نسيج عظمي لديناصور التيرانوصور في حفريات عام 2003م أدرك العلماء أن أحفورة الديناصور كانت كبيرة جدًّا لنقلها على متن مروحية. ونتيجة لذلك كسروا عظمة الفخذ إلى قطعتين. ويحرص العلماء على بذل كل جهد ممكن للحفاظ على العظام سليمة خلال نقل العينة . ومع ذلك أدى الكسر إلى مفاجأة؛ إذ تحفظ العظام الأنسجة الرخوة، ومنها الأنسجة الضامة التي تكون الدم والأوعية الدموية وأحيانًا خلايا الدم.

التقنية الحديثة والتساؤلات القديمة تم اكتشاف عينات لأنسجة رخوة تعود إلى ديناصور آخر في أوائل القرن العشرين، إلا أن التقنية المستعملة لأغراض الحفظ والتحليل غير متوافرة آنذاك. ومع الاكتشافات الحديثة و التقنية الجديدة تمكن العلماء من تكوين رؤًى جديدة سمحت لهم بالإجابة على التساؤلات القديمة. وقد أمكنهم من تحليل الأنسجة الرخوة المكتشفة تحديد ما إذا كانت الديناصورات من ذوات الدم الحار أو ذوات الدم البارد.



توضح الصورة أنسجة رخوة مكتشفة عام 2003م لديناصور التيرانوصور التي تم حفضها بالكامل، والتي تقدم أدلة حول الكيفية التي عاش بها هذا الديناصور.

يكشف تحليل الأنسجة الرخوة عن المزيد من المعلومات حول النظام الغذائي، الأمر الذي يؤدي إلى مزيد من المعلومات حول بيئة هذه الأنواع في ذلك الوقت. على سبيل المثال وجد العلماء عند تحليل محتويات المعدة للهادراصور (hadrosour) أكثر من 36 نوعًا من حبوب اللقاح، و تم العثورعلى عينات نباتية لايمكن أن تعيش إلا في ظروف بيئية دافئة ورطبة.

وقد أعطت الأنسجة الرخوة أدلة حول العلاقة بين شكل الديناصور والأنواع الحية الحالية. على سبيل المثال في عام 2006م أثبتت البروتينات التي عثر عليها في أنسجة ديناصور التيرانوصور وجود علاقة بين الديناصورات والطيور. كما أن نوع الكولاجين الذي عثر عليه وجد أنه أكثر تطابقًا للكولاجين عند الدجاج ولكثير من المخلوقات الحية التي ما زالت على قيد الحياة إلى اليوم.

صمم ملصقًا جداريًّا يوضح أمثلة لأنسجة رخوة لديناصورات تم اكتشافها حديثًا، يحتوي على المعلومات التي قد يجمعها العلماء من خلال تحليلهم لهذه الأنسجة.

مختبر الجيولوجيا

صمم بنفسك : تفسير الأحداث التي شكلت تاريخ الأرض

خلفية علمية : تؤثر البراكين والزلازل وبناء الجبال والفيضانات والأحداث الجيولوجية الأخرى في تشكيل سطح الأرض والحياة عليها بصور فاعلة، غير أن تأثير هذه الأحداث في الأرض ليس متساويًا؛ فبعض الأحداث في تاريخ الأرض لها تأثير في تشكيلها أكثر من غيرها.

سؤال : ما أهم الأحداث التي مرت في تاريخ الأرض؟

تشكلت سلسلة جبال طوروس التي تمتد جنوب هضبة الأناضول التركية بفعل سلسلة من الأحداث المشكلة للأرض.

الأدوات

قائمة بالأحداث الجيولوجية تجدها على شبكة الإنترنت أو التي يوفرها لك المعلم.

أقلام ملونة

لوح ملصقات (إعلانات)

سلم الزمن الجيولوجي

مراجع علمية

شارك بياناتك

راجع مع أقرانك ناقش نتائجك حول الأحداث الأكثر أهمية والتي تعتقد أنها مسؤولة عن تشكيل تاريخ الأرض مع المجموعات الأخرى في الصف.

خطوات العمل

تخيل أن وكالة ناسا (NASA) للفضاء تخطط لإطلاق مسبار فضائي إلى مجرة بعيدة. وكنت أحد أفراد الفريق المكلف بعمل قائمة لأهم الأحداث الجيولوجية التي شكلت تاريخ الأرض. لتأخذها المركبة الفضائية معها؛ لتساعد أي سكان يُحتمل وجودهم في المجرة على وصف الأرض.

1. اقرأ نموذج السلامة في المختبر.
2. شكِّل مجموعات، على أن تتألف كل مجموعة من ثلاث إلى أربعة طلبة.
3. احصل على قائمة بالأحداث الجيولوجية التي شكلت الأرض من شبكة الإنترنت أو من المعلم على أن يكون عددها عشرة أحداث على الأقل.
4. فكر في الأحداث الجيولوجية التي تعتقد أنها من أكثر الأحداث تأثيرًا في تطور الأرض في أثناء الزمن الجيولوجي.
5. ابحث عن أفضل الوسائل لعرض قائمتك.
6. احرص على موافقة المعلم على خطتك.
7. نفذ خطتك.

التحليل والاستنتاج

1. **فسر البيانات** ضع قائمتك بجانب نسخة من سلم الزمن الجيولوجي. قارن بين عدد الأحداث في كل حقبة. أي الحقب الجيولوجية في تاريخ الأرض كان عدد الأحداث فيها أكبر ما يمكن: المبكرة أم المتأخرة؟ وضح إجابتك؟
2. **قارن** قائمتك بقوائم زملائك في الصف. ما الأحداث المشتركة بين جميع القوائم؟ هل تعد هذه الأحداث المشتركة معالم شائعة؟
3. **استنتج** اختر حدثًا في حقبة الحياة المتوسطة، ثم بيّن كيف يستمر تاريخ الأرض إذا لم يحدث هذا الحدث؟
4. **قوم** كيف أثرت أحداث الانقراض في تطور الحياة على الأرض؟

الفصل 4

دليل مراجعة الفصل

الفكرة العامة يستعمل العلماء طرائق متعددة لدراسة تاريخ الأرض الطويل.

المفردات	المفاهيم الرئيسة
4–1 السجل الصخري	
سلم الزمن الجيولوجي الدهر ما قبل الكامبري الحقب العصور الأحيان الانقراض الجماعي	**الفكرة الرئيسة** يرتب العلماء الزمن الجيولوجي لمساعدتهم على التواصل حول تاريخ الأرض. • يرتب العلماء سلم الزمن الجيولوجي في دهور وحقب وعصور وأحيان. • يقسم العلماء الزمن إلى وحدات اعتمادًا على أحافير النباتات والحيوانات. • يُشكّل دهر ما قبل الكامبري 90% من سلّم الزمن الجيولوجي. • يتغيَّر سلّم الزمن الجيولوجي مع زيادة معرفة العلماء العلمية عن تاريخ الأرض.
4–2 التأريخ الجيولوجي	
مبدأ النسقية التأريخ النسبي مبدأ الترسيب الأفقي مبدأ تعاقب الطبقات مبدأ القاطع والمقطوع عدم التوافق المضاهاة الطبقة المرشدة التأريخ المطلق الاضمحلال الإشعاعي التأريخ الإشعاعي عمر النصف التأريخ بالكربون المشع التأريخ بالأشجار	**الفكرة الرئيسة** يستعمل العلماء المبادئ الجيولوجية لمعرفة ترتيب الأحداث الجيولوجية وَفْق حدوثها زمنيًّا. كما يستعملون طرائق الاضمحلال الإشعاعي وبعض أنواع الرسوبيات لتحديد العمر المطلق لكثير من الصخور. • ينص مبدأ النسقية على أن العمليات التي تحدث في أيامنا الحالية كانت موجودة منذ أن خلق الله الأرض. • يستعمل الجيولوجيون المبادئ الجيولوجية لتحديد العمر النسبي للتعاقبات الصخرية. • يمثل عدم التوافق انقطاعًا زمنيًّا في السجل الصخري. • يستعمل الجيولوجيون المضاهاة لمقارنة الطبقات الصخرية في مواقع جغرافية مختلفة. • تساعد تقنيات التأريخ المطلق على تحديد الأعمار الدقيقة (بالأرقام) للأحداث الجيولوجية. • يمكن استعمال معدل اضمحلال عناصر مشعة معينة كساعة جيولوجية. • يمكن استعمال حلقات الأشجار السنوية وعينات الجليد الأسطوانية والرقائق في تأريخ الأحداث الجيولوجية الحديثة.

مراجعة المفردات

اختر المفردة المناسبة لكل من الجمل الآتية:

1. سجل لتاريخ الأرض يمتد منذ نشأتها حتى الآن.
2. فجوة زمنية في السجل الصخري نتجت عن التعرية.
3. انبعاث يحدث لنظائر مشعة يؤدي إلى إنتاج نظائر أخرى عبر الزمن.
4. أطول وحدة زمنية في سلّم الزمن الجيولوجي.
5. مطابقة بين تكشفات صخرية محددة في مناطق مختلفة.

وضح العلاقة بين المفردات الآتية في كل زوج مما يأتي:

6. العصر، الحين.
7. التأريخ المطلق، التأريخ النسبي.
8. عدم التوافق الانقطاعي، اللاتوافق.
9. المضاهاة الصخرية، المضاهاة الأحفورية.

ضع المصطلح الصحيح بدلًا من الكلمة التي تحتها خط:

10. وفق مبدأ الترسيب الأفقي يكون الصدع أو القاطع أحدث من الصخر المقطوع.
11. ينص التأريخ النسبي على أن العمليات التي تحدث حاليًّا كانت تحدث منذ نشأة الأرض.
12. الطبقة الرقيقة طبقة رسوبية تُستعمل لمضاهاة الطبقات الصخرية عبر مناطق شاسعة.
13. المضاهاة ترسيب الصخور الرسوبية في طبقات أفقية.

تثبيت المفاهيم الرئيسة

14. ما الحقبة التي انتهت بأعظم حادثة انقراض في تاريخ الأرض؟

a. حقبة الحياة الحديثة. c. حقبة الحياة القديمة.

b. حقبة الحياة المتوسطة. d. ما قبل الكامبري.

15. ما عمر ناب ماموث إذا احتوى على 25% من كمية الكربون-14 الأصلية، علمًا بأن عمر النصف للكربون-14 هو 5730 سنة؟

a. 5730 سنة. c. 11460 سنة.

b. 17190 سنة. d. 22920 سنة.

16. ما الذي تُظهره رسوبيات البحيرات الجليدية لاستنتاج دورات الترسيب؟

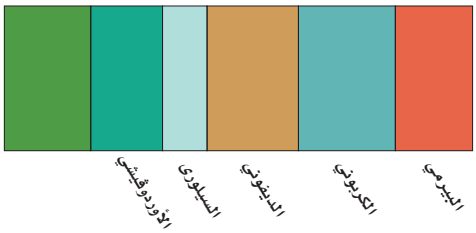
a. الحلقات السنوية.

b. الرقائق.

c. عينات الجليد الأسطوانية.

d. عدم التوافق.

استعمل الشكل الآتي للإجابة عن السؤال 17.



17. ما العصر المفقود في الشكل أعلاه؟

a. الكامبري. c. البيرمي.

b. الترياسي. d. باليوجين.

18. ما أقصر وحدة زمنية في سلم الزمن الجيولوجي؟

a. العصر. c. الحقبة.

b . الدهر. d. الحين.

19. ما المبدأ الجيولوجي الذي يستعمله الجيولوجي عندما يُعاين تكشّفا صخريًّا ويحدد بناء عليه أن الطبقة السفلى هي الأقدم؟

a. النسقية. c. الترسيب الأفقي.

b. تعاقب الطبقات. d. الاحتواء.

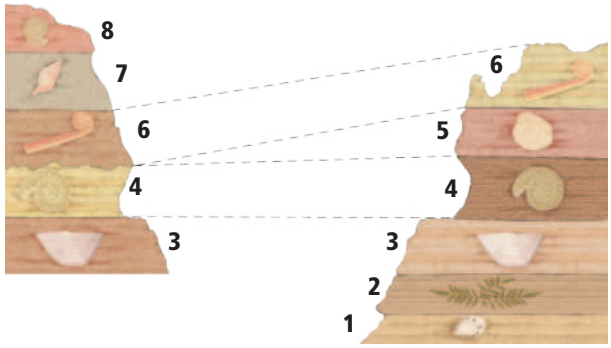
20. يتحلل اليورانيوم 238- U إلى الثوريوم 234- Th. ما علاقة الثوريوم 234- Th باليورانيوم 238- U؟

a. أم. c. أخ.

b. ابن. d. وليد.

4 مراجعة الفصل

استعمل الشكل الآتي للإجابة عن 21.



21. ما الذي يوضحه الشكل أعلاه؟

a. مبدأ النسقية. c. الاحتواء.

b. مبدأ القاطع والمقطوع. d. المضاهاة.

أسئلة بنائية

22. **رتب** الوحدات الجيولوجية الزمنية المستعملة في سلم الزمن الجيولوجي تصاعديًّا من الأكبر إلى الأصغر.

23. **وضح** أهمية الانقراض الجماعي لدى الجيولوجيين.

24. **قارن** بين التأريخ النسبي والتأريخ المطلق.

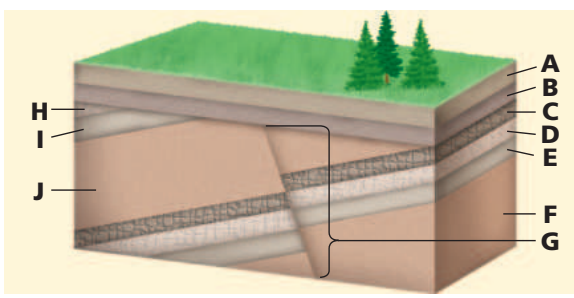
25. **قيّم** فائدة وجود سلّم زمن جيولوجي متفق عليه عالميًّا.

26. **وضح** بعباراتك، لماذا تعد أي فجوة زمنية في السجل الصخري عدم توافق.

27. **ناقش** الأدلة الداعمة والمخالفة لجعل وحدات الزمن في سلم الزمن الجيولوجي متساوية.

التفكير الناقد

استعمل الشكل الآتي للإجابة عن الأسئلة 30-28.



28. **حدد** أقدم طبقة صخرية في الشكل السابق.

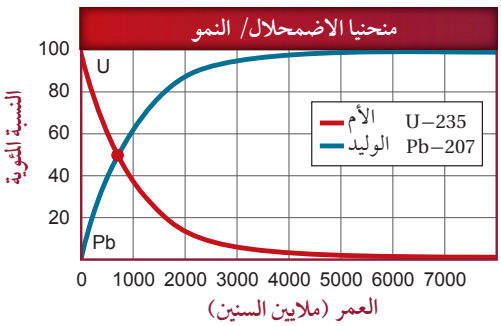
29. **أوجد** عدم التوافق الزاوي في الشكل السابق.

30. **طبّق** رتب الأحداث الجيولوجية في الشكل السابق من الأقدم إلى الأحدث مع ذكر المبدأ الجيولوجي الذي استعملته.

31. **انقد** العبارة الآتية: "تعتمد تقنيات استعمال مبادئ تحديد العمر النسبي على الفطرة السليمة (الحس المنطقي).

32. **احسب** عمر صخر ناري قديم يحوي معدنا فيه 12.5% بوتاسيوم - 40 و87.5% أرجون -40، إذا علمت أن عمر النصف للبوتاسيوم - 40 هو 1.3 بليون سنة.

استعمل الشكل الآتي للإجابة عن السؤال 33.



33. **حلل** علام تدل النقطة الحمراء في الشكل أعلاه؟

34. **مهن في علم الأرض** اكتشف جيولوجي خشبًا مدفونًا في رسوبيات ناتجة عن انزلاق أرضي يعتقد أنه ناتج عن وقوع زلزال قديم. اشرح طريقتين يمكن أن يستعملها الجيولوجي لتحديد زمن حدوث الزلزال.

خريطة مفاهيمية

35. **اعمل** خريطة مفاهيم مستعملًا المصطلحات الآتية: التأريخ المطلق، سلم الزمن الجيولوجي، التأريخ النسبي، الأحافير، عدم التوافق، التأريخ الإشعاعي.

سؤال تحدٍّ

36. **قوّم** هل يمكن استعمال الكربون المشع في تحديد عمر ديناصور؟ وضح إجابتك.

اختبار مقنن

اختيار من متعدد

1. ما الوحدة الزمنية الصغرى في الوحدات الزمنية الآتية ؟

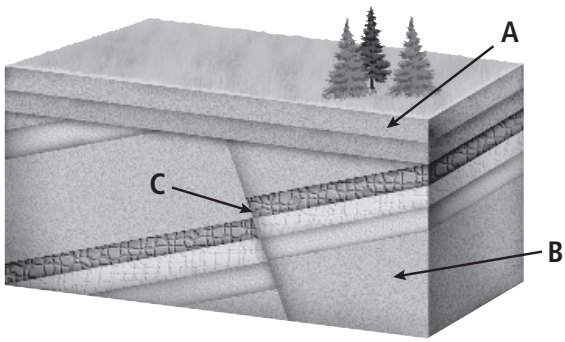
a. الدهر.

b. العصر.

c. الحقبة.

d. الحين.

استعمل الشكل الآتي للإجابة عن السؤالين 2 و 3.



2. ما المبدأ المناسب من مبادئ تحديد العمر النسبي الذي ستستعمله في تحديد عمر النقطة A في الشكل أعلاه؟

a. مبدأ الترسيب الأفقي.

b. مبدأ تعاقب الطبقات.

c. مبدأ القاطع والمقطوع.

d. مبدأ النسقية.

3. ما المبدأ المناسب لتحديد عمر النقطة C؟

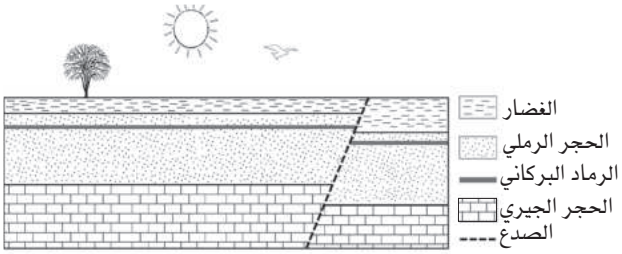
a. مبدأ الترسيب الأفقي.

b. مبدأ تعاقب الطبقات.

c. مبدأ القاطع والمقطوع.

d. مبدأ النسقية.

استعن بالشكل الآتي للإجابة عن السؤالين 4 و5:



4. افترض أن ميل وترتيب الطبقات الصخرية في الشكل أعلاه لم يتغيرا منذ ترسيبها. فما أقدم طبقة فيه؟

a. الغضار. c. الحجر الرملي.

b. الرماد البركاني. d. الحجر الجيري.

5. ما الطبقة الأكثر فائدة في تحديد العمر المطلق لهذه الصخور؟

a. الغضار c. الحجر الرملي

b. الرماد البركاني d. الحجر الجيري

6. يتحلل البوتاسيوم – 40 إلى أرجون – 40 فإذا تم تحليل معدن البيوتايت فوجد أن نسبة البوتاسيوم – 40 إلى أرجون – 40 فيه هي 1:3، فما عمر هذا المعدن؟ علمًا بأن عمر النصف للبوتاسيوم 1.3 بليون سنة.

a. 0.6 بليون سنة. c. 1.3 بليون سنة.

b. 2.6 بليون سنة. d. 3.9 بلايين سنة.

7. ما الذي يستخدمه الجيولوجيون لمساعدتهم على تقسيم تاريخ الأرض لدراسة الصخور

a. الأحافير داخل الصخور.

b. تفاوت الطبقات الصخرية.

c. الصدوع المتواجدة عبر الطبقات الصخرية.

d. مكونات الصخور.

8. لماذا يعد استخدام الاضمحلال الإشعاعي للعناصر المشعة مفيدًا في التأريخ المطلق للصخور؟

a. لأنه يحدث فقط في الأحافير الموجودة في الصخر ولا يحدث في الصخر نفسه.

b. لأنه يحدث فقط في الصخر ولا يحدث في الأحافير الموجودة فيه.

c. لأن معدل الاضمحلال ثابت بغض النظر عن الخصائص الفيزيائية للصخر، ومنها درجة الحرارة والضغط والبيئة المحيطة.

d. لأن معدل الاضمحلال يتأثر بالخصائص الفيزيائية للصخر، ومنها درجة الحرارة ،الضغط والبيئة المحيطة.

أسئلة الإجابات القصيرة

9. وضح كيف رُبطت أعمال العالم جيمس هاتون بمبدأ النسقية؟

10. ما الغرض من سلم الزمن الجيولوجي؟

11. كيف تختلف عملية التأريخ النسبي عن عملية التأريخ المطلق؟

القراءة والاستيعاب

تأريخ الذهب

ساعد التحلل الإشعاعي لفلز داخل شذرات الذهب في جنوب إفريقيا العلماء على تحديد منشأ أكبر ترسب للذهب في العالم. يشير نموذج المتابر إلى أن الذهب أقدم من الصخور المحيطة به، بينما يشير نموذج الحرمائي إلى أن ينابيع المياه الساخنة رسبت الذهب داخل الصخور. لذا لتحديد منشأ الذهب علينا أن نحدد عمره؛ فإذا كان الذهب أقدم من الصخور الموجود فيها، فينبغي أن تحيط الصخور به من كل جانب، وهذا يعزز نموذج المتابر. أما إذا كان الذهب أقل عمرًا من الصخور، فهذا يعني أن السوائل قد تسربت إليها ورسبت الذهب، وهذا يدعم النموذج الحرمائي. هناك عنصران داخل الذهب هما: الرينيوم والأوزميوم، وهما نظيران مشعان يعمل بمثابة ساعة إشعاعية؛ إذ يتحلل الرينيوم إلى الأوزميوم بعمر نصف طويل جدًا يصل إلى 42.3 بليون سنة تقريبًا، وهي الفترة التي تنقضي على تحوّل نصف عينة من الرينيوم. ويستطيع العلماء تحديد عمر الذهب من نسبة الرينيوم إلى الأوزميوم التي تُقاس عن طريق إذابة حبيبات الذهب في حمض. وجد أن عمر الذهب في أماكن راند في جنوب إفريقيا ثلاثة بلايين سنة، وهو أكبر بربع بليون سنة من الصخور المحيطة بالذهب، وهذا يدعم نموذج المتابر.

12. ما عمر النصف لعنصر الرينيوم؟

a. 42.3 سنة.

b. 42.3 بليون سنة.

c. 42.3 ألف سنة.

d. 42.3 بليون سنة.

13. لماذا أجريت هذه الدراسة؟

a. لتحديد منشأ ترسبات الذهب.

b. لدحض النموذج الحرمائي.

c. لدعم نموذج المتابر.

d. لتوضيح التحلل الإشعاعي.

قائمة المحتويات

جداول مرجعية : Reference Tables

- سلم الزمن الجيولوجي - Geological Time Scale
- الجدول الدوري للعناصر - Periodic Table Of The Elements

خرائط مرجعية : Reference Maps

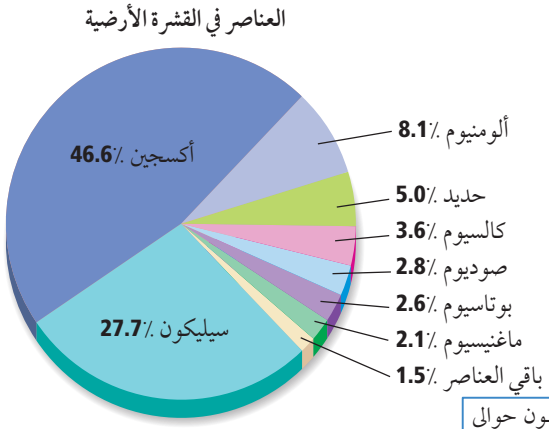
- خريطة ظهور المحيطات - Mid- Oceanic Ridge Map
- حدود الصفائح - Plate Boundaries
- جيولوجية شبه الجزيرة العربية - Geology of the Arabian Pensula

المصطلحات Glossary

سلم الزمن الجيولوجي

الحقبة	العصر	العمر (my)	التطور الجيولوجي والحيوي	الحركات الأرضية	السلاسل الجبلية
حقبة الحياة الحديثة	الرباعي	1,8	ظهور الإنسان. ازدهار معظم الثدييات العملاقة ثم انقراضها. عائلات الثدييات الحديثة والطيور والخيول والفيلة. ظهور الحشائش على نحو واضح. الماموث الصوفي، أسلاف الكلاب والدببة. نمو سريع، و تنوع في سلالات الثدييات والنباتات الزهرية. تطور سلالات الثدييات (آكلات اللحوم، عجول البحر، الحيات، ذوات الحوافر، ذوات القرون)، وظهور أول الثدييات الكبيرة بحجم الدب وفرس النهر. ظهور النباتات الحديثة. تنوع أسلاف الثدييات. أسلاف الخيول و الفيلة.	حركات أرضية بنائية في معظم نصف الكرة الأرضية الشمالي. انفصال الصفيحة العربية عن الإفريقية. الحركات الألبية	سلاسل جبال الألب والهملايا و زاجروس وطوروس، واستمرار ارتفاع جبال الأنديز
	الثلاثي	65,5			
حقبة الحياة المتوسطة	الكريتاسي	145,4	انقراض الديناصورات والأمونيت ظهور الطيور الحديثة بداية ظهور النباتات الزهرية مغطات البذور. بداية ظهور الثدييات والقنافذ الأرضية. ظهور الطيور الأولى سيطرة الديناصورات على القارات وسمائها. ظهور الرأس قدميات ذات الأصداف الملتفة المعروفة باسم الأمونيت. انقسام بانجايا إلى كتلتين قاريتين، هما: غوندوانا، ولوراسيا ظهور العديد من البرمائيات الضخمة. انتشار النباتات المعراة البذور.	استمرار تكون جبال الأنديز بداية الحركة الأنديزية.	بداية تكون جبال الأنديز
	الجوارسي	199,9			
	الترياسي	251			
حقبة الحياة القديمة	حقبة الحياة القديمة المتأخرة	البيرمي	299	تكون قارة بنجايا انتشار الزواحف الشراعية الظهر. انتشار النباتات البذرية المعراة البذور، انتشار النباتات. انتشار النباتات الوعائية اللازهرية (السرخسيات) المسؤولة عن تكون الفحم الحجري. تطور الأسماك	الحركة الهرسينية	الجبال الهرسينية والفاركسية والإبلاشية.
		الكربوني	359,2			
		الديفوني	416			
	حقبة الحياة القديمة المبكرة	السيلوري	443,7	العقارب المائية. بداية ظهور الأسماك. الجرابتوليت. تنوع اللافقاريات. تشكل قارة غوندوانا. انتشار واسع للحياة البحرية. الترايلوبيت.	الحركة الكاليدونية	الحركة الكاليدونية
		الأردوفيتشي	488,3			
		الكامبري	512			
دهر الحياة الخافية (ما قبل الكامبري)			4560	طحالب خضراء وحيوانات ذوات هياكل طرية. تكون أساس القارات (الدروع القارية). بكتيريا لا هوائية. تشكل كوكب الأرض البدائي، تكون أغلفة الأرض الرئيسة، سقوط النيازك، النشاط البركاني.	الحركة الهورانية	الحركة الهورانية

الجدول الدوري للعناصر



تفاعل الكربون يجعل منه عنصرًا طبيعيًّا يتوافر في عدة أشكال وعدة مواد. ويكوّن عنصر الكربون كلاً من معدن الجرافيت والفحم والماس. بينما يكوّن مركبه الحجر الجيري.

يكوّن عنصر السليكون حوالي ٪28 من القشرة الأرضية. ويرتبط السيليكون مع عدة عناصر أخرى ليكوّن الصخور السليكاتية.

يشكل الأكسجين حوالي ٪21 من الغلاف الجوي الأرضي، وثلث الماء، كذلك يعدّ مكونًا رئيسًا في معظم المعادن والصخور.

يعدّ الهيليوم من العناصر الأكثر شيوعًا في الكون. وينتج الهيليوم بشكل رئيس عن الاندماج النووي لحوالي ٪98 من النجوم.

يشكل عنصر الكلور نصف مكونات أكثر الأملاح شيوعًا في كل من المحيطات وترسبات الملح على اليابسة.

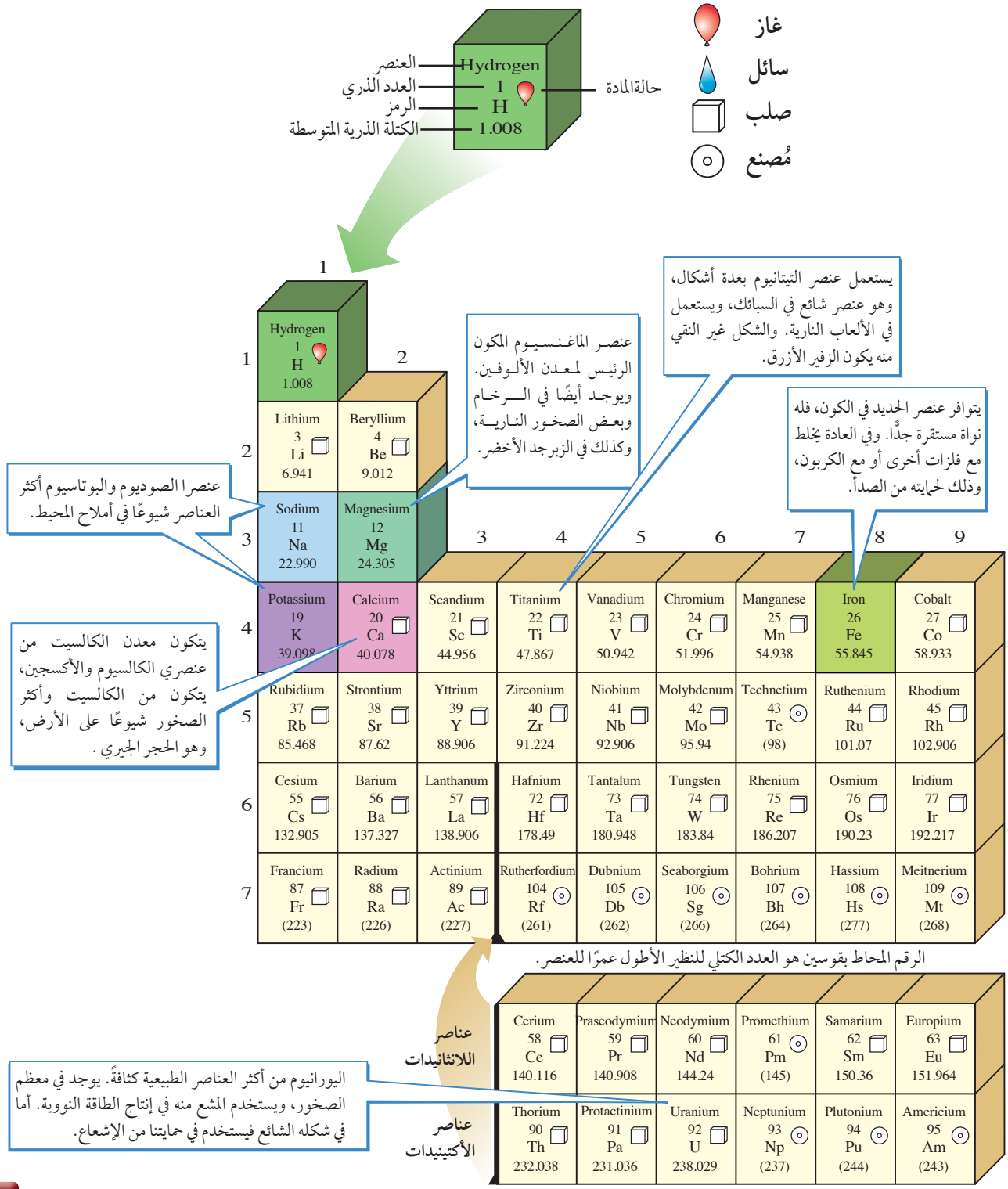
ينتج عنصر الرادون عن اضمحلال عنصر الراديوم وهو أثقل الغازات المعروفة. وللراديوم -222 مخاطر بيئية حيث يؤثر في جودة الهواء.

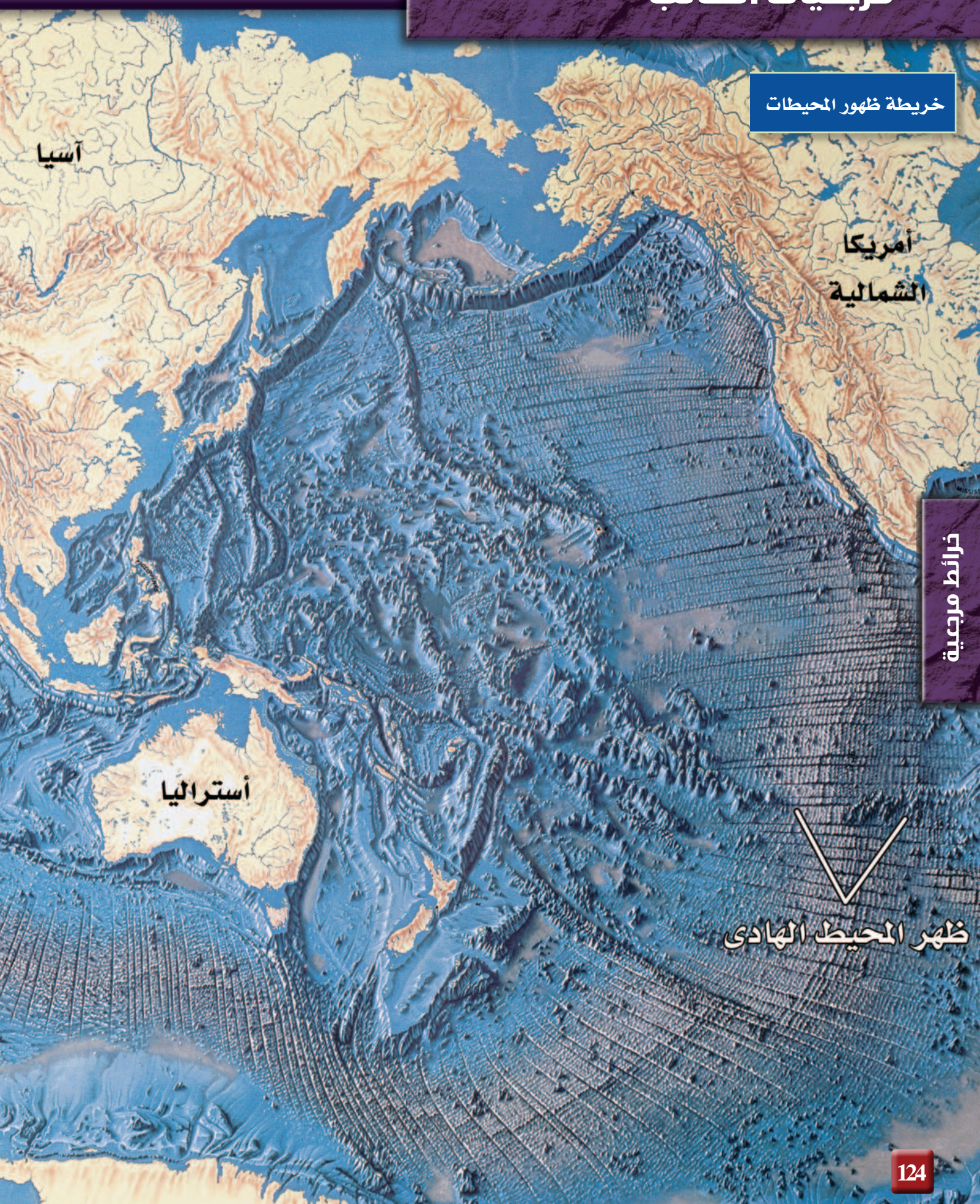
10	11	12	13	14	15	16	17	18
								Helium 2 He 4.003
			Boron 5 B 10.811	Carbon 6 C 12.011	Nitrogen 7 N 14.007	Oxygen 8 O 15.999	Fluorine 9 F 18.998	Neon 10 Ne 20.180
			Aluminum 13 Al 26.982	Silicon 14 Si 28.086	Phosphorus 15 P 30.974	Sulfur 16 S 32.065	Chlorine 17 Cl 35.453	Argon 18 Ar 39.948
Nickel 28 Ni 58.693	Copper 29 Cu 63.546	Zinc 30 Zn 65.409	Gallium 31 Ga 69.723	Germanium 32 Ge 72.64	Arsenic 33 As 74.922	Selenium 34 Se 78.96	Bromine 35 Br 79.904	Krypton 36 Kr 83.798
Palladium 46 Pd 106.42	Silver 47 Ag 107.868	Cadmium 48 Cd 112.411	Indium 49 In 114.818	Tin 50 Sn 118.710	Antimony 51 Sb 121.760	Tellurium 52 Te 127.60	Iodine 53 I 126.904	Xenon 54 Xe 131.293
Platinum 78 Pt 195.078	Gold 79 Au 196.967	Mercury 80 Hg 200.59	Thallium 81 Tl 204.383	Lead 82 Pb 207.2	Bismuth 83 Bi 208.980	Polonium 84 Po (209)	Astatine 85 At (210)	Radon 86 Rn (222)
Darmstadtium 110 Ds (281)	Roentgenium 111 Rg (272)	Ununbium * 112 Uub (285)	Ununtrium * 113 Uut (284)	Ununquadium * 114 Uuq (289)	Ununpentium * 115 Uup (288)	Ununhexium * 116 Uuh (291)		Ununoctium * 118 Uuo (294)

* أسماء رموز العناصر 112، 113، 114، 115، 116، 118 مؤقتة، سيتم اختيار أسماء نهائية لها عند التأكد من اكتشافها.

Gadolinium 64 Gd 157.25	Terbium 65 Tb 158.925	Dysprosium 66 Dy 162.500	Holmium 67 Ho 164.930	Erbium 68 Er 167.259	Thulium 69 Tm 168.934	Ytterbium 70 Yb 173.04	Lutetium 71 Lu 174.967
Curium 96 Cm (247)	Berkelium 97 Bk (247)	Californium 98 Cf (251)	Einsteinium 99 Es (252)	Fermium 100 Fm (257)	Mendelevium 101 Md (258)	Nobelium 102 No (259)	Lawrencium 103 Lr (262)

PERIODIC TABLE OF THE ELEMENTS



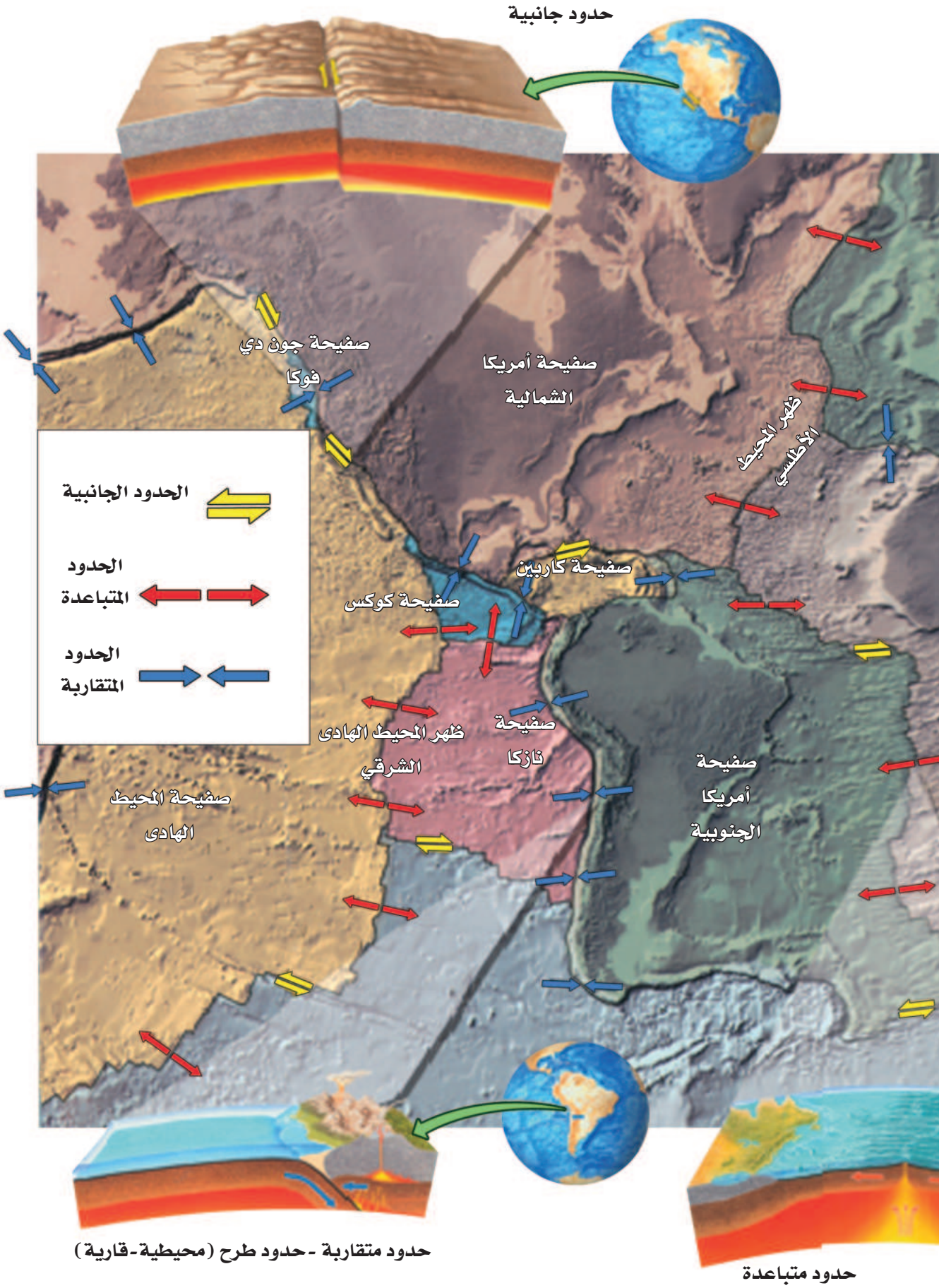

خريطة ظهور المحيطات
آسيا
أمريكا الشمالية
أستراليا
ظهر المحيط الهادي

خرائط مرجعية

حدود الصفائح

حدود متقاربة (حدود تصادم)

حدود متقاربة - حدود طرح (محيطية-محيطية)


حدود جانبية
صفيحة جون دي فوكا
صفيحة أمريكا الشمالية
ظهر المحيط الأطلسي
الحدود الجانبية
الحدود المتباعدة
الحدود المتقاربة
صفيحة كاريبين
صفيحة كوكس
ظهر المحيط الهادى الشرقي
صفيحة نازكا
صفيحة أمريكا الجنوبية
صفيحة المحيط الهادى
حدود متقاربة - حدود طرح (محيطية-قارية)
حدود متباعدة

خرائط مرجعية

(أ)

الاضمحلال الإشعاعي radioactive decay: عملية انبعاث الجسيمات المشعة وما ينتج عن ذلك من نظائر عبر الزمن، طريقة يستعملها العلماء لتحديد العمر المطلق للصخر الذي يحتوي على نظائر.

الأمواج الثانوية secondary wave: موجة زلزالية تسبب حركة دقائق الصخور عموديًا على خط انتشار الموجة، وتسمى موجة S.

الأمواج الزلزالية seismic wave: اهتزازات سطح الأرض في أثناء حدوث زلزال.

الأمواج الأولية primary wave: موجة أولية تهمل على تضاغط الصخور وتخاذلها في اتجاه حركتها.

الانجراف القاري continental drift: فرضية وضعها العالم فاجنر تنص على أن قارات الأرض كانت متحدة في معًا قارة واحدة تسمى بانجايا، وقد تحطمت قبل 200 مليون سنة إلى أجزاء ابتعد بعضها عن بعض ببطء، ووصلت إلى مواقعها الحالية.

الانقراض الجماعي mass extinction: اختفاء أعداد كبيرة من المخلوقات الحية من السجل الصخري في فترة زمنية واحدة.

الانقلاب المغناطيسي magnetic reversal: تغير قطبية المجال المغناطيسي للأرض من مغناطيسية عادية إلى مغناطيسية مقلوبة.

(ب)

البانجايا Pangaea: قارة قديمة تتكون من جميع القارات، بدأت في التفكك قبل 200 مليون سنة.

البركان الدرعي shield volcano: بركان كبير ذو انحدار بسيط، يتكون من تراكم طبقات من لابة بازلتية تكونت بفعل ثورانات بركانية هادئة (غير متفجرة).

البركان المخروطي cinder cone: بركان صغير شديد الانحدار، تكون بفعل ثورانات بركانية متفجرة، حيث تتراكم المقذوفات البركانية حول عنق البركان.

البركان المركب composite volcano: بركان مخروطي الشكل تقريبًا ذو منحدرات مقعرة؛ يتكون من طبقات من الحطام البركاني تكونت بفعل ثورانات بركانية متفجرة، متعاقبة مع طبقات من اللابة تكونت بفعل ثورانات بركانية هادئة.

البقعة الساخنة hotspot: مناطق غير عادية في الستار العلوي درجة حرارتها عالية جدًّا، وتتشكل نتيجة ارتفاع كتل ساخنة جدًّا من مادة الستار نحو سطح الأرض وتكوّن البراكين.

بؤرة الزلزال focus: نقطة الكسر في صخور القشرة الأرضية مكان نشوء الأمواج الزلزالية الجسمية.

(ت)

تأريخ إشعاعي radiometric dating: عملية تستعمل في تحديد عمر صخر أو أحفورة بتحديد نسبة النظير الأم إلى النظير الوليدة في عينة ما.

التأريخ المطلق absolute age dating: طريقة تمكّن العلماء من تحديد العمر الحقيقي للصخور أو لأجسام أخرى.

التأريخ النسبي relative-age dating: طريقة لترتيب الأحداث الجيولوجية حسب زمن حدوثها.

التأريخ بالأشجار dendrochronology: يطلق على العلم الذي يحدد العمر المطلق باستعمال حلقات الأشجار السنوية.

التأريخ بالكربون المشع radiocarbon dating: عملية تحديد عمر مادة عضوية حديثة نسبيًّا، سواء أكانت المادة العضوية لمخلوق ميت، أو لمادة غير حية مثل كربونات الكالسيوم.

تدفق المقذوفات البركانية pyroclastic flow: الحركة المفاجئة السريعة لغيوم من الغازات الخانقة والرماد البركاني والمواد البركانية الأخرى الناجمة عن الثورانات البركانية العنيفة.

الترسيب الأفقي original horizontality: مبدأ من مبادئ التاريخ النسبي للصخور ينص على أن الصخور ترسبت بشكل أفقي، وأن أي تغيير لوضع الطبقات الأفقي يكون بسبب حدث جيولوجي لاحق

لعملية الترسيب.

تساوي العمر isochron: خط وهمي يضعه العلماء على الخريطة يصل نقاط لها العمر نفسه لحساب عمر قيعان المحيطات.

التسونامي tsunami: موجة محيطية ضخمة وقوية، تتولد بفعل حركات عمودية لقاع البحر في أثناء وقوع زلزال، مشكِّلةً أمواجًا ذات سرعة كبيرة وارتفاع يزيد على 30m في المياه الضحلة، فتحدث دمارًا في المناطق الساحلية.

تسييل التربة soil liquefaction: سلوك المواد الأرضية السطحية، كالمناطق الرملية المشبعة بالسوائل، وتنتشر منها في جميع الاتجاهات بسبب مرور اهتزازات زلزالية فيها.

تعاقب الطبقات superpostion: مبدأ من مباديء التاريخ النسبي ينص على انه في أي تعاقب طبقي تكون أقدم الطبقات الصخرية في الأسفل والأحدث في الأعلى ما لم تتعرض إلى تغيير عن وضعها الأفقي الأصلي.

توسع قاع المحيط seafloor spreading: فرضية حول تشكيل قشرة محيطية جديدة عند ظهر المحيطات واستهلاكها عند الأخاديد البحرية في أعماق البحار، وتحدث في دورة مستمرة من اندفاع الماجما والتوسع.

(ج)

الجبال البحرية seamount: جبال بركانية بازلتية في قاع البحر، مغمورة في الماء حيث يزيد ارتفاعها على 1km عن قاع المحيط.

الجغرافيا القديمة paleogeography: الوضع الجغرافي القديم لمنطقة ما.

جهاز قياس المغناطيسية magnetometer: إحدى التقنيات المتقدمة وهو جهاز يستعمل للكشف عن التغيرات الحقيقة في المجالات المغناطيسية واتجاهها لصخور قاع المحيط.

(ح)

الحدود التباعدية divergent boundary: مكان تتحرك عنده صفيحتان أرضيتان مبتعدة إحداهما عن الأخرى، ويصاحبه نشاط بركاني وزلازل وتدفق حراري مرتفع، ويوجد بصورة رئيسة في قاع المحيط.

الحدود التحويلية transform boundary: مكان تتحرك عنده صفيحتان أرضيتان أفقيًّا إحداهما بمحاذاة الأخرى، ويتميز بوجود صدوع طويلة وزلازل ضحلة.

الحدود المتقاربة convergent boundary: مكان تتحرك عنده صفيحتان أرضيتان إحداهما تجاه الأخرى، ويصاحبه أخاديد بحرية وأقواس جزر بركانية، وجبال مطوية.

حفرة الانهدام rift valley: منخفض طويل وضيق يتكون عندما تبدا قشرة قارية في الانفصال عن حدود متباعدة.

الحفظ الأصلي original preservation: حفظ الأجزاء الرخوة والصلبة الأصلية لمخلوق الأحفورة، حيث لم تتغير إلا قليلاً منذ موته.

الحقبة Era: ثاني أكبر وحدة زمنية في سلم الزمن الجيولوجي، وتتراوح مدتها بين عشرات ملايين السنين إلى مئات ملايين السنين، وحددت بناء على التغيرات في أشكال الحياة المحفوظة في الصخور.

الحمل الحراري convection: نقل الطاقة الحرارية من المواد الساخنة إلى مكان إلى آخر.

الحين Epoch: وحدة زمنية في سلم الزمن الجيولوجي أصغر من العصر، وتتراوح مدتها بين مئات آلاف السنين إلى ملايين السنين.

(د)

الدفع عند ظهر المحيط ridge push: عملية تكتونية مرتبطة مع تيارات الحمل في ستار الأرض، وتحدث بفعل وزن ارتفاع ظهر المحيط؛ إذ يدفع الصفيحة نحو نطاق الطرح.

الدهر Eon: أكبر الوحدات الزمنية في سلم الزمن الجيولوجي.

(س)

سحب الصفيحة slab pull: عملية تكتونية مرتبطة مع تيارات الحمل في ستار الأرض، حيث يُسحب طرف الغلاف الصخري إلى نطاق الطرح بفعل وزن الصفيحة الغاطسة.

سعة الموجة الزلزالية Amplitude: هي حجم الموجة الزلزالية، وتمثل الزيادة الواحدة على مقياس رختر زيادة في سعة الموجة بمعامل قدره 10.

سلم الزمن الجيولوجي geologic time scale: سجل لتاريخ الأرض منذ نشأتها قبل 4.6 بليون سنة حتى الآن.

السيزموجرام seismogram: سجل زلزالي تم إنتاجه بوساطة السيزمومتر الذي يوفر مسار كل نوع من أنواع الأمواج الزلزالية.

السيزمومتر seismometer: أداة تستعمل لقياس الحركة الأفقية أو العمودية في أثناء وقوع زلزال.

(ش)

الشقوق Fissures: كسور طويلة في القشرة الأرضية.

(ص)

الصفيحة الأرضية tectonic plate: قطعة ضخمة من قشرة الأرض وأعلى الستار تغطي سطح الأرض، وتنطبق الصفائح معًا عند حوافها.

(ط)

الطبقة المرشدة key bed: هي طبقة مميزة من الرسوبيات أو الصخور، تستعمل مؤشراً في السجل الصخري، وتغطي مساحات شاسعة على الأرض، وقد تكون طبقة من الرماد البركاني أو من القطع الناجمة عن سقوط نيزك أو من الفحم الحجري وغيرها.

طفوح البازلت flood basalt: كميات كبيرة من اللابة تتدفق إلى سطح الأرض عبر الصدوع.

(ظ)

ظهر المحيط mid-ocean ridge: سلسلة جبلية تحت سطح الماء تمتد في جميع قيعان المحيطات، ويبلغ طولها أكثر من 65,000 km، وتحتوي على أحدث البراكين الخامدة.

(ع)

عدم التوافق unconformity: هو سطح تعرية يكون بين طبقتين صخريتين، ويمثل فترة زمنية ضائعة في السجل الصخري بسبب التعرية.

العصر Period: ثالث أكبر وحدة زمنية في سلم الزمن الجيولوجي، وتعادل عشرات ملايين السنين.

عمر النصف half-life: المدة الزمنية اللازمة لتحلل نصف ذرات النظير الأصلي، مثل تحلل نصف ذرات العدد الأصلي لنظير الكربون C14.

عنق البركان vent: أنبوب في القشرة الأرضية حيث تتدفق اللابة من خلاله وتثور على سطح الأرض.

(ف)

الفجوة الزلزالية seismic gap: مكان على طول صدع نشط لم يشهد وقوع زلزال منذ فترة طويلة.

فوهة البركان crater: تجويف منخفض يتشكل عند قمة البركان حول العنق المركزي.

الفوهة البركانية المنهارة Caldera: حفرة كبيرة يصل قطرها إلى 50 km، وتتشكل في قمة البركان أو على جوانبه عندما ينهار في حجرة الماجما في أثناء ثوران البركان أو بعده.

(ق)

القالب cast: أحفورة القالب هي الفراغ الذي تتركه الأجزاء الصلبة الأصلية لمخلوقات الأحافير النباتية أو الحيوانية في الصخر، وربما يُملأ فيما بعد بمعادن أو رسوبيات فتتشكل أحفورة النموذج.

قناة البركان conduit of volcano: مكان مرور الماجما.

قوة الزلزال magnitude: مقياس للطاقة المتحررة في أثناء وقوع الزلزال، ويمكن وصفها باستعمال مقياس رختر.

(ل)

اللابة lava: ماجا تتدفق على سطح الأرض.

اللزوجة viscosity: مقاومة المادة الداخلية للتدفق.

(م)

ما قبل الكامبري precambrian: أكبر الفترات الزمنية الجيولوجية ويحتوي على 95% تقريبًا من سلم الزمن الجيولوجي ويتشكل من الدهور الثلاثة: الهيديان، والأركيان والبروتيروزوي.

مبدأ الاحتواء principle of medision: مبدأ من مبادىء التاريخ النسبي للصخور ينص على ان القطع الصخرية (المحتبسة) أقدم من الصخور التي تحتويها.

مبدأ الترسيب الأفقي original horizontality: مبدأ ينص على أن الصخور الرسوبية ترسبت في وضع أفقي تقريبًا.

مبدأ تعاقب الطبقات superposition: مبدأ ينص على أنه في تعاقب صخري لم يشهد أي أحداث، فإن أقدم الصخور تكون في القاع، وكل طبقة تلي ذلك تكون أحدث من الطبقة التي تحتها.

مبدأ القاطع والمقطوع cross-cutting relationship: مبدأ ينص على أن القاطع أحدث من المقطوع.

مبدأ النسقية Uniformitarianism: مبدأ ينص على أن العمليات الجيولوجية التي تحدث الآن ما زالت تحدث منذ نشأة الأرض.

المخطط الزلزالي seismogram: السجل الذي يتم الحصول عليه من مقياس الزلزال.

المركز السطحي للزلزال epicenter: نقطة على سطح الأرض تقع مباشرة فوق بؤرة زلزال.

المضاهاة correlation: هي مطابقة تكشفات صخرية معينة في منطقة ما مع تكشفات صخرية أخرى مشابهة لها في مناطق أخرى.

المغناطيسية القديمة paleomagnetism: السجل المغناطيسي للأرض الموثق في الصخور باستعمال بيانات جُمعت من معادن حاملة للحديد فيها؛ إذ إن هذه المعادن سجلت اتجاه المجال المغناطيسي للأرض في وقت تشكلها.

المقذوفات البركانية الصلبة tephra: شظايا من الصخور قذفت في الهواء في أثناء الثوران البركاني وتسقط على الأرض، وتُصنّف حسب حجمها.

مقياس رختر Richter scale: نظام تصنيف عددي يستعمل لقياس مقدار الطاقة المتحررة في أثناء وقوع زلزال.

مقياس الزلزال seismometer: جهاز حساس بوساطته يتم الكشف عن الاهتزازات الناجمة عن الأمواج الزلزالية.

مقياس العزم الزلزالي moment magnitude scale: مقياس يستعمل لقياس قوة الزلزال، آخذًا في الاعتبار حجم الكسر في الصدع وصلابة الصخور ومقدار الحركة على طول الصدع، بناء على قيم يمكن تقديرها من حجم أنواع الأمواج الزلزالية المختلفة.

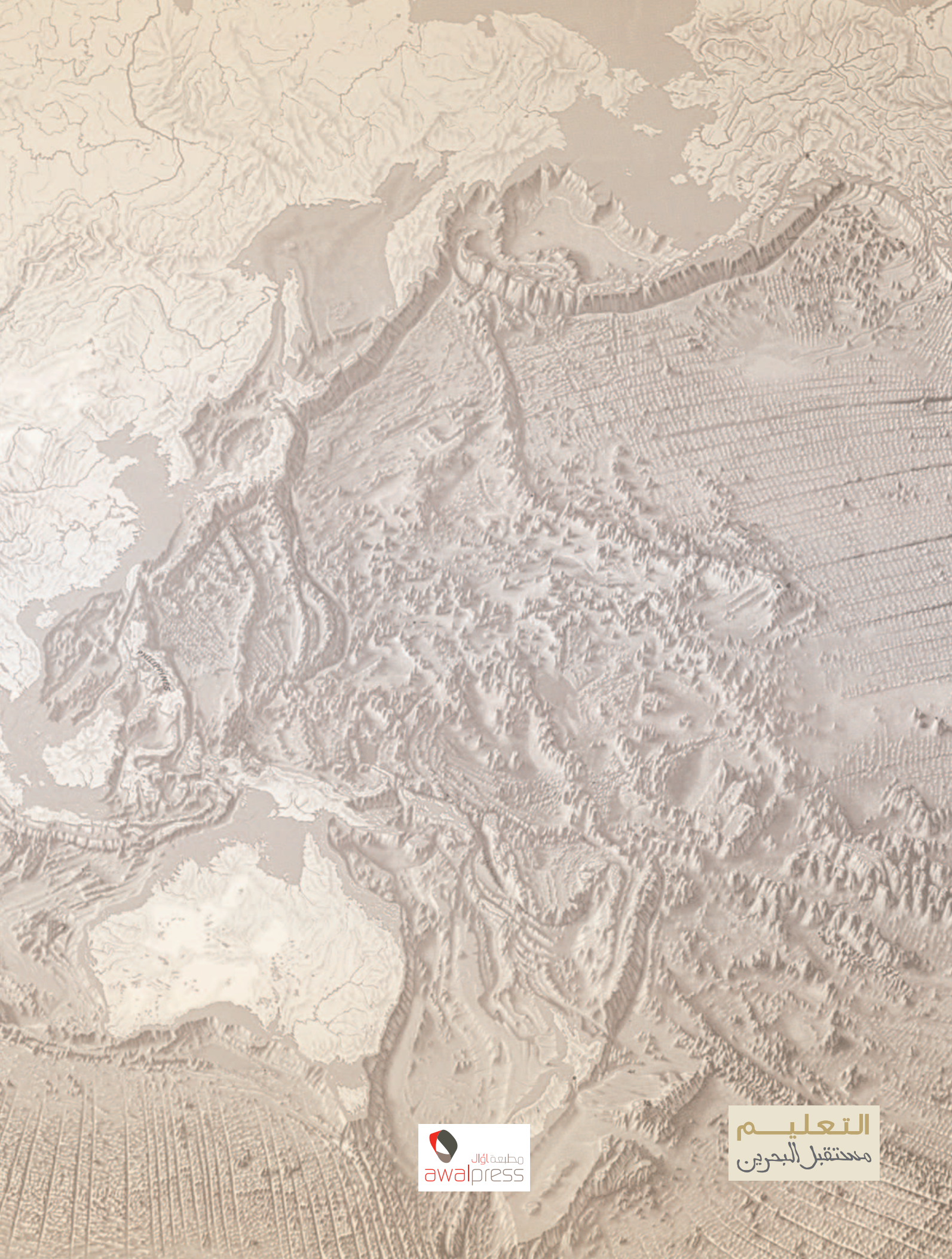
مقياس ميركالي المعدَّل modified Mercalli scale: مقياس لشدة الزلزال، يتراوح بين 1 و 12، حيث تزداد الأضرار الناجمة عن الزلزال كلما زاد العدد.

(ن)

النشاط البركاني volcanism: يصف جميع العمليات المرتبطة مع تفريغ الماجما والماء الساخن والبخار من باطن الأرض.

نطاق الطرح subduction: عملية غطس صفيحة أرضية تحت صفيحة أرضية أخرى.

النموذج model: أحفورة ناتجة عن ملء التجويف الداخلي (القالب) لمخلوق الأحفورة بالرسوبيات أو بالمعادن، وتحدث هذه العملية عندما تتحلل الأجزاء الداخلية لصدفة المخلوق الحي في الصخور الرسوبية ثم تزول بفعل التجوية أو التعرية تاركةً فراغًا أو قالبًا، حيث يتكون النموذج فيه.



التعليم
مستقبل البحرين

مطبعة أوال
awalpress