KINGDOM OF BAHRAIN

Ministry of Education

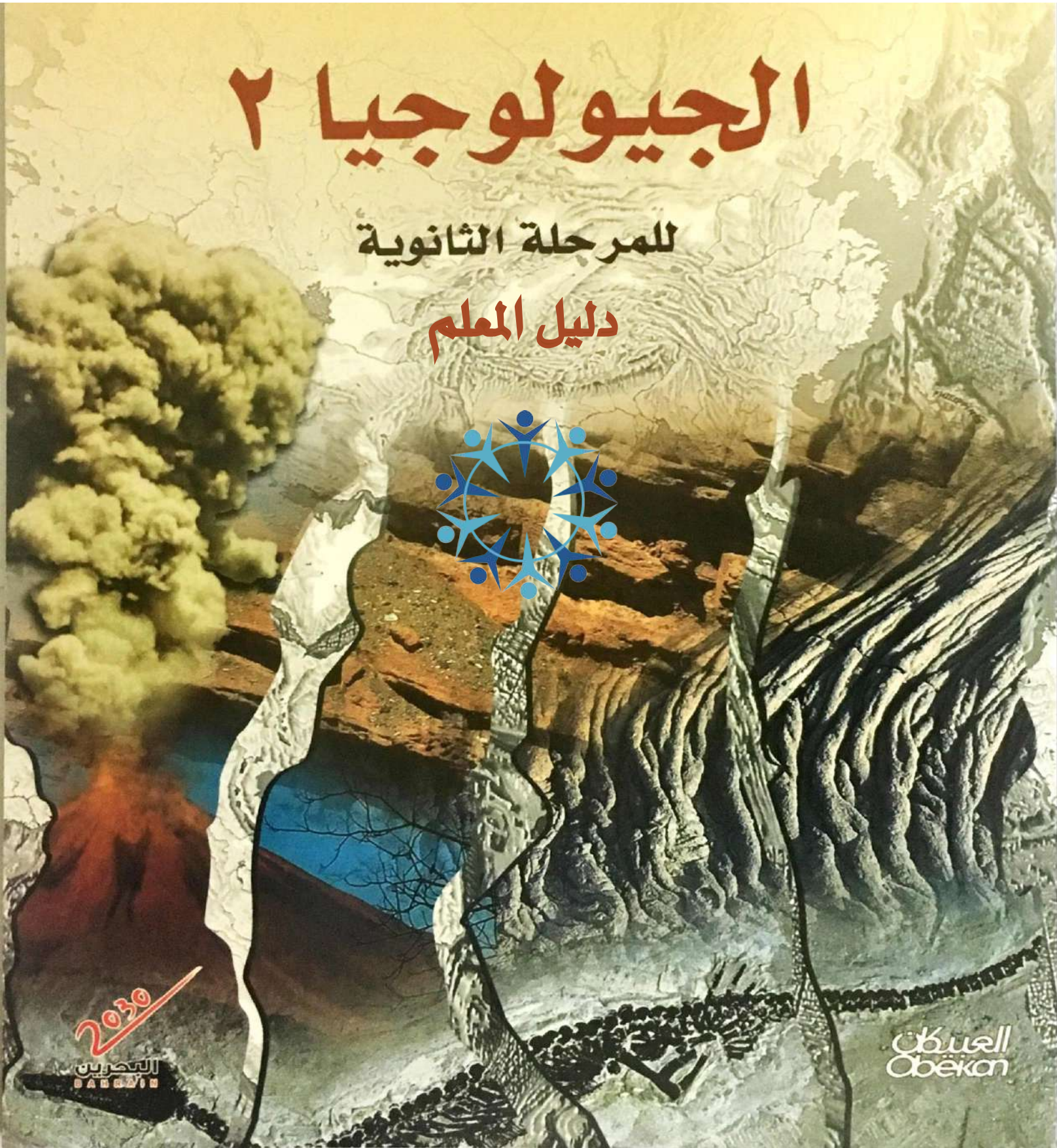
مَمْلَكَةُ البَحْرَيْن

وَزَارَةُ التَّرْبِيَةِ وَالتَّعْلِيم

الجيولوجيا ٢

للمرحلة الثانوية

دليل المعلم



جيو ٣٢١

قررت وزارة التربية والتعليم بمملكة البحرين اعتماد هذا الدليل لتدريس كتاب الجيولوجيا٢ بمدارسها الثانوية

إدارة سياسات وتطوير المناهج

الجيولوجيا ٢

للمرحلة الثانوية

دليل المعلم

الطبعة التجريبية

١٤٣٢هـ - ٢٠١١م

منهاجي

متعة التعليم الهادف

McGraw Hill Education

العبيكان Obeikan

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 ٢

أعدّ النسخة العربية

شركة العبيكان للأبحاث والتطوير

التحرير والمراجعة والمواءمة

د. محمود عبداللطيف حبوش

د. محمد عبدالكريم قعدان

فاتن نافع أبو شملة

التعريب

أ.د عبد القادر محمد عابد

أ.د غازي عبدالفتاح السفاريني

المواءمة المحلية لنسخة مملكة البحرين

خلود يوسف بوجيري

عوني أحمد مصاروة

التحرير اللغوي

عمر الصاوي

حسن فرغلي

أحمد عليان

إعداد الصور

د. سعود بن عبد العزيز الفراج

الإشراف

د. أحمد محمد رفيع

المراجعة والتطوير

فريق متخصّص من وزارة التربية والتعليم بمملكة البحرين.

www.obeikaneducation.com

www.macmillanmh.com

English Edition Copyright © 2008 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©، ٢٠٠٩ م.

الطبعة العربية: مجموعة العبيكان للاستثمار
وفقًا لاتفاقيتها مع شركة ماجروهل© ٢٠٠٨م/ ١٤٢٩هـ.

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 و الاسترجاع، دون إذن خطي من الناشر.

حضرة صاحب الجلالة الملك حمد بن عيسى آل خليفة

ملك مملكة البحرين المعظم

المقدمة

بسم الله الرحمن الرحيم

أخي المعلم / أختي المعلمة

يأتي دليل المعلم لكتاب الجيولوجيا ٢ للمرحلة الثانوية في إطار مشروع تطوير مناهج علوم الأرض وتحديثها بمملكة البحرين، والذي يهدف إلى إحداث تطور نوعي في تعليم علوم الأرض وتعلمها.

لقد وضع هذا الدليل بحيث يرتبط مباشرة مع كتاب الطالب، وهو يتضمن كمًّا ضخمًا من المعلومات والإرشادات المتعلقة باستراتيجيات التدريس والتقويم والمعلومات الإضافية، والعروض العملية بأشكالها المختلفة، فضلاً عن المصادر التقنية واستعمال الإنترنت، مما يوفر لك خيارات لا حصر لها لإنجاح عملية التعليم والتعلم وتنفيذها وفق أحدث الأساليب التربوية. وإننا نأمل منك خلال تنفيذ الدروس، التركيز على مشاركة الطلبة الفاعلة، ومنها التعلم الذاتي، والعمل في مجموعات، والمشاركة في المناقشات، والنشاطات العملية، والعروض الصفية، والمشاريع البحثية وغيرها.

ونحن إذ نضع بين يديك هذا الدليل، فإننا نأمل أن يكون مرشدًا لك، ومصدرًا تستعين به في تخطيط الدروس وتنفيذها بما يتلاءم مع مستويات الطلبة والبيئة الصفية وأهداف المنهاج. وفي الوقت نفسه نرجو ألا يقيدك هذا الدليل، بل يكون مساعدًا على تنمية مهاراتك التعليمية وإبراز قدراتك الإبداعية في وضع البدائل حيثما رأيت ذلك مناسبًا.

والله نسأل أن يحقق هذا الدليل الأهداف المتوخاة منه، وأن يوفق الجميع لما فيه خير الوطن وتقدمه وازدهاره.

قائمة المحتويات

نظرة عامة إلى دليل المعلم 7a

السلامة في المختبر 8a

رموز السلامة في المختبر 8d

المواد المخبرية 9a

الفصل 1

مخطط الفصل 1 ..... 10b

الصفائح الأرضية 10

دليل مراجعة الفصل 35

الفصل 2

مخطط الفصل 2 ..... 40b

البراكين 40

دليل مراجعة الفصل 59

الفصل 3

مخطط الفصل 3 ..... 64b

ا ل ز ل ا ز ل 64

دليل مراجعة الفصل 89

الفصل 4

مخطط الفصل 4 ..... 94b

الأحافير والسجل الصخري 94

دليل مراجعة الفصل 115

مرجعيات الطالب

سلم الزمن الجيولوجي 121

الجدول الدوري للعناصر 122

خريطة ظهور المحيطات 124

حدود الصفائح 126

جيولوجية شبه الجزيرة العربية 128

المصطلحات 130

إطار عمل البرنامج

أهلاً بك عزيزي المعلم في دليل معلم الجيولوجيا 2، الذي أعد اعتمادًا على سلسلة جلنكو في الجيولوجيا، وعلى مدخلات مستمدة من معلمي الجيولوجيا ذوي الخبرة، ومن مستشارين تربويين. يهدف الدليل إلى تزويدك بأنشطة واستراتيجيات تدريس تعتمد على البحث، وهي معنونة تحت زاوية مواقع للاستعمال.

طرائق تدريس متنوعة

تحديد مستويات النشاط

لقد حددت استراتيجيات التدريس والأنشطة بما يتلاءم ومستوى الطلبة، وقد تم ترميزها على النحو الآتي:

ف م أنشطة للطلبة الذين فــوق المستوى.

ض م أنشطة للطلبة الذين ضمن المستوى.

د م أنشطة للطلبة الـذين دون المستوى.

الإجابات والدعم الإضافي

يتضمن دليل المعلم ما يلي :

- إجابات الأسئلة الواردة في كتاب الطالب.
- عروضًا عملية وأنشطة تساعدك على طرح المفاهيم الرئيسة بسهولة ويسر.
- خلفية نظرية للمحتوى تزودك بمعلومات إضافية.
- استراتيجيات وطرائق تدريس متنوعة تساعدك على تلبية حاجات جميع الطلبة.

تخطيط الفصل

تظهر صفحات تخطيط الفصل في بداية كل فصل، وتشتمل على:

مخطط الفصل يحدد جميع أهداف الفصل، والمواد التي تحتاج إليها بالتفصيل لتدريس موضوعات الفصل.

قائمة المصادر تعرض المواد والأدوات التي يتطلبها تدريس كل فصل.

الفصل 1

الصفائح الأرضية

الفكرة العامة تحدث معظم الأنشطة الجيولوجية عند حدود الصفائح.

1–1 انجراف القارات

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

1–2 توسع قاع المحيط

الفكرة الرئيسة تتكون القشرة المحيطية عند ظهور المحيطات وتصبح جزءًا من قيعانها.

1–3 حدود الصفائح وسبب حركتها

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

10a

مخطط الفصل 1

الصفائح الأرضية

الأهداف	المواد والأدوات المستعملة	الزمن المقترح
1–1 توسع قاع المحيط		
1. **تتعرف** الأدلة التي جعلت العالم فاجنر يقترح أن القارات قد تحركت. 2. **تناقش** كيف دعم دليل المناخ القديم انجراف القارات. 3. **توضح** لماذا لم تحظ فرضية انجراف القارات بالقبول منذ البداية.	**تجربة استهلالية**. صفحة 11: مسطرة مترية، خريطة ذات مقياس رسم محدد.	10 دقائق
2 – 1 توسع قاع المحيط		
1. **تلخص** الأدلة التي أدت إلى اكتشاف نظرية توسع قاع المحيط. 2. **توضح** أهمية الأنماط المغناطيسية في قاع المحيط. 3. **توضح** عملية توسع قاع المحيط؟	**عرض عملي**. صفحة 18: قضيب مغناطيسي، برادة حديد، جهاز عرض الشفافيات	10 دقائق
3–1 حدود الصفائح وأسباب حركتها		
1. **تصف** كيف تشكل معالم الأرض بفعل تكونية الصفائح الأرضية. 2. **تقارن** بين حدود الصفائح الأرضية الثلاثة والمعالم المرتبطة مع كل منها. 3. **تعمم** العمليات الجيولوجية المصاحبة لأنطقة الطرح. 4. **توضح** كيف أن تيارات الحمل التي تحدث في الوشاح ترتبط مع حركة الصفائح الأرضية. 5. **تلخص** كيف ترتبط حركة الصفائح مع تيارات الحمل. 6. **تقارن** بين عمليتي الدفع عند ظهر المحيط والسحب للصفيحية.	**تجربة. صفحة 25**: خريطة العالم، ورقة كبيرة، مسطرة مترية، قلم رصاص. **عرض عملي**. صفحة 30: دورق زجاجي سعة 1000 mL، ماء، شمعة، حلقة، قاعدة، حامل، صعقة طعام، مكعبات ثلج **مختبر الجيولوجيا**. صفحة 33: ورقة، أقلام تلوين خشبية، مقص، مسطرة مترية، آلة حاسبة.	30 دقيقة 15 دقيقة 60 دقيقة

ترميز مستويات الأنشطة والتجارب لمراعاة الفروق الفردية

ف م	ض م	د م	تعلم تعاوني
أنشطة للطلبة الذين هم فوق المستوى (المتميزين).	أنشطة للطلبة الذين هم ضمن المستوى.	أنشطة للطلبة الذين هم دون المستوى.	أنشطة صُممت لمجموعات عمل صغيرة متعاونة.

10b

مفتاح المستويات: يصف طرائق التدريس المتنوعة المستعملة في دليل المعلم.

نظرة عامة إلى دليل المعلم

تدريس الفصل

الفكرة العامة هي أنشطة تساعد الطلبة على فهم التركيب المفاهيمي للفصل، ابتداءً بالفكرة العامة التي تشمل الفصل، وانتهاءً بالأفكار الرئيسة التي هي محور موضوعات كل قسم فيه.

دعم المحتوى

يقدم نظرة عميقة حول أهم مفاهيم الفصل.

تزودك دورة التدريس الثلاثية الخطوات بإرشادات ضرورية في كل درس؛ لإثراء الدرس، ولتلبية حاجات الطلبة المختلفة، ويتضمن ما يلي:

١. التركيز. يؤدي تدريس مجموعة من المفاهيم أو المهارات إلى تركيز انتباه الطلبة.

٢. التدريس. يقدم أنواعًا مختلفة من استراتيجيات التدريس الفعالة.

٣. التقويم. تزودك استراتيجيات تقويم المهارة، والمعرفة، والأداء بطرائق مختلفة لتقويم الطلبة.

التقويم: أقسامه

توفر نشاطات الطلبة والأسئلة المتضمنة في الكتاب فرصًا للتقويم البنائي (التكويني) والتقويم عامة.

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 الـ
- تتفاعل 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.
- تسبب حركة الصفائح الأرضية تفاعل عمليتي الدفع عند ظهر المحيط وسحب الصفيحة.

فهم الأفكار الرئيسية

1. **(المعلم) الهندسة** صف كيف تتشكل معالم الأرض الرئيسة بفعل حركة الصفائح الأرضية وعلاقتها بتيارات الحمل في الوشاح.
2. لخص عمليات تقارب الصفائح الأرضية التي شكّلت جبال الـ
3. اعمل قائمة بالمعالم الـ على طول حدود الصفائح
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 إخباريًا حول تأثر البحر الأحمر بحركة الصفائح الأرضية.

التفكير الناقد استعمل التشابه في حركة بالون الهواء الساخن عبر الهواء إلى أعلى؛ لتفسير صعود المواد بفعل الحمل الحراري. وضح أن كثافة بالون الهواء الساخن القليلة تجعله يرتفع إلى أعلى؛ لأن الهواء المحيط به أبرد وأكثر كثافة منه. وبطريقة متماثلة فإن كثافة المادة الساخنة في الوشاح أقل من كثافة المادة الباردة المحيطة بها، لذا تندفع المادة الساخنة بقوة إلى أعلى من خلال المادة الباردة.

التقويم

الأداء قسّم الطلبة إلى مجموعات صغيرة، واطلب إليهم أن يستخدموا معجون الأطفال لعمل نموذج مجسم لنوع من الحدود المتقاربة. استعمل سلم التقدير لتقويم أداء عمل المجموعة.

استنتج. اطرح السؤال الآتي: أي العمليتين أكثر تأثيرًا في حفرة الانهدام الإفريقية؛ الدفع عند ظهر المحيط أم سحب الصفيحة؟ لأن حفرة الانهدام عبارة عن حد متباعد لذا فإن العملية الأكثر تأثيرًا هي الدفع عند ظهر المحيط.

التقويم 3-1

1. عندما تصطدم الصفائح بعضها ببعض عند الحدود المتقاربة يتكون العديد من المعالم الجيولوجية، ومنها الجبال والبراكين وأقواس الجزر. أما عندما ينفصل بعضها عن بعض عند الحدود المتباعدة فتتكون ظهور المحيطات وحفر الانهدام وقشرة محيطية جديدة.
2. قبل حدوث عملية تصادم صفيحتين قاريتين تكون إحدى الصفيحتين القاريتين عادة مرتبطة مع صفيحة محيطية. وبعد طرح الصفيحة المحيطية كلها تصطدم الصفيحة القارية المرتبطة معها بصفيحة قارية أخرى، ولأن كلتا الصفيحتين لا تطرحان لذا تتشكل الطيات والتجعدات في منطقة التصادم وترتفع إلى أعلى مكونة سلاسل جبلية ضخمة.
3. تقارب محيطي – محيطي: أخاديد بحرية وأقواس جزر بركانية. تقارب محيطي – قاري: أخاديد بحرية، سلسلة من الجبال البركانية على اليابسة. تقارب قاري – قاري: سلسلة من الجبال الضخمة شاهقة الطي.
4. عند ظهور المحيطات.
5. تسبب تيارات الحمل حركة الصفيحة بعيدًا عن ظهر المحيط، ومع استمرار حركة هذه الصفيحة تلتقي بصفائح أخرى في الجانب الآخر؛ فإما أن تُطرح أسفل صفيحة قارية أو أسفل صفيحة محيطية أخرى، أو أن تُطرح صفيحة محيطية أخرى أسفل منها.
6. ينبغي أن يبين النموذج أن قوى الدفع تكون عند ظهر المحيط وقوى السحب عند أنطقة الطرح.
7. يجب أن تجمع إجابات الطلبة حول ما يعرفونه عن حركات الصفائح وما يحدث لها. إجابات محتملة: في نهاية المطاف، ستختفي صفيحة نازكا أسفل صفيحة أمريكا الجنوبية، وسيزداد عرض المحيط الأطلسي بين صفيحتي أوراسيا وأمريكا الشمالية، وسيتوسع المحيط بين القارة المتجمدة الجنوبية وصفيحة المحيط الهادي.
8. ستتشوه القشرة وتتكسر عندما تتحرك أفقيًا على طول الصدع.
9. هذه الجملة غير صحيحة؛ فتيارات الحمل تحرك جميع الصفائح على سطح الأرض.
10. لأن تيارات الحمل تحرك جميع الصفائح على سطح الأرض؛ فتسبب تغير المواقع النسبية للصفائح التي تتضمن قشرة قارية.

الكتابة في الجيولوجيا

11. ستتنوع الإجابات.

التقويم يوفر تقويمًا في منتصف الفصل للمفاهيم الأساسية. يقتضي من الطلبة أن يُظهروا مستويات تفكير عُليا ويستعملوا المهارات الكتابية.

تقويم أقسام الفصل يزود الطلبة بملخص للمفاهيم والأسئلة التي ترتبط مع الأهداف التعليمية في كل قسم.

الإجابات يشتمل دليل المعلم على إجابات عن أسئلة التقويم جميعها .

نظرة عامة إلى دليل المعلم

تقويم الفصل

مراجعة المفردات وتثبيت المفاهيم الرئيسة يقوّمان استيعاب المفردات الرئيسة والمفاهيم لجميع أقسام الفصل بصورة شاملة.

الأسئلة البنائية والتفكير الناقد يتطلب من الطلبة أن يُظهروا مستويات تفكير عُليا، ويستعملوا المهارات الكتابية.

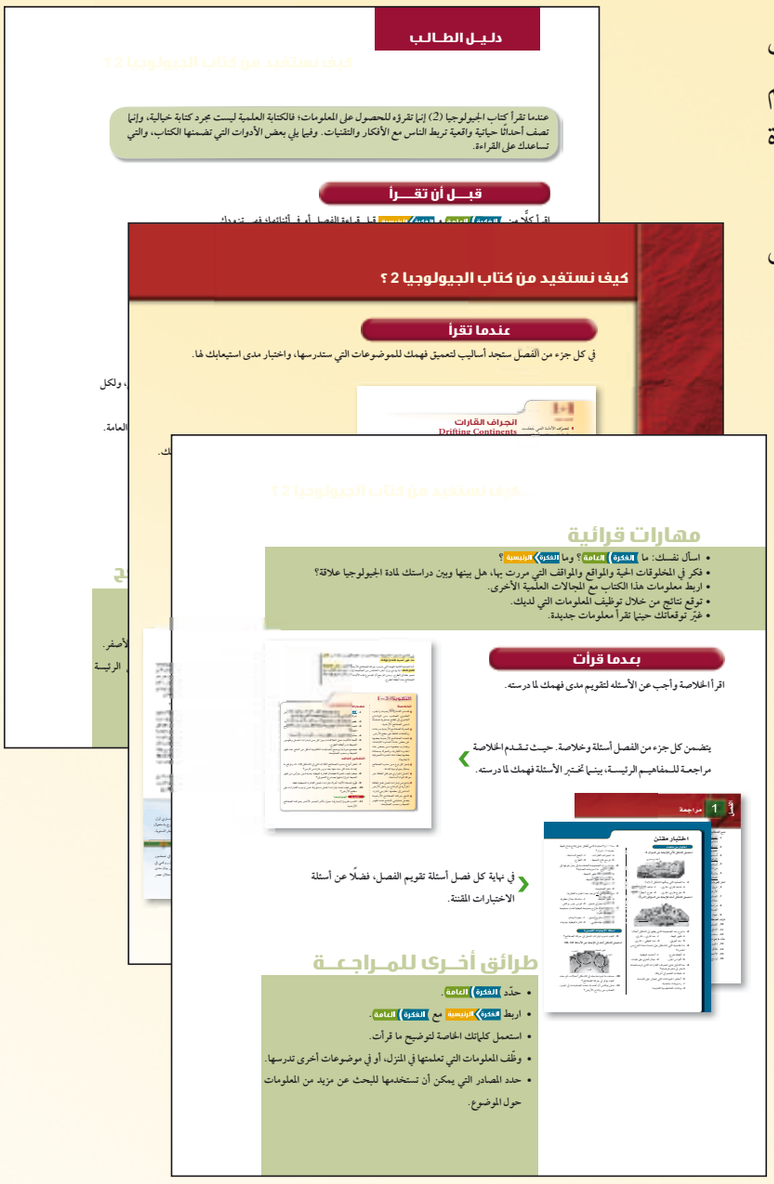
خريطة مفاهيمية تربط مفاهيم الدرس بعضها مع بعض.

سؤال تحدٍّ سؤال يثير تفكير الطالب، وهو موجه إلى الطلبة ذوي المستوى المتقدم.

دليل الطالب:

يحتوي دليل الطالب على معلومات توجه الطالب للاستفادة بشكل فاعل من كتاب الجيولوجيا 2.

- ناقش الطلبة في محتويات دليل الطالب في بداية تدريس الكتاب الدراسي، مع التركيز على الأفكار والمفاهيم الرئيسة في الدليل، ومنها الفكرة العامة، والفكرة الرئيسة، والتقويم.
- خصص جزءًا من الحصة الأولى في كل فصل لتطبيق الأفكار الواردة في الدليل.



السلامة في المختبر

صُمّمت كراسة التجارب العملية لمادة الجيولوجيا 2، للتقليل من مخاطر المختبر؛ إذ يقلل التخطيط الجيد والتحضير السليم من أخطار وقوع الحوادث.

ولكي تتمكن من التخزين الجيد والإدارة الصحيحة لمواد المختبر لابد لك من الاطلاع على الإرشادات الآتية:

الحماية الشخصية

لابد من استعمال وسائل الحماية الشخصية عند التعامل مع المواد الخطرة. ومن هذه الوسائل: النظارات الواقية، ومعطف المختبر، والحذاء المناسب، والقفازات.

نظارات العين

يجب أن تكون النظارات الواقية للعين ذات مواصفات خاصة، سواء استعملت في المختبر أو في الرحلات الميدانية؛ وذلك لحماية العين. ومن هذه المواصفات أن تكون كبيرة الحجم؛ حتى تحمي العين تمامًا من الغبار والمواد المتطايرة والأبخرة والرذاذ، وقد يتطلب هذا أن تُحاط بإطار مطاطي يمنع دخول أي مادة كيمائية خطرة إلى العين.

القفازات الواقية

تحمي القفازات الواقية الأيدي من الحرارة المرتفعة، والمواد الكيميائية الخطرة، ونقل الملوثات (الجراثيم) من شخص إلى آخر، فضلاً عن امتصاصها للعرق. وينبغي التأكد من سلامتها قبل استعمالها، وأن تكون بحالة جيدة، وخالية من الشقوق والثقوب. وبعد الانتهاء من استعمالها تخلع من اليدين، بدءًا بالرسغ في اتجاه الأصابع، مع مراعاة عدم ملامسة سطحها الخارجي للجلد. وإذا كان هناك بعض الطلبة أو المعلمين يعانون من حساسية الجلد فلا بد من توافر قفازات خاصة بهم.

القفازات ووظيفتها	
وظيفتها	نوع القفازات
البلاستيكية	تقي من المواد الحارقة والمهيجة.
اللاتكس (المطاط الصناعي)	تقي من المواد البيولوجية. ويجب التخلص منها بعد استعمالها. (يمكن أن يُعاني بعض الناس من حساسية لهذه المادة قد تؤدي إلى مشكلات طبية خطيرة).
المطاط الطبيعي	يقي من الصدمات الكهربائية والمواد الحارقة الخفيفة.
القطن	يمتص العرق، ويلبس تحت قفازات المطاط الطبيعي.
النيوبرين	يُستعمل عند التعامل مع المذيبات والزيوت والمواد الحارقة الخفيفة.
الأسبستوس	عازل للحرارة (لاحظ أن الأسبستوس مادة مسرطنة، لذا تحمل قفازات الأسبستوس علامة تحذير من خطر السرطان).

معطف المختبر

صُمّم معطف المختبر لحماية الجلد والملابس العادية من آثار المواد الكيميائية والعضوية والمعدات الحادة. لذا لا بد أن يكون مناسبًا للشخص، وأن يرتديه طوال بقائه في المختبر.

ويكون معطف المختبر عادة واقيًا من الحريق، ويصنع من القطن بسماكة كافية لامتصاص السوائل والأبخرة، وحماية الجسم من خطر الحواف الحادة، والأجسام المتناثرة وغيرها.

الوقاية من الحرائق

الحرائق أكثر الحوادث تكرارًا في المختبرات العلمية، وتعد الوقاية من حدوث الحريق أمرًا مهمًّا جدًّا، وهو يتوقف على مدى فهمنا للاحتراق، وأسباب حدوثه. فوجود الهواء يوفر الأكسجين الذي يحتاج إليه نشوب الحريق. أما أكثر الأماكن عرضة للحريق فتلك التي تحتوي على مصادر الوقود.

وتُصنّف الحرائق تبعًا للخصائص الكيميائية للوقود في مجموعات أساسية على النحو الآتي:

- **المجموعة أ** : المواد المشتعلة العادية ومنها الورق والخشب وغيرهما.
- **المجموعة ب** : المذيبات العضوية ومنها الأسيتون والكحول والإيثير.
- **المجموعة جـ** : التمديدات الكهربائية، والشحنات الكهربائية الساكنة.
- **المجموعة د** : الفلزات النشطة، ومنها الصوديوم والبوتاسيوم والماغنيسيوم.

لقد اعتُمدت هذه المجموعات في العديد من التصنيفات المختلفة للمواد المشتعلة، لتحديد أنواع الطفايات الملائمة لإطفاء الحرائق على اختلاف أنواعها، وتحديد أماكن حدوثها. وخصوصًا في قاعات تدريس العلوم، ومختبراتها، وأماكن تخزين المواد الكيميائية وتحضيرها. لذا لا بد من اتخاذ الاحتياطات الآتية:

- تَعرُّف مصادر الاشتعال الموجودة في المختبر، ومنها اللهب المشتعل والمعدات الحرارية والكهربائية.
- شراء الحد الأدنى الضروري فقط من المواد القابلة للاشتعال وتخزينها.
- تجنب تخزين السوائل القابلة للاشتعال في الثلاجات العادية؛ فهناك ثلاجات مقاومة للانفجار وجدت لهذه الغاية.
- تخزين المواد القابلة للاشتعال في علب خاصة، وداخل خزائن مخصصة لذلك.
- التأكد من سلامة التمديدات الكهربائية، وتأريض المقابس الكهربائية.

وبالإضافة إلى ذلك لا بد من احتواء المختبرات وقاعات تدريس العلوم وأماكن التخزين والتحضير على بطانيات الحريق والطفايات المناسبة.

طفايات الحرائق

لا بد من توافر الطفايات اليدوية في كل مدرسة للوقاية ضد الحريق، ولابد من تخصيص طفاية متعددة الأغراض لكل قاعة أو مختبر أو لغرف التخزين والتحضير. ويشترط في ذلك ما يأتي:

- وضع الطفاية في مكان نظيف وواضح، بحيث يسهل رؤيتها والوصول إليها.
- صيانة الطفايات بصورة دورية.
- استعمال الطفايات عن طريق أشخاص مدربين جيدًا، سواء أكانوا معلمين أو طلبة.

بطانيات الحرائق

تتم السيطرة على الحريق عن طريق اختيار أفضل أدوات المكافحة، ومنها البطانيات التي تصنع من ألياف خاصة. ويجب وضع البطانية في مكان مناسب في جميع مختبرات العلوم؛ حيث تستعمل وتُخزّن المواد الكيميائية الخطرة. كما يجب أن تستعمل على نحوٍ سريع إذا لم يكن الوصول إلى خراطيم الإطفاء أو الطفايات متاحًا.

السلامة في المختبر

الوقاية من الكهرباء

يجب مراعاة سبل السلامة الكهربائية في جميع غرف العلوم وفي المختبرات والمستودعات وغرف التحضير. وفيما يأتي بعض الإرشادات التي ينبغي مراعاتها لتفادي أخطار الكهرباء:

- تركيب قواطع أرضية لتجنب حدوث الصعقات الكهربائية والحرائق الناجمة عن الكهرباء.
- يجب تأريض جميع مخارج الكهرباء لتجنب الحوادث، كما ينبغي تأمين عدة مخارج كهربائية لتجنب استعمال كوابل إضافية. وإذا تطلب إضافة صناديق أرضية فإنه يجب إبعادها عن مصادر الماء.
- ينبغي استعمال المنصهر الكهربائي للوقاية من الزيادة المفاجئة في قوة التيار؛ وذلك لحماية الحواسيب والأجهزة الكهربائية الأخرى.
- ينبغي وضع أنظمة إغلاق الطوارئ في أماكن يسهل على العاملين في المختبرات الوصول إليها بسرعة.
- عدم تحميل الدوائر الكهربائية جهدًا كهربائيًّا أكثر مما تتحمل.
- استعمال أنظمة تبريد لا تسبِّب شرارة كهربائية في المختبرات والمستودعات وغرف التحضير؛ لتخزين المواد الكيميائية السريعة الاشتعال.
- يجب أن تكون الأسلاك الكهربائية المستعملة خالية من العيوب، ولا تحتوي على أجزاء مكشوفة.
- ينبغي وضع برامج للسلامة العامة في المدارس لمعالجة حالات الطوارئ الكهربائية، وتعريف جميع المعلمين بمكان القاطع الرئيس للتيار الكهربائي وصندوق التحكم، وكيفية التعامل معهما، كما ينبغي على الطلبة والمعلم أن يكونوا على معرفة بإرشادات السلامة، وكيفية تشغيل الأجهزة الكهربائية الواردة في التجربة قبل تنفيذها.

رموز السلامة في المختبر

تستعمل هذه الرموز في المختبر، وفي الاستقصاءات الميدانية التي تشير إلى إمكانية حدوث ضرر ما لا قدر الله. علّم الطلبة كل رمز وأعدهم إلى هذه الصفحة باستمرار، وذكرهم أن يغسلوا أيديهم جيدًا بعد الانتهاء من التجارب.

الرمز	المخاطر	الأمثلة	الاحتياطات	العلاج
التخلص من المواد	يجب اتباع خطوات التخلص من المواد.	بعض المواد الكيميائية، والمخلوقات الحية.	لا تتخلص من هذه المواد في المغسلة أو في سلة المهملات.	تخلص من النفايات وفق تعليمات المعلم.
مواد حيّة	مخلوقات ومواد حية قد تسبّب ضررًا للإنسان.	البكتيريا، الفطريات ، الدم، الأنسجة غير المحفوظة، المواد النباتية.	تجنب ملامسة الجلد لهذه المواد، والبس قناعًا (كمامة) وقفازات.	أبلغ معلمك في حالة حدوث ملامسة للجسم، واغسل يديك جيدًا.
درجة حرارة مرتفعة أو منخفضة	الأشياء التي قد تحرق الجلد بسبب حرارتها أو برودتها الشديدتين.	غليان السوائل، السخانات الكهربائية، الجليد الجاف، النيتروجين السائل.	استعمال قفازات واقية.	اذهب إلى معلمك طلبًا للإسعاف الأولي.
الأجسام الحادة	استعمال الأدوات والزجاجيات التي تجرح الجلد بسهولة.	المقصات، الشفرات، السكاكين، الأدوات المدبّبة، أدوات التشريح، الزجاج المكسور.	تعامل بحكمة مع الأداة، واتبع إرشادات استعمالها.	اذهب إلى معلمك طلبًا للإسعاف الأولي.
الأبخرة	خطر محتمل على الجهاز التنفسي من الأبخرة.	الأمونيا، الأسيتون، الكبريت الساخن، كرات العث (النفثالين).	تأكد من وجود تهوية جيدة، ولا تشم الأبخرة مباشرة، وارتد قناعًا (كمامة).	اترك المنطقة، وأخبر معلمك فورًا.
الكهرباء	خطر محتمل من الصعقة الكهربائية أو الحريق.	تأريض غير صحيح، سوائل منسكبة، أسلاك معرّاة.	تأكد من التوصيلات الكهربائية للأجهزة بالتعاون مع معلمك.	لا تحاول إصلاح الأعطال الكهربائية، وأخبر معلمك فورًا.
المواد المهيّجة	مواد قد تهيج الجلد أو الغشاء المخاطي للقناة التنفسية.	حبوب اللقاح، كرات العث، ألياف الزجاج، برمنجنات البوتاسيوم.	ارتد قناعًا (كمامة) واقيًا من الغبار وقفازات، وتصرف بحذر شديد عند تعاملك مع هذه المواد.	اذهب إلى معلمك طلبًا للإسعاف الأولي.
المواد الكيميائية	المواد الكيميائية التي يمكن أن تتفاعل مع الأنسجة والمواد الأخرى وتتلفها.	المبيضات، مثل فوق أكسيد الهيدروجين، الأحماض كحمض الكبريتيك، القواعد كالأمونيا وهيدروكسيد الصوديوم.	ارتد نظارات واقية، وقفازات، والبس معطف المختبر.	اغسل المنطقة المصابة بالماء، وأخبر معلمك بذلك.
المواد السامة	مواد تسبب التسمم إذا ابتُلعت أو استُنشقت أو لمست.	الزئبق، العديد من المركبات الفلزية، اليود، النباتات السامة.	اتبع تعليمات معلمك.	اغسل يديك جيدًا بعد الانتهاء من العمل، واذهب إلى معلمك طلبًا للإسعاف الأولي.
مواد قابلة للاشتعال	بعض المواد الكيميائية التي يسهل اشتعالها بوساطة اللهب، أو الشرر، أو عند تعرضها للحرارة.	الكحول، الكيروسين، الأسيتون، برمنجنات البوتاسيوم ، الملابس، الشعر.	تجنب مناطق اللهب المشتعل عند استعمال المواد الكيميائية.	أبلغ معلمك فورًا، واستعمل طفاية الحريق.
اللهب المشتعل	ترك اللهب مفتوحًا يسبب الحريق.	الشعر، الملابس، الورق، المواد القابلة للإشتعال.	اربط الشعر إلى الخلف، ولا تلبس الملابس الفضفاضة، واتبع تعليمات المعلم عند إشعال اللهب أو إطفائه.	اغسل يديك جيدًا بعد الاستعمال. واذهب إلى معلمك طلبًا للإسعاف الأولي.

سلامة العين
يجب دائمًا ارتداء نظارات واقية عند العمل في المختبر.

وقاية الملابس
يظهر هذا الرمز على عبوات المواد التي يمكن أن تبقع الملابس أو تحرقها.

سلامة الحيوانات
يشير هذا الرمز إلى التأكيد على سلامة الحيوانات.

نشاط إشعاعي
يظهر هذا الرمز عندما تستعمل مواد مشعة.

غسل اليدين
اغسل يديك بعد كل تجربة بالماء والصابون قبل نزع النظارات الواقية.

المواد المخبرية

قائمة الأدوات والمواد

يتضمن هذا الجدول الأدوات والمواد ذات التكلفة القليلة، والتي يسهل الحصول عليها؛ لكي تساعدك على تحضير الدروس طوال العام. ويشير العدد الذي بين قوسين إلى كمية المادة التي يتطلبها تنفيذ تجربة واحدة للمجموعة الواحدة. ارجع إلى مخطط الفصل في بداية كل فصل للحصول على قائمة بالأدوات والمواد المستعملة في كل تجربة.

المواد المستعملة والمستهلكة			
المادة	تجربة استهلالية	التجربة	مختبر جيولوجي
كأس سعتها 500 mL	√		
كأس سعتها 600 mL	√		
صندوق (صغير)		√	
اله حاسبة			√
مشبك			
أقلام خشبية ملونة		√	√
فرجار			√
خريطة الوطن العربي			√
ورق جرائد			
مسطرة	√	√	√
مقصات		√	√
إسفنجة	√		
ساق زجاجية	√		
دبابيس تثبيت الورق	√		
كتلتان خشبيتان	√		
خريطة العالم		√	
سلم الزمن الجيولوجي			√
علبة كرتونية	√		
بالون		√	
رمل		√	
ورقة		√	√

المواد المستعملة والمستهلكة			
المادة	تجربة استهلالية	التجربة	مختبر جيولوجي
أنبوب مطاطي 10 cm		√	
ملح	√		
ورق صنفرة	√		
لاصق		√	
زيت الطعام	√		
ماء	√	√	

الفصل 1

الصفائح الأرضية

الفكرة العامة تحدث معظم الأنشطة الجيولوجية عند حدود الصفائح.

1–1 انجراف القارات

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

1–2 توسع قاع المحيط

الفكرة الرئيسة تتكون القشرة المحيطية عند ظهور المحيطات وتصبح جزءًا من قيعانها.

1–3 حدود الصفائح وسبب حركتها

الفكرة الرئيسة تتكون كل من الجبال والبراكين والأخاديد البحرية عند حدود الصفائح، وتؤدي تيارات الحمل في الوشاح إلى حركة الصفائح الأرضية.

مخطط الفصل 1
الصفائح الأرضية

الأهداف	المواد والأدوات المستعملة	الزمن المقترح
1–1 توسع قاع المحيط 1. **تتعرّف** الأدلة التي جعلت العالم فاجنر يقترح أن القارات قد تحركت. 2. **تناقش** كيف دعم دليل المناخ القديم انجراف القارات. 3. **توضح** لماذا لم تحظ فرضية انجراف القارات بالقبول منذ البداية.	**تجربة استهلالية.** صفحة 11: مسطرة مترية، خريطة ذات مقياس رسم محدد.	10 دقائق
2 –1 توسع قاع المحيط 1. **تلخص** الأدلة التي أدت إلى اكتشاف نظرية توسع قاع المحيط. 2. **توضح** أهمية الأنماط المغناطيسية في قاع المحيط. 3. **توضح** عملية توسع قاع المحيط؟	**عرض عملي.** صفحة 18: قضيب مغناطيسي، برادة حديد، جهاز عرض الشفافيات	10 دقائق
3–1 حدود الصفائح وأسباب حركتها 1. **تصف** كيف تتشكل معالم الأرض بفعل تكتونية الصفائح الأرضية. 2. **تقارن** بين حدود الصفائح الأرضية الثلاثة والمعالم المرتبطة مع كل منها. 3. **تعمّم** العمليات الجيولوجية المصاحبة لأنطقة الطرح. 4. **توضح** كيف أن تيارات الحمل التي تحدث في الوشاح ترتبط مع حركة الصفائح الأرضية. 5. **تلخص** كيف ترتبط حركة الصفائح مع تيارات الحمل. 6. **تقارن** بين عمليتي الدفع عند ظهر المحيط والسحب للصفيحية.	**تجربة. صفحة** 25: خريطة العالم، ورقة كبيرة، مسطرة مترية، قلم رصاص. **عرض عملي.** صفحة 30: دورق زجاجي سعة 1000 mL، ماء، شمعة، حلقة، قاعدة، حامل، صبغة طعام، مكعبات ثلج **مختبر الجيولوجيا.** صفحة 33: ورقة، أقلام تلوين خشبية، مقص، مسطرة مترية، آلة حاسبة.	30 دقيقة 15 دقيقة 60 دقيقة

ترميز مستويات الأنشطة والتجارب لمراعاة الفروق الفردية

ف م أنشطة للطلبة الذين هم فوق المستوى (المتميزين).	**ض م** أنشطة للطلبة الذين هم ضمن المستوى.	**د م** أنشطة للطلبة الذين هم دون المستوى.	**تعلم تعاوني** أنشطة صُممت لمجموعات عمل صغيرة متعاونة.

الفصل 1

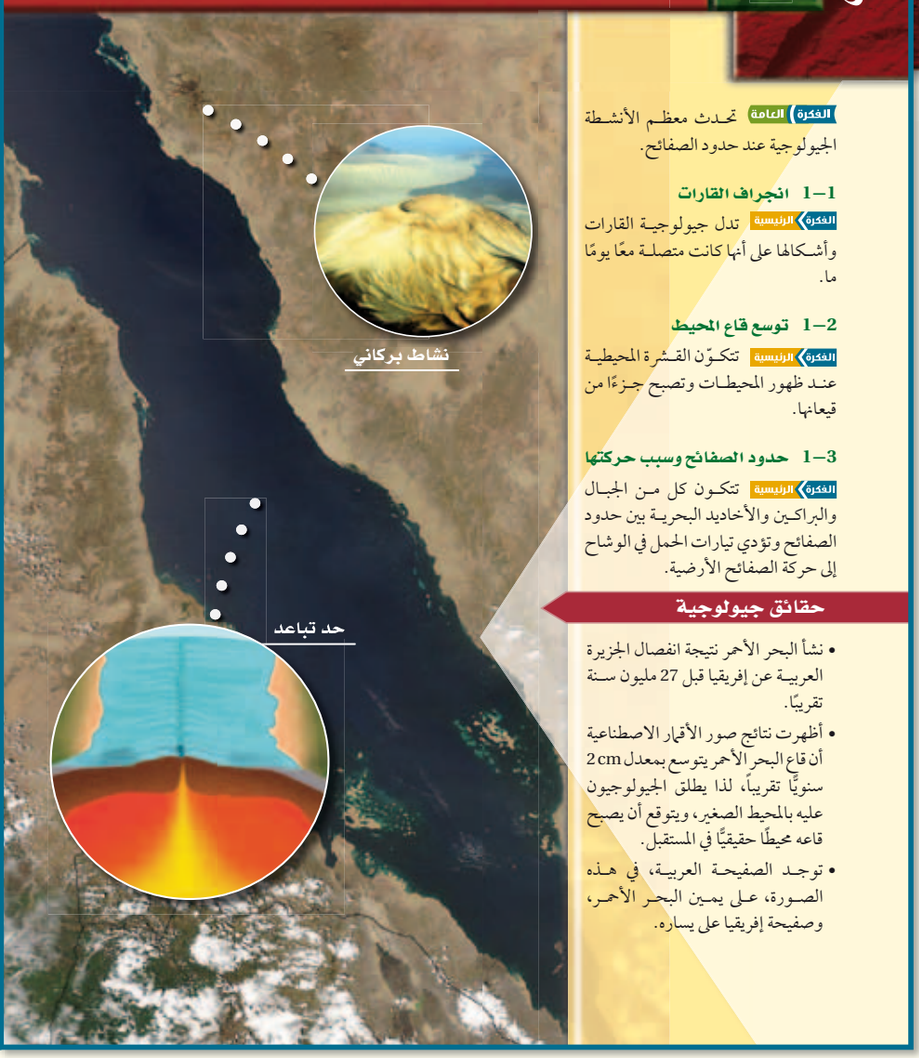
الصفائح الأرضية

الفكرة العامة

معالم سطح الأرض اطلب إلى الطلبة أن يتأملوا خريطة العالم ويتعرفوا المعالم والتراكيب الكبيرة. يمكن أن يلاحظوا سلسلة من الجزر، وسلاسل جبلية قريبة من المحيطات وأخرى في وسط القارات. وربما يشبه شكل بعض سواحل القارات أحيانًا بعضها الآخر (قارتا أمريكا الجنوبية وإفريقيا). اطلب إليهم أن يفكروا في نشأة هذه المعالم. تأمل خرائط لكل من المريخ أو الزهرة، أي المعالم متشابهة، وأيها مختلفة؟

دعم المحتوى

الصدوع كيف يكشف الجيولوجيون عن وجود صدوع في القشرة الأرضية؟ الطريقة المتبعة في ذلك هي البحث عن وجود إزاحات؛ فإذا لاحظ الجيولوجيون وجود كسور في معالم خطية متصلة، فيرجحون أنها صدوع. توجد الصدوع بأي حجم؛ فقد تكون مجهرية، يحتاج رؤيتها إلى مجهر، وهناك صدوع مرافقة للصفائح الأرضية، وهذه قد تكون كبيرة جدًّا إلى درجة يصعب تمييزها، وإن أمكن الكشف عنها باستعمال الصور الجوية ومصورات الأقمار الاصطناعية؛ وذلك بالبحث عن إزاحات رأسية أو أفقية، ومن ثم تُستعمل الملاحظات الميدانية لتأكيد هذه الاستنتاجات.



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.

السبورة التفاعلية

استعمل عروضًا تقديمية (بالبوربوينت) تشتمل على:

- ملخص لمحتوى الفصل.
- صور تتعلق بالصفائح الارضية
- عروض متحركة.
- روابط بالموقع التعليمي:

www.obeikaneducation.com

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 وخليجًا 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.

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

تجربة استهلالية

المهارات العلمية القياس باستعمال الوحدات المعيارية (SI)، التوقع، الاستنتاج، التواصل.

احتياطات السلامة اطلب إلى الطلبة الإطلاع على تعليمات السلامة في المختبر قبل البدء بالتجربة.

استراتيجيات التدريس

- لأن قياس المسافة على الخريطة أصغر كثيرًا من قياسها على أرض الواقع، لذا قد تبرز مشكلة لدى الطلبة في دقة قياس المسافة. يستطيع الطلبة عمل مقياس رسم على صورة مسطرة ليمثِّل مقياس الخريطة، لتحديد المسافات على الورق.
- إذا كان لدى الطلبة مشكلة في إجراء التحويلات فذكرهم بأن km الواحد يعادل 100,000 cm.

الخطوات

1. 300 km تقريبًا.

2. تغيرت المسافة بين مدينتي جدة وبورسودان بمقدار 1000 km تقريبًا. أما المسافة بين مدينتي جدة ومكة فلم تتغير.

التحليل

1. قد تتنوع الإجابات.

2. 5 مليون سنة.

التقويم

مهارة. اطلب إلى الطلبة أن يحسبوا كم تصبح المسافة بين مدينتي جدة وبورسودان بعد 45 مليون سنة. 1200 km.

1-1

1. التركيز

الفكرة الرئيسة

تطابق حواف القارات يمكن تركيب القارات معًا كما في لعبة القطع المتداخلة. ماذا يعني هذا لتغير القارات مع الزمن؟ تتشوه وتبقى على السطح. هل يعد هذا دليلاً مقنعًا على أن القارات كانت قارة واحدة؟ لا، بل لا بد من أدلة أخرى.

2. التدريس

المشروع

المناخ القديم اطلب إلى كل اثنين من الطلبة أن يبحثوا عن وجود أحافير قديمة عمرها 200 مليون سنة، وعن المناخ الذي كان سائدًا في بلدهم آنذاك. وأن يحضر كل زوج منهم عرضًا لنتائجهم. ض م تعلم تعاوني

ماذا قرأت؟ لأن رسامي الخرائط كانوا على معرفة واسعة بأشكال القارات، وخصوصًا عندما رُسمت خرائط قارات النصف الغربي للأرض أول مرة ، لذا فقد كانوا من أوائل الذين لاحظوا وجود تشابهات في أشكال القارات.

دعم المحتوى

انجراف القارات عندما اقترح ألفرد فاجنر فكرة انجراف القارات كان سائدًا آنذاك فرضيتان متناقضتان عن الجغرافية القديمة للأرض. الفرضية الأولى قدمها كل من علماء الأحياء والأحافير، وهي أن قارات الأرض كانت متصلة معًا بوساطة جسور غُمرت بمياه المحيطات، بناء على دراستهم لتوزيع أنواع كل من المخلوقات الحية والأحافير. والفرضية الثانية قدمها الجيوفيزيائيون، وتنص على أنه يستحيل غوص ألسنة من اليابسة داخل القشرة المحيطية بناء على مبادئ توازن القشرة الأرضية. وكلا الفريقين من العلماء مقتنع تمامًا بنظرية الثبات التي تنص على أن معالم كل من القارات وقيعان المحيطات هي معالم ثابتة لا تتغير مع الزمن. بينما اقترح فاجنر أن كلًّا من الأدلة البيولوجية والجيوفيزيائية متوافقة على أن قارات الأرض قد تغيرت مواقعها مع الزمن.

الربط مع العلوم الأخرى

علم الأحياء استعملت أحفورة جلاسابتروس من قبل العالم فاجنر لدعم فرضيته "انجراف القارات". اطلب إلى الطلبة أن يبحثوا متى ظهرت النباتات البذرية أول مرة على الأرض، وشجعهم على وصف كيف تختلف النباتات البذرية القديمة عن مثيلاتها الحديثة. كلّف طالبًا أن يوضح لبقية زملاء الصف دورة حياة نبات بذري.

1-1

انجراف القارات
Drifting Continents

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

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 قبل الانفصال

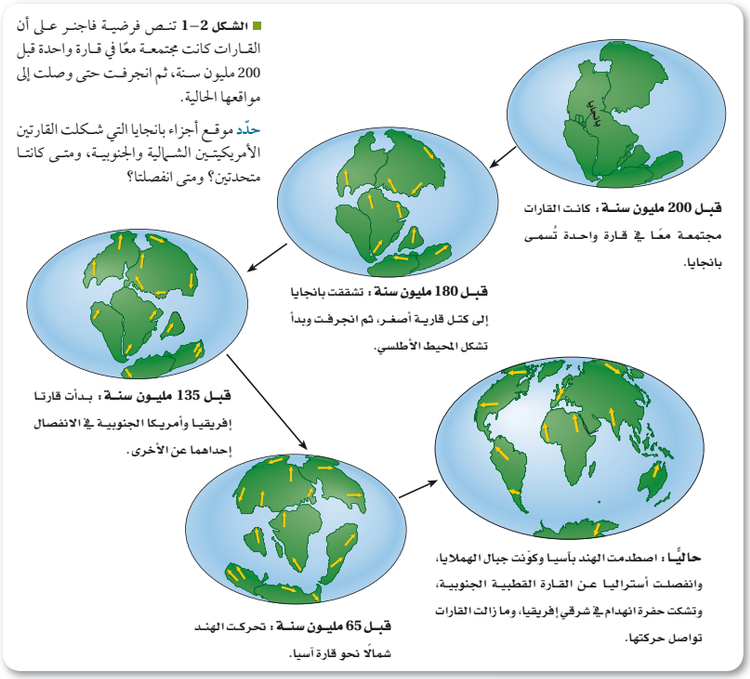
القارات بعد الانفصال

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

الانجراف القاري Continental Drift

طوّر العالم فاجنر فكرة تُسمى **الانجراف القاري continental drift**، مفادها أن القارات كانت مجتمعة معًا في قارة واحدة ضخمة (القارة الأم أو الأصل) أُطلق عليها **بانجايا Pangaea**، وهي كلمة من أصل إغريقي تعني جميع اليابسة، واقترح أن هذه القارة بدأت في الانقسام قبل 200 مليون سنة، 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؟

المفاهيم الشائعة غير الصحيحة

قد يظن بعض الطلبة أن أشكال حواف القارات بقيت كما هي لم تتغير حتى الآن، منذ انفصالها عن قارة بانجايا.

استكشاف المفاهيم الشائعة غير الصحيحة

اطلب إلى الطلبة أن يرسموا شكل قارة إفريقيا مثلاً، عندما بدأ المحيط الأطلسي ينفتح قبل 200 مليون سنة.

عرض المفهوم

ساعد الطلبة – إذا احتاجوا – على تعرّف أشكال قارة إفريقيا في **الشكل 2–1**، واطلب إليهم أن يقارنوها مع رسومهم.

تقويم المعرفة الجديدة

اطلب إلى الطلبة أن يرسموا سلسلة من الرسوم الإفريقيا باستعمال **الشكل 2–1**، وأن يرتبوها من الأقدم إلى الأحدث، ويكتبوا ثلاث أو أربع جمل يصفون فيها التغير العام لشكل القارة خلال 200 مليون سنة.

فسر الرسم

اطلب إلى الطلبة أن يحددوا من **الشكل 2–1** أي القارات تحركت مسافة أكبر، وأيها تحركت مسافة أقل؟ قارة آسيا تحركت أكبر مسافة، والقارة القطبية تحركت أقل مسافة.

■ **إجابة أسئلة الأشكال** الشكل **2–1** كانت القارات متلاصقة معًا قبل 200 مليون سنة، وانفصل بعضها عن بعض في الفترة بين 200 مليون إلى 180 مليون سنة.

طرائق تدريس متنوعة

الطلبة دون المستوى انسخ صورة مكبرة عن **الشكل 2–1** على ورق مقوى، واطلب إلى الطلبة أن يقصوا هذه الورقة للحصول على صورة كل قارة على حدة، وقوّم أداءهم بهذه المهمة، ثم أرشدهم بكيفية إعادة بناء قارة بانجايا باستعمال دليلي الصخور والأحافير على الخريطة.

التعلم التعاوني

تمثيل الأدوار اسأل الطلبة عن شعورهم إذا رُفضت أفكارهم وأعمالهم من قبل أقرانهم، واطلب إليهم أن يمثلوا دور فاجنر في إقناع العلماء الآخرين بصحة فكرته.

تعلم تعاوني

نموذج

سمك القشرة الأرضية اقترح فاجنر أن قارات الأرض تتحرك فوق قاع المحيط كحركة المحراث على الأرض، بينما برهن الفيزيائيون أن القشرة الأرضية هشة جدًّا لكي تقاوم هذا النوع من الحركة. ولكي توضح لماذا تعد قشرة الأرض هشة وفق المقياس الجيولوجي. اطلب إلى الطلبة أن يرسموا مقطعًا لجزء من القشرة الأرضية طوله 6000 km وسمكه 20 km. سيوضح هذا المقطع أن سمك القشرة الأرضية فعليًّا رقيق إذا قورن بأبعاد الأرض الأخرى.

فسر الرسم

الشكل 3–1 لماذا لا توجد أحافير جلاسابتروس في أمريكا الشمالية وأوروبا؟ من المحتمل أنها كانت مناطق باردة جدًّا لا تسمح بوجود السرخسيات فيها.

■ **إجابة أسئلة الأشكال. الشكل 3–1** تطابق كل من الصخور والسلاسل الجبلية والنباتات وكل نوع من الحيوانات من قارة لأخرى.

دعم المحتوى

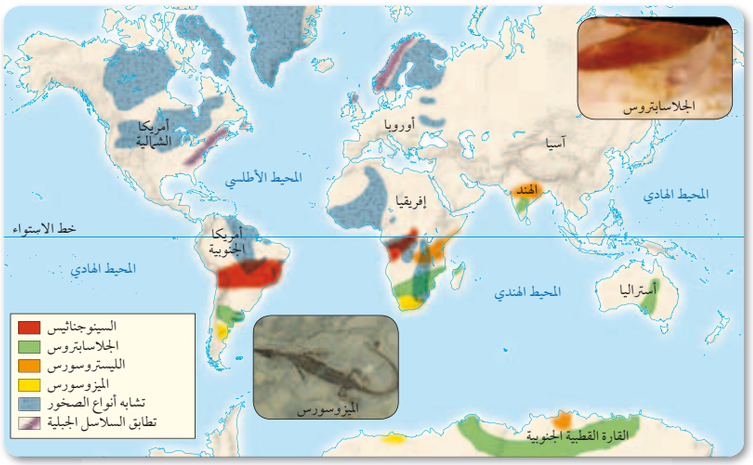
العالم ألفرد فاجنر كانت مؤهلات فاجنر العلمية وخبراته بصورة رئيسية في الأرصاد الجوية، إلا أنه درس أيضًا علوم الجيولوجيا والجيوفيزياء والجغرافيا. نشر العالم فاجنر كتابًا بعنوان "أصول القارات والمحيطات"، في طبعته الأولى عام 1915م، وأعيد طباعته أربع مرات في الفترة بين 1915 و 1929م. وقد تضمنت كل طبعة بيانات ومعلومات جديدة، نتيجة جهوده في الرد على الانتقادات التي كان يواجهها من المجتمع العلمي حول نظريته.

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.



الربط مع العلوم الأخرى

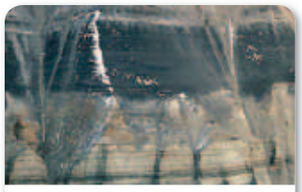
الكيمياء اطلب إلى الطلبة أن يبحثوا في التغيرات الفيزيائية والكيميائية لتشكل الفحم الحجري، واقترح عليهم أن يعرضوا نتائجهم في صورة ملصقات جدارية.

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 جدًا 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 جدًا 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 رجّح 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.

دفتر الجيولوجيا

قصة إخبارية اطلب إلى الطلبة أن يكتبوا أحداث قصة يعلنون فيها اكتشاف العالم فاجنر فكرة انجراف القارات. ينبغي أن تكون القصص قصيرة وعنوانها مثيرًا، وتتضمن اقتباسات من ناقدي فاجنر. ض م

إجابة أسئلة الأشكال الشكل **4–1** كان مناخ القارة القطبية الجنوبية أدفأ كثيرًا من مناخها الحالي، فلا بد أنها انتقلت من موقعها الذي كان قريبًا من خط الاستواء.

ماذا قرأت؟ الخلفية العلمية لفاجنر كانت في الأرصاد الجوية جعلته واعيًا على أدلة المناخات القديمة، ومعرفة دوائر العرض التي توجد عندها هذه المناخات.

التعزيز

سرعة الصفيحة الأرضية. قد يظن بعض الطلبة أن حركة القارات حركة بطيئة جدًّا إلى درجة لا يمكن قياسها، وهذا يعني أنها غير مقيسة. كلف بعض الطلبة أن يرسموا خطًّا على الخريطة يبين المسافة التي قد تتحركها القارة في سنة. بيّن للطلبة أن معدل حركة القارات يتراوح بين 1 cm /y إلى 10 cm /y، واطلب إليهم أن يحسبوا المسافة التي ستتحركها قارة في 50 مليون سنة إذا كان معدل حركتها 3 cm /y. 150 cm أو 1.5 m.

3. التقويم

التحقق من الفهم

المناقشة الفرضية التي كانت تنافس فكرة انجراف القارات لفاجنر هي أن قارات الأرض كانت متصلة معًا بوساطة ألسنة من اليابسة. اطرح السؤال الآتي: ما الدليل الذي استعمله فاجنر ويتوافق مع احتمالية وجود جسور من اليابسة بين القارات؟ وما الدليل الذي لا يتوافق؟ البيانات البيولوجية والأحافير تدعم فرضية احتمالية وجود جسور من اليابسة، بينما بيانات المناخ والصخور لا تدعم هذه الفرضية.

إعادة التدريس

لاحظ واستنتج اطلب إلى الطلبة أن يلخصوا الأدلة الصخرية والأحفورية والرسوبيات الجليدية التي استعملتها فاجنر لدعم فرضية انجراف القارات، بالرجوع إلى **الأشكال 1-3، 1-4، 1-5**.

التقويم

بناء الجداول واستعمالها اطلب إلى كل طالب بناء جدول يلخص الأدلة المختلفة التي استعملها فاجنر في دعم فرضية انجراف القارات.

الشكل 1-6 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.

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 1-6** 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.

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 1-5**، 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.

التقويم 1-1

1. . ينبغي أن يشبه الرسم الشكل الأول في **الشكل 2-1**
2. لا تتشكل الرسوبيات الجليدية الموجودة في إفريقيا والهند وأستراليا ضمن دوائر العرض الحالية، فهي إما أن القطب الجنوبي قد تحرك، أو أن هذه القارات كانت مجتمعة معًا في موقع قريب من القطب الجنوبي.
3. تتطابق طبقات الصخور والسلاسل الجبلية من قارة لأخرى، كما يمكن الربط بين أحافير اليابسة المتشابهة من حيوانات ونباتات بين القارات، أما دليل المناخ؛ حيث وجدت رسوبيات في مناطق لا يمكن أن تتشكل في دوائر العرض الحالية لهذه المناطق، وأفضل تفسير لذلك هو أن القارات كانت مجتمعة في موقع يختلف كثيرًا عن موقعها الحالي.
4. معظم أمريكا الشمالية القديمة كانت عند خط الاستواء، أو قليلاً نحو الشمال، حيث كان المناخ استوائيًا ودافئًا ورطبًا.
5. في غرب إفريقيا.
6. جملة غير صحيحة لأن دوائر العرض وخطوط الطول للمناطق قد تغيّرت عبر الزمن الجيولوجي عدة مرات بسبب حركة الصفائح.

الكتابة في الجيولوجيا

7. ينبغي أن تشير الرسالة إلى حقيقة أن فاجنر ليس لديه تفسير مناسب لكيفية حركة القارات.

1-2

1. التركيز

الفكرة الرئيسة

عمر قاع المحيط تتوقع فرضية توسع قاع المحيط كيف يختلف عمر قاع المحيط كلما ابتعدنا عن ظهر المحيط؛ إذ يزداد عمر كل من القشرة الأرضية وسمك الرسوبيات المتراكمة كلما ابتعدنا عن ظهر المحيط. ما الذي يمكن قياسه لاختبار هذه الفرضية؟ أعمار الصخور، وقياس سمك الرسوبيات والتدفق الحراري للقشرة المحيطية.

2. التدريس

النموذج

الانقلابات المغناطيسية اطلب إلى الطلبة أن ينمذجوا توسع قاع المحيط والأنماط المغناطيسية لصخور قاع المحيط باستعمال المواد والأدوات الآتية: أشرطة ورقية طويلة وكتب وطاولتين، وفق الخطوات الآتية: ادفع الطاولتين إحداهما نحو الأخرى، واسحب جزءًا من الشريطين الورقيين بين الطاولتين، وافردهما على الطاولتين، وثبتهما بالكتب. اسحب الشريطين الورقيين من بين الطاولتين بسحب الكتب بعيدًا عن الحد الفاصل بين الطاولتين. توقف عن سحب الكتب كل عدة سنتمترات، ولوّن الأحزمة على جانبي الحد الفاصل بين الطاولتين (الذي يمثل محور ظهر المحيط). تمثل الأحزمة الملونة الأنماط المغناطيسية لصخور قاع المحيط، حيث تكون أحدث الصخور في الأحزمة هي الأقرب إلى "محور ظهر المحيط". د م

الربط مع المعرفة السابقة

دليل التوسع اقرأ عن طبوغرافية قاع المحيط من أحد المراجع، ووضح أن جميع معالم قاع المحيط كالأخاديد والجبال البحرية وظهور المحيطات تعد دليلاً على توسع قاع المحيط.

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 الرئيسة **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 مستوٍ، 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.

الربط مع العلوم الأخرى

رياضيات اطلب إلى الطلبة أن يتخيلوا أنهم وقوف على قاع المحيط بالقرب من أخدود مريانا، وأن أحدهم أسقط حجرًا فيه. اطلب إليهم أن يحسبوا الوقت الذي سيستغرقه الحجر ليصل إلى قاع الأخدود إذا كانت سرعته في الماء 3 m/s. ساعة تقريبًا. إذا كانت الغواصات تغوص بسرعة 15 m/min، اطلب إلى الطلبة أن يحسبوا كم تستغرق الغواصة لتصل إلى قاع الأخدود. 12 ساعة تقريبًا.

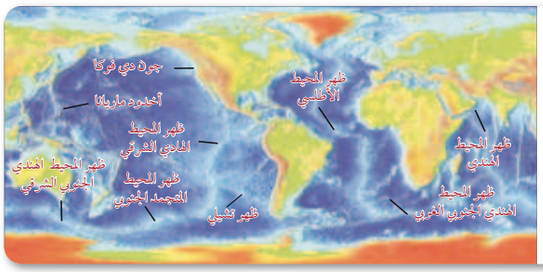
استعمل المصطلحات العلمية

قديم palae اطلب إلى الطلبة أن يستخدموا القاموس لمعرفة معنى المقطع palae الذي يرد في المصطلحات مثل palaemagnetism الذي يعني المغناطيسية القديمة لمعرفة ما تعنيه المصطلحات التي تتضمن هذا المقطع بلغتهم الخاصة.

ماذا قرأت؟ توجد على امتداد ظهور المحيطات.

دعم المحتوى

تأثير الحرب ترتبط مفاهيم توسع قاع المحيط وحركة الصفائح بحرب الغواصات في الحرب العالمية الثانية؛ إذ شجعت الحاجة الملحة للحرب فترات التقدم التقني السريع، واستعمال العلماء الفوري للتقنية العسكرية في المشاريع السلمية. وقد طورت تقنية السونار في أثناء الحرب العالمية الثانية؛ لأن سائقي الغواصات يحتاجون إلى خرائط تفصيلية للإبحار تحت الماء. وعادة يتم سحب ماجنيتومتر خلف السفينة للكشف عن المجالات المغناطيسية الناشئة عن الهيكل الصلب للغواصة، لكن العلماء عدّلوا أجهزة الماجنيتومتر هذه لقياس شدة المجال المغناطيسي لصخور قاع المحيط، وقد أدى ذلك إلى اكتشاف الأنماط المغناطيسية لصخور قاع المحيط التي تعد الدليل الرئيس لنظرية توسع 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.

عرض عملي

المجال المغناطيسي. استعمل القضيب المغناطيسي وبرادة الحديد وجهاز عرض الشفافيات لنمذجة خطوط المجال المغناطيسي للأرض. ضع القضيب المغناطيسي أسفل الشفافية، وانثر برداة الحديد فوق الشفافية، واطلب إلى الطلبة أن يصفوا خطوط القوة المغناطيسية، ووضح لهم أن خطوط القوة للمجال المغناطيسي للأرض تشبه الخطوط التي تحيط بالقضيب المغناطيسي، ثم أشر إلى أن تجمع برادة الحديد حول قطبي القضيب المغناطيسي يدل على أن شدة المجال المغناطيسي عندهما أكبر ما يمكن.

صخور ورسوبيات المحيطات
Ocean Rock and Sediments

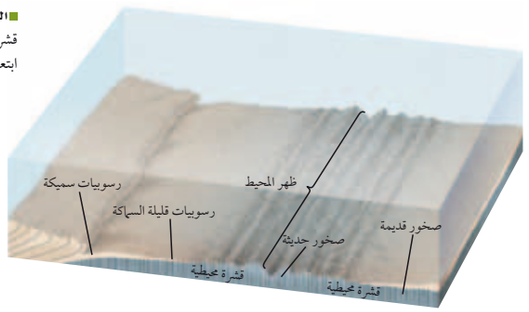
لم يكتفِ العلماء برسم خرائط لقاع المحيط، بل قاموا بجمع عينات من صخور قاع المحيط ورسوبياته وحلّلوها، وتوصلوا إلى اكتشافات مهمة، منها **الاكتشاف الأول**: اختلاف أعمار الصخور عبر قاع المحيط وفق نمط معين يمكن توقعه، حيث تزداد أعمار صخور القشرة المحيطية كلما ابتعدنا عن ظهر المحيط نحو القارات، وبصورة متناظرة 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 الأرضية الجيولوجيون البحريون.



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

طرائق تدريس متنوعة

الطلبة ذوو المستوى المتقدم شجع الطلبة على البحث عن إجابات الأسئلة الآتية: هل موقع القطب الشمالي المغناطيسي للأرض هو نفسه موقع القطب الشمالي الجغرافي؟ لا. كيف يؤثر هذا في دقة البوصلات في إشارتها إلى اتجاه القطب الشمالي الجغرافي؟ تشير إبرة البوصلة إلى القطب المغناطيسي؛ فعندما تتحرك شرقًا أو غربًا عن الخط الذي يمر بكل من القطبين المغناطيسي والجغرافي الشماليين تتغير دقة البوصلة، وسيكون هناك فرق في الاتجاهين (الزاوية المحصورة بين اتجاه القطب الشمالي الجغرافي واتجاه القطب الشمالي المغناطيسي)، ويسمى هذا الفرق الانحراف المغناطيسي، حيث يتم إعداد خرائط لخطوط تساوي الانحراف المغناطيسي. اطلب إليهم رسم مخطط يبين اتجاه سهم البوصلة عندما تكون البوصلة عند القطب الشمالي الجغرافي.

استعمل المصطلحات العلمية

البادئات اطلب إلى الطلبة أن يعدوا قائمة بالمصطلحات العلمية باللغة الإنجليزية التي تبدأ بالمقطع iso الذي يعني متساوي. ومن المصطلحات التي تتضمن البادئة iso؛ isopach, isotope, isostatic. اطلب إلى الطلبة أن يبحثوا في معاني هذه المصطلحات.

إثراء

رسوبيات رسوبيات البحر العميق دقيقة جدًّا، وتتراكم ببطء. اطرح على الطلبة السؤال الآتي: ما مصدر هذه الرسوبيات؟ يشكل كل من غبار الغلاف الجوي وأصداف العوالق البحرية رسوبيات البحر العميق، فضلاً عن الرسوبيات التي تنتقل عبر الدورة البحرية من المنحدر القاري إلى أواسط المحيطات.

التعزيز

رسوبيات البحر العميق اطرح على الطلبة السؤال الآتي: أين تتوقع أن يكون سمك الرسوبيات أكبر ما يمكن في المحيط؟

a. بالقرب من ظهر المحيط.

b. بالقرب من الشاطئ.

c. على قمم الجبال البحرية.

d. بالقرب من الأخاديد البحرية.

الاجابة d. أكبر سمك لرسوبيات البحر العميق يكون بالقرب من الأخاديد البحرية.

فسر الرسم

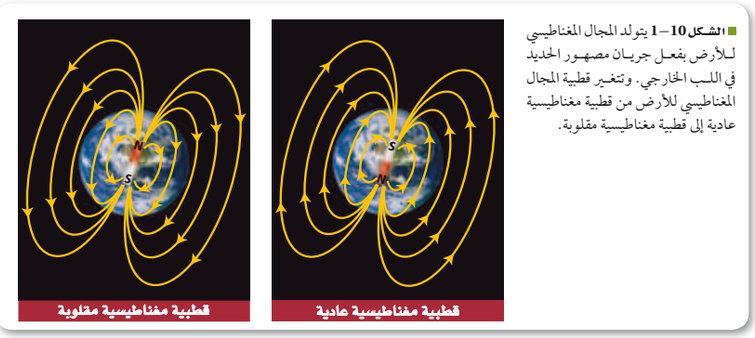
الشكل 9–1. استعمل الشكل لتشجيع الطلبة على وضع فرضية حول: ما السبب في تغير سمك الرسوبيات المبينة في الشكل. أكبر سمك لرسوبيات المحيط يكون بالقرب من الأخاديد البحرية لأنها تكون أقرب إلى مصدر الرسوبيات من المواقع التي تقع بالقرب من ظهر المحيط الذي غالباً يوجد وسط المحيطات.

فسر الرسم

الشكل 11–1 اطلب إلى الطلبة أن يستخدموا الشكل للإجابة عن السؤالين الآتيين: ما اسم الحين الحالي؟ حين برونش العادي. ما عدد المرات التي حدث فيها تغير لقطبية المجال المغناطيسي للأرض خلال حين جلبرت المقلوب؟ ثماني مرات.

دعم المحتوى

المجال الأرض المغناطيسي ينشأ المجال المغناطيسي للأرض بصورة رئيسية عن مصادر داخلية. أكثر النظريات قبولاً وانتشارًا هي التي تتحدث عن وجود مولد جيوكهربائي في لب الأرض، الذي يُعتقد أنه يتكون من عناصر موصلة للكهرباء النيكل Ni والحديد Fe. تفترض هذه الفرضية أن حركة الموائع في اللب تولد مجالاً كهربائيًّا، والذي بدوره يكون مجالاً مغناطيسيًّا يمكن الكشف عنه على السطح. تنشأ حركة الموائع هذه بوساطة كل من التسخين الحراري الناجم عن الاضمحلال الإشعاعي والحرارة التي تنتج بفعل تجمد السائل في اللب الخارجي عكس ما يحدث في اللب الداخلي الصلب؛ إذ يؤدي صعود تيارات الحمل إلى أعلى إلى انحرافها بفعل تأثير كوريوليس، فينشأ بذلك مجال مغناطيسي.



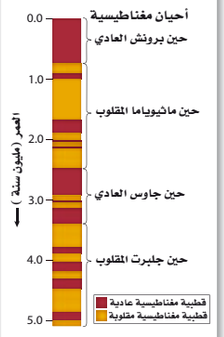
الشكل 10–1 يتولد المجال المغناطيسي للأرض بفعل جريان مصهور الحديد في اللب الخارجي. وتتغير قطبية المجال المغناطيسي للأرض من قطبية مغناطيسية عادية إلى قطبية مغناطيسية مقلوبة.

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 تحفظ 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.

في الميدان

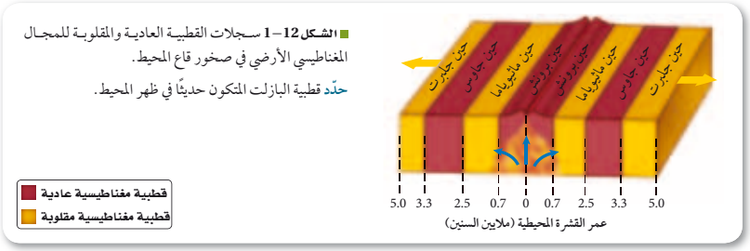
أقواس الجزر والخطوط المغناطيسية

أدت دراسة الياباني سايا أويدا لأقواس الجزر، إلى اكتشاف أشرطة مغناطيسية في صخور قاع المحيط الهادي. يثبت هذا الاكتشاف أن بعض المواقع من قاع المحيط الهادي منذ نشوئه خضع لحركة رئيسية نحو الشمال. كما ساعد أويدا على تطوير نظرية توضح أصول حركة الصفائح.

طرائق تدريس متنوعة

الطلبة ذوو الاحتياجات الخاصة البصرية

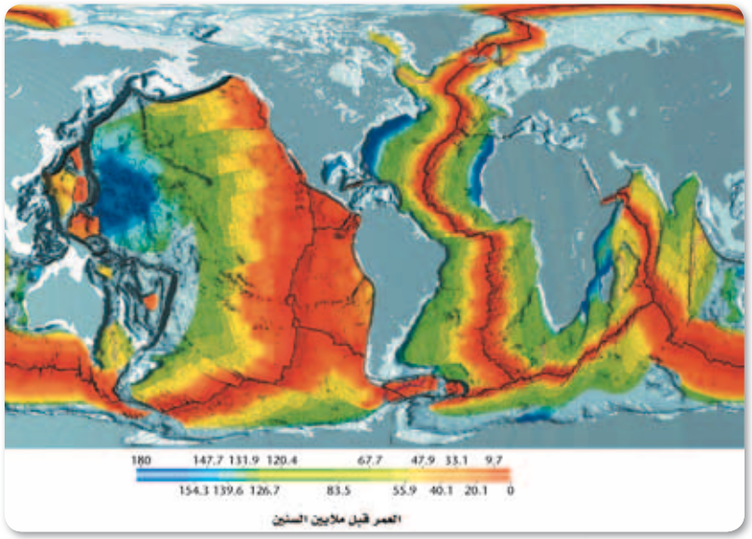
وفر نسخة مكبرة عن **الشكل 11–1** للطلبة الذين يعانون من إعاقة بصرية، لمساعدتهم على استيعاب الأشرطة المغناطيسية المتناظرة على جانبي ظهر المحيط. أضف خطوطًا سوداء على المخطط في الشكل لإظهار الأعمار المختلفة للقشرة المحيطية، مما يزيد من فاعلية المخطط في تعلم هؤلاء الطلبة. ض م



■ **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؟

دفتر الجيولوجيا

بعثة استكشافية استغرق اكتشاف ظهور المحيطات وتوسع قاع المحيط زمنًا طويلاً؛ بسبب صعوبة إعداد خريطة لقاع المحيط. اطلب إلى الطلبة أن يكتبوا مقالاً في دفتر الجيولوجيا يصفون فيه يومًا وهم على ظهر سفينة في وسط المحيط، والتحديات التي يواجهونها. ينبغي أن يتعرف الطلبة قلة الموارد (الأدوات) والعواصف وعمق المحيط والعزلة عن المدينة. **ض م**

دعم المحتوى

التأريخ بالأشجار dendrochronology. وهو دراسة حلقات الشجرة لتحديد عمرها. (يتكون المصطلح dendrochronology من مقطعين: المقطع dendro ويعني شجرة، والمقطع chrono ويعني الزمن). وهو يشبه دراسة أشرطة قاع المحيط المغناطيسية. تعد حلقات الشجرة دليلاً على نمو الشجرة؛ فهي تنمو تحت ظروف معينة في كل سنة؛ إذ يكون سمك الحلقات متساويًا في السنوات ذات الظروف الجيدة، وبواقع حلقة واحدة كل سنة، بينما تسجل الأشرطة المغناطيسية نمو قاع المحيط، لكن في فترات زمنية غير منتظمة؛ إذ يعتمد عرض الشريط على معدل النشاط الناري الذي يحدث في أنطقة حفر الانهدام، وعلى معدل انقلاب المجال المغناطيسي. ولا يعتمد حدوث الانقلاب المغناطيسي غير الشائع، على الأنشطة البركانية المتكررة؛ إلا إن البراكين تحتفظ بسجل للانقلابات المغناطيسية إذا تزامن حدوثها مع حدوث البراكين. لذا من المحتمل ألا نحصل على سجل للانقلاب المغناطيسي إذا لم تحدث أنشطة بركانية في وقت حدوثه.

فسر الرسم

الشكل 13–1 اطلب إلى الطلبة أن يستخدموا الخريطة في هذا الشكل للإجابة عن السؤالين الآتيين: أين تقع الأجزاء الأقدم لقشرة المحيط في الخريطة؟ في الشمال الغربي في المحيط الهادي. لماذا يعد قاع المحيط في غرب أمريكا الجنوبية حديث العمر نسبيًّا على رغم أنه قريب من أخدود بيرو تشيلي؟ قاع المحيط في غرب أمريكا الجنوبية حديث العمر نسبيًّا لأن منطقة أخدود بيرو تشيلي هي نطاق طرح ليس بعيدًا عن ظهر المحيط.

■ **إجابة أسئلة الأشكال الشكل 12–1** قطبية عادية.

■ **إجابة أسئلة الأشكال الشكل 13–1** النمط متماثل، أي متساوٍ على جانبي ظهر محيط.

توسع قاع المحيط

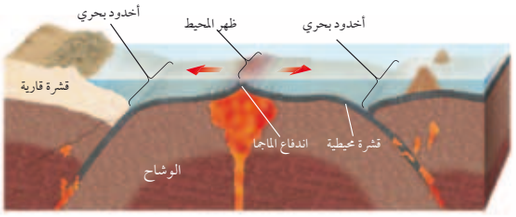
الهدف

يكتشف الطلبة آلية توسع قاع المحيط.

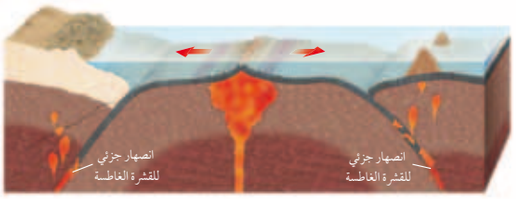
دعم المحتوى

البقع الساخنة يعتقد الجيولوجيون أن سلسلة من البقع الساخنة في الوشاح هي المسؤولة عن انقسام القشرة الأرضية إلى صفائح. تشكل البقعة الساخنة مصدر قوة ناجمة عن صعود الماجما في الوشاح. ويمكن وصف البقعة الساخنة بأنها مصدر نقطي يؤدي إلى تقبب القشرة الأرضية إلى أعلى، ومن ثم تشقق القشرة إلى ثلاثة اتجاهات "أذرع"، بين كل ذراعين 120° تقريبًا، وتتوسع كما في الحدود المتباعدة، وتعد اثنتان من هذه الأذرع أكثر نشاطًا من الذراع الثالثة، وهي ذراع غير نشطة، يطلق عليها الذراع الفاشلة. ومثال حديث على هذا النشاط التكتوني المنطقة المحيطة بقرن إفريقيا؛ إذ تمثل مرتفعات الحبشة القبة. بينما يمثل البحر الأحمر وخليج عدن الذراعين النشيطتين، أما حفرة الانهدام الإفريقية الشرقية فتمثل الذراع الفاشلة. عندما توجد بقع ساخنة أسفل قارة وتتشكل مثل هذه المعالم قريبًا بعضها من بعض فإن الذراعين النشيطتين تتحدان معًا لتكوين فاصل تباعدي نشط يمتد على طول القارة يؤدي إلى انقسامها إلى جزأين، وقد تمتلئ هاتان الذراعان النشيطتان بماء البحر تدريجيًا، ويصبحان بحرًا جديدًا يمتد طوليًا. ويعتقد أن نظام ظهر المحيط يتكون من عدد كبير من الأذرع النشطة متصلة معًا. إلا أن سبب الموقع الذي تتخذه البقع الساخنة ما زال مجهولاً؛ حيث هناك العديد من البقع الساخنة بصورة منفردة ومعزولة وغير متصلة بعضها مع بعض أسفل قاع المحيط الهادي.

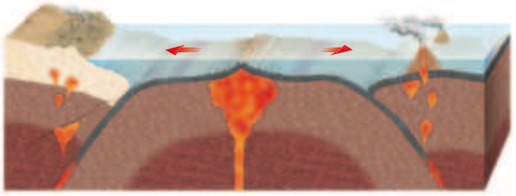
الشكل 14–1 قادت بيانات تضاريس قاع المحيط ورسوبياته ومغناطيسيته القديمة العلماء إلى اقتراح فرضية توسع قاع المحيط. وتوسُّع قاع المحيط عملية تتشكل من خلالها قشرة محيطية جديدة عند ظهور المحيطات، ثم تتحرك هذه القشرة ببطء بعيدًا عن مركز التوسع حتى تُطرح ويعاد تدويرها عند الأخاديد البحرية.



تندفع الماجما إلى قاع المحيط من خلال الفراغات التي تشكلت على امتداد سلسلة ظهر المحيط، وتتصلّب مشكّلةً 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.

الربط مع العلوم الأخرى

التاريخ والفيزياء لولا الدراسة التي قام بها مايكل فارادي وكلارك ماكسويل في بداية القرن الثامن عشر والفيزيائيون فيما بعد عن العلاقة بين المغناطيسية والكهربائية لما تمكن الجيوفيزيائيون اليوم من فهم الأشرطة المغناطيسية لصخور قاع المحيط. تعد الأشرطة المغناطيسية الدليل الرئيس على فرضية توسع قاع المحيط، وإحدى الآليات المحركة للصفائح الأرضية. أثبتت الصفائح الأرضية بدورها أنها العامل الرئيس لتفسير التغيرات في توزيع (أو في عزل) النباتات والحيوانات على القارات.

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 تدفق 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.

3. التقويم

التحقق من الفهم

منظم تخطيطي اطلب إلى الطلبة أن يعدوا خريطة مفاهيمية لتلخيص أفكار الدرس مستعينين بعناوينه. كما يمكن تزويدهم بعناوين ومعلومات مرتبطة معها، واطلب إلى كل طالب أن ينظم النصوص في صورة خريطة مفاهيمية.

إعادة التدريس

صِفْ وضح أن عملية توسع قاع المحيط تشبه حركة الحزام الناقل عند مخرج محلات (السوبرماركت).

التقويم

المعرفة اطلب إلى الطلبة أن يتخيلوا أنفسهم علماء محيطات يدرسون عينات صخرية اسطونية لقاع المحيط. العينة 1 أخذت بالقرب من أخدود بحري، والعينة 2 أخذت بالقرب من ظهر محيط، واطلب إليهم أن يصفوا الفروق التي يتوقعون أن يلاحظوها بين العينتين. إجابة محتملة؛ العينة 1 أقدم من العينة 2 وقد تكون تختلف في قطبيتها، كما أن سمك الرسوبيات في المنطقة التي أخذت منها العينة 1 أكبر.

التقويم 2-1

1. لأنه في أثناء عملية توسع قاع المحيط عند ظهر المحيط تُضاف قشرة محيطية جديدة، كما يؤدي استمرار خروج الماجما إلى حركة قاع المحيط (القشرة الجديدة) نحو أطراف الصفيحة المحيطية التي تُسحب –في النهاية– لتعود إلى الماجما في الأسفل.
2. تعد صخور القشرة المحيطية حديثة من الناحية الجيولوجية؛ إذ يقل عمرها في اتجاه ظهور المحيط، مما يعني أن هناك آلية لنشأتها وإعادة تدويرها. أما رسوبيات قاع المحيط فيزداد سمكها كلما ابتعدنا عن ظهر المحيط، مما يدل أن صخور ظهر المحيط ينبغي أن تكون أحدث عمرًا مقارنة بالصخور البعيدة عند الأطراف.
3. اتجاه المجال المغناطيسي لصخور القطبية العادية هو نفسه اتجاه المجال المغناطيسي الحالي للأرض، أما اتجاه المجال المغناطيسي لصخور القطبية المقلوبة فهو معاكس لاتجاه المجال المغناطيسي الحالي للأرض.
4. لها أخاديد عميقة وظهور مرتفعة؛ وتعد ظهور المحيطات أطول سلسلة جبلية على سطح الأرض. وبالابتعاد عن ظهور المحيطات، حيث تكون معظم قيعان المحيطات مغطاة برسوبيات، وقمم من الجبال البحرية قد جرى تعريتها.
5. توضح خريطة خطوط تساوي العمر المغناطيسية التي جرى تسجيلها في أثناء تبريد اللابة، كما تظهر وجود أنماط متماثلة على جانبي ظهور المحيطات؛ تدل على أن جانبي ظهر المحيط قد يكونان في فترة زمنية واحدة.
6. لأن المحيط الهادي يتوسع بمعدل أكبر من توسع المحيط الأطلسي تقريبا (8 cm /y).

الرياضيات في الجيولوجيا

7. 70 % ؛ فالمدة الزمنية للقطبية العادية (حين برونش + حين جاوس) = 1.5 مليون سنة، وبطرح هذه القيمة من 5 ملايين سنة نحصل على 3.5 ملايين سنة، وهي مدة القطبية المقلوبة، وبقسمة 3.5 على 5 وضرب ناتج القسمة في 100 % نحصل على 70 %.

1-3

1. التركيز

الفكرة الرئيسة

حدود الصفائح معظم الأنشطة الجيولوجية يمكن تفسيرها بحركة الصفائح (الصفائح التكتونية). قارن بين مدن كبرى من حيث موقعها على حدود الصفائح. ما المدن الكبرى في الجزيرة العربية، تقع بالقرب من حدود الصفائح؟ جدة ومكة المكرمة والمدينة المنورة. اطلب إلى الطلبة أن يتعرفوا المعالم الجيولوجية، ومنها السلاسل الجبلية أو البراكين أو غيرها، المرتبطة بحدود الصفائح. البحر الأحمر وخليج عدن والصخور البركانية في مكة المكرمة والمدينة والمنورة.

القوى المحركة ما نوع حدود الصفائح التي سوف تتشكل فوق تيار صاعد في الوشاح؟ حدود متباعدة. ما نوع حدود الصفائح التي سوف تتشكل فوق تيار هابط في الوشاح؟ حدود متقاربة. اطلب إلى الطلبة أن يفكروا في سبب وجود حمل حراري في الوشاح؟ وما سبب صعود المادة في الوشاح وهبوطها؟ لاختلاف الكثافة؛ إذ تطفو مادة الوشاح الساخنة فتصعد إلى أعلى بينما تغوص الباردة إلى أسفل. اطلب إلى الطلبة أن يتوقعوا أين تكون الماجما أسخن ما يمكن؟ أسفل ظهور المحيطات.

2. التدريس

الربط مع المعرفة السابقة

ربط النظريات اطرح السؤال الآتي الذي يربط بين نظريتي توسع قاع المحيط والصفائح الأرضية: كيف تتحرك الصفائح الأرضية عند ظهور المحيطات وفق نظرية توسع قاع المحيط؟ يعد ظهر المحيط حدًّا صفائحيًّا؛ إذ تتحرك عنده الصفائح مبتعدًا بعضها عن بعض.

فسر الرسم

الشكل 16–1. اطرح السؤالين الآتيين: ما أنوع حدود الصفائح المحيطة بالجزيرة العربية؟ حدود متباعدة في جهة الغرب والجنوب الغربي وحدود جانبية في الشمال الغربي والجنوب الشرقي، وحدود متقاربة في الشمال والشمال الشرقي. هل كل صفيحة أرضية محاطة بجميع أنواع حدود الصفائح؟ نعم؛ فالأرض لا تتوسع؛ فالقشرة الأرضية التي تتشكل عند ظهور المحيطات تُستهلك عند أنطقة الطرح.

الربط مع العلوم الأخرى

التاريخ يعد البحر المتوسط حدًّا متقاربًا بين صفيحتي إفريقيا وأوراسيا. اطلب إلى الطلبة أن يبحثوا عن المعالم الجيولوجية التي تكونت على طول حدود الصفائح، وكيف أثرت هذه المعالم في الثقافة وتاريخ المنطقة. من المعالم التي تكونت جبال الألب والزلازل والبراكين. من بين الأحداث التي تأثرت بالزلازل والبراكين في المنطقة الأحداث التاريخية وفن العمارة المحلي، وإثارة الخرافات والأساطير وتدمير المدن.

1-3

حدود الصفائح وسبب حركتها
Plate Boundaries and Causes for motion

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

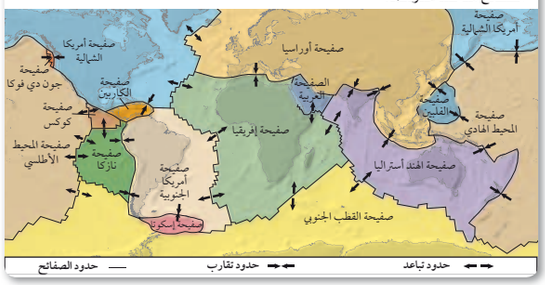
الفكرة الرئيسية **تتكون كل من البراكين، والجبال، والأخاديد البحرية بين حدود الصفائح وتؤدي تيارات الحمل في الوشاح إلى حركة الصفائح الأرضية.**

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 الناتجة 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 حدودها.



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 ورقين** 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؟

تجربة

الهدف ينمذج الطلبة تشكل المحيط الأطلسي الجنوبي خلال 150 مليون سنة.

المهارات العلمية عمل نماذج، القياس باستعمال الوحدات المعيارية SI.

احتياطات السلامة اطلب إلى الطلبة الإطلاع على تعليمات السلامة في المختبر قبل بدء التجربة 6 وذكرهم بضرورة التعامل مع المقصات بحذر.

استراتيجيات التدريس

إذا كان الوقت المتاح محدودًا فزوّد الطلبة بنماذج ورقية لقارتي إفريقيا وأمريكا الجنوبية.

النتائج المتوقعة تزداد المسافة بمقدار 1200 km كل 30 مليون سنة.

$4\,cm/y \times 30{,}000{,}000\,yr = 4\,cm/y \times 30{,}000{,}000\,y = 120{,}000{,}000\ or\ 1200\,km.$

تساوي المسافة 1200 km على الخريطة 2.4 cm، ويساوي عرض المحيط على الخريطة (النموذج) 12 cm.

التحليل

1. من المحتمل أن يكونا غير متساويين تمامًا.
2. قد تتنوع الإجابات. الجواب الصحيح: معدل توسع قاع المحيط ليس ثابتا.

ماذا قرأت؟ تتكون الزلازل والبراكين بسبب عملية توسع قاع المحيط، وبسبب حركة الماجما في موقع قريب في قشرة المحيط.

طرائق تدريس متنوعة

الطلبة ذوو الاحتياجات الخاصة البصرية اطلب إلى الطلبة نمذجة أنطقة التقارب المحيطي–القاري؛ كأن يحركوا أصابع اليد اليسرى فوق أصابع اليد اليمنى، فتمثل أصابع اليد اليسرى في هذه الحالة القوس البركاني، بينما تمثل أصابع اليد اليمنى الصفيحة الغاطسة. ويمكن نمذجة بقية أنطقة التقارب بالطريقة نفسها. **د م**

دعم المحتوى

الماجما تمتاز أنطقة الطرح بالأنشطة النارية؛ إذ تتشكل أقواس جزر بركانية أو سلاسل جبلية بركانية عندما تقترب صفيحتان إحداهما من الأخرى. وتتكون الماجما التي تخرج على السطح من امتزاج صهيرَيْ كل من الصفيحة والرسوبيات الغاطسين والماء. فعند عمق يتراوح بين 50 إلى 100 km تأخذ كمية قليلة من البازلت والرسوبيات في الانصهار محررة الماء ومعادن أخرى. يتغير تركيب الماجما فوق القاعدية المتكونة ببطء بوساطة التبلور الجزئي وهضم صخور القشرة الأرضية في أثناء اندفاعها إلى الأعلى. وفي حالة طرح صفيحة محيطية أسفل صفيحة قارية، تصعد الماجما إلى أعلى وتختلط بصخور القارة (جرانيتية)، وتثور على السطح، وغالبا ما تكون مكوناتها أنديزيتية. أما في حالة طرح صفيحة محيطية أسفل صفيحة محيطية فإن الماجما التي تكون بازلتية تثور على السطح، وتتكون من خلال إعادة تدوير البازلت مع تغير طفيف في مكوناتها.

الربط مع المعرفة السابقة

كيمياء الصخور اطرح السؤالين الآتيين لمراجعة بعض خصائص نوعين من القشرة الأرضية: ما العناصر الرئيسية التي توجد في صخري الجرانيت والبازلت؟ الأكسجين والسليكون والحديد والماغنسيوم. ما المسؤول عن اختلاف كثافتي الصخرين؟ صخر البازلت أكبر كثافة لاحتوائه على معادن غنية بالحديد والماغنسيوم ونسبة أقل من السيليكا مقارنة بصخر الجرانيت.

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.

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.

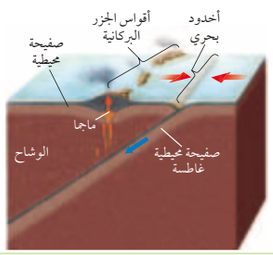
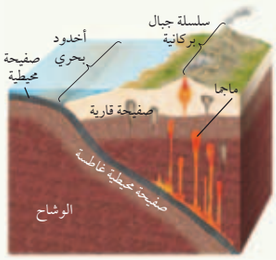
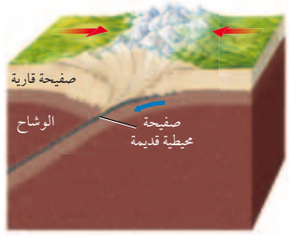
تقارب قاري-قاري Continental-continental يتشكل النوع الثالث من الحدود المتقاربة عندما تصطدم صفيحة قارية بصفيحة قارية أخرى، وتحدث بعد فترة طويلة من انتهاء مرحلة طرح صفيحة محيطية أسفل صفيحة قارية. تذكّر أنه لا توجد في الغالب صفيحة قارية إلا ومعها جزء محيطي، لذا فإنه مع طرح هذا الجزء كاملاً في الوشاح، وبعد مرور فترة من الزمن، فإنه يجر وراءه القارة الملتصقة به إلى نطاق الطرح، فتصطدم الصفيحتان القاريتان معًا بدلاً من غوصها 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**.

دفتر الجيولوجيا

دورة حياة الصخر كلّف الطلبة أن يكتبوا فقرة يصفون فيها دورة حياة صخرة من البازلت تشكلت عند ظهر المحيط، ثم طرحت في الأخدود. يجب أن يبدأ الطلبة بالصخر منذ تصلبه عند ظهر المحيط، حيث يبرد ويزداد عمره في أثناء حركته عبر قاع المحيط، ثم يغطس عند الأخدود ليعود إلى الأرض، وقد ينصهر ويثور مؤخرًا على السطح مكونًا قوس جزر بركانيًّا.

ض م

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 هاجولاك في ألاسكا
تقارب محيطي ـ قاري 	سلسلة جبال الأنديز	بركان أزورذو في تشيلي
تقارب قاري ـ قاري 	سلسلة جبال الهملايا	قمة أما ـ دبلان في نيبال

دعم المحتوى

أنطقة الطرح الأدلة القديمة الآتية تدل على أن أنطقة الطرح هي مواقع لاستهلاك الصفيحة الأرضية؛ الأخاديد البحرية، والعمر الحديث نسبيًّا للقشرة المحيطية ووجود أقواس الجزر البركانية. ومن الأدلة التي تدعم عملية الطرح أن قيمة التدفق الحراري لمنطقة الطرح منخفضة نسبيًّا عن القيمة المتوسطة، التي يعتقد أنها ناتجة عن انخفاض درجة حرارة الصفيحة الغاطسة. كما أن قيمة مجال الجاذبية الأرضية فوق الصفيحة الغاطسة أقل قليلاً من القيمة المتوقعة لوجود قشرة إضافية ناتجة عن تداخل الصفيحتين. لكن الزلازل العميقة تعد من أقوى الأدلة على عملية الطرح؛ فالزلازل التي قيست بالقرب من أخاديد البحر العميق تحدث على عمق يصل إلى 700 km تقريبًا. ولأن مادة الوشاح على هذا العمق ليست هشة (قاسية) بالقدر الذي يجعلها تسبب الزلازل عند كسرها، لذا لا بد أن الزلازل العميقة تحدث في الجزء الصلب من الصفيحة الغاطسة الذي ما زال باردًا.

طرائق تدريس متنوعة

الطلبة ذوو المستوى المتقدم

انقسمت قارة بانجايا في اتجاه شمال-جنوب، وشكلت المحيط الأطلسي. شجع الطلبة على البحث عن أجوبة الأسئلة الآتية: ما نوع تدفق الحمل الحراري الذي تشكل أسفل قارة بانجايا؟ أعمدة أو تيارات صاعدة من الماجما.

كيف تختلف جغرافية الأرض حاليًّا لو كان اتجاه الحمل الحراري في الوشاح يمتد شرق-غرب؟ ستكون إفريقيا وأمريكا الجنوبية ما زالتا مندمجتين معًا ومنفصلتين عن أوربا وأمريكا الشمالية المندمجتين معًا في قارة واحدة. كيف يدعم انقسام قارة بانجايا فرضية أن الحمل الحراري في الوشاح قد تغير مع الزمن؟ انفصال القارات ثم عودتها كما كانت.

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.

المطويات

ضَمّن المعلومات في هذا الدرس في المطوية الخاصة بك.

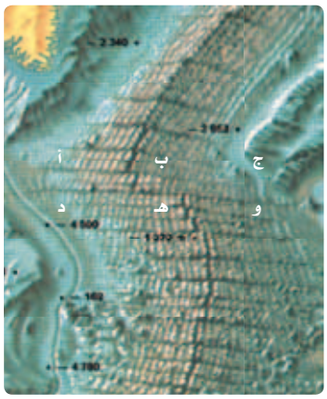
توجد معظم الحدود التحويلية في قاع المحيط؛ حيث تؤدي إلى إزاحة قِطع ظهور المحيطات جانبيًّا، كما ستلاحظ في مختبر حل المشكلات الآتي، ولكن في بعض الحالات تحدث الصدوع التحويلية على القارات.

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.

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 قارتي 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.

مختبر حل المشكلات

الهدف يحدد الطلبة كيف تتحوّل الحركة النسبية للصفيحة الأرضية على طول الحدود التحويلية.

المهارات العلمية تفسير البيانات.

استراتيجيات التدريس

- راجع مع الطلبة عملية توسع قاع المحيط، وساعدهم لكي يستنتجوا أن القشرة الأرضية التي تتشكل عند ظهر المحيط تتحرك مبتعدة عنه.
- اقترح على الطلبة أن يرسموا أسهمًا متعددة وصغيرة على جانبي الصدع، لكي يسهل ملاحظة كيف تتغير الحركة النسبية على طول الصدع.

التحليل

1. ينبغي أن تشير الأسهم إلى أن قاع المحيط يتحرك في اتجاهين متعاكسين على جانبي ظهر المحيط.
2. تكون الحركة في الاتجاه نفسه بين (أ، د) وفي اتجاهين متعاكسين بين (ب، هـ) وفي الاتجاه نفسه بين (ج، و).

التفكير الناقد

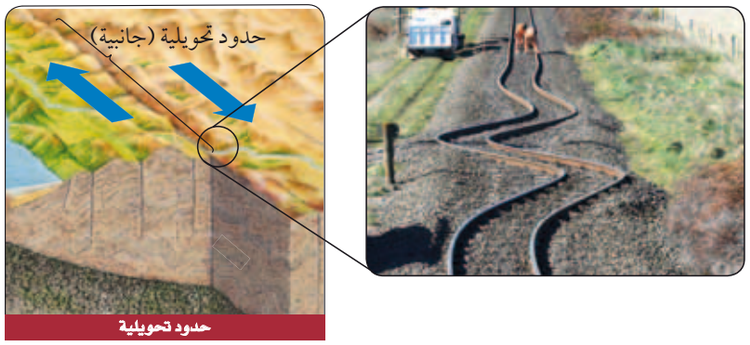
3. (أ) و (د) و (هـ).
4. يعد ظهر المحيط حدًّا صفائحيًّا بين صفيحتين.
5. (ج) و (د).

التعزيز

الحركة النسبية للصدع اطرح السؤال الآتي: هل تمثل مواقع الحروف على الرسم في مختبر حل المشكلات المواقع نفسها التي تحدث عندها الحركة النسبية على طول الصدع كله؟ وضح إجابتك. نطاق كسر جبس (Gibbs) هو صدع تحويلي يوجد عبر الحدود المتباعدة في ظهر المحيط الأطلسي، حيث تتحرك المواقع (أ، د، هـ) مع الصفيحة المبتعدة في اتجاه الغرب، بينما تتحرك المواقع (ب، ج، و) في اتجاه الشرق، ولكن الحركة النسبية تتغير بالنسبة إلى الصدع التحويلي؛ فالمواقع (أ، ب، ج) تتحرك بالنسبة إلى الصدع في اتجاه الغرب، لذا فإن الموقع أ يتحرك مع المعلمين (الصفيحة الأرضية والصدع) في اتجاه الغرب، في حين أن الموقعين (ب، ج) يتحركان مع الصفيحة المبتعدة في اتجاه الشرق ومع الصدع في اتجاه الغرب. أما الموقعان (د، هـ) فيتحركان مع الصفيحة المبتعدة في اتجاه الغرب ومع الصدع في اتجاه الشرق.

المختبر الجيولوجي

يمكن أن يُستعمل المختبر الجيولوجي، الموجود في نهاية الفصل، في هذا الجزء من الدرس.



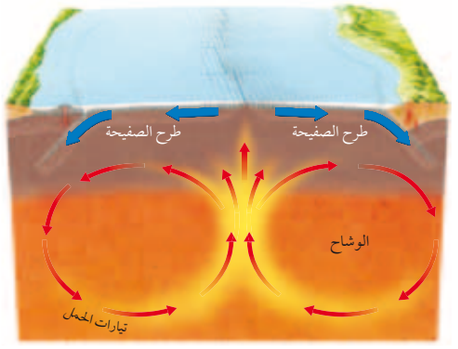
أسباب حركة الصفائح Causes of Plate Motions

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



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.

دفتر الجيولوجيا

الحمل الحراري في الوشاح اطلب إلى الطلبة أن يكتبوا فقرة تتناول؛ لماذا يجد العلماء صعوبة في الإجابة عن الأسئلة المتعلقة بالحمل الحراري في الوشاح. ينبغي أن تتضمن فقرات الطلبة أن الحركة بطيئة جدًّا وتوجد على عمق كبير في الأرض. لذا فإن فهم هذه العملية يعتمد على ملاحظات وأدلة غير مباشرة. **ض م**

دعم المحتوى

القوى التكتونية تتركز القوى المؤثرة في الصفائح الأرضية على حدودها. هناك أربع قوى رئيسية تؤثر في الصفائح الأرضية: قوة سحب الصفيحة، وتؤثر في الصفيحة الغاطسة، وهي ناتجة عن الطفو السلبي للصفيحة الغاطسة الباردة. وهناك قوة تعمل على سحب الصفيحة العلوية وتسمى قوة طرح – شفط، أو قوة أخدود– شفط. وينشأ عن قوتي نطاق الطرح قوة شد في الغلاف الصخري. تؤثر قوة الدفع عند ظهر المحيط في ظهر المحيط، وهي ناتجة عن أن مادة ظهر المحيط أسخن، ومن ثم فهي أقل كثافة، لذا ترتفع إلى أعلى مكونة ظهر المحيط. وتسبب هذه القوة ضغط جانبي الصفيحة المحيطية بالقرب من ظهر المحيط. أما قوة سحب الوشاح فتؤثر في قاعدة الصفيحة المتحركة، ولكنها قوة صغيرة مقارنة ببقية القوى؛ لانخفاض لزوجة الغلاف المائع.

المفاهيم الشائعة غير الصحيحة

قد يظن بعض الطلبة أن الطفو ينتج بسبب سحب المادة الأقل كثافة إلى أعلى، بدلاً من القوة التي تدفع المادة على جانبيها ومن أسفلها

استكشاف المفاهيم الشائعة غير الصحيحة

اطلب إلى الطلبة أن يرسموا مخططًا لكتلة من البوليسترين ترتفع في الماء إلى أعلى، ويبينوا القوى المؤثرة فيها بوضع الشروحات على المخطط باستعمال الأسهم.

عرض المفهوم

وضح كيف يبذل الماء قوة على كتلة البوليسترين لرفعها إلى أعلى باستعمال دلو مملوء نصفه بالماء. اطلب إلى عدد من الطلبة أن يدفعوا كتلة البوليسترين في الماء إلى أسفل ويصفوا مقاومة الماء أو قوة دفع الماء للكتلة إلى أعلى.

تقويم المعرفة الجديدة

اطلب إلى كل طالب أن يرسم مخططًا صحيحًا آخر، يبين القوى المؤثرة في المادة التي تطفو في الماء.

ماذا قرأت؟ قد تتنوع الإجابات. ينتج الحمل الحراري بفعل غوص المادة الأكثر كثافة لتحل محل المادة الأقل كثافة، غير أن الجيولوجيين غير متفقين تمامًا عن مصدر القوة الدافعة في الوشاح.

3. التقويم

التحقق من الفهم

استعمل تفسيرات علمية اطرح الأسئلة الآتية لاختبار استيعاب الطلبة لحدود الصفائح: كيف تتحرك الصفائح عند الحدود المتباعدة؟ مبتعدة. ما نوع الحركة التي تحدث عند الحدود المتقاربة؟ تقترب الصفائح بعضها من بعض. ما نوع الحركة التي تحدث عند الحدود الجانبية؟ تتحرك الصفائح أفقيًّا يحاذي بعضها بعضًا.

استنتج اطرح على الطلبة السؤال الآتي: ما نوع الحمل الحراري الذي تتوقع أن تجده أسفل: الحدود المتقاربة، والحدود المتباعدة؟ يُعتقد أن الأجزاء الصاعدة من تيارات الحمل مرتبطة مع الحدود المتقاربة، في حين أن الأجزاء الهابطة منها توجد أسفل الحدود المتباعدة.

إعادة التدريس

استنتج اعمل نسخة لخريطة العالم أبيض وأسود (غير ملونة) مبينًا فيها حدود الصفائح الأرضية واتجاهات الحركة، واطلب إلى الطلبة أن يستخدموا ثلاثة ألون مختلفة لتمثيل أنواع حدود الصفائح المختلفة.

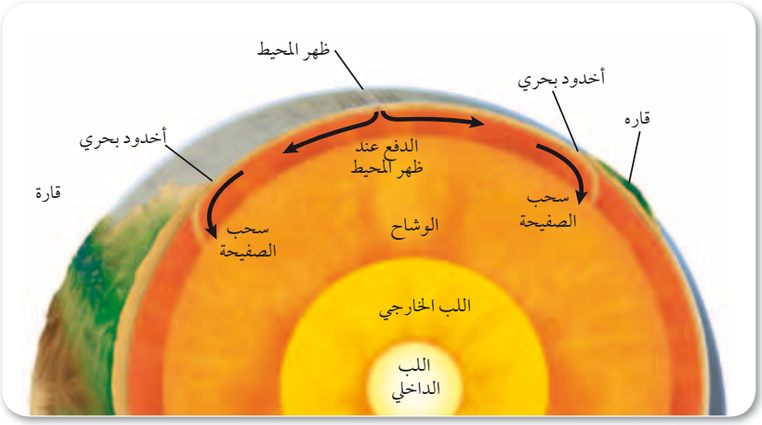
وعلى الرغم من أن تيارات الحمل في الوشاح تيارات ضخمة، قد تمتد إلى آلاف الكيلومترات، إلا أنها تتدفق بمعدلات تصل إلى بضعة سنتمترات في السنة، ويعتقد العلماء أن هذه التيارات تبدأ الحركة بسبب سحب الصفيحة الغاطسة نحو الأسفل في الوشاح.

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.

عرض عملي

الحمل الحراري وضح كيف تتشكل خلايا الحمل الحراري، وكيف تتحرك، باستعمل دورق زجاجي سعته 1000 mL مملوء بالماء تقريبًا، وشمعة وحلقة وقاعدة حامل وصبغة طعام ومكعبات من الثلج. ضع الشمعة أسفل أحد أطراف الدورق، وضع فيه مكعبات ثلج عند الطرف الآخر، ثم ضع قطرة من صبغة الطعام بجانب مكعبات الثلج. سيلاحظ الطلبة أن صبغة الطعام قد غاصت في الماء أسفل مكعبات الثلج نحو القاع، ثم ارتفعت إلى أعلى فوق اللهب. **ض م**

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.

التفكير الناقد استعمل التشابه في حركة بالون الهواء الساخن عبر الهواء إلى أعلى؛ لتفسير صعود المواد بفعل الحمل الحراري. وضح أن كثافة بالون الهواء الساخن القليلة تجعله يرتفع إلى أعلى؛ لأن الهواء المحيط به أبرد وأكثر كثافة منه. وبطريقة متماثلة فإن كثافة المادة الساخنة في الوشاح أقل من كثافة المادة الباردة المحيطة بها، لذا تندفع المادة الساخنة بقوة إلى أعلى من خلال المادة الباردة.

التقويم

الأداء قسِّم الطلبة إلى مجموعات صغيرة، واطلب إليهم أن يستخدموا معجون الأطفال لعمل نموذج مجسم لنوع من الحدود المتقاربة. استعمل سلم التقدير لتقويم أداء عمل المجموعة.

استنتج. اطرح السؤال الآتي: أي العمليتين أكثر تأثيرًا في حفرة الانهدام الإفريقية؛ الدفع عند ظهر المحيط أم سحب الصفيحة؟ لأن حفرة الانهدام عبارة عن حد متباعد لذا فإن العملية الأكثر تأثيرًا هي الدفع عند ظهر المحيط.

التقويم 3-1

1. عندما تصطدم الصفائح بعضها ببعض عند الحدود المتقاربة يتكون العديد من المعالم الجيولوجية، ومنها الجبال والبراكين وأقواس الجزر. أما عندما ينفصل بعضها عن بعض عند الحدود المتباعدة فتتكون ظهور المحيطات وحفر الانهدام وقشرة محيطية جديدة.
2. قبل حدوث عملية تصادم صفيحتين قاريتين تكون إحدى الصفيحتين القاريتين عادة مرتبطة مع صفيحة محيطية. وبعد طرح الصفيحة المحيطية كلها تصطدم الصفيحة القارية المرتبطة معها بصفيحة قارية أخرى، ولأن كلتا الصفيحتين لا تطرحان لذا تتشكل الطيات والتجعدات في منطقة التصادم وترتفع إلى أعلى مكونة سلاسل جبلية ضخمة.
3. تقارب محيطي- محيطي: أخاديد بحرية وأقواس جزر بركانية. تقارب محيطي- قاري: أخاديد بحرية، سلسلة من الجبال البركانية على اليابسة. تقارب قاري- قاري: سلسلة من الجبال الضخمة شديدة الطي.
4. عند ظهور المحيطات.
5. تسبب تيارات الحمل حركة الصفيحة بعيدًا عن ظهر المحيط، ومع استمرار حركة هذه الصفيحة تلتقي بصفائح أخرى في الجانب الآخر؛ فإما أن تُطرح أسفل صفيحة قارية أو أسفل صفيحة محيطية أخرى، أو أن تُطرح صفيحة محيطية أخرى أسفل منها.
6. ينبغي أن يبين النموذج أن قوى الدفع تكون عند ظهر المحيط وقوى السحب عند أنطقة الطرح.
7. يجب أن تجتمع إجابات الطلبة حول ما يعرفونه عن حركات الصفائح وما يحدث لها. إجابات محتملة: في نهاية المطاف، ستختفي صفيحة نازكا أسفل صفيحة أمريكا الجنوبية، وسيزداد عرض المحيط الأطلسي بين صفيحتي أوراسيا وأمريكا الشمالية، وسيتوسع المحيط بين القارة المتجمدة الجنوبية وصفيحة المحيط الهادي.
8. ستتشوه القشرة وتتكسر عندما تتحرك أفقيًّا على طول الصدع.
9. هذه الجملة غير صحيحة؛ فتيارات الحمل تحرك جميع الصفائح على سطح الأرض.
10. لأن تيارات الحمل تحرك جميع الصفائح على سطح الأرض؛ فتسبب تغير المواقع النسبية للصفائح التي تتضمن قشرة قارية.

الكتابة في الجيولوجيا

11. ستتنوع الإجابات.

الهدف

يتعرف الطلبة نشأة البحر الأحمر و التنوع الحيوي الذي يتميز به.

دعم المحتوى

مثلث عفار من الأمثلة على الحدود المتباعدة حديثة التكوين؛ منطقة البحر الاحمر، و خليج عدن المعروف بمثلث عفار، حيث أدى اندفاع الماجما بقوة أسفل الغلاف الصخري القاري إلى حدوث نوع من الانتفاخ (التقبب)، تلاه تشقق في ثلاثة اتجاهات ومع اتصاله باتجاه تشققين وبقاء الثالث في حالة غير نشطة مما أدى إلى تشكيل الشقين النشطين المتصلين؛ مركز توسع البحر الأحمروخليج عدن، مسبباً انقسام الصفيحة العربية عن الأفريقية، أما الشق الثالث غير النشط فقد كون ما يعرف بحفرة الانهدام العظيم شرق إفريقيا .

ويمثل البحر الأحمر مرحلة أكثر تقدما لحفرة الانهدام الإفريقية؛ إذ يمتاز بأبعاد وأعماق أكبر تسمح بتدفق المياه إليه كما أن القشرة المكونة لقاعة ذات طبيعة محيطية، في حين يتكون قاع حفرة لانهدام من القشرة القارية . وقد قام العلماء بتصور حركة الصفائح المحيطية للتوصل إلى أهم الأحداث التي تمت في العصر الجيولوجي القديم، وقد أمكن تتبع بدء انفتاح المحيط الأطلسي قبل 200 مليون سنة و تطوره بمقارنته بالبحر الأحمر، و توصل العلماء إلى أن المحيط الأطلسي كان في الماضي بحراً ضيقاً، مثل البحر الأحمر، ثم توسع بفعل غلاف محيط جديد .

البحر الأحمر

سمي البحر الأحمر بهذا الاسم لوفرة الطحالب الخضراء المزرقة التي تطفو على سطحه، والتي تحتوي على صبغة حمراء يمكن مشاهدتها من ارتفاعات عالية. وقد بدأ تكون البحر الأحمر في عصر الإيوسين بسبب تباعد الصفيحتين العربية والإفريقية، وهو محيط وليد يتميز بنشاط زلزالي عند حوافه القارية ونشاط بركاني عند المرتفعات المحيطية في وسطه، مما ينتج عنه إضافة قشرة محيطية جديدة تقوم بزيادة مسافة التباعد بين الصفيحتين بمقدار 2 cm سنويًّا، 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 الدراسات على البيئة البحرية للبحر الأحمر، منها ما يتعلق بدراسة التغيرات التي تنتج على طول الساحل، ودراسة كل من الخواص الفيزيائية كاتجاه حركة التيارات وسرعتها، وحرارة مياه البحر وملوحتها، وخواصه الكيميائية كتحديد العناصر المغذية ومستوى الأحماض؛ لمعرفة جودة المياه وتحديد مستوى التلوث ومصادره وتأثيرها في الرواسب وصحة الشعاب المرجانية، ومعالجة القضايا البيئية والتلوث البحري، وتأثير الحياة البشرية والمنشآت في ظل النمو الاقتصادي والتجاري والسياحي على المدن الساحلية.

يتميز البحر الأحمر بوجود العديد من الجزر، منها: جزيرة فرسان في السعودية، والتي تبعد عن مدينة جازان 50 Km تقريبًا، وجزيرة بيوتان في مصر، وجزيرة بريم في اليمن. بعض هذه الجزر بركانية تكونت مع تكون البحر الأحمر،

كجزيرة بريم، وهي إحدى الجزر البركانية التي تكونت في حين الميوسين. بينما تكونت جزيرة فرسان نتيجة اندفاع كتل ضخمة من الملح المتكون في حين الميوسين إلى أعلى مكونًا قبابًا ملحية صخرية قامت برفع ما عليها من الترسبات الكلسية. ولا يتعدى ارتفاع الجزيرة عن سطح البحر 20 m.

الكتابة في الجيولوجيا

ابحث في النشاط الجيولوجي والتنوع البيولوجي الفريد للبحر الأحمر. أكتب مقالاً يصف تنوع المخلوقات الحية وطبيعة البيئة البحرية للبحر الأحمر وأصل نشأته.

استراتيجية تدريس

ساعد الطلبة على استيعاب الفكرة الآتية: أن البحر الأبيض المتوسط سيصبح بحيرة صغيرة إلى أن يختفي تماما، اطلب إليهم البحث عن السبب المؤدي لاختفاء البحر الأبيض المتوسط وهل لتوسع البحر الأحمر ونشاطه الجيولوجي دور في اختفائه مع الزمن؟

الكتابة في الجيولوجيا

البحث يجب أن تتضمن تقارير الطلبة وصف للتنوع الحيوي والطبيعة البحرية للبحر الأحمر وأصل نشأته .

مختبر الجيولوجيا

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: 0–10 ملايين سنة

أصفر: 10–20 مليون سنة

أخضر: 20–30 مليون سنة

أزرق: 30–40 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. **فسِّر** 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؟

مختبر الجيولوجيا

الإعداد للمختبر

الزمن المقترح: 60 دقيقة.

المهارات العلمية: تفسير الرسوم التوضيحية العلمية، تحليل البيانات.

احتياطات السلامة: اطلب إلى الطلبة الإطلاع على تعليمات السلامة في المختبر قبل البدء بالتجربة.

خطوات العمل

- ارسم خريطة أساسية للعالم (تتضمن القارات والمحيطات) على شفافية فارغة، وارسم منحنيات المسح المغناطيسي على شفافية أخرى، واستعمل جهاز عرض الشفافيات لتوضيح كيف يتم نقل بيانات منحنيات المسح المغناطيسي إلى الخريطة الأساسية.
- أكد على الطلبة أن يستخدموا قلم رصاص حاد عند رسم بيانات المنحنيات، وعليهم رسم ظهر المحيط بخط متقطع.
- أخبر الطلبة أن أفضل طريقة لرسم الخطوط المتوازية (المنحنيات) أن يبدؤوا من ظهر المحيط. وقد يساعدهم لو أنهم لونوا جميع أحداث المغناطيسية الموجبة بين منحنيات المسح جميعها، وذكرهم أن هذه المنحنيات لا تقطع الصدع التحويلي بل مقطوعة به.
- ينبغي أن تظهر الأنماط في صورة حزم ملونة متوازية ومتماثلة على جانبي ظهر المحيط ومقطوعة بصدوع التحويل.

4. الموقع 1: متباعدة، الموقع 2: تحويلي، الموقع 3: متقاربة مع قليل من الحركة الجانبية.

5. 1 km = 100.000 cm، 2cm=0.00002km، 2 cm /y=0.00002 km /y

6. ينبغي أن توضح الرسوم خطوطًا تتناسب تقريبًا مع مقياس الرسم في الشكل 2.

7. ينبغي أن يكون رسم الخطوط متناظرة على كلا الجانبين عند الحدود المتباعدة.

التحليل والاستنتاج

1. عندما تتحرك صفيحة واحدة بأي زاوية غير 90° بالنسبة إلى صفيحة أخرى فإن جميع حدودها سوف تشبه الحدود التحويلية تقريبًا.

2. بتحديد الأماكن التي تكون فيها خطوط (تساوي العمر) المتوازية غير متطابقة مع خطوط (تساوي العمر) أخرى من حيث الطول، التي ينبغي أن تكون مماثلة لها بصورتها الطبيعية.

3. توجد الحدود المتباعدة عند ظهور المحيطات.

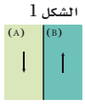
4. توجد أعرض أنطقة خطوط تساوي العمر في المحيط الهادي، لذا فإن الحدود المتباعدة هناك تبتعد عندها الصفائح بمعدل أكبر مقارنة مع بقية المحيطات.

5. ظهر المحيط الهادي لا يوجد في وسط المحيط؛ لأن قاعه يقترب نحو وسط أمريكا الجنوبية وجنوبها، حيث يُطرح قاع المحيط هناك.

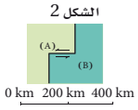
الكتابة في الجيولوجيا

كتابة رسالة ينبغي ألا تقتصر الرسالة على المفاهيم الآتية فقط: توسع قاع المحيط، المسوحات المغناطيسية، رسم خرائط عالمية للزلازل والبراكين النشطة، اكتشاف الأخاديد البحرية العميقة.

الشكل 1



الشكل 2



مفتاح

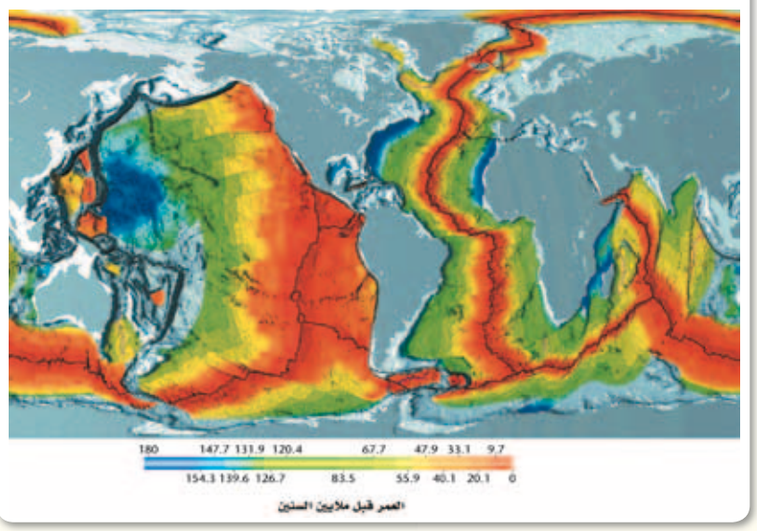
استعمل الرموز المجاورة لتحديد نوع حدود الصفائح التالية:

حدود متباعدة.

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

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

الشكل 3



الفصل 1

دليل مراجعة الفصل

الفكرة الرئيسة

يمكـن أن يسـتخدم الطلبـة فقـرات مختـصرة لمراجعـة المفاهيـم الأساسية للفصل.

يستطيع الطلبة زيارة الموقع الإلكتروني

www.obeikaneducation.com

بهدف:

- دراسة الفصل كاملاً على الموقع.
- الحصول على المزيد من المعلومات والمشاريع والأنشطة.
- التقدم لاختبارات الفصل والاختبار المقنن.

الفكرة العامة تحدث معظم الأنشطة الجيولوجية عند حدود الصفائح.

المفردات	المفاهيم الرئيسة
1–1 انجراف القارات	
انجراف القارات بانجايا	**الفكرة الرئيسة** 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.
2–1 توسع قاع المحيط	
جهاز قياس المغناطيسية الانقلاب المغناطيسي المغناطيسية القديمة تساوي العمر توسع قاع المحيط	**الفكرة الرئيسة** 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.
3–1 حدود الصفائح وسبب حركتها	
الصفيحة الأرضية الحدود التباعدية حفرة الانهدام الحدود المتقاربة نطاق الطرح الحدود التحويلية الدفع عند ظهر المحيط سحب الصفيحة	**الفكرة الرئيسة** 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.

الفصل 1

مراجعة الفصل

مراجعه المفردات

1. بانجايا
2. انجراف القارات
3. طرح
4. حد تقارب
5. حفرة انهدام
6. خط تساوي العمر
7. توسع قاع المحيط
8. المغناطيسية القديمة
9. جهاز قياس المغناطيسية (ماجنيتومتر)
10. الصفيحة الأرضية هي قطعة من سطح الأرض تتكون من القشرة الأرضية والجزء الصلب من الوشاح، وتتحرك حركة بطيئة وبصورة مستقلة.
11. هو إحدى الآليات المحتملة لحركة الصفائح، وهو ناتج عن تشكل قشرة محيطية جديدة حيث تكون ساخنة في البداية، ومرتفعة بسبب عملية الرفع هناك، ثم تزداد كثافتها عندما تبتعد عن ظهر المحيط، مما يؤدي إلى غطسها إلى أسفل في الوشاح .
12. هو إحدى الآليات المحتملة لحركة الصفائح، ويعمل على سحب الصفيحة المحيطية إلى أسفل في الوشاح ، كما يؤدي إلى سحب الصفيحة المحيطية المرتبطة معها التي ما زالت فوقها.
13. توجد كل من الحدود المتباعدة والحدود التحويلية على طول ظهور المحيطات.
14. توجد أنطقة الطرح على طول نوعين من الحدود المتقاربة.
15. انجراف القارات والصفائح الأرضية طريقتان يستخدمها الناس لتفسير حركة سطح الأرض.
16. اكتشفت فكرة توسع قاع المحيط من خلال دليل الانقلابات المغناطيسية الموثقة في القشرة الأرضية.

تثبيت المفاهيم الرئيسة

17. b
18. d
19. c
20. b

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 إحداهما من الأخرى 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:

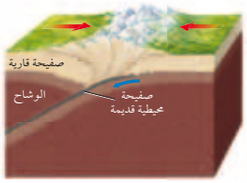
10. الصفيحة الأرضية.
11. الدفع عند ظهر المحيط.
12. سحب الصفيحة.

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.

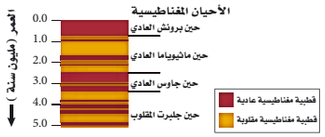
تثبيت المفاهيم الرئيسة

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؟

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 تحدٍ

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).

21. b

أسئلة بنائية

22. الملاحظات حول: التطابق في شكل سواحل القارات، وتشابه الأحافير بين قارات منفصلة بعيد بعضها عن بعض، ووجود رسوبيات جليدية في مناطق بعيدة عن قطبين، فضلاً عن وجود العديد من المعالم الجيولوجية التي تُظهر استمرارية لو أعيد تجميع القارات بعضها مع بعض.

23. تُجلب الرسوبيات إلى المحيطات ببطء، ومن ثم ترسيبها في قاع المحيط، ويزداد سمك الرسوبيات بازدياد عمر قاع المحيط، ولأن عمر قاع المحيط يزداد كلما ابتعدنا عن ظهر المحيط لذا يزداد سمك الرسوبيات.

24. المجال المغناطيسي الذي يتولد في لب الأرض يعمل على مغنطة معادن القشرة الأرضية، وتحتفظ هذه المعادن باتجاه المجال المغناطيسي وشدته وقت تشكلها.

25. الصخور المكونة للقارات قابليتها للطفو كبيرة فلا تغطس لتعود إلى الوشاح بل تبقى على السطح وتتراكم لتشكل حزامًا جبليًّا.

26. افتقرت فرضية فاجنر إلى توضيح آلية حركة القارات التي قدمتها فرضية توسع قاع المحيط؛ إذ توضح فرضية توسع قاع المحيط ما حدث بين القارات؛ أي أن القارات لم تتحرك فوق قاع المحيط، بل أدى تشكل قاع وتوسعه إلى إبعاد القارات بعضها عن بعض.

التفكير الناقد

27. عند الحافة الشرقية لأمريكا الجنوبية.

28. تتكون كلتا القوتين بفعل الجاذبية، ووزن المواد المكونة للصفيحة. فقوة الدفع عند ظهر المحيط تكونت بفعل وزن السطح الذي تم رفعه إلى أعلى عند ظهر المحيط، أما قوة سحب الصفيحة فتكونت بفعل وزن الصفيحة المطروحة الأكثر كثافة؛ التي تؤدي إلى سحب القشرة المحيطية إلى نطاق الطرح.

29. قياسات تحديد الموقع العالمي GPS دقيقة ويمكن إجراؤها بصورة مستمرة في أي مكان.

30. لا، بل قد يزداد حجم الصفيحة الأرضية (عندما يكون معدل التباعد أكبر من معدل التقارب) أو يقل (عندما يكون معدل التقارب أكبر من معدل التباعد)، كما قد تختفي الصفيحة تمامًا.

31. قد تتنوع الإجابات. ينبغي أن تتضمن الإجابة الصحيحة ما يأتي: يمكن القول إن هناك نوعين من القشرة الأرضية (محيطية وقارية)، والصفيحة الأرضية قد تتكون من كلا النوعين من القشرة.

خريطة مفاهيمية

32. قد تتنوع الإجابات، ينبغي أن تظهر الخريطة المفاهيمية الصحيحة فهمًا لأنواع حدود الصفائح الثلاثة وهي: المتباعدة والمتقاربة والتحويلية، ويصاحب كل نوع من هذه الحدود معالم معينة لسطح الأرض. يرافق الحدود المتقاربة أخاديد بحرية، وأقواس جزر بركانية، وسلاسل جبلية. ويرافق الحدود المتباعدة زلازل ضحلة وحفر انهدام وظهور محيطات.

سؤال تحد

33. ينبغي أن تتضمن رسوم الطلبة انغلاق البحر المتوسط وتصادم أستراليا مع جنوب شرق آسيا وتوسع قاع المحيط الأطلسي، وقد تتضمن الإجابات الأكثر عمقًا طرح صفيحتي كل من الهند وشبه الجزيرة العربية أسفل قارة آسيا.

اختبار مقنن

اختيار من متعدد

1. d
2. c
3. d
4. d
5. b
6. c
7. a
8. a

أسئلة الإجابات القصيرة

9. تحرك 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 والأكثر كثافة ، وتغوص ببطء إلى أسفل.

10. تشير الأسهم في النموذج إلى حركة تيارات الحمل الدائرية في الوشاح التي يعتقد أنها المسؤولة عن حركة طبقات القشرة الأرضية.

11. تيارات الحمل تتكون في الوشاح في مكان يسمى الغلاف المائع، حيث تتحرك ببطء مثل قطعة بلاستيك ناعمة أو مثل الأسفلت.

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:

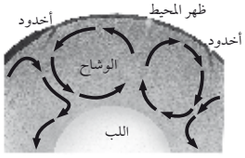
a. أخدود بحري عميق. c. حفرة انهدام.

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



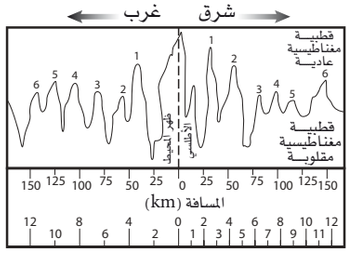
10. صف ما تم نمذجته في الشكل أعلاه، ثم حدد كيف يؤثر في حركة الصفائح؟

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 % و 3 % 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 فقد تكون 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؟

12. تمتد تيارات الحمل عبر آلاف الكيلومترات، وتتحرك بضعة سنتيمترات في السنة. ولهذا لا يكون لها آثار ملحوظة على سطح الأرض في المدى القصير.

13. كانت قارة فاجنر الضخمة (بانجايا) قبل 200 مليون سنة تقريبًا كتلة أرضية ضخمة مكونة من قارات الأرض الحالية جميعها، وفي ذلك الوقت كانت قارة أمريكا الشمالية الحالية قريبة من دائرة الاستواء، حيث ازدهرت المستنقعات في مناخ استوائي بدليل وجود الفحم الحجري. أما جنوب إفريقيا وجنوب شرق أمريكا الجنوبية وأجزاء كبيرة من الهند وأجزاء من أستراليا ومعظم القارة المتجمدة الجنوبية فكانت قريبة من القطب الجنوبي، بدليل وجود الرسوبيات الجليدية المكتشفة في تلك القارات. وعندما انجرفت القارات وتغيرت مواقعها مع الزمن إلى أن وصلت إلى الوضع الحالي تغيرت مناخاتها.

14. تندفع المواد المكونة لقاع المحيط من باطن الأرض (الماجما)؛ بحيث تتدفق على جانبي الظهر مسببة توسع قاع المحيط، ومع استمرار خروج هذه المواد ووصولها إلى السطح يتم دفع المواد الأقدم بعيدًا عن منطقة الظهر .

15. جواب محتمل: يبين المخطط أن الجزء الأقرب إلى ظهر المحيط الأطلسي هو الأحدث، أما أبعد جزء فيعد الأقدم. على كل جانب من الجبل. ويظهر المخطط أن هناك ست انقلابات قطبية للأرض.

القراءة والاستيعاب

16. c

17. جواب محتمل: وفقًا للفقرة أعلاه، تتأثر موجة التسونامي بفعل الحركات الرأسية لقاع المحيط. وبمعرفة ما يوجد أسفل موجة التسونامي عندما تشكل والأجسام الرئيسية التي توجد في مساره يتمكن الجيولوجيون البحريون من التنبؤ بمسار التسونامي، وأي جزء من اليابسة سيصطدم، وبأي قوة. هذه المعرفة سوف تساعد على نحو أفضل لإعداد الناس للتصدى للتسونامي.

الفصل 2

البراكين

الفكرة العامة تتشكل البراكين من الماجما القادمة من باطن الأرض.

2–1 ما البركان؟

الفكرة الرئيسة ترتبط مواقع البراكين عمومًا، بحركة الصفائح.

2–2 ثوران البراكين

الفكرة الرئيسة تحدد مكونات الماجما خصائص الثوران البركاني.

مخطط الفصل 2

البراكين

الأهداف	المواد والأدوات المستعملة	الزمن المقترح
2–1 ما البركان 1. **تصف** كيف تؤثر حركة الصفائح في تشكل البراكين. 2. **تحدد** المناطق الرئيسية للنشاط البركاني. 3. **تتعرف** أجزاء البركان. 4. **تميز** بين التضاريس البركانية.	**تجربة استهلالية.** صفحة 41. ماء، دورق سعته 600 mL، زيت طعام، ملح طعام. **عرض عملي** صفحة 45 : قلم تخطيط، ورقة، ساعة توقيت. **تجربة** صفحة 48: صندوق صغير، أنبوب مطاطي طوله 10 cm، بالون، ورق جرائد، مقصات، مشبك، رمل، لاصق.	15 دقيقة 10 دقائق 35 دقيقة
2 –2 ثوران البراكين 1. **توضح** كيف يؤثر نوع الماجما في النشاط البركاني. 2. **تصف** دور الضغط والغازات الذائبة في الثورانات البركانية. 3. **تتعرف** المواد التي تقذفها الثورانات البركانية.	**عرض عملي** صفحة 53: قطارة، زيت طعام، ماء، كأس **مختبر الجيولوجيا.** صفحة 58: إنترنت، مراجع حديثة، أقلام تخطيط، أقلام تلوين خشبية.	10 دقائق 90 دقيقة

ترميز مستويات الأنشطة والتجارب لمراعاة الفروق الفردية

ف م أنشطة للطلبة الذين هم فوق المستوى (المتميزين).	**ض م** أنشطة للطلبة الذين هم ضمن المستوى.	**د م** أنشطة للطلبة الذين هم دون المستوى.	**تعلم تعاوني** أنشطة صُممت لمجموعات عمل صغيرة متعاونة.

الفصل 2

البراكين

الفكرة العامة

البراكين أدر نقاشًا بين الطلبة لتحدد ما يعرفونه عن البراكين، واطرح الأسئلة الآتية: ما البركان؟ وما أنواع المواد التي تقذفها البراكين؟ هل جميع الثورانات البركانية هي نفسها؟ هل يمكن تسمية ثلاثة أنواع من البراكين على الأقل؟ ستتنوع إجابات الطلبة. اكتب أسماء البراكين المحددة لتستعملها في الأفكار الرئيسية للدرسين، وارصد الإجابات غير الدقيقة، وركز عليها في أثناء تدريس

دعم المحتوى

تعرف الصور تبين الصورة الكبيرة جبل باجانا في مقاطعة غينيا الجديدة. يطلق هذا البركان النشط غازات تتكون من الكبريت ومواد كيميائية أخرى.

السبورة التفاعلية

استعمل عروضًا تقديمية (بالبوربوينت) تشتمل على:

- ملخص لمحتوى الفصل.
- صور متنوعة لبراكين نشطة
- عروض متحركة.
- روابط بالموقع التعليمي:

www.obeikaneducation.com

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 اثنِ 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.

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

تجربة استهلالية

المهارات العلمية الملاحظة، الاستنتاج، التمييز بين السبب النتيجة، التواصل، التوقع، القياس.

احتياطات السلامة اطلب إلى الطلبة الإطلاع على تعليمات السلامة في المختبر قبل البدء في التجربة، وذكر الطلبة بضرورة عدم تناول الطعام والشراب داخل المختبر.

استراتيجيات التدريس

- يمكن تنفيذ هذا النشاط بتكوين مجموعات صغيرة من الطلبة، وتزويد كل مجموعة بدورق وماء وزيت طعام وملح.
- إذا كان الوقت وأدوات التجربة محدودين فإنه يمكنك تنفيذ هذه التجربة بصورة العرض العملي.
- ينبغي أن يلاحظ الطلبة أن حركة الماء والزيت في الدورق تبدأ بمجرد إضافة الملح.

التقويم

الأداء اطلب إلى الطلبة أن يختبروا استنتاجاتهم.

التحليل

1. الزيت يمثل الماجما.
2. يكون الزيت طافيًا فوق الماء قبل إضافة الملح إليه، ويغوص في الماء عند إضافة الملح إليه.
3. قد تتنوع الإجابات، ولكن ينبغي أن يدرك الطلبة أن الحركة تحدث بسبب اختلاف الكثافة؛ ففي البداية، يؤدي وجود الملح في طبقة الزيت إلى جعل كثافة الزيت أكبر من كثافة الماء، مما يؤدي إلى غوص الزيت في الماء، ولكن عند ذوبان الملح في الماء تصبح كثافة الماء أكبر من الزيت الممزوج بالملح (الذي يمثل الماجما)، لذا ترتفع "الماجما" إلى أعلى.

2-1

1. التركيز

الفكرة الرئيسة

مواقع البراكين اطلب إلى الطلبة أن يستخدموا خريطة العالم ليحددوا مواقع البراكين عليها، واسألهم هل لاحظوا وجود علاقات بين أماكن البراكين؟ ينبغي أن يلاحظ الطلبة أن البراكين الرئيسية توجد على حدود الصفائح.

2. التدريس

دعم المحتوى

عمر البراكين قد يكون لدى بعض الطلبة مفاهيم شائعة غير صحيحة؛ وهو أن جميع البراكين قديمة، وأنها معالم ديناميكية تشكلت مع الأرض ببطء. أخبر الطلبة القصة الآتية حول بركان باريكيوتن: "في عام 1943م شاهد مزارع مكسيكي دخانًا ورمادًا بركانيًّا يصدران عن شقوق في مزرعة ذرة له، ثم تشكل بركان مخروطي الشكل ارتفاعه 40 m في غضون 24 ساعة.

واستمر بركان باريكيوتن في التطور والنمو ليصبح ارتفاعه 336 m بعد مرور عام واحد من ثورانه، ثم استمر في الثوران حتى عام 1952 م ليصل ارتفاعه في النهاية إلى 424 m.

بلغ الحجم الكلي للابة المتدفقة من الثورانات البركانية لبركان باريكيوتن $1.4\ km^3$، وغطت مساحة قدرها $25\ km^2$ في المنطقة المحيطة بالبركان.

فسر الرسم

مناطق البراكين النشطة اطلب إلى الطلبة أن يتفحصوا **الشكل 1–2**، واسألهم: أين توجد معظم البراكين النشطة؟ توجد معظم البراكين النشطة عند حدود الصفائح. ض م

طرائق تدريس متنوعة

الطلبة دون المستوى اطلب إلى كل طالب أن يعمل جدولاً لتصنيف البراكين الموضحة في **الشكل 1–2** حسب اسم القارة. وقد يستدعي ذلك عمل قائمة بالقارات وتحديدها على الخريطة.

2-1

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 الرئيسة **ترتبط مواقع البراكين عمومًا بحركة الصفائح.**

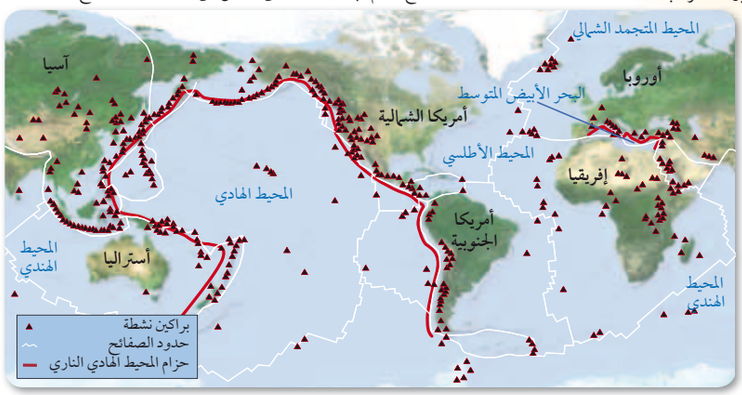
الربط مع الحياة يرش الملح على الشوارع المغطاة بالثلوج في فصل الشتاء؛ إذ يعمل الملح على خفض درجة انصهار الثلج. كذلك فإن الماء يقلل من درجة انصهار الصخور؛ فالصخور ذوات درجات الانصهار المرتفعة جدًّا في باطن الأرض تنصهر بسهولة أكثر إذا اختلطت بالمياه.

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.

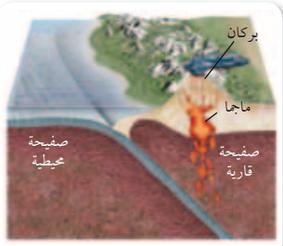


النشاط البركاني عند الحدود المتقاربة Convergent volcanism

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 الماجا 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 الماجا إلى أعلى مشكّلةً البراكين.

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

مختبر تحليل البيانات

* بُني هذا النشاط على بيانات حقيقية

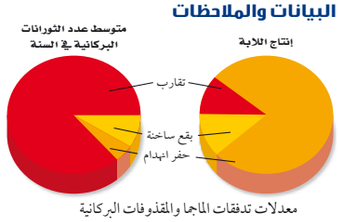
تفسير الرسم البياني

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 الماجا والمقذوفات البركانية

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

الربط مع المعرفة السابقة

حدود الصفائح اطلب إلى طالب أو طالبين أن يلخصوا الفروق بين الحدود المتقاربة والحدود المتباعدة، التي نوقشت في الفصل الأول. ض م

فسّر الرسم

الصفائح الأرضية اطلب إلى الطلبة الاستعانة بالخريطة في **الشكل 1–2**، للإجابة عن السؤال الآتي: ما الصفائح الأرضية المرافقة لبراكين حزام البحر المتوسط؟ إفريقيا، الصفيحة العربية، الصفيحة الأوراسية. إذا لم يتمكن الطلبة من الإجابة عن السؤال فاطلب إليهم أن يرجعوا إلى **الشكل 1–16** في صفحة 24. ض م

■ **إجابة أسئلة الأشكال** **الشكل 2–2**. قد تتنوع الإجابات، لكن ينبغي أن تتضمن الإجابة براكين ضمن براكين حزام المحيط الهادي.

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

مختبر تحليل البيانات

حول المختبر

- ناقش الطلبة أهمية البيانات في هذا المختبر، وأكد لهم أن نسبة البراكين التي تحدث عند حفر الانهدام قليلة، ولكنها تطلق كميات كبيرة جدًّا من اللابة أكبر من أنواع البراكين الأخرى، ثم اطلب إليهم أن يستنتجوا أين تتراكم جميع هذه البراكين، لمساعدتهم على الربط بين أنطقة حفر الانهدام وتوسع قاع المحيط.
- انظر أيضًا إلى البحث الآتي من مجلة المسح الجيولوجي الأمريكي:

Backer, K. S., and E. D. Jackson. 1974. Calculated volumes of individual shield volcanoes along the Hawaiin–Emperor Chain. Jour. Research U.S. Geol Survey (2): 545550–

التفكير الناقد

1. تنتج بعض أنواع البراكين لابة أكثر من غيرها، ورغم أن 80 % من الثورانات البركانية تحدث على الحدود المتقاربة، إلا أنها تنتج 15 % من اللابة، أما حفر الانهدام فيحدث عندها 7 % من الثورانات البركانية ولكنها تنتج 75 % من اللابة.
2. ستتنوع الإجابات. قد يهدف الباحثون إلى تحديد مكونات بركان ما وشدة انفجاره، أو تحديد عدد الثورانات التي تحدث لكل بركان.
3. قد تتنوع الإجابات. إن استيعاب العلاقة بين نوع البركان وكميات إنتاج اللابة تساعد الباحثين على توقع الثورانات البركانية وأنواع الدمار الذي سيحدث، مما يساعدهم على حماية الأرواح والممتلكات.

■ **الشكل 3–2** ثور 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.

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

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.

دعم المحتوى

حفرة الانهدام العظيم تعد حفرة الانهدام العظيم من المعالم الجيولوجية في إفريقيا. وقد تكونت بفعل ابتعاد صفيحة إفريقيا والصفيحة العربية إحداهما عن الأخرى عند الحد المتباعد؛ كما استمر انفصال الصفيحتين على طول الجانب الشرقي الجنوبي من حفرة الانهدام العظيم التي تسمى حفرة انهدام إفريقيا الشرقي. بدأ انفصال الصفيحتين إحداهما عن الأخرى قبل 35 مليون سنة. ثم قبل 15 مليون سنة أدى النشاط البركاني في هذه المنطقة إلى تشكيل جبال بركانية، منها جبل كيلي مانجارو وجبل كينيا وجبل ميرو وغيرها.

نشاط

خط الزمن اطلب إلى الطلبة أن يلاحظوا خط الزمن في **الشكل 4–2**، وأن يبحثوا من خلال العمل في مجموعات في الثورانات البركانية منذ 1991م، ويعدوا لوحة تتكون من خطوط الزمن لهذه الثورانات، لعرضها في غرفة الصف.

ض م تعلم تعاوني

تطوير المفهوم

براكين الحدود المتباعدة وبراكين الحدود المتقاربة اطلب إلى الطلبة أن يقارنوا بين براكين الحدود المتباعدة وبراكين الحدود المتقاربة. تتكون براكين الحدود المتقاربة بفعل تصادم الصفائح الأرضية بعضها ببعض عند حدود الصفائح، وهي المسؤولة عن تكوين معظم البراكين على اليابسة. أما براكين الحدود المتباعدة فتتكون بفعل ابتعاد الصفائح بعضها عن بعض عند حدود الصفائح التي تسمى أنطقة حفر الانهدام، ويقع معظمها في المحيطات.

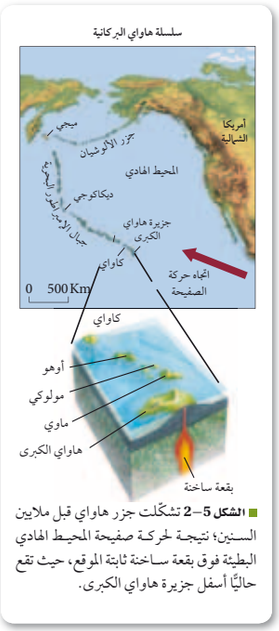
ض م د م

ماذا قرأت؟ النسبة المئوية للكسر ثلثان يساوي 66 % تقريبًا.

الربط مع العلوم الأخرى

التاريخ أدى اندلاع بركان جبل فيزيوفيوس في عام 79 قبل الميلاد إلى تدمير مدينتين رومانيتين (هيركيولانيوم وموبيي). لقد كشفت الحفريات في الآثار الكثير من المعلومات حول الناس في هذه المدن والتدمير التي أصابها. اطلب إلى الطلبة أن يبحثوا في بركان جبل فيزيوفيوس 79 قبل الميلاد، ويقدموا نتائجهم في الصف، وناقشهم في احتمالية ثوران بركان جبل فيزيوفيوس في الوقت الحالي، وفي الآثار المحتمل وقوعها. يعد بركان جبل فيزيوفيوس حاليًّا من أخطر البراكين التي حدثت على سطح الأرض بسبب تاريخ ثوراناته العنيفة، بالإضافة إلى قربه من الناس، حيث كان يعيش بالقرب منه 300,000 شخص.

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.



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.

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.

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 $0.5\,^{\circ}C$.

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.

عرض عملي

البقع الساخنة اطلب إلى طالب أن يحمل قلم تخطيط بصورة رأسية لتمثيل ارتفاع عمود من الماجما إلى أعلى عند بقعة ساخنة. حرّك ورقة فوق القلم ببطء، وعلّم نقطة على الورقة كل 30 ثانية لتمثل الجزيرة التي ستتكون بفعل صعود الماجما وثورانها على السطح. إذا حركت الورقة في خط مستقيم فستحصل على مجموعة من النقاط متباعدة بصورة منتظمة، وإذا غيرت اتجاه حركة الورقة فستلاحظ خطًّا منحنيًا من الجزر، وسيلاحظ الطلبة أن أقدم جزيرة هي الأبعد عن البقعة الساخنة. اسأل الطلبة: ما النقطة، على الأرجح، التي تمثل جزيرة هاواي الكبرى؟ أول نقطة وتمثل الجزيرة الأحدث عمرًا، وهي التي تقع فوق البقعة الساخنة حاليًّا. علام يدل انحناء الخط الذي يصل بين النقاط؟ تغيّر في سرعة الصفيحة.

دعم المحتوى

بقع أمريكا الشمالية الساخنة توجد بقعة ساخنة أسفل قارة أمريكا الشمالية، في موقع لأضخم ثوران بركاني قد حدث، وتوجد حاليًّا أسفل متنزه يالوستون القومي.

صاحَب بقعة يالوستون الساخنة ثلاثة ثورانات بركانية ضخمة؛ الأولى حدثت قبل مليوني سنة، وأطلقت مقذوفات بركانية حجمها 2400 km^3، والثانية حدثت قبل 1.5 مليون سنة، وأطلقت مقذوفات بركانية حجمها 280 km^3، والثالثة حدثت قبل 600,000 سنة، وأطلقت مقذوفات بركانية يُقدر حجمها بـ 1000 km^3، وخلفت فوهة بركانية منهارة يزيد قطرها على 80 km، وهي حاليًّا مدفونة أسفل متنزه يالوستون القومي.

حجرة الماجما الموجودة أسفل متنزه يالوستون القومي ما زالت نشطة، وتشير عملية الرفع الحديثة والزلازل المتكررة والتغيرات التي تحدث في أنشطة نوافير المياه الجوفية الساخنة إلى أن بقعة يالوستون الساخنة قد تثور مجددًا.

تطوير المفهوم

البراكين الضخمة أخبر الطلبة أن البراكين الضخمة- ومنها تاوبو (في نيوزلند)، وتوبا (في إندونيسيا)-قد حدثت قبل عدة ملايين السنين. يمكن للبراكين الضخمة أن تطلق أكثر من 31000 km من الماجما، وتؤثر في المناخ والحياة على الأرض ككل. اطلب إلى الطلبة أن يحددوا مواقع هذه البراكين على الخريطة، ثم اسألهم: ما المشترك بين هذه البراكين؟ توجد على القارات أو بالقرب من أنطقة الطرح.

ف م

نشاط

الغازات الدفيئة وضح للطلبة تأثير غازات الدفيئة، وأخبرهم أن بعض غازات البراكين غازات دفيئة. ثم اعمل قائمة بغازات البراكين الآتية على السبورة، واطلب إليهم أن يحددوا أي هذه الغازات غازات دفيئة: بخار الماء، ثاني أكسيد الكربون، أول أكسيد الكربون، فلور، كلور، هيدروجين، وبعض مركبات الكبريت والنيتروجين. ثاني أكسيد الكربون وبخار الماء، هما من غازات الدفيئة. **ف م**

مناقشة

طفوح البازلت اطلب إلى الطلبة أن يلاحظوا توزيع طفوح البازلت في شبه الجزيرة العربية، وكيف تمتد على طول حفرة الانهدام في صورة حزام، واطلب إليهم أن يتناقشوا في نشأة هذا الحزام.

بركان ديكان ترابس أخبر الطلبة عن بركان ديكان ترابس الذي حدث قبل 65 مليون سنة تقريبًا في الهند، حيث أطلق كميات هائلة جدًّا من البازلت ($512000\ km^3$)، ثم اطلب إليهم أن يتناقشوا – بناء على ما درسوه في هذا الفصل – كيف أدى ثوران هذا البركان إلى انقراض الديناصورات؟ وما إذا كانت هذه النظرية صحيحة أم لا.

ض م

■ **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.

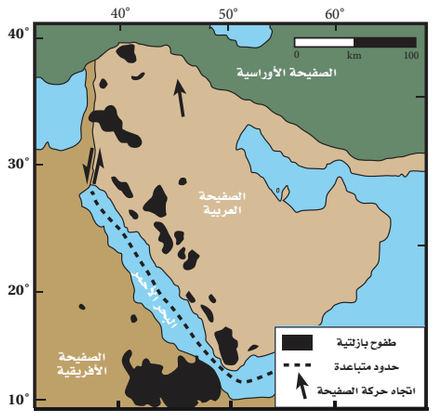
طفوح البازلت في الجزيرة العربية Basalt flood arabia peninsala تغطي طفوح البازلت جزءًا كبيرًا من المنطقة الغربية للصفيحة العربية، تصل إلى $180{,}000\ km^2$ على هيئة حزام واسع متقطع يمتد من اليمن جنوبًا على طول ساحل البحر الأحمر إلى الأردن وحتى سوريا شمالاً، انظر **الشكل 7–2**. ويعود تشكّل هذا الحزام إلى 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.

طرائق تدريس متنوعة

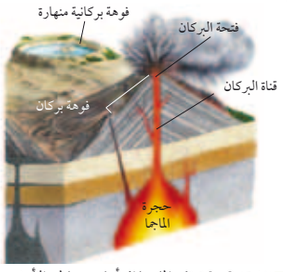
الطلبة دون المستوى اطلب إلى الطلبة عمل مقارنة لأوجه التشابه بين قشرة الأرض وطبقة الجليد على سطح بحيرة، واسألهم: أيهما أكثر خطورة: أن تقف بجانب فوهة جليدية للصيد قطرها 30 cm، أم بالقرب من شق يمتد على طول البحيرة؟ سيكون الشق أكثر خطورة لأنه أقل استقرارًا عند الحواف، وقد يؤدي إلى سقوط الشخص. أيهما يشبه الصدع الذي تخرج منه البراكين؟ الشق.



■ **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.

نموذج

طفوح البازلت اطلب إلى الطلبة عمل نماذج توضح كيف تثور طفوح البازلت. ينبغي أن توضح النماذج انسيابات اللابة من صدع وليس من فوهة مركزية. **ض م** **تعلم تعاوني**

مشروع

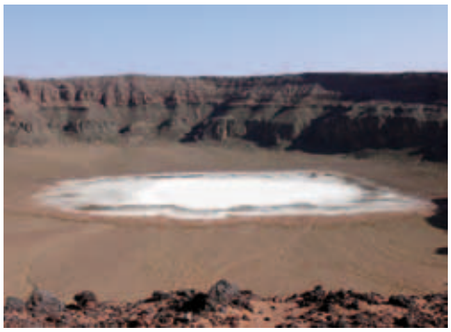
صنّف البراكين اطلب إلى الطلبة أن ينفذوا بحثًا لمعرفة أن البراكين يمكن تصنيفها إلى نشطة وغير نشطة وكامنة، واطلب إليهم أن يميزوا بين هذه المصطلحات الثلاثة في دفاتر الجيولوجيا الخاصة بهم، وشجّعهم على عمل قائمة بخمسة أمثلة على الأقل على كل نوع منها. **ف م**

نشاط

طفوح البازلت اطلب إلى الطلبة الرجوع إلى المراجع العلمية والمواقع الجيولوجية للبحث عن معلومات حول الطفوح البركانية في الجزيرة العربية وعمل تقرير يمثل هذه الطفوح ومناقشتها مع طلبة الصف.

طرائق تدريس متنوعة

الطلبة ذوو الاحتياجات الخاصة البصرية لتوضيح حقيقة طفوح البازلت في شبه الجزيرة العربية يمكن تغطية أماكن وجود البازلت على الخريطة بنماذج من الصلصال بأشكال شبيهة بالهضاب، ثم اطلب إلى الطلبة أن يمرروا أيديهم فوق الخريطة ليتحسسوا الفروق في الارتفاعات.



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؟

تجربة

الهدف ينمذج الطلبة كيف يؤدي الانهيار الذي يحدث في حجرة الماجما الفارغة إلى تشكيل الفوهة البركانية المنهارة.

المهارات العلمية القياس، الملاحظة.

احتياطات السلامة اطلب إلى الطلبة الاطلاع على تعليمات السلامة في المختبر قبل البدء في التجربة.

استراتيجيات التدريس

اطلب إلى الطلبة استعمال بالونات مختلفة في الحجم والشكل لكي يشاهدوا كيف تتشكل الفوهة البركانية المنهارة.

النتائج المتوقعة عندما يخرج الهواء من البالون ينهار الرمل الذي في الوسط على "البركان" وتتشكل الفوهة البركانية المنهارة.

التحليل

1. يتشكل البركان مع وجود حجرة الماجما أسفل منه، ثم عندما تثور الماجما يتشكل فراغ جزئي في حجرة الماجما، ثم ينهار البركان في حجرة الماجما مشكّلاً الفوهة البركانية المنهارة.
2. يعتمد شكل الفوهة البركانية المنهارة على شكل حجرة الماجما.
3. كلما زاد النفخ في البالون زاد عمق الفوهة البركانية المنهارة.

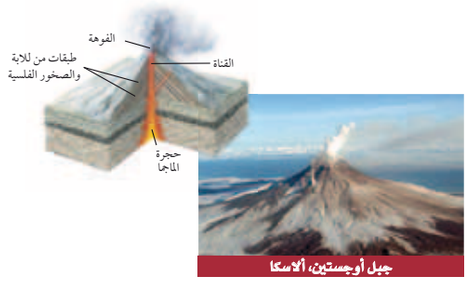
التقويم

معرفة اطرح على الطلبة السؤال الآتي: ماذا يمثل البالون في التجربة هل يمثل تشكل الفوهة البركانية المنهارة في الواقع؟ صعود الماجما؛ عند خروج الهواء من البالون هذا يمثل انفجار الماجما في حجرتها.

الربط مع العلوم الأخرى

الفلك قسّم الطلبة إلى مجموعات ثنائية أو ثلاثية، واطلب إليهم أن يبحثوا في براكين على كواكب أخرى وأقمارها. قد تبحث إحدى المجموعات في بركان أولومبوس مونز على كوكب المريخ، وهو أضخم بركان في النظام الشمسي، وقد تبحث مجموعة أخرى في أنشط بركان في النظام الشمسي على قمر أيو (من أقمار المشتري)، وقد يكون البحث في براكين كوكب الزهرة. ينبغي أن تلخص كل مجموعة نتائجها في لوحة توضع في غرفة الصف، أو عرض نتائجهم في صورة عرض تقديمي. **ض م**

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. • ثورانها 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

فسر الرسم

الفوهة البركانية حدد مواقع الفوهات البركانية للبراكين في الجدول 1–2. الفوهة البركانية تجويف منخفض على قمة البركان. د م

فسر الصورة

أجزاء البركان اطلب إلى الطلبة أن يرسموا البركان المركب في الصورة أسفل الجدول 1–2، وشجعهم على تعديل الرسم إلى مقطع عرضي (منظر جانبي)، بحيث يتضمن حجرة الماجما والعنق والفوهة والطبقات التي تتكون من الحطام البركاني الذي يتراكم لتشكيل الجبل. ض م

مشروع

تعرّف أنواع البراكين اطلب إلى كل طالب أن يجلب معه صورة لبركان، واختر بعض الصور، واعرضها أمامهم في الصف، واطلب إليهم مناقشة الوصف الذي ينطبق على البراكين الدرعية أو البراكين المخروطية أو البراكين المركبة، ثم اعرض لهم موقع كل نوع من البراكين على خريطة تساعدهم على تصنيف الصور. ض م

الربط مع العلوم الأخرى

اللغة العربية اطلب إلى الطلبة أن يستخدموا معاجم اللغة العربية للبحث عن المعنى اللغوي للمفردات الآتية: درع، قمع، مركب، وأن يعدّوا قائمة بها في دفتر الجيولوجيا، ويكتبوا بجانب كل منها لماذا يعد استعمال معنى هذه المفردات مناسبًا لوصف نوع البركان. ض م

3. التقويم

التحقق من الفهم

المناقشة اطرح على الطلبة الأسئلة الآتية: لو تشكل نطاق طرح على طول السواحل لشبه الجزيرة العربية فما نوع البركان المتوقع تكوّنه هناك؟ قد يتكوّن بركان مركب.

إعادة التدريس

خريطة مفاهيمية وفّر لكل طالب مخططًا لخريطة مفاهيم يلخص أنواع البراكين الثلاثة التي تناولها هذا الجزء من الفصل، بحيث يكمل الطلبة الخريطة ويحتفظون بها مرجعًا.

التقويم

الأداء اطلب إلى كل طالب أن يحدد على الخريطة في الشكل 6-2 المواقع المحتملة لأنواع البراكين المختلفة (مركبة، مخروطية، درعية). توجد البراكين الدرعية فوق بقع ساخنة أسفل الجزر مثل جزر هاواي. توجد البراكين المركبة والمخروطية عند أنطقة الطرح على طول حدود الصفائح، مثل جبل سانت هيلين في السواحل الغربية لأمريكا الشمالية وجبل فوجي في اليابان.

المهن في علم الأرض

عالم البراكين

يُسمى العالم الذي يدرس الثورانات البركانية وطفوح اللابة والماجما وظروف تكونها عالمُ 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.

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**.

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 الرئيسة** **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 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).

التقويم 1-2

1. ترتبط أنواع معينة من البراكين مع أنواع محددة من حدود الصفائح؛ إذ تتشكل براكين مختلفة عند كل من الحدود المتقاربة وأنطقة الانهدام والبقع الساخنة.
2. فيزيوفيوس وإتنا.
3. ينبغي أن يتضمن الرسم الشروحات الآتية: حجرة الماجما، ماجما، القناة، فوهة البركان أو الفوهة البركانية المنهارة.
4. يظهر امتداد الطفوح البركانية على شكل شريط محاذٍ للبحر الأحمر. ويستدل من ذلك على أن هذه البراكين مرتبطة مع حركة الصفيحة العربية وتوسع البحر الأحمر.
5. غير صحيح؛ لأنه قد تتكوّن البراكين في وسط الصفيحة المحيطية لوجود بقع ساخنة أو أنطقة حفر الانهدام.
6. رغم أن طفوح البازلت تنتج بفعل النشاط البركاني فإنها لا تأخذ شكل الجبل لذا لا تُعدّ بركانًا.

الرياضيات في الجيولوجيا

7. للحصول على السرعة نقسم المسافة على الزمن:

$$500\ \text{km} \div 4.5\ \text{my} = 10\ \text{cm/y}.$$

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 الرئيسة تحدّد مكوّنات الماجما خصائص الثوران البركاني.

الربط مع الحياة لعلك رجحت 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.

جبل إتنا

جبل سانت هيلين

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.

في الميدان

توقع ثوران بركاني جيم كاوهيكاوا عالم جيوفيزيائي يعمل في مرصد بركان هاواي، وهو مسؤول عن جمع بيانات الثورانات البركانية وانسيابات اللابة وتحديثها، واستعمالها في توقع حدوث ثورانات بركانية، كما أنه يجمع بيانات حديثة باستعمل نظام تحديد الموقع العالميGPS لإعداد خرائط حديثة.

2-2

1. التركيز

الفكرة الرئيسة

الثورانات البركانية اطرح على الطلبة الأسئلة الآتية: ما الثوران البركاني؟ تدفق الماجما على سطح الأرض من خلال فتحة على السطح. ما الماجما؟ صخور مصهورة. مم يتكون الصخر؟ من معادن.

2. التدريس

المفاهيم الشائعة غير الصحيحة

قد يعتقد بعض الطلبة أن الثورانات البركانية أحداث نادرة.

استكشاف المفاهيم الشائعة غير الصحيحة

اطلب إلى الطلبة أن يخمّنوا عدد البراكين التي تحدث على الأرض في السنة.

عرض المفهوم

وضح أن معظم البراكين المفردة نادرة الحدوث، ولكن بسبب وجود براكين نشطة يزيد عددها على 500 بركان على سطح الأرض، لذا من المرجح أن يكون هناك على الأقل واحد أو اثنان منها في أي لحظة.

تقويم المعرفة الجديدة

اطلب إلى الطلبة أن يبحثوا في الثورانات البركانية التي حدثت في العام الماضي، ثم إسقاطها على خريطة كبيرة للعالم باستعمال دبابيس.

فسر الرسم

درجات الانصهار اطلب إلى الطلبة دراسة **الشكل 11–2** واسألهم: ما العلاقة بين العمق ودرجة انصهار الألبيت الجاف؟ تزداد درجة انصهار الألبيت الجاف بازدياد العمق ما العلاقة بين العمق ودرجة انصهار الألبيت الرطب؟ تقل درجة انصهار الألبيت الرطب بازدياد العمق.

■ **إجابة أسئلة الأشكال الشكل 11–2** ينصهر كل من الألبيت الرطب والألبيت الجاف على عمق 3 km عند درجتي حرارة 870 °C، 1120 °C بالترتيب، بينما ينصهران على عمق 12 km عند درجتي حرارة 740 °C و 1200 °C بالترتيب.

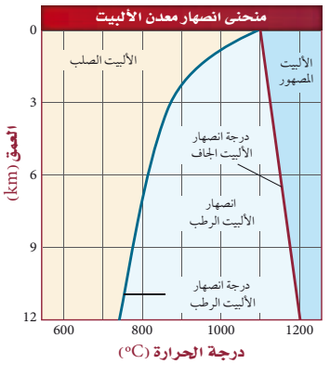
دعم المحتوى

الينابيع الحارة عندما تستقر الماجما بالقرب من سطح الأرض فإنها تُسخّن الصخور المحيطة بها، ومن ثم تسخن المياه الجوفية في المنطقة. ويمكن لهذه المياه الساخنة جدًّا أن تصعد إلى السطح مكونة ينابيع ساخنة أو نوافير ثائرة.

تتشكل الينابيع الحارة عندما تسخن المياه الجوفية إلى درجة حرارة كبيرة جدًّا، فتتمدد المياه ليندفع بعضها إلى أعلى في اتجاه السطح، فينخفض بذلك ضغط المياه المتبقية، مما يؤدي إلى خفض درجة غليان المياه، فتغلي المياه المتبقية بسرعة، ويتشكل بسبب ذلك ضغط كبير لبخار الماء يجبر المياه المتبقية والبخار على الصعود إلى أعلى في الهواء الطلق. وبعد ثوران الينبوع تمتلئ حجرة المياه الجوفية بالمياه ليعاد تسخينها، ومن ثم تثور مرة أخرى.

الينابيع الحارة نادرة الوجود، ويوجد معظمها في الأجزاء الغربية للولايات المتحدة الأمريكية وفي نيوزلند وأيسلند وتشيلي. ويوجد بعضها في الوطن العربي في المملكة العربية السعودية واليمن وجمهورية مصر العربية، وغيرها.

ماذا قرأت؟ العسل.



■ **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، وخفيفة القوام وتتدفق بسرعة ويسر، كما في العسل الساخن، كما أنها تُنتج ثورانات هادئة غير مصحوبة بانفجارات.

طرائق تدريس متنوعة

الطلبة ذوو المستوى المتقدم عند مزج مادتين معًا فإن درجة انصهار المخلوط تكون أقل من درجة انصهار كلتا المادتين منفردتين. اطلب إلى الطلبة أن يبحثوا في كيفية تأثير مزج المواد في درجة انصهار المركبات.

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 أندزيتية Andesitic magma تتكون الماجما الأندزيتية من الكمية نفسها من السيليكا المكوّنة لصخر الأندزيت 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.

الربط مع المعرفة السابقة

خصائص الصخور اطلب إلى الطلبة مراجعة خصائص ومكونات كل من البازلت والأنديزيت والجرانيت، ثم اطلب إليهم أن يتوقعوا علاقة خصائص هذه الصخور بخصائص كل من الماجما البازلتية والماجما الأندزيتية والماجما الريوليتية.

تطوير المفهوم

اللزوجة اطرح السؤال الآتي: أي أنواع الماجما تشبه لزوجتها لزوجة العسل؟ الماجما الريوليتية. **د م**

تطوير المفهوم

لزوجة الماجما اطرح الأسئلة الآتية: أي نوعي اللابة: البازلتية، أم الريوليتية، لزوجتها أكبر بسبب درجة حرارتها؟ الريوليتية. تُرَى، ماذا يحدث للزوجة الماجما أو اللابة عندما تبرد؟ يؤدي انخفاض درجة حرارة الماجما إلى زيادة لزوجتها. **ض م**

دعم المحتوى

رمل المواد البركانية التي تتكون من الرمل الأسود في شواطئ هاواي لا تثور في صورة حبات بحجم الرمل؛ بل تتشكل (حبات الرمل) عندما تتدفق اللابة البازلتية وتدخل مياه المحيط؛ إذ يؤدي التسخين المفاجئ لمياه البحر مع اندفاعها في صورة بخار إلى تفجر اللابة وتحطمها إلى حبيبات صغيرة جدًّا، وتكون ذات حواف حادة إذا كان الشاطئ حديث العمر.

عرض عملي

نمذجة حركة الماجما املأ قطارة بكميات قليلة من زيت الطعام، وأدخل القطارة داخل الماء في كأس، واضغط على القطارة ببطء لإخراج قطرات الزيت، واطلب إلى الطلبة أن يقارنوا بين حركة الزيت هذه وحركة الماجما. كما هو الحال في حركة الماجما إلى أعلى، يتحرك الزيت إلى أعلى لأن كثافته أقل من كثافة الماء.

الربط مع العلوم الأخرى

الرياضيات أخبر الطلبة أن بعض أنواع اللابة تنساب بسرعة 16 km /h، ثم اطلب إليهم حساب الزمن التي تستغرقه لابة تسير بهذه السرعة إذا قطعت مسافة قدرها 45 km.

45 km ÷ 16 km/h = 2.8 h

الثورانات البركانية

الهدف

يقارن الطلبة بين البراكين الهادئة والبراكين تحت الماء والبراكين العنيفة.

نموذج

ثوران البركان اطلب إلى مجموعات الطلبة أن يعملوا نماذج لمحاكاة ثوران بركان. زوّد الطلبة بصلصال وصودا الخبز وصبغة طعام وحمض الخل ونظارات واقية ومعاطف مختبر وصواني مسطحة. وجه الطلبة إلى استعمال الصلصال في تشكيل "بركان" صغير (لا يزيد ارتفاعه على 10 cm) على صينية مسطحة، وأن يكوّنوا "فوهة بركانية منهارة" بقطر 1cm على قمة هذا النموذج، ويضعوا كومة من صودا الخبز بمقدار ملعقة شاي، ثم يضيفوا قطرة من الصبغة وملعقة طعام من الخل إلى "الفوهة البركانية"، ويلاحظوا ما يحدث، ويصفوا عملية الثوران هذه في دفاتر الجيولوجيا الخاصة بهم. د م تعلم تعاوني

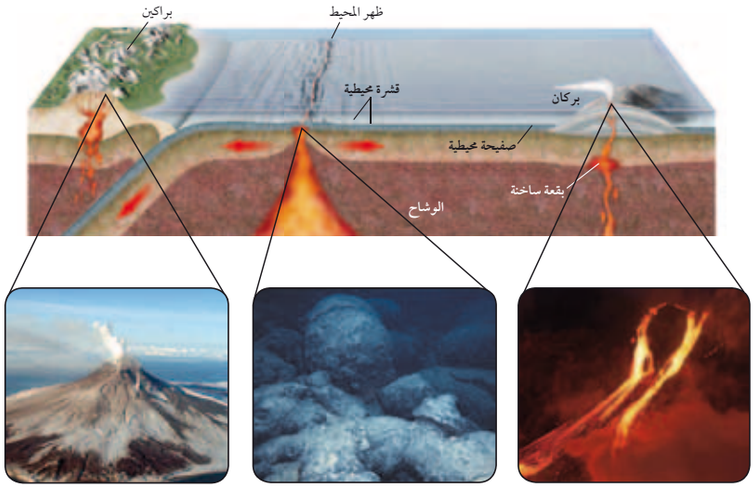
مشروع

النشاط البركاني خارج الأرض كوكب الأرض هو الكوكب الوحيد المعروف بوجود عمليات جيولوجية نشطة؛ لأن الحركة المسببة لهذه العمليات تعتمد على مصدر داخلي للحرارة. ولكن يعتقد العلماء أن الكواكب الأخرى – ومنها المريخ والزهرة – لها صفائح كانت تتحرك في وقت مبكر منذ نشأتها ثم بردت. اطلب إلى الطلبة أن يبحثوا عما إذا كان العلماء يعتقدون وجود كواكب يُحتمل أنها ما زالت نشطة بركانيًّا. ض م ف م

دعم المحتوى

الممال الحراري هو معدل زيادة درجة الحرارة مع العمق، وتزداد عادة درجة الحرارة بمعدل 30 °C /km، غير أنه يختلف باختلاف الموقع على سطح الأرض؛ إذ يصل إلى 60 °C /km في مناطق البراكين البازلتية النشطة وإلى 40 °C /km في مناطق الأحزمة الجبلية غير البركانية وإلى 20 °C /km في المناطق المستقرة أواسط القارات.

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.

الربط مع العلوم الأخرى

الرياضيات اطلب إلى الطلبة أن يستخدموا معدلات الممال الحراري الواردة في الخلفية العلمية في حساب العمق الذي تصل عنده درجة الحرارة 1000 °C في كل من المناطق الثلاث. في المنطقة على عمق 16.7 km يكون الممال الحراري 60 °C /km، وفي المنطقة على عمق 25 km يكون الممال الحراري 40 °C /km، وفي المنطقة على عمق 50 km يكون الممال الحراري 25 °C /km.

رماد بركاني

كتلة بركانية

الثورانات البركانية المتفجرة 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 مترًا، 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.

دفتر الجيولوجيا

الثورانات البركانية كلّف الطلبة أن يكتبوا في دفاتر الجيولوجيا جملة تصف بركان جبل سانت هيلين الذي حدث عام 1980م. قد تتنوع الإجابات، لكن ينبغي أن توضح استيعاب الطلبة للثورانات البركانية وسرعة تدفقات الفتات البركاني.

دعم المحتوى

تأثيرعالمي لاقى تأثير الثورانات البركانية في الغلاف الجوي لدى العلماء عناية كبيرة في العقود الأخيرة، وخصوصًا في موضوع التغيّر المناخي؛ فبركان بيناتوبو ليس وحده الذي له أثر عالمي في درجة الحرارة؛ فهناك بركان لاكي عام 1783م الذي أدى إلى خفض متوسط درجة حرارة الأرض 4.8 °C، كما أن البراكين الآتية قد أدت أيضًا إلى خفض درجة حرارة الأرض: تامبورا 3 °C، والشيكون 0.3 °C، وجبل سانت هيلين 4.8 °C. وتشير الدراسات الحديثة إلى أن تأثير غازات الكبريت التي تطلقها البراكين لها تأثير في تبريد الغلاف الجوي أكبر من تأثير الغبار والرماد البركاني.

تطوير المفهوم

تأثيرعالمي يشير عنوان **الشكل 15–2** إلى أن ثوران بركان جبل بيناتوبو عام 1991م قد أدى إلى خفض درجة حرارة الأرض. اطلب إلى الطلبة أن يبحثوا في تأثير براكين أخرى أثّرت في درجة حرارة الأرض، ولماذا؟

إجابة أسئلة الأشكال الشكل 14–2 يعد كل من الرماد البركاني والكتل البركانية من المقذوفات البركانية؛ إذ يتم قذفهما في أثناء الثورانات البركانية.

دعم المحتوى

الثورانات البركانية الجانبية تحدث معظم الثورانات البركانية عند قمة البركان، غير أن اللابة قد تتدفق من أجنحة (جوانب) جسم البركان؛ فبعض البراكين – ومنها بركان جبل سانت هيلين في عام 1980م – ثار جانبيًّا وكذلك رأسيًّا (أي من الفوهة الرئيسية عند قمة البركان)، مما جعل الجيولوجيين يعتقدون أن الانفجارات الجانبية قد تكون أكثر شيوعًا، وهذا يختلف عما كان يُعتقد سابقًا.

مناقشة

تدفق المقذوفات البركانية الصلبة اطرح السؤالين الآتيين: هل يمكن أن يسير تدفق الفتات البركاني بسرعة أكبر من سرعة السيارة؟ على الأرجح لا. افترض أنك تبعد 10 km عن تيار من تدفق الفتات البركاني يتقدم نحوك بسرعة 120 km /h ما الوقت المتاح أمامك للهروب منه؟ لو كان الشارع مستقيمًا، على الطلبة أن يسيروا بسرعة 160 km /h للهرب من تدفق الفتات البركاني؛ لأنه سيقطع مسافة 10 km في خمس دقائق.

المختبر الجيولوجي يمكن أن تستخدم المختبر الجيولوجي الموجود في نهاية الفصل في هذا الجزء من الدرس.

3. التقويم

التحقق من الفهم

تعزيز اطلب إلى الطلبة أن يتعرفوا العوامل التي تحدد مكونات الماجما. مكونات مصدر الماجما، كميات الماء الموجودة، درجة الحرارة التي تشكلت عندها الماجما.

إعادة التدريس

تصوّر وضح أن السيليكا تؤثر في زيادة لزوجة الماجما، كما يؤثر الطحين في لزوجة حساء اللحم.

التقويم

الأداء اطلب إلى الطلبة أن يبحثوا في إحدى البراكين الواردة أسماؤها في **الشكل 1–2**، وأن يقدموا نتائجهم على لوحة أو في مطوية.

التقويم 2-2

1. تحدد مكونات السيليكا لزوجة الماجما، كما تساعد كمية الغازات في تحديد شدة الانفجار البركاني.
2. كلما زادات لزوجة الماجما زادت شدة الثوران البركاني.
3. ستكون شدة انفجاره ذات طاقة كبيرة.
4. الكتل البركانية هي الأكبر حجمًا، بينما حبات الرماد البركاني هي الأصغر حجمًا.
5. تكونت من كميات كبيرة من السيليكا والغازات الذائبة.

الكتابة في الجيولوجيا

6. ستتنوع. الإجابات. لكن ينبغي أن تتضمن النشرة معلومات عن كميات تدفق المقذوفات البركانية الصلبة، أو كميات اللابة المتدفقة من البركان.

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 الرئيسة** **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.

في الموقع

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، ويكسون 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.

الكتابة في الجيولوجيا

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.

في الموقع

الهدف

يتعرف أنواع الدراسات البركانية ونوع العتاد الذي يحتاج إلى هذا النوع من الدراسات.

دعم المحتوى

فريق المساعدة تم بناء وحدة المساعدة ومقرها في كاليفورنيا، وقد زار الخبير الجيوفيزيائي راندي وايت الكثير من البراكين خاصة المناطق التي حذر بأنها قد ارتفع نشاطها الزلزالي، يمكن أن يصل فريق راندي موقع بركاني في غضون 24 ساعة، حيث يتم تفسير البيانات الزلزالية، وقياس الانتفاخات الأرضية، ومستويات الغاز في الغلاف الجوي. هدف فريق المساعدة هو توقع موعد ثوران بركان.

استراتيجيات التدريس

قدم موضوعات بحثية مقترحة للطلبة، بحيث تضم معلومات عن أهم البراكين النشطة وعناوينها كذلك قدم لهم معلومات عن بركان العيص الذي حدث في الجزيرة العربية وعلاقته بالزلازل التي تحدث بالمنطقة.

الكتابة في الجيولوجيا

ابحث ينبغي أن تتضمن كتابات الطلبة معلومات حول طريقتين تمت مناقشتها مع المعلم . قد يذكر الطلبة في كتابتهم اهتمام العلماء بانتفاخ وميلان سطح الأرض بسبب ما تشكله الماجما في أثناء صعودها.

مختبر الجيولوجيا

الإعداد للمختبر

الزمن المقترح: 90 دقيقة.

المهارات العلمية: التواصل، التقوّيم، البحث، التوقع.
احتياطات السلامة: اطلب إلى الطلبة الإطلاع على تعليمات السلامة في المختبر قبل بدء التجربة العمل.

إعداد الأدوات

إذا لم يتوافر إنترنت في غرفة الصف فاطبع نسخة ورقية لبيانات البراكين من شبكة الإنترنت قبل بدء الحصة. وعليك أن تتأكد أن الطلبة قادرون على الوصول إلى الإنترنت أو إلى المكتبة بأمان؛ لإجراء المزيد من البحث.

خطوات العمل

- راقب الطلبة في أثناء تنفيذ النشاط ولاحظ مدى تقدمهم، واطرح عليهم أسئلة ملائمة إذا لزم الأمر.
- اطلب إلى الطلبة أن يعملوا في مجموعات ثلاثية أو رباعية، وتأكد أنهم ينفذون التعليمات خطوة خطوة، وأن يستفسروا عن أي خطوة غير واضحة.
- **تجنب الأخطاء.** وفّر موارد مطبوعة ومواقع عبر الشبكة الإلكترونية للطلبة الذين يجدون صعوبة في البحث عن المواضيع ذات العلاقة.

التحليل والاستنتاج

1. قد تتنوع الإجابات، قد يأخذ الطلبة بعين الاعتبار وجود الثورانات البركانية والقراءات الزلزالية ونوع البركان وأنظمة الإعلام في حالات الطوارئ.
2. قد تتنوع الإجابات. قد يعتمد الطلبة في إجاباتهم على نشاط زلزالي حديث أو على ملاحظات محلية.
3. ستتنوع عروض الطلبة. ينبغي أن يقدم الطلبة نتائجهم في جداول واضحة، وأن يكونوا قادرين على إجابة الأسئلة التي توجه إليهم.

شارك بياناتك

راجع مع أقرانك ينبغي أن تُظهر ملخصات الطلبة تقويماً مناسبًا لكل نوع من البراكين. ستتنوع المقارنات. ومن المحتمل أن يبحث الطلبة عن براكين مختلفة وقد يستخدمون بيانات مختلفة.

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 الرئيسة

يمكـن أن يسـتخدم الطلبـة فقـرات مختـصرة لمراجعـة المفاهيـم الأساسية للفصل.

يستطيع الطلبة زيارة الموقع الإلكتروني

www.obeikaneducation.com

بهدف:

- دراسة الفصل كاملاً على الموقع.
- الحصول على المزيد من المعلومات والمشاريع والأنشطة.
- التقدم لاختبارات الفصل والاختبار المقنن.

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.

الفصل 2

مراجعة الفصل

مراجعه المفردات

1. بركان مركب
2. فتحة البركان
3. النشاط البركاني
4. المقذوفات البركانية
5. فوهة البركان
6. فوهة بركانية منهارة
7. بركان مخروطي
8. بقعة ساخنة
9. بركان درعي
10. تدفقات المقذوفات البركانية الصلبة.
11. كلاهما مقذوفات بركانية
12. كلاهما تكوّن بفعل براكين هادئة (غير متفجرة)
13. كلتاهما فتحة تخرج منها اللابة على سطح الأرض.
14. كلتاهما فتحة في قمة البركان.

تثبيت المفاهيم الرئيسة

15. d
16. b
17. b
18. c

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.

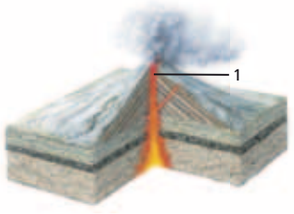
حدّد المشترك بين كل مصطلحين فيما يأتي:

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.



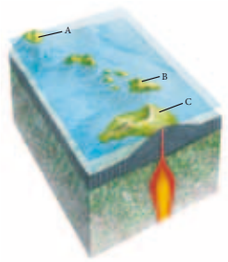
16. ما نوع البركان في الشكل أعلاه؟
    a. درعي. c. طفح بازلتي.
    b. مركب. d. مخروطي.
17. ما المعلم الجيولوجي المشار إليه بالرقم 1 في الشكل أعلاه؟
    a. فوهة البركان. c. فتحة البركان.
    b. قناة البركان. d. حجرة الماجما.
18. أي الجمل الآتية غير صحيحة؟
    a. تزداد لزوجة الماجما بازدياد محتواها من 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

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 تحدّ

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

أسئلة بنائية

19. البقع الساخنة مواقع على سطح الأرض حيث يوجد أسفلها أعمدة ثابتة من المواد المنصهرة (الماجما) التي تصعد إلى السطح. البقع الساخنة ليست لها صلة واضحة مع حدود الصفائح.

20. بركان درعي: جبل ماونالوا. بركان مركب: جبل سانت هيلين. بركان مخروطي: لاسين بارك في كاليفورنيا.

21. الكتل البركانية مقذوفات تطلقها البراكين في أثناء الثورانات العنيفة ولكن لأن براكين الدروع تتكون من البازلت فإنها لا تثور في صورة انفجارات عادة.

22. الجزيرة A هي الأقدم لأنها الأبعد عن البقعة الساخنة التي كونتها، وهي أكثر الجزر التي تعرت لأنها تعرضت للتعرية مدة أطول. تتحرك الصفيحة في اتجاه الشمال الغربي، ويعد هذا دليلاً على أن الجزر الأحدث تقع في الجنوب الشرقي للصفيحة.

23. كلما كانت الماجما أسخن انخفضت اللزوجة. وكانت أسرع، وكلما كانت الماجما أبرد ارتفعت اللزوجة وقلت سرعتها.

24. عند ثوران البركان يتصاعد غاز ثاني أكسيد الكبريت وغازات أخرى والرماد البركاني إلى طبقة الستراتوسفير في الغلاف الجوي والغلاف الجوي عمومًا، وقد تبقى هناك عالقة فترة مما يسبب حجب أشعة الشمس وخفض درجات الحرارة على الأرض.

التفكير الناقد

25. ترتيب أنواع البراكين حسب شدة ثورانها من الأقل إلى الأشد: البازلتية، الأنديزيتية، الريوليتية؛ فالماجما الغنية بالغازات والسيليكا تكون أكثر لزوجة وأشد ثورانًا.

26. براكين درعية: ماجما بازلتية وهي منخفضة نسبيًّا من حيث اللزوجة ومحتواها من السيليكا والغازات. براكين مركبة ومخروطية: ماجما أنديزيتية أو ريوليتية وتتراوح لزوجتها بين المتوسط إلى المرتفع نسبيًّا، ومحتواها من السيليكا والماء مرتفع.

27. سوف لا يوجد إلا نشاط بركاني من البقع الساخنة فقط.

خريطة مفاهيمية

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

سؤال تحدٍّ

29. البقع الساخنة تعمل على صهر صخور القشرة التي تعلوها لتندفع الماجما إلى السطح دون اختلاطها بكميات كبيرة من صخور القشرة ومن ثم تحافظ على تركيبها البازلتي.

اختبار مقنن

اختيار من متعدد

1. b

2. a

3. d

4. a

5. b

6. a

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)

ما نوع البركان في الشكل أعلاه؟

a. مخروطي.

b. درعي.

c. مركب.

d. فتات بركاني.

5. 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

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

7. 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.

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

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

10. 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.

11. 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 ضروريًا.

أسئلة الإجابات القصيرة

7. توبا، تامبورا، كاراكاتاو، بيناتوبا، فيزيوفيوس، سانت هيلين.

8. قد تتنوع الإجابات. لكن قد تتضمن: بركان فيزيوفيوس قريب جدًّا من الناس، وتدفقات الفتات البركانية للبركانين مختلفة، كما تم تحذير الناس من بركان بيناتوبو بسبب توافر طرائق حديثة للكشف عن البراكين.

9. 25 km تقريبًا.

10. تحتوي اللابة التي شكلت حجر الخفاف على كميات كبيرة من الغازات، وتهرب هذه الغازات منها عندما تخرج على السطح وتبرد هناك.

11. تمتاز اللابة التي ينتج عنها انفجارات عنيفة بلزوجة مرتفعة جدًّا؛ لأنها تمنع هروب الغازات منها، فعندما تندفع اللابة إلى السطح تهرب الغازات المذابة بصعوبة، لذا ينتج عن ذلك انفجارات عنيفة.

القراءة والاستيعاب

12. d

13. b

14. ستتنوع الإجابات ولكن يجب مناقشة مخاطر الرماد الذي يملأ الهواء والمقذوفات البركانية المتساقطة والضرر الذي يسببه الزلزال.

الفصل 3

الزلازل

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

3–1 الأمواج الزلزالية و بنية الأرض

الفكرة الرئيسة يمكن استعمال الأمواج الزلزالية في تصوّر بنية الأرض الداخلية.

3–2 قياس الزلازل و تحديد أماكنها

الفكرة الرئيسة يقيس العلماء قوة الزلازل و يحددون مكانها على الخريطة باستعمال الأمواج الزلزالية.

3–3 الزلازل و المجتمع

الفكرة الرئيسة يمكن معرفة احتمال حدوث الزلزال من خلال تاريخ الزلازل، ومعرفة أين و كيف تتراكم الاجهادات بسرعة.

مخطط الفصل 3
الزلازل

الأهداف	المواد والأدوات المستعملة	الزمن المقترح
3–1 الأمواج الزلزالية وبنية الأرض 1. **تقارن** بين أنواع الأمواج الزلزالية الثلاثة. 2. **تصف** كيف يعمل مقياس الزلازل (السيزمومتر). 3. **تفسر** كيف أُستعملت الأمواج الزلزالية في معرفة مكونات باطن الأرض وتركيبها.	**تجربة استهلالية.** صفحة 65 كتلتان خشبيتان، ورق الصنفرة، دبابيس تثبيت الورق. **عرض عملي.** صفحة 67: نابض طويل **عرض عملي.** صفحة 69: صحن كبير مسطح، ماء.	10 دقائق 10 دقائق 10 دقائق
3 – 2 قياس الزلازل وتحديد مكانها 1. **تقارن** بين قوة الزلزال وشدته وبين مقاييس أخرى. 2. **تفسر** لماذا نحتاج إلى ثلاث محطات رصد لتحديد موقع المركز السطحي للزلزال. 3. **تصف** أحزمة زلازل الأرض.	**تجربة.** صفحة 76: ورقة، قلم رصاص.	45 دقيقة
3–3 الزلازل و المجتمع 1. **تناقش** العوامل التي تؤثر في حجم الدمار الذي يُحدثه الزلزال. 2. **توضح** بعض العوامل التي تؤخذ في الاعتبار في دراسات احتمالية وقوع الزلازل. 3. **تتعرف** كيف تتأثر المنشآت المختلفة بالزلازل.	**عرض عملي.** صفحة 77 : علب عصير معدنية **عرض عملي.** صفحة 80 : كيس بلاستيك، عينات صخرية، خيط، صينية، ماء **مختبر الجيولوجيا.** صفحة 88 خريطة الوطن العربي، آلة حاسبة، فرجار، مسطرة مترية.	5 دقائق 10 دقائق 20 دقيقة

ترميز مستويات الأنشطة والتجارب لمراعاة الفروق الفردية

ف م أنشطة للطلبة الذين هم فوق المستوى (المتميزين).	**ض م** أنشطة للطلبة الذين هم ضمن المستوى.	**د م** أنشطة للطلبة الذين هم دون المستوى.	**تعلم تعاوني** أنشطة صُممت لمجموعات عمل صغيرة متعاونة.

الفصل 3

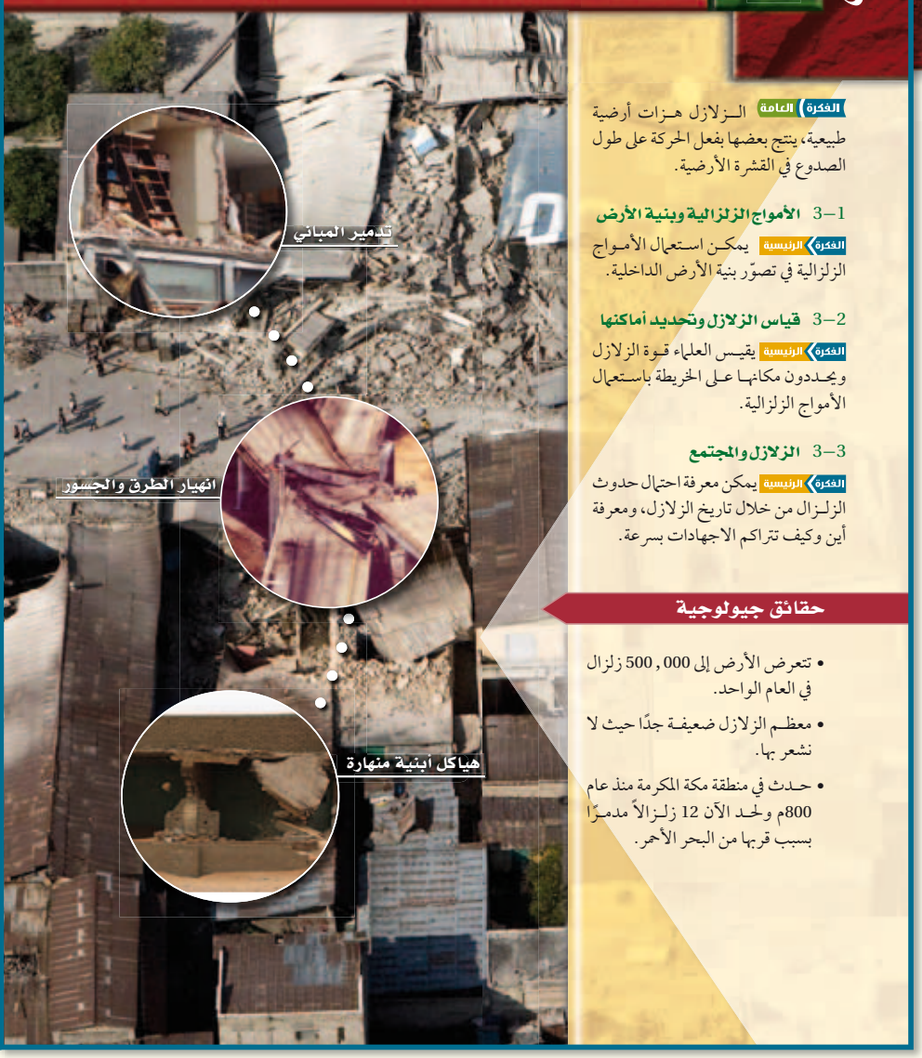
الزلازل

الفكرة العامة

تواتر الزلازل أخبر الطلبة أن الزلازل تحدث في جميع الأوقات، إلا أنه لا يُذكر منها في وسائل الإعلام إلا الزلازل الكبيرة التي تصيب المناطق المأهولة بالسكان. وضح لهم أننا نعيش على كوكب (الأرض) نشط؛ حيث تحدث الزلازل بفعل عمليات جيولوجية داخلية مستمرة، ثم اسالهم: ما عدد الزلازل التي تحدث سنويًّا؟ ربما يجيب الطلبة أن عدد الزلازل التي تحدث سنويًّا قليل، لذا أخبرهم أنه بالإضافة إلى الزلازل القليلة التي يسمعون عنها فإن عدد الزلازل التي تحدث فعليًّا يزيد على المليون سنويًّا.

دعم المحتوى

صدع البحر الميت التحويلي يعتقد الخبراء الجيولوجيون أن الزلازل الخفيفة التي حدثت أخيرًا في جنوب لبنان هي مقدمة لزلزال كبير ومدمر قد يصيب منطقة غور الأردن وتحديدًا الأغوار الشمالية. وتشير دراسة لصدع البحر الميت التحويلي إلى أن هناك نشاطًا ملحوظًا على الجانب الشمالي منه، وتحديدًا من شمال وقاص (الغور الشمالي في الأردن) وحتى الجنوب اللبناني، وعند مراجعة السجل الزلزالي للمنطقة ولمدة خمسة آلاف سنة، يتبين أن هذه المنطقة الآن هي فجوة زلزالية؛ فآخر زلزال كان عام 1033م الذي سجل في غور الأردن. أما عن زلازل 1759 و 1837 و 1956م – وهي من النوع 7 وحتى 7.5 على مقياس رختر – فتتكرر كل 1400– 1000 سنة، مما يدل على أن النشاط الحالي قد يكون مقدمة لحدوث زلزال قادم. ذكر الطلبة ما درسوه سابقًا عن الصدوع، واسألهم: ماذا تتوقع أن يحدث عند حدوث حركة على طول الصدع؟ ينبغي أن تظهر الإجابات أن الصدوع تمثل حركة ضخمة للقشرة الأرضية، وقد يتخيل بعضهم أن مثل هذه الحركة على الصدوع يصاحبها حدوث زلازل غالبًا.



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

3–1 الأمواج الزلزالية وبنية الأرض

الفكرة الرئيسة يمكن استعمال الأمواج الزلزالية في تصوّر بنية الأرض الداخلية.

3–2 قياس الزلازل وتحديد أماكنها

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

3–3 الزلازل والمجتمع

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

حقائق جيولوجية

- تتعرض الأرض إلى 500,000 زلزال في العام الواحد.
- معظم الزلازل ضعيفة جدًا حيث لا نشعر بها.
- حدث في منطقة مكة المكرمة منذ عام 800م ولحد الآن 12 زلزالاً مدمرًا بسبب قربها من البحر الأحمر.

السبورة التفاعلية

استعمل عروضًا تقديمية (بالبوربوينت) تشتمل على:

- ملخص لمحتوى فصل.
- عروض متحركة.
- صور مختلفة تتعلق بالزلازل والموجات الزلزالية
- روابط بالموقع التعليمي:
  www.obeikaneducation.com

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 أفقيًا 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. حرّك الكتلتين الخشبيتين أفقيًا 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 فعليًا في أثناء حدوث الزلزال؟

المطويات منظمات الأفكار

الأمواج الزلزالية

اعمل المطوية الآتية لتعرف أنواع الأمواج الزلزالية.

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

الخطوة 2 اثن الورقة عموديًا 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.

الأمواج الزلزالية | الأولية | الثانوية | السطحية

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

جيولوجيا

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

التحليل

1. تتحرك الكتلتان الخشبيتان غير المغطاتين بورق الصنفرة إحداهما أسفل الأخرى بسهولة، أما الكتلتان المغطاتان بورق الصنفرة فيحتاج تحريكهما إلى قوة أكبر، لذا فإن حركتهما تكون أقل انتظامًا وقد تحدث فجأة.
2. إجابات محتملة: الصفائح الأرضية أو قطع من القشرة الأرضية.
3. الحركة الثانية أكثر شبهًا بعملية حدوث الزلزال، حيث تحتكّ قطعة ضخمة من القشرة الأرضية مع قطعة أخرى في أثناء حركتهما.

تجربة استهلالية

المهارات العلمية الملاحظة، والاستنتاج، والتواصل، والمقارنة.

احتياطات السلامة اطلب إلى الطلبة الإطلاع على تعليمات السلامة في المختبر قبل بدء التجربة.

استراتيجيات التدريس

- اطلب إلى الطلبة أن يأخذوا حذرهم عند تحريك الكتلتين الخشبيتين المغطاتين بورق الصنفرة حتى لا يجرحوا أصابعهم.
- اطلب إلى الطلبة أن يؤثروا بقوة متساوية ومعتدلة في أثناء تحريك الكتلتين الخشبيتين.
- على الطلبة أن يلاحظوا أن الكتلتين الخشبيتين غير المغطاتين بورق الصنفرة تنزلق إحداهما تحت الأخرى بسهولة، أما عند تحريك الكتلتين المغطاتين بورق الصنفرة فتلتصقان معًا حتى تتغلب قوة القص المؤثرة على قوة الاحتكاك، وعندئذ تتحرك الكتلتان فجأة. وهذه العملية تحاكي حدوث الزلزال في الطبيعة.
- على الطلبة بعد الانتهاء من تنفيذ التجربة أن يعيدوا إليك كلًّا من ورق الصنفرة ودبابيس تثبيت الورق والكتل الخشبية، ويخلعوا معاطف المختبر والنظارات الواقية.

التقويم

المعرفة اطلب إلى الطلبة أن يكتبوا فقرة يلخصون فيها ملاحظاتهم واستنتاجاتهم باستعمال المصطلحات الآتية: كتل خشبية غير مغطاة بورق الصنفرة، كتل خشبية مغطاة بورق الصنفرة، خشن، أملس، قوة احتكاك صغيرة، قوة احتكاك كبيرة، حركة مستمرة، انهيار مفاجئ، زلزال، تشوه بطيء.

3-1

1. التركيز

الفكرة الرئيسة

تكوّن الصورة اطلب إلى الطلبة أن يتناقشوا كيف تتكون صورة أي جسم من الداخل، سواء أكان ذلك لعظامنا من الداخل أو أي شيء آخر؟ نعتمد على الأمواج التي تنعكس أو تنحرف في أثناء مرورها خلال الأجسام أو التراكيب المراد رؤيتها، ولنرى من خلال عيوننا نستعمل الأمواج المرئية، بينما نستعمل في أجهزة الأشعة السينية أمواجًا كهرومغناطيسية بأطوال موجية مختلفة لتكوين صور لجسم الإنسان من الداخل أو لأي جسم آخر. وضح للطلبة أنه يمكن تكوين صور لباطن الأرض لمعرفة تركيبها من الداخل باستعمال الأمواج التي تكوّنها الزلازل، والتقاطها باستعمال أجهزة السيزمومتر.

2. التدريس

الربط مع المعرفة السابقة

اهتزاز سطح الأرض اسأل الطلبة عما إذا كانوا قد ركبوا قاربًا صغيرًا في بحيرة أو نهر. لا بد أنهم سيتذكرون اهتزاز القارب إلى أعلى وإلى أسفل وحركته المتأرجحة وحركته الأخرى الأفقية من جانب إلى آخر. وضح للطلبة أن هذه الاهتزازات تحدث نفسها لسطح الأرض عند حدوث الزلزال ولكن بصورة أبطأ.

3-1

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

الأمواج الزلزالية وبنية الأرض
Seismic Waves and Earth's Interior

الفكرة الرئيسة **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 نسبيًا، 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 تتكسر 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.

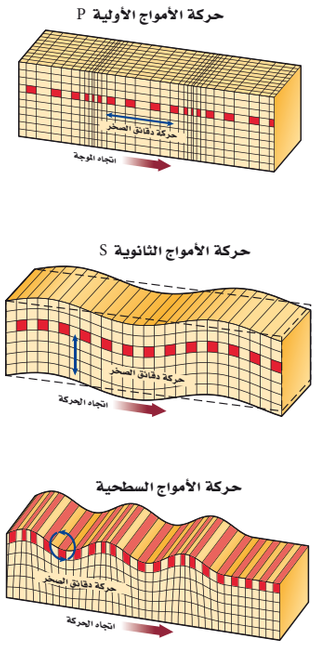
الأمواج الثانوية Secondary waves

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.

دعم المحتوى

الأمواج السطحية هناك نوعان من الأمواج السطحية؛ رالي ولف. تسمى أمواج رالي أيضًا الحركة الدورانية؛ فهي تسبب حركة دورانية لسطح الأرض إلى أعلى وإلى أسفل كحركة أمواج البحر. أما أمواج لف فهي أمواج قص سطحية تسبب حركة سطح الأرض أفقيًّا من جانب إلى آخر في أثناء مرورها فيه.

النشاط

الأمواج السطحية بناء على نتائج العرض أدناه، شكّل مجموعات ثنائية من الطلبة، واطلب إليهم أن يوضحوا حركة الأمواج السطحية باستعمال النابض، ثم وضح لهم أن هناك نوعين من الأمواج السطحية؛ أمواج رالي ولف، مستعينًا بالمعلومات الواردة في الخلفية النظرية أعلاه.

تعلم تعاوني

عرض عملي

حركة الموجة استعن باثنين من الطلبة ونابض طويل لتوضح كيف تنتقل أمواج P وأمواج S خلال الصخور. اطلب إليهما أن يمسك أحدهما طرف النابض ويمسك الثاني الطرف الآخر، ثم يُحرّك أحدهما النابض بسرعة من خلال دفعه وشدِّه، ثم اطلب إلى الطلبة أن يصفوا حركة النابض هذه. تنتقل النبضة التضاغطية على طول النابض نحو الطالب المتطوع الثاني، وتتحرك لفات النابض بحركة طولية تشبه حركة أمواج P. اطلب إلى الطالب الثاني أن ينقر على النابض لجعله يتحرك إلى أعلى وإلى أسفل، ثم اطلب إلى الطلبة أن يلاحظوا نوع الحركة الناتجة، ويربطوها مع حركة أمواج S. **تعلم تعاوني**

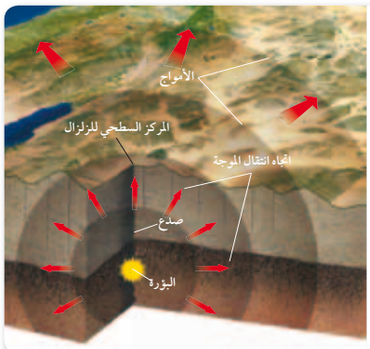
إجابة أسئلة الأشكال **الشكل 2–3** المركز السطحي للزلزال.

النشاط

السيزومتر نمذج كيف يعمل السيزومتر، مستعينًا بورقة وشريط لاصق وقلم رصاص وطاولة خفيفة. ألصق الورقة في أعلى الطاولة باستعمال الشريط اللاصق، ودع أحد الطلبة يمسك قلم الرصاص ويلامس به الورقة، واطلب إلى طالب آخر أن يحرك الطاولة ببطء، وسينتج خط مستقيم على الورقة. أعد هذه الخطوة، على أن يقوم طالب ثالث بهز الطاولة في اتجاه عمودي على اتجاه سحبها في الخطوة السابقة، وسيظهر الخط المرسوم على الورقة كسجل الأمواج الزلزالية في **الشكل 4–3**. **تعلم تعاوني**

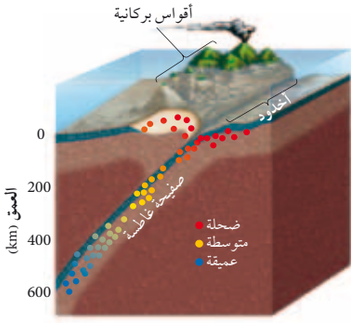
دعم المحتوى

نطاق بينيوف معظم بؤر الزلازل العميقة توجد على السطح العلوي للصفيحة الغاطسة عند أنطقة الطرح في جهة اليابسة. اكتشف عالم الزلازل هيوجو بينيوف أن أعماق البؤر الزلزالية تزداد كلما ابتعدنا عن أخدود نطاق الطرح؛ حيث يميل السطح العلوي بزواية 45° نسبة إلى سطح الأرض ويسمى نطاق بينيوف؛ تكريمًا للعالم هيوجو بينيوف.



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**.

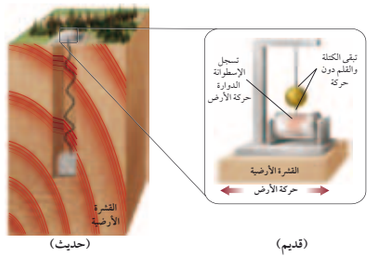
وتنتقل الطاقة المنبعثة من بؤرة الزلزال في جميع الاتجاهات على هيئة موجات زلزالية. وتبلغ قوة الزلازل أكبر ما يمكن في بؤرة الزلزال، وكلما ابتعدنا عن البؤرة فإن قوة الموجات الزلزالية تقل وتخفت بسبب المقاومة التي تواجهها في أثناء مرورها في صخور القشرة الأرضية. وتصنف الزلازل حسب عمق البؤرة، كما في **الشكل 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.

في الميدان

الأمواج الختامية (أمواج كودا) نال الباحث الياباني كيث آكي شهادة الدكتوراه من جامعة طوكيو، ثم ذهب إلى الولايات المتحدة الأمريكية والتحق بمعهد ماساتشوستس للتقنية، وهو مختص في علم الزلازل، وخصوصًا الأمواج الختامية. تحافظ الأمواج الختامية على نسق معين في أثناء انتقالها في التراكيب الجيولوجية، وتتشتت بمعدل ثابت، وتزوّدنا بمعلومات مهمة حول مصادر الزلازل (البؤر الزلزالية).

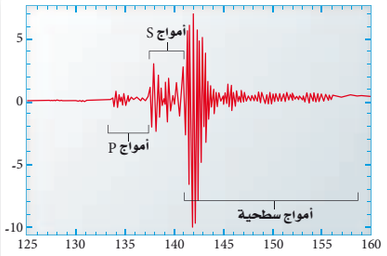
مقياس الزلزال ومخططه
Seismometer and Seismogram

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.



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

قارن ذلك بأجهزة الاستقبال والإرسال الحديثة.



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

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؟

عرض عملي

الأمواج السطحية املأ صحنًا كبيرًا مسطحًا بالماء، على أن تشكل طبقة سمكها 1cm، وانقر على سطح الماء بإصبعك، لعمل موجة صغيرة تنتشر على السطح، واطلب إلى الطلبة أن يلاحظوا ما حدث لارتفاع هذه الموجة كلما ابتعدت عن إصبعك (مكان تولدها). سيقل ارتفاعها. ماذا يحدث لهذه الأمواج عندما تصل إلى أطراف الصحن؟ سوف تنعكس. ماذا يحدث لارتفاع هذه الأمواج بعد انعكاسها؟ سيقل ارتفاعها. أخبر الطلبة أن هذه الأمواج الصغيرة تشبه الأمواج السطحية؛ لأنها تنتشر على السطح فقط. أما الأمواج الجسمية فتنتشر في الاتجاهات الثلاثة، لذا يقل حجمها بسرعة أكبر مقارنة بالأمواج السطحية.

دعم المحتوى

سرعة الأمواج الأمواج الزلزالية P أمواج صوتية يمكنها أن تسير في جميع الأوساط المادية: الصلبة والسائلة والغازية، وسرعتها في الوشاح العلوي 8 km /s أو أكثر من ذلك. الأمواج S أمواج مستعرضة يمكنها أن تسير في المواد الصلبة فقط، وسرعتها في الوشاح العلوي 5 km /s أو أكثر من ذلك. أما الأمواج السطحية فهي أبطأ الأمواج الزلزالية وتتراوح سرعتها بين 3–4 km /s.

التعزيز

الفرق الزمني اطلب إلى الطلبة أن يستعينوا **بالشكل 6–3** في حل المسألة الآتية: محطة زلزالية تبعد عن المركز السطحي للزلزال 4000 km. كم تستغرق كل من أمواج P وأمواج S لتصل محطة الرصد؟ وما الفرق الزمني بينهما في السيزموجرام؟ أمواج P 7.5 دقائق وأمواج S 13 دقيقة، والفرق الزمني بينهما 5.5 دقيقة.

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

المختبر الجيولوجي يُنفذ المختبر الجيولوجي الموجود في نهاية الفصل عند تناول موضوع منحنيات المسافة–زمن الوصول.

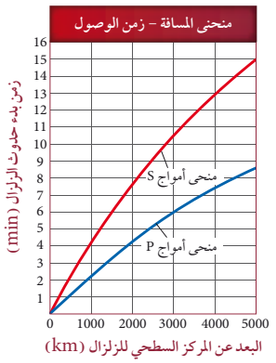
إجابة أسئلة الأشكال الشكل 6–3

4.2 دقيقة، 7.7 دقيقة.

دعم المحتوى

الكثافة نحصل على كثافة الأرض والتي تقدر $5.5\ g/cm^3$ وذلك بقسمة كتلتها على حجمها، وهذه القيمة أكبر من كثافة أي نوع من الصخور الشائعة، مما يدل على أن باطن الأرض يتكون من فلزات (مواد ثقيلة). ويشير زخم القصور الذاتي للأرض المعروف بفترات الترنح لمحور الأرض استجابة لعزم الدوران القمري والشمسي إلى أن كثافة الأرض تزداد كثيرًا مع العمق.

كثافة القشرة الأرضية ومعظم وشاحها أقل كثيرًا من $5.5\ g/cm^3$، لذا فإن لب الأرض يتكون من فلزات، وكثافته $10\ g/cm^3$ على الأقل. وأن الفلزات الشائعة في معظم النيازك والنظام الشمسي تتكون من الحديد–النيكل، لذا يُعتقد أن لب الأرض يتكون من خليط الحديد–النيكل.



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 زمني الوصول بين أمواج P و S في السيزموجرام يكون أكبر في المحطات البعيدة عن المركز السطحي للزلزال مقارنة بالمحطات القريبة. ويُستعمل هذا الفرق الزمني في حساب بُعد المركز السطحي للزلزال عن محطة الرصد التي سجلت الزلزال.

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 بيانيًا في منحنيات المسافة – زمن الوصول، معرفة أن الأرض من الداخل تختلف في المكونات والكثافة.

طرائق تدريس متنوعة

الطلبة ذوو المستوى المتقدم اطلب إلى الطلبة أن يحسبوا كتلة كرة نصف قطر لبها 3450 km ، وكثافته 12500 kg/m^3 ، محاطًا بغلاف يسمى الوشاح نصف قطره الخارجي 6371 km وكثافته $4200\ kg/m^3$.

يمكن حساب كتلة الغلاف داخل الكرة الذي نصف قطره الداخلي r ونصف قطره الخارجي R وكثافته d بالعلاقة الآتية:

الكتلة $= \frac{4}{3} \times \pi (R^3 - r^3)d$ ، وعليه فإن:

كتلة اللب $= \frac{4}{3} \times \pi (3450\ m \times 10^3)^3 \times 12500\ kg/m^3 = 2.15 \times 10^{24}\ kg$

كتلة الوشاح $= \frac{4}{3} \times \pi \times 4200\ kg/m^3 \times [(6371\ m \times 10^3)^3 - (3450\ m \times 10^3)^3] = 3.83 \times 10^{24}\ kg$

الكتلة الكلية للكرة $= 2.15 \times 10^{24}\ kg + 3.83 \times 10^{24}\ kg = 5.98 \times 10^{24}\ kg$

أشر إلى أن هذه الكرة تمثل نموذجًا للأرض.

الأمواج الزلزالية

الهدف

يستكشف الطلبة كيف تزوّدنا انتشار الأمواج الزلزالية في باطن الأرض بمعلومات عن بنية الأرض الداخلية.

النشاط

صور تراكيب مجهولة اجمع 10– 8 علب وبعض الكرات الزجاجية ولوح كرتون كبيرًا. ضع أربع علب على سطح مستو، ورتبها على شكل مستطيل، بحيث تشكل دعامة للوح الكرتون عند وضع أطرافه فوقها. ضع بقية العلب بينها، ثم ضع لوح الكرتون فوق العلب.

اطلب إلى الطلبة أن يحددوا مكان العلب "المخفية" وخصائصها دون النظر إليها، وأن يمرروا الكرات الزجاجية أسفل اللوح، ويلاحظوا أي هذه الكرات سارت في خط مستقيم، وأيها انعكست، وأيها انحرفت؟ ثم اطلب إليهم رسم صورة على اللوح تظهر الشيء المخفي أسفله.

اطلب إلى الطلبة أن يحددوا الخصائص التي يمكنهم التوصل إليها من الصورة التي رسموها، هل يمكنهم معرفة شكلها ولونها ومحتوياتها؟ شكلها فقط. أخبر الطلبة أن العلب تُمثِّل التراكيب الداخلية للأرض، في حين تُمثِّل الكرات الزجاجية الأمواج الزلزالية.

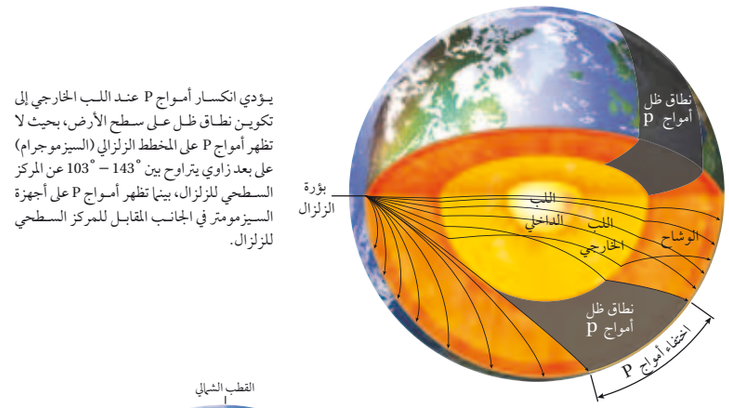
ناقش الطلبة في كيفية الحصول على أفضل صورة للأشياء المخفية؟ في حالة العلب نستعمل كرات زجاجية كثيرة، أما للأرض فنستعمل مصادر أمواج زلزالية أكثر وسيزموجرامات أكثر لتسجيل الأمواج الزلزالية.

على الطلبة أن يتوصلوا إلى أن هذه الطريقة تُفيد في معرفة التراكيب الداخلية ومواقعها وليس مكوناتها.

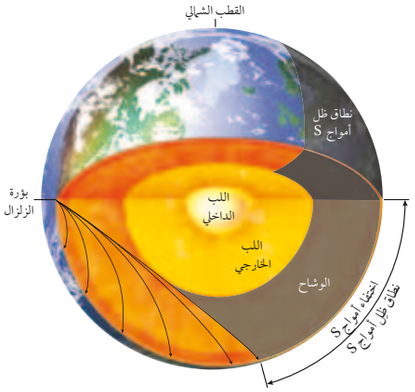
ض م تعلم تعاوني

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° – 143° عن المركز السطحي للزلزال، بينما تظهر أمواج P على أجهزة السيزمومتر في الجانب المقابل للمركز السطحي للزلزال.



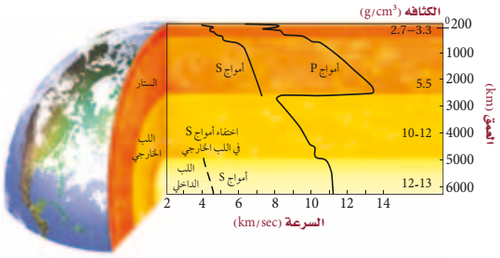
لأن أمواج S لا تمر من خلال اللب الخارجي للأرض السائل، لذلك فإنها لا تظهر ضمن نطاق يسمى ظل أمواج S على بعد زاوي يتراوح بين 103° – 180° عن المركز السطحي للزلزال.

إثراء

سرعة الموجة يستطيع الطلبة أن يلاحظوا تغيّر سرعة الأمواج الزلزالية في أثناء انتقالها في طبقات الأرض الرئيسة المختلفة. اطلب إلى الطلبة تحديد مكان تغير سرعة أمواج P. عندما تواجه الحدود بين طبقات الأرض المختلفة في مكوناتها. ض م

دعم المحتوى

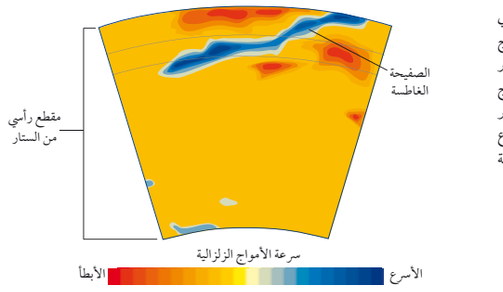
انعكاس الأمواج الزلزالية وانكسارها تنعكس الأمواج الزلزالية وتنكسر عند انقطاع القشرة الأرضية. ويمكن تحديد زاوية الانكسار باستعمال قانون سنيل، الذي ينص على أن $\sin r / V_1 = \sin r / V_2$ حيث إن V_1 و V_2 سرعة الأمواج الزلزالية في الوسط العلوي السفلي على التتابع، لذا تبتعد الأشعة المنكسرة عن العمود المقام إذا كانت V_2 أكبر من V_1، وتقترب من العمود المقام إذا كانت V_1 أكبر من V_2. ولأن الأمواج الزلزالية تزداد سرعتها في الوشاح مع العمق، فتتخذ شكلاً مقعرًا إلى أعلى فإذا سقطت الأمواج بزاوية سقوط حرجة i تصبح زاوية الانكسار r تساوي 90^o، لذا تنكسر الأمواج انكسارًا حرجًا، وتنتقل على طول الحدود بسرعة الوسط الذي تعبر فيه مولدة أمواجًا تعود إلى السطح تسمى رأس الموجة.



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 مكوناتها، 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 (السيزومترات) 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 تنضح 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 (السيزومومتر) 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 زلزاليًا، 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. التقويم

التحقق من الفهم

التعزيز لاختبار استيعاب الطلبة للمفاهيم الرئيسة لهذا الجزء من الفصل، اطرح عليهم السؤال الآتي: كيف يحدد العلماء تراكيب الأرض الداخلية وأبعادها؟ تستعمل مسارات الأمواج الزلزالية بأنواعها المختلفة المتولدة بفعل الزلازل في تحديد التراكيب الداخلية وأبعادها؛ فغياب الأمواج S في اللب الخارجي يدل على أنه سائل، في حين يدل انعكاس أمواج P عن اللب الداخلي على أنه صلب، كما تؤكد سرعة الأمواج الزلزالية في باطن الأرض نتائج الدراسات الأخرى حول مكونات اللب الوشاح.

إعادة التدريس

لخص ارسم على السبورة نموذجًا ذا بعدين لبنية الأرض الداخلية، واطلب إلى طالبين رسم كيفية انتقال الأمواج الزلزالية P و S من بؤرة الزلزال إلى جسم الأرض، باستعمال ألوان مختلفة، ثم اطلب إلى طالب ثالث تحديد امتداد نطاق ظل أمواج P على الرسم.

التقويم

تفسير الرسوم العلمية. اطلب إلى كل طالب رسم مقطع من الأرض على دفاتر الجيولوجيا، مبينين مكونات وحالة كل من القشرة الأرضية، الوشاح، واللب الخارجي والداخلي للأرض.

التقويم 3-1

1. تدل سرعات الأمواج الزلزالية على طبيعة المواد التي تمر فيها.
2. يجب أن توضح الرسوم كيف تُسجل حركة الكتلة بالنسبة إلى الإطار.
3. تزوّدنا منحنيات المسافة–زمن الوصول بمتوسط أزمنة وصول جميع الأمواج الزلزالية، التي تساعد العلماء على تحديد موقع المركز السطحي للزلزال.
4. تقل، بصورة عامة، سرعة الأمواج الزلزالية بارتفاع درجة الحرارة
5. قد يشاهد الشخص الذي على السطح أن الأمواج السطحية تنتقل على سطح الأرض كحركة أمواج البحر، وتنتقل أمواج P مبتعدة ومقتربة من الشخص. أما أمواج S فتحرك سطح الأرض إلى الأمام والخلف.
6. لأن الأمواج الزلزالية تحرر جميع طاقتها على السطح، حيث يوجد الناس والمنشآت.
7. ينبغي أن توضح المقالات أن العلماء يدمجون معرفتهم بسلوك الأمواج الزلزالية في أثناء عبورها للصخور، بقياسات أزمنة وصول الأمواج الزلزالية التي تسير في جسم الأرض عند حدوث الزلزال.

3-2

1. التركيز

الفكرة الرئيسة

موقع الزلازل اسأل الطلبة: أين يمكن أن تحدث معظم الزلازل؟ عند حدود الصفائح. كيف تعرف وجود حركة للصفائح الأرضية عند البحر الأحمر؟ حدوث زلازل قوية تتكرر باستمرار. كيف تعرف أنه لا توجد حدود للصفائح الأرضية أسفل الغطاء الجليدي في القارة المتجمدة الجنوبية؟ لأنه لا تحدث زلازل في هذه المنطقة.

احتمالية الزلازل اطلب إلى الطلبة أن يتناقشوا في احتمالية وقوع زلازل في مناطقهم في هذا العام. إجابات محتملة. إذا كانت الزلازل تحدث كثيرًا، فعليهم أن يعتمدوا على السجلات التاريخية للزلازل. أما إذا كانت الزلازل نادرة الحدوث فعليهم أن يبحثوا عن أدلة جيولوجية في الصخور والرسوبيات.

2. التدريس

دعم المحتوى

قياس الزلازل قوة الزلزال وطاقة الزلزال قيمتان مختلفتان، ولكنهما مرتبطتان معًا بالعلاقة الرياضية الآتية: $\text{Log } E = 5.24 + 1.44\ M$، حيث ترمز E إلى الطاقة بالجول، و M إلى قوة الزلزال (M_S). وبناء على هذه المعادلة، فإن زلزالاً بقوة 8 يحرر طاقة قدرها $10^{16.3}$ j، وهي تعادل الطاقة الناتجة عن 16 ميجاطن لقذيفة نووية (التي تطلق بوساطة قاذف Davy Crockett وهو أصغر سلاح نووي). ولو قارنا الطاقة الناتجة عن قنبلة هيروشيما بالطاقة الزلزالية فإنها تعادل الطاقة الناتجة عن زلزال قوته 5.3.

الربط مع العلوم الأخرى

الفيزياء جميع الأمواج لها خصائص متشابهة. اطلب إلى الطلبة أن يبحثوا عن معاني المفردات التي توجد على الرسوم البسيطة للأمواج، وهي: قمة الموجة أعلى نقطة في الموجة. قاع الموجة أخفض نقطة في الموجة. سعة الموجة أقصى إزاحة لدقائق الوسط عن مستوى انتشار الموجة. طول الموجة المستعرضة المسافة بين قمتين متتاليتين أو قاعين متتاليين. طول الموجة الطولية المسافة بين تضاغطين متتاليتين أو تخلخلين متتاليين. الزمن الدوري الزمن اللازم لمرور الموجة بين قمتين متتاليتين أو قاعين متتاليين أو الزمن اللازم لإكمال دورة واحدة. التردد عدد القمم أو القيعان التي تعبر نقطة ما في فترة زمنية معينة. ض م

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 الرئيسة **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، ينكسر 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 الممهدة، 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.

دعم المحتوى

قوة الزلزال بعد اقتراح العالم شارلز رختر طريقته في تحديد قوة الزلزال عام 1935م بفترة وجيزة اكتشف أن القياسات الأكثر توافقًا للزلازل تم الحصول عليها من الأمواج الزلزالية السطحية؛ حيث عُدلت وفق أزمنتها الدورية. وتسمى طريقة تحديد قوة الزلزال هذه قوة الزلزال للأمواج السطحية M_s، وهي لا تزال تُستعمل على نطاق واسع، كما تستعمل في معظم قياسات رختر لقوة الزلازل. ولأن الزلازل المتوسطة والعميقة لا تولّد قدرًا كبيرًا من الأمواج السطحية، لذا تُقاس مثل هذه الزلازل بقوة الزلزال للأمواج الجسمية (m_b) الذي يعتمد على سعة أقصى موجة مسجلة وزمنها الدوري. وتختلف هاتان القيمتان (M_S و m_b) في قياس الزلازل، ويمكن ربطهما معًا وفق المعادلة الرياضية الآتية: $m_b = 2.94 + 0.56 \times M_S$. غالبًا ما تُقاس الزلازل الكبيرة باستعمال العزم الزلزالي الذي يعتمد على سطح الصدع، وفق العلاقة الآتية: $M_o = A \times d \times M$، حيث إن: A و d و M هي مساحة سطح الصدع والإزاحة وقساوة الصخور بالتتابع. ومما يجدر ذكره أن طريقة العزم الزلزالي حلّت تدريجيًّا محل طريقة قوة الزلزال للأمواج السطحية الشائعة الاستعمال.

استعمال التشابه

مقاييس متعددة لتوضيح لماذا تُستعمل مقاييس مختلفة لقياس الزلازل، استعمل أسلوب التشابه مع درجة الحرارة. يعد كل من السلسيوس والفهرنهايت مقياسين لدرجة الحرارة، ومقياس الحرارة جهاز تسجيل كالسيزمومتر، ويشبه استعماله استعمال مقياس العزم الزلزالي في قياس الزلازل. اسأل الطلبة: إذا لم يتوافر لديك مقياس حرارة فكيف يمكنك قياس درجة الحرارة؟ ولماذا؟ قد تقيس فقط درجة الحرارة النسبية، على سبيل المثال؛ ساخن، دافئ، بارد. أو يمكن قياس درجة الحرارة من خلال ملاحظة تأثيرها، على سبيل المثال؛ ينصهر الماء، يغلي الماء، إلخ. إذا لم تتوافر طريقة أو أداة لقياس كميات الأشياء (مقياس الحرارة، مقياس الزلازل)، عندئذ يمكن وصف آثارها أو خصائصها عن طريق إجراء المقارنات. يعتمد مقياس ميركالي على الآثار التي تُحدثها الزلازل، فلا يحتاج إلى سيزمومتر لقياس الأمواج الزلزالية. أي المقاييس الزلزالية يعد مقياسًا غير موضوعي؟ ميركالي.

تجربة

الهدف يُعدّ الطلبة خريطة بسيطة لشدة الزلزال ويفسرونها.

المهارات العلمية تفسير البيانات، استخلاص النتائج.

احتياطات السلامة اطلب إلى الطلبة الإطلاع على تعليمات السلامة في المختبر قبل بدء التجربة. ذكر الطلبة بضرورة التعامل مع المقصات بحذر.

استراتيجيات التدريس

- راجع المفاهيم العلمية المتعلقة بالخرائط الكنتورية قبل تنفيذ هذه التجربة.
- ارسم على السبورة خريطة افتراضية لشدة الزلزال، لكي يأخذ الطلبة فكرة عن كيف ستظهر الخرائط.
- ذكر الطلبة أن الفترة الكنتورية ينبغي أن تكون متساوية، واطلب إليهم أن يهملوا خط الكنتور ذا الشدة I.

النتائج المتوقعة ينبغي أن يرسم الطلبة منحنى كنتوريًّا مغلقاً حول النقطتين L و N لأنهما يمثلان أعلى شدة زلزالية، ويرسموا حول ذلك منحنيات كنتورية تبين التغير في الشدة الزلزالية حسب القيم المعطاة لكل منطقة.

التحليل

1. أعلى شدة زلزالية هي القيمة VIII.
2. تقع عند المحطتين: L، N.
3. يقع بين المحطتين: L، N.

التقويم

المعرفة أخبر الطلبة أن قيم الشدة الزلزالية تنقص كلما ابتعدنا عن المركز السطحي للزلزال؛ لأن سعة الأمواج السطحية تقل مع زيادة البعد عن المركز السطحي، واطلب إليهم أن يتوقعوا لماذا يحدث ذلك. ينبغي على الطلبة أن يكونوا قادرين على استنتاج أن بعض هذا النقص في حجم الأمواج (السعة) بسبب الاحتكاك.

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

سوف تبني في التجربة الآتية خريطة الشدة الزلزالية باستعمال مقياس ميركالي المعدل، وتوضح هذه الخرائط الشدة الزلزالية الفعلية؛ إذ تصل خطوط الكنتور بين الأماكن المتساوية 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 الزلزال تعتمد على سعة الامواج الزلزالية والبعد عن المركز السطحي للزلزال، كذلك تعتمد شدة الزلزال على عمق بورة الزلزال. فالزلازل القوية التي تسبب الكوارث هي 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.

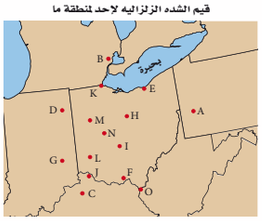
:F ، IV :E ، III :D ، II :C ، III :B ، I :A
، VI :K ، V :J ، V :I ، V :H ، IV :G ، IV
III :O ، VIII :N ، VII :M ، VIII :L

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

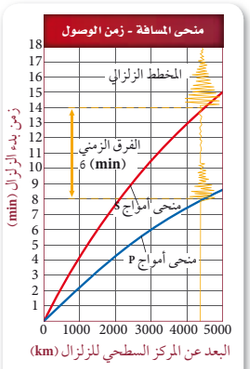
إن موقع المركز السطحي للزلزال ووقت حدوثه يكونان، في البداية، غير معروفين، ولكن يمكن تحديدهما باستعمال المخطط الزلزالي (السيزموجرام) ومنحنيات المسافة – زمن الوصول.

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.

عرض عملي

زمن الانتقال لتوضيح كيف يختلف زمن وصول أمواج P وأمواج S كلما ابتعدت، اطلب إلى طالبين أن يقفا أحدهما بجانب الآخر في أول الغرفة، حيث يمثل أحدهما أمواج P والآخر أمواج S. وعندما تعطيهما الإشارة إيذانًا بحدوث الزلزال، فعلى الطالب الذي يمثل أمواج P أن يخطو خطوة واحدة كل ثانيتين، بينما يخطو الطالب الذي يمثل أمواج S خطوة واحدة كل 4 ثوان. حدد زمن انتقال كل من (الموجتين) عبر الغرفة. كيف يختلف الفرق الزمني لانتقال (الموجتين) عبر الغرفة؟ د م تعلم تعاوني

استعمل المصطلحات العلمية

Epi المقطع epi بادئة في المصطلح العلمي epicenter، وهو المركز السطحي للزلزال. اطلب إلى الطلبة أن يبحثوا باستعمال القواميس في عشرة مصطلحات علمية باللغة الإنجليزية تحتوي على البادئة epi. قد تتضمن الأمثلة: epicenter, epiglottis, epiphyte, epidermis, epidural, epicycle, epilepsy. واطلب إليهم أن يبحثوا في معنى البادئة epi، ويربطوا معناها بالمصطلح epicenter. Epi بادئة مأخوذة من اليونانية وتعني على، فوق، عند، بجانب ، في القمة. يتكون المصطلح epicenter من مقطعين center و epi ويعني فوق المركز أي فوق البؤرة. د م

فسر الرسم

تحديد المركز السطحي للزلزال اطلب إلى الطلبة أن يستخدموا **الشكل 13–3** لتفسير لماذا نحتاج إلى بيانات لثلاث محطات زلزالية على الأقل لتحديد موقع المركز السطحي للزلزال. ينبغي على الطلبة أن يتوصلوا إلى أن المركز السطحي يقع في منطقتين محتملتين، إذا استعملوا بيانات من محطتي رصد، أما إذا استعملوا بيانات لثلاث محطات رصد فيمكنهم أن يحددوا موقع المركز السطحي. ض م

النشاط

تحديد موقع المركز السطحي للزلزال اطلب إلى الطلبة أن يرتبوا أنفسهم في دائرة حول الغرفة، ثم يغلقوا أعينهم، وضع مذياعًا في مكان ما في الغرفة. ارسم الدائرة التي شكلوها على السبورة، واطلب إلى كل واحد منهم أن يحدد موقع المذياع على الدائرة، ثم يبينوا المعلومات التي استعملوها. ارتفاع الصوت، أيها يعتمد على المسافة ،الاتجاه. كرر النشاط ثلاث مرات بمواقع مختلفة للمذياع، وكرر النشاط بأعداد مختلفة من الطلبة لبيان كيف تزداد دقة تحديد الموقع بزيادة عدد المراقبين (الطلبة). تعلم تعاوني

إجابة أسئلة الأشكال الشكل 13–3 نقطة التقاء الدوائر الثلاثة المشار إليها بالدائرة الحمراء.

ماذا قرأت؟ يبعد 1200 Km عن السيزمومتر الذي قاس الزلزال.

مختبر تحليل البيانات

حول المختبر

- ناقش الطلبة كيف يحدد العلماء موقع المركز السطحي للزلزال من البيانات في الجدول، وهي بيانات حقيقية؟
- ذكر الطلبة باستعمال الفرجار حسب التعليمات.
- اطلب إلى الطلبة أن يعملوا في مجموعات ثلاثية أو رباعية، وأكد عليهم أن يتقيدوا بالتعليمات خطوة بخطوة، وأن يسألوك عن أي خطوة غير واضحة لديهم.
- للحصول على بُعد المركز السطحي مقابل الفرق الزمني، يحتاج الطلبة إلى إيجاد الفرق الزمني هذا من المنحنيين في **الشكل 6–3**، وذكرهم باستعمال مقياس الرسم البياني بدقة.

التفكير الناقد

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

2. إجابات محتملة: مكونات القشرة الأرضية أسفل محطة الرصد، دقة الأجهزة، الدقة في تزامن الساعات.

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

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

طرائق تدريس متنوعة

الطلبة دون المستوى شارك الطلبة في إعداد بحث عن زلزال حدث هذا العام. ينبغي أن تكون المعلومات التي تُجمع تتضمن التاريخ والموقع وقوة الزلزال وعمق البؤرة والخسائر، وأي معلومات ذات علاقة بالزلزال.

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.

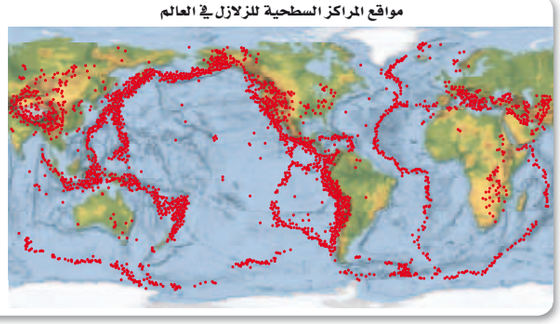
البيانات والملاحظات

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 الرئيسة **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. **كوّن** 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. التقويم

التحقق من الفهم

مقارنة اطلب إلى الطلبة مقارنة بين زلزال ضحل قوته 6 وزلزال عميق قوته 7، واسألهم: ما الفرق بين الزلزالين على البعد نفسه من بؤرة الزلزال من حيث سعة الموجة والطاقة المتحررة من الزلزال. زلزال قوته 7 أكبر من زلزال قوته 6 10 مرات من حيث سعة الموجة، و 32 مرة من حيث الطاقة المتحررة.

إعادة التدريس

إعداد الجداول واستعمالها اطلب إلى الطلبة أن ينظموا المعلومات عند المقارنة بين الزلازل في بند التحقق من الفهم، في جدول بيانات، وأن يضيفوا المعلومات نفسها لزلزال عميق قوته 5 وزلزال ضحل قوته 4.

التقويم

المعرفة اطلب إلى الطلبة أن يقارنوا مقياس ميركالي المعدل ومقياس رختر. يقيس مقياس ميركالي شدة الزلزال بناء على مشاهدات الناس. أما مقياس رختر فيقيس قوة الزلزال بناء على سعة أكبر موجة ولّدها الزلزال.

■ **إجابة أسئلة الأشكال الشكل 14–3.** لا، البؤر الزلزالية بعيدة .

التقويم 2-3

1. يستخدم زمن انتقال أمواج P وأمواج S لتحديد المركز السطحي للزلزال.
2. يعتمد قياس قوة الزلزال على الأمواج الزلزالية، بينما تعتمد شدة الزلزال على ما يعانيه الناس من أضرار بسبب هذه الأمواج. يعتمد مقياس رختر على قياس الأمواج الزلزالية، ويعتمد مقياس العزم الزلزالي على الطاقة المتحررة في صورة أمواج زلزالية، ويعتمد مقياس ميركالي المعدل على شدة الزلزال الذي يقاس بالآثار التي تقع على الإنسان والأشياء المحيطة به.
3. للحصول نقطة واحدة تحتاج على الأقل إلى ثلاث دوائر، حيث تتقاطع الدوائر الثلاث في نقطة واحدة.
4. توجد معظم الزلازل في أحزمة ضيقة نسبيًّا وتنطبق مع حدود الصفائح.
5. الزلازل الضحلة عمومًا تنتج الاهتزازات الكبيرة لذا تكون أكثر ضررًا على السطح بعكس الزلازل العميقة.

الرياضيات في الجيولوجيا

6. $(32 \times 23) = 1024$

3-3

1. التركيز

الفكرة الرئيسة

احتمال وقوع الزلزال اطلب إلى الطلبة مناقشة كيف يكون تقويم احتمال وقوع زلزال يدمر مدينتهم. إجابات محتملة: إذا كانت مدينتهم يقع فيها الزلازل غالبًا فإنه يمكن أن يعتمدوا على السجل التاريخي للزلازل. وأما إذا كان وقوع الزلازل فيها نادرًا فإن عليهم البحث عن أدلة جيولوجية لوقوع الزلازل في الصخور والرسوبيات.

دعم المحتوى

الأمواج الزلزالية بالرجوع إلى **الشكل 1-3**، يُلاحظ أن أمواج P تسبب اهتزاز سطح الأرض رأسيًّا تقريبًا؛ لأنها أمواج طولية، في حين أن أمواج S تهز سطح الأرض أفقيًّا تقريبًا؛ لأنها أمواج مستعرضة. ولأن سعة أمواج P وأمواج S منخفضة وترددهما مرتفع، لذا فإنهما لا يؤديان إلى حدوث دمار كبير. أما الأمواج السطحية فإن سعات أمواجها أكبر، وتردداتها أقل، لذا تسبب رنينًا في المنشآت يؤدي إلى انهيارها. كما أن الأمواج السطحية تهز سطح الأرض مدة أطول وبحركات أكثر تعقيدًا من الأمواج الجسمية؛ فأمواج لف أفقية مستعرضة تهز سطح الأرض أفقيًّا، ولأمواج رالي حركتان أفقية ورأسية، وهذان النوعان من الأمواج السطحية هما اللذان يؤديان إلى تدمير المباني وغيرها من المنشآت عند حدوث الزلزال.

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.
- **تعرف** 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 الرئيسة **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.

عرض عملي

الذبذبات الرأسية والأفقية ابن برجًا صغيرًا باستعمال علب عصير معدنية، وانقر برفق على قمة البرج باستعمال مطرقة، وسيلاحظ الطلبة أن البرج بقي قائمًا. انقر على أسفل البرج مرة أخرى بالقوة نفسها، سيؤدي ذلك إلى انهيار البرج. وضّح للطلبة أن معظم المباني تُصمم لمقاومة القوى الرأسية وليس القوى الأفقية، لذا فإنها تعاني من دمار قليل نتيجة للذبذبات الرأسية، ولكنها تنهار نتيجة للذبذبات الأفقية.

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.

دعم المحتوى

الذبذبات والرنين عند النقر على وتر الجيتار يهتز ويصدر نغمة ذات تردد معين، فيهتز الوتر المجاور ذاتيًّا بنفس تردد الأمواج الصوتية في الهواء، وتسمى هذه العملية الرنين. كذلك فإن الأمواج الزلزالية تولد النوع نفسه من الرنين في المنشآت؛ إذ تهتز المنشآت بالتردد نفسه للأمواج الزلزالية. لجميع المنشآت ذبذبات ذات ترددات طبيعية؛ فالمباني المرتفعة تهتز بزمن دوري طبيعي يعتمد على ارتفاعها وعلى عوامل أخرى، فكلما زاد ارتفاع المبنى كلما زاد زمنه الدوري الطبيعي، وإذا كان الزمن الدوري للأمواج الزلزالية مساو للزمن الدوري للمباني، فإنها تسبب اهتزاز هذه المباني بعنف، ومن ثم انهيارها في أثناء وقوع الزلزال.

ماذا قرأت؟ تنهار الجدران وتسقط السقوف العلوية فوق السفلية في عملية صنع الفطائر.

طرائق تدريس متنوعة

الطلبة ذوو المستوى المتقدم

تحذير ارتد النظارة الواقية، واطلب إلى الطلبة القيام بذلك في أثناء تنفيذ النشاط لمساعدة الطلبة على استيعاب الزمن الدوري للاهتزازات علق برغيًّا ثقيلاً على خيط طويل، وعيّن نقطة ارتكاز عليه، وأمسكه عند هذه النقطة، وسيكون جميع الطلبة قادرين على القيام بذلك بصورة جيدة. هز برفق الثقل بحركة بسيطة ذات سعة صغيرة، واطلب إليهم أن يحسبوا الزمن الدوري للذبذبة بقسمة 60 ثانية على عدد الاهتزازات إلى الأمام والخلف. كرر هذه الخطوات بتعيين نقط ارتكاز مختلفة، واطلب إلى الطلبة أن يسجلوا طول الخيط والزمن الدوري، ثم معالجة النتائج، ثم يستنتجوا أن الزمن الدوري للبندول يزداد مع الجذر التربيعي لطوله.

دعم المحتوى

الدمار والزلازل لا يقتصر الدمار الذي يحدثه الزلزال على تدمير المنشآت وإشعال النيران، بل ربما يؤدي إلى تكسير شبكات المياه ومياه الصرف الصحي وغيرها، ومن ثم تلوث موارد المياه في المناطق التي يصيبها الزلزال. كما أن الإزاحة الرأسية والتشققات التي تصيب سطح الأرض وشبكة المياه تحت السطح لها عواقب على البيئة بعيدة المدى؛ مثل رفع المناطق الساحلية التي قد تؤدي إلى تدمير المواطن المائية وغرق الغابات وفقدان موارد المياه في مناطق واسعة.

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

مشروع

الوطن العربي والزلازل اطلب إلى الطلبة أن يبحثوا في الانترنت والمراجع العلمية عن الزلازل التي حدثت في العالم التي قوتها أكبر من 8 خلال 20 عامًا. واطلب إليهم أن يشيروا إلى الزلازل التي حدثت في الوطن العربي، وأثارها المدمرة.

الشكل 18–3 يحدث تسييل التربة في التربة الضعيفة التماسك عندما تنتشر اهتزازات زلزالية فيها، فتسلك سلوك الرمال المتحركة.

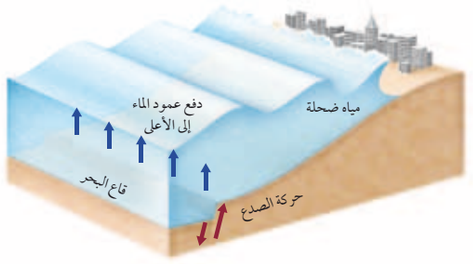
انهيار اليابسة والتربة Land and soil failure بالإضافة إلى تأثير الزلازل في المنشآت التي شيّدها الإنسان، يمكن للزلازل أن تشوه المناظر الطبيعية في الأرض. ففي المناطق المنحدرة، يمكن أن تؤدي الزلازل إلى انهيارات أرضية ضخمة. وبسبب الانهيار الأرضي الناجم عن الزلزال، أدى إلى دفن العديد من البلدات؛ فالاهتزازات 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 أثر في شدة الزلزال في المنطقة؛ إذ تتضخم الموجات الزلزالية في بعض المواد الطرية ومنها الرواسب المفككة، بينما تخفت في الصخور الأكثر صلابة ومنها الجرانيت.

دفتر الجيولوجيا

تأثيرات الزلازل اطلب إلى الطلبة أن يقارنوا بين أربعة زلازل: زلزال ضحل قوته 8 عند ظهر المحيط الأطلسي، وزلزال عميق قوته 8 في أسفل جزيرة اليابان، وزلزال ضحل قوته 6 في كاليفورنيا، وزلزال ضحل قوته 6 في تركيا. أي هذه الزلازل يُنتج دمارًا أكثر، وأيها ينتج دمارًا أقل، وأيها أكثر احتمالاً لحدوث تسونامي؟ لماذا؟ لأن زلزالَيْ تركيا وكاليفورنيا ضحلان لذلك يولدان شدة زلزالية كبيرة في المناطق المأهولة بالسكان، لكن الدمار الذي سيصيب تركيا سيكون أكبر لارتفاع الكثافة السكانية فيها. أما زلزال اليابان فهو عميق جدًّا فلا يؤدي إلى إحداث شدة زلزالية كبيرة على السطح، في حين أن زلزال ظهر المحيط الأطلسي بعيد جدًّا فلا يؤثر في المناطق المأهولة بالسكان، ويعد هذا الزلزال أقل الزلازل (من بين الزلازل الأربعة) تدميرًا ما لم يتسبب في حدوث تسونامي ضخم.



■ **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.

عرض عملي

تسونامي لتوضيح كيف تؤدي حركة قاع المحيط إلى تغيير مستوى البحر وتكوين التسونامي، علّق كيسًا بلاستيكيًّا صغيرًا من الصخور بخيط، وضع الكيس على أحد طرفي صينية بحيث يمتد الخيط إلى الطرف الآخر، ثم صب ما يكفي من المياه في الصينية لتغطية الكيس إلى ارتفاع 3cm من الماء. اسحب الخيط بسرعة وبصورة خاطفة، واطلب إلى الطلبة أن يشاهدوا سطح الماء ويتعرفوا أين تتولد الأمواج، ومتى، وكيف.

مشروع

كودات البناء رغِّب الطلبة في البحث عن كودات البناء في مملكة البحرين، ومدى تقيد أبنية المدارس بهذه الكودات، واطلب إليهم أن يجيبوا عن السؤال الآتي: هل بناء مدرستك مقاوم للزلازل؟ ما الخطر الزلزالي الذي يداهم مدرستك والمنطقة المحيطة بها؟ وما التأثيرات المتوقعة إذا كانت الشدة الزلزالية في مدرستك ومجتمعك هي VIII؟ اطلب إلى الطلبة أن يعدّوا تقريرًا بالنتائج، ويعرضوه أمام زملائهم في الصف، واستعن بهذه النتائج على تعميق فهمهم للزلازل.

ض م تعلم تعاوني

تطوير المفهوم

حجم التسونامي وضح للطلبة أن طول موجة تسونامي تساوي 100 Km ، ولكي يتخيل الطلبة ضخامة حجم موجة تسونامي اطلب إليهم أن يستخدموا خريطة لمنطقتهم ويحددوا عليها موقعًا يبعد 100 Km عن المدرسة.

ض م تعلم تعاوني

نشاط

ارتفاع تسونامي 2011م اطلب إلى الطلبة أن يستخدموا شريطًا مترِيًّا لتعيين مسافة طولها 10 cm في ساحة المدرسة، لكي يتصوروا ارتفاع تسونامي اليابان 2011م.

د م ض م تعلم تعاوني

تطوير المفهوم

مدى تسونامي 2011م لكي يتخيل الطلبة المسافة التي قطعها تسونامي 2011م زوّدهم بخريطة عن العالم، واطلب إليهم أن يحددوا موقع اليابان وموقع بؤرة زلزال المحيط الهادي. تبعد 400 Km شمال شرق مدينة طوكيو، ثم اطلب إليهم أن يعلموا على الخريطة سواحل الدول التي أصابها تسونامي 2011م

د م

المفاهيم الشائعة غير الصحيحة

يشيع بين كثير من الناس اعتقاد خاطئ بأن الزلازل الكبرى المدمرة تحدث في اليابان وإيران وتركيا وغيرها، ولا يحدث مثلها في البلدان العربية. ورغم صحة أن هذه المناطق شهدت زلازل مدمرة، إلا أنه هناك مناطق عدة في الدول العربية تعاني من نشاط زلزالي مماثل تقريبًا. وخلافًا للاعتقاد الشائع فإن الدول العربية ليست محصنة ضد الزلازل الكبرى. ففي عام 1927م حدث زلزال بقوة 6 تقريبًا حسب مقياس رختر في حفرة الانهدام الأردنية بالقرب من مدينة أريحا، كما شهدت الجزائر عدة هزات أرضية كانت أعنفها الزلزال الذي ضرب الجزائر العاصمة في 1715م، والزلزال العنيف الذي ضرب مدينة الأصنام (الشلف حاليا) عام 1954م. وفي عام 1980م وقع زلزال هو الأعنف من نوعه، حيث بلغت قوته 7.70 على مقياس رختر، فضلاً عن زلزال 1981م في أسوان في مصر، وغيرها كثير.

استكشاف المفاهيم الشائعة غير الصحيحة

اسأل الطلبة: أين تحدث الزلازل في الوطن العربي؟

عرض المفهوم

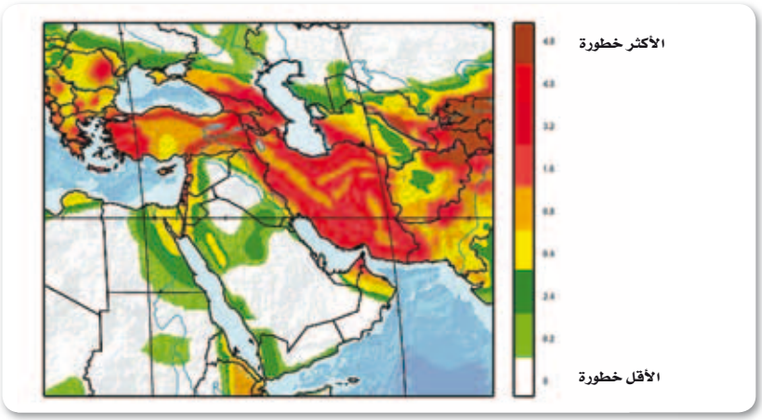
اعرض خريطة للوطن العربي على الطلبة، تبين حفرة الانهدام، وبين لهم أن هذه المنطقة تعاني من زلازل قوية (تقريبًا 6 على مقياس رختر) وأنها ترتبط بالحركة التي تحدث على حفرة الانهدام.

تقويم المعرفة الجديدة

اطلب إلى الطلبة أن يبحثوا عن الزلازل التي حدثت في الوطن العربي في عام واحد، وللحصول على معلومات عن الزلازل الحديثة يمكن زيارة مواقع إنترنت متخصصة في الزلازل. إذا لم يتوافر للطلبة إنترنت يمكنك طباعة الخريطة وعمل نسخ منها وتوزيعها على الطلبة، أو وضع خريطة للوطن العربي في غرفة الصف تتضمن المواقع التي تحدث فيها الزلازل القوية.

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

إجابة أسئلة الأشكال الشكل 21-3 الخطر الزلزالي قليل.



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 حاليًا 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 زلزاليًا مرتفعًا نسبيًا. 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.

دفتر الجيولوجيا

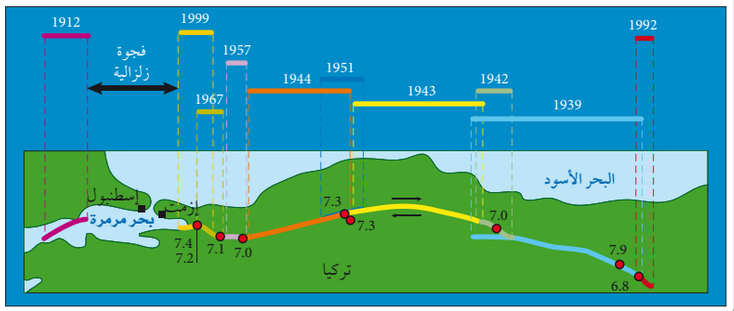
خريطة الشدة الزلزالية اطلب إلى الطلبة أن يبحثوا عن خريطة الشدة الزلزالية لزلازل حديثة، واطلب إليهم أن يجيبوا عن الأسئلة الواردة في التجربة حول الزلازل التي يختارونها، وأن يدوّنوا إجاباتهم في دفتر الجيولوجيا. ما أعلى قيمة للشدة الزلزالية؟ وما أقل قيمة للشدة الزلزالية؟ وما موقع المركز السطحي للزلزال؟ ف م

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 3–22 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 3–23 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.

الإثراء

أجهزة التوقع اطرح السؤال الآتي على الطلبة: ما الذي يمكن قياسه في منطقة تتعرض لوقوع زلزال؟ إجابات محتملة: مراقبة كل من حالة الطقس وسلوك كل من الحيوانات والنباتات لملاحظة ما إذا كانت هناك مؤشرات مناسبة أم لا (لا يعد أي واحد منها دليلاً دقيقًا على حدوث الزلازل).

النشاط

توقّع الزلازل زوّد الطلبة بقائمة تواريخ زلازل ضربت مكة المكرمة. التواريخ هي: 1269, 1195, 1191, 1408, 1481, 1630, 1710, 1963, 1994 . واطلب إليهم أن يضعوا هذه التواريخ على خط الزمن ما عدا زلزال 1994م، واسألهم عما إذا كانوا قادرين على توقع متى يحدث الزلزال التالي. بناء على التاريخ الزلزالي هذا يُتوقع أن يحدث الزلزال التالي قبل عام 1963م. اطلب إليهم إضافة حدث 1994م على خط الزمن، ووجّه النقاش حول تطبيقات فكرة الفرق الزمني بين التاريخ المتوقع لحدوث الزلزال وزلزال 1994م.

ماذا قرأت؟ إن حدوث زلزال في منطقة يجعل من المحتمل أن هذه المنطقة ستشهد حدوث زلازل، سواء في النقطة نفسها أو قريبًا منها، وأحيانًا تحدث الزلازل وتتكرر وفق نمط عام في الفاصل الزمني بين الهزات.

دعم المحتوى

باركفيلد كاليفورنيا يقع على صدع سان أندرياس، وهو من أكثر مواقع الصدع مراقبة في الولايات المتحدة الأمريكية. بدأت تجربة باركفيلد عام 1985م، وهي بمثابة مشروع طويل المدى كُرّس لفهم زلزالية المنطقة، ولكن الغرض الأساسي هو إيجاد طرائق دقيقة لتوقع الأحداث المستقبلية؛ فقد تم تنصيب شبكة مكثفة من الأجهزة لجمع المعلومات. تتكون الشبكة من سيزمومترات ومحطات تحديد الموقع العالمي GPS، ومقاييس تسجيل التشوهات وآبار مراقبة منسوب المياه الجوفية (يعد منسوب المياه الجوفية من الطرائق الشائعة في توقع الزلازل).

في يونيو عام 2004م بدأ مشروع "مرصد صدع سان أندرياس العميق" بحفر ثقب يتراوح عمقه بين 3–2 Km لوضع أجهزة رصد على سطح الصدع مباشرة.

إجابة أسئلة الأشكال **الشكل 24–3**. قد تتنوع الإجابات، لكن يجب أن تتضمن أن الإجهادات تتراكم في الصدع، حيث تجري عليها حركة أجزاء من القشرة الأرضية.

3. التقويم

التحقق من الفهم

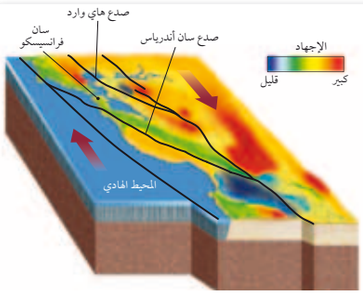
خريطة مفاهيمية اطلب إلى كل طالب أن يلخص المعلومات الواردة ضمن بند الزلازل والمجتمع بإعداد خريطة مفاهيمية.

إعادة التدريس

تلخيص اطلب إلى عدد من الطلبة أن يلخصوا المعلومات الواردة في انهيار المنشآت وتسييل التربة وتسونامي والخطر الزلزالي وتوقع الزلازل، ثم يقدموا ملخصاتهم إلى بقية طلبة الصف.

التقويم

الأداء كلف الطلبة العمل في أزواج للبحث في أحد المواضيع المتعلقة بالزلازل والمجتمع، وأن يعرضوا ما يتوصلون إليه في غرفة الصف في صورة نشرة، ويضمنوها في النهاية في ملفاتهم (ملف الطالب). **تعلم تعاوني**



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.

التقويم 3-3

1. دراسة التاريخ الزلزالي للمنطقة، وقياس تراكم الإجهادات في الصخور، وتمثيل الفجوات الزلزالية بيانيًا.
2. يمكن أن يؤدي إلى انهيار اليابسة وتسييل التربة إلى تدمير المباني والجسور وغيرها من المنشآت، أما تسونامي فيهدد المناطق الساحلية.
3. ينبغي أن تبين الرسوم أن بعض المعالم التي أصبحت منفصلة ومقطوعة بعد وقوع الزلزال.
4. تؤدي الحركة الرأسية على طول الصدع في قاع المحيط إلى إزاحة عمود من الماء مكونة موجة ضخمة تزيد في قوتها حتى تصل إلى الشواطئ.
5. يرجح أنها تحدث في فجوة زلزالية بين المناطق التي حدث فيها زلازل .

الكتابة في الجيولوجيا

6. لتحديد المناطق الأكثر عرضة للزلازل، ينبغي على المجموعة أن تدرس التاريخ الزلزالي للعالم، وتبحث عن الفجوات الزلزالية.

الهدف

يصف الطلبة قوة زلزال بومرداس عام 2003م وأهمية رصده من قبل العلماء.

دعم المحتوى

تقرير بومرداس بعد زلزال 2003م حصل هذا الزلزال في المنطقة الحدودية بين الصفيحة الأوراسية والصفيحة الإفريقية؛ حيث تتحرك الصفيحة الإفريقية على طول هذه المنطقة في اتجاه شمال غرب إزاء الصفيحة الأوراسية وبسرعة تقارب 6 mL في العام وتشكل بيئة تكتونية ضاغطة تحدث فيها الزلازل.

أدى هذه الزلزال إلى تولد تسونامي قُدر ارتفاع موجته بمترين، وسبب تضرر القوارب على شواطئ جزر البليار الأسبانية التي تبعد قرابة 300 km شمال مركز الزلزال، وقد شعر الناس بهذا الزلزال في مدينتي برشلونة وموناكو.

استراتيجية التدريس

- اسأل الطلبة إذا كان لديهم خبرة سابقة عن زلزال. اسأل: كيف كان ذلك الزلزال؟ فيم كنت تفكر وقت حدوث الزلزال؟ ما احتياطات السلامة التي اتبعتها؟
- اسأل الطلبة عما إذا كانوا قد سمعوا من قبل عن زلزال بومرداس 1980م الذي وقع في شرق العاصمة الجزائر.
- أخبر الطلبة أن زلزال بومرداس عام 1980 م كان كبيرًا بالمقارنة مع زلزال بومرداس عام 2003م.

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 تدريجيًا، حيث وقعت صخور المنطقة تحت تأثير قوى، حتى وصلت حدًا يفوق قدرتها على التحمل، مما أدى إلى تكسرها وتحرك أجزائها. وقد تعرضت المنطقة للعديد من الزلازل نتيجة وقوعها بين هاتين الصفيحتين.

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 أوأنشئ عرضًا تقديميًّا تقارن فيه زلزال بو مرداس2003م بزلزال الفيوم بمصر عام 1969م.

الكتابة في الجيولوجيا

ابحث أعط الفرصة للطلبة لمشاركة العروض والعمل في فرق أو عرضها أمام باقي زملائهم في الصف، وامنحهم الوقت لطرح الأسئلة والإجابة عنها.

مختبر الجيولوجيا

الإعداد للمختبر

الزمن المقترح 45 دقيقة.

المهارات العلمية تجميع البيانات وتفسيرها، المقارنة، استخلاص النتائج، استعمال الرسم البياني، القياس، استعمال الأرقام، الملاحظة، الاستنتاج، التمييز بين السبب والنتيجة.

احتياطات السلامة اطلب إلى الطلبة الاطلاع على تعليمات السلامة في المختبر قبل بدء التجربة، وذكرهم بضرورة استعمال الفرجار حسب توجيهاتك.

إعداد الأدوات إذا رغبت في تزويد الطلبة بنسخ عن الخريطة للتقليل من وقت إتمام تنفيذ هذا المختبر فتأكد أن النسخ ليست مكبرة ولا مصغرة، كأن تكون أكبر أو أصغر، فتعطي قياسات تختلف عن تلك المعطاة في جدول البيانات.

خطوات العمل

- اطلب إلى الطلبة أن يعملوا في مجموعات ثلاثية أو رباعية، وأكد عليهم أن يلتزموا بالتعليمات خطوة خطوة، وأن يستفسروا عن أي غموض يعترضهم في الخطوات.
- البيانات في الجدول ليست دقيقة بسبب صغر حجم الخريطة، لذا استعمل خريطة ذات مقياس صغير للحصول على بيانات أكثر دقة.
- راجع كيف يستخدم مقياس الرسم.
- تأكد أن الطلبة استوعبوا الطريقة الدقيقة في تحديد المركز السطحي للزلزال برسم دوائر مراكزها المحطات.
- **تجنب الأخطاء** قد لا يستطيع بعض الطلبة أن يحولوا قياسات الطول في السيزموجرام إلى وحدات الزمن (استخلاص أزمنة وصول الأمواج الزلزالية)، لذا وضح لهؤلاء الطلبة كيفية القيام بذلك عند الضرورة.

التحليل والاستنتاج

تأكد أن الطلبة تمكنوا من تعبئة الجدول بقيم قريبة من القيم في الجدول المقابل:

مختبر الجيولوجيا

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.

1. يقع على شاطئ البحر الأحمر إلى الغرب من المدينة المنورة.
2. لا.
3. الصفيحة العربية.
4. يمكن أن يكون سبب الزلزال حركة الكتل الصخرية على الصدوع المنتشرة على جانب البحر الأحمر والمرتبطة مع توسع البحر الأحمر وحركة الصفيحة العربية.

الكتابة في الجيولوجيا

تخيل ينبغي أن توضح مقالات الطلبة أن الحركة على طول الصدوع عند حدود الصفائح الأرضية تؤدي إلى حدوث الزلازل. وبسبب حدوث زلازل سابقة في المنطقة ولا يُستغرب من حدوث زلازل جديدة .

الفصل 3

دليل مراجعة الفصل

الفكرة الرئيسة

يمكن للطلبة استعمال تعبيرات موجزة لمراجعة المفاهيم الرئيسة للفصل.

يستطيع الطلبة زيارة الموقع الإلكتروني

www.obeikaneducation.com

بهدف:

- دراسة الفصل كاملاً على الموقع.
- الحصول على المزيد من المعلومات والمشاريع والأنشطة.
- التقدم لاختبارات الفصل والاختبار المقنن.

الفكرة العامة الزلازل هزات أرضية طبيعية، ينتج بعضها بفعل الحركة على طول 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. • مقياس الزلازل (السيزمومتر) جهاز يستقبل الأمواج الزلزالية، ويسجلها على المخطط الزلزالي (السيزموجرام) . • استطاع العلماء أن يحددوا المركز السطحي للزلازل من الفرق الزمني بين زمني وصول أمواج P وأمواج S. • تتغير سرعة واتجاه كل من أمواج P وأمواج S عندما تواجه حدودًا فاصلة بين مواد مختلفة. • يمكن 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** يقيس العلماء قوة الزلازل ويحددون مكانها على الخريطة باستعمال الأمواج الزلزالية. • قوة الزلزال هي مقياس للطاقة التي تتحرر في أثناء حدوث الزلزال، ويمكن قياسها بمقياس 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** يمكن معرفة احتمال حدوث الزلزال من خلال 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.

الفصل 3

مراجعة الفصل

مراجعه المفردات

1. رختر
2. تسييل التربة
3. بُعد المركز السطحي للزلزال
4. أمواج S
5. تسونامي
6. بؤرة الزلزال
7. فجوة زلزالية
8. مقياس ميركالي المعدل
9. تسونامي
10. سيزموجرام.
11. بـؤرة الزلزال هـي النقطة التي تتولد عندها الأمواج نتيجة حدوث كسر في الصخر. المركز السطحي للزلزال هو نقطة على سطح الأرض تقع فوق البؤرة مباشرة.
12. الأمـواج الثانويـة أبطـأ مـن الأمـواج الأوليـة وأسرع من الأمواج السطحية، وتتحرك عموديًّا على خط انتشار الموجة بينما تتحرك الأمواج السـطحية في اتجاه معاكس؛ إذ تتحرك جانبيًّا أو إلى أعلى وإلى أسفل. تنتقل الأمواج الثانوية خلال جسـم الأرض مـن الداخل، بينما تنتقل الأمواج السـطحية على سطح الأرض فقط.
13. كلاهمـا مقياس يقيس كميـة الطاقة المتحررة مـن الزلزال. يعتمد مقياس رختر على سعة أكبر موجة زلزالية، أما مقياس العـزم الزلـزالي فيؤخـذ باعتبار حجـم الكـسر في الصدع، ومقدار الحركة على طول الصدع وقساوة الصخور.
14. تعتمـد الشـدة الزلزاليـة على سـعة الموجـة الزلزالية وتقل الشـدة الزلزالية كلما زاد البعد عن المركز السطحي للزلزال أما قـوة الزلزال فهي مقيـاس للطاقة المتحـررة من الزلزال وهي تعتمد على سعة الموجة.

مراجعة المفردات

أكمل الجمل الآتية بالمفردات المناسبة.

1. يسـمى المقيـاس الـذي يقيس كلًّا مـن كميـة الطاقة المنبعثة من الزلزال وسـعة الأمـواج الزلزالية مقياس _____.
2. يحـدث _____ عندمـا تسـبب الاهتـزازات الزلزاليـة تسـييل المـواد الأرضية تحت السطحية، وتجعلها تسلك سلوك الرمال المتحركة.
3. يوضـح منحنـى المسـافة – زمـن الوصـول العلاقـة بـين زمـن انتقـال الأمـواج الزلزاليـة و _____.
4. يُسـمى نـوع الأمـواج الزلزاليـة الـذي لا يمر خلال اللب الخارجي للأرض _____.
5. _____ موجـة تتولـد بسـبب الحركـة الرأسية لقاع المحيط.
6. تسـمى نقطـة الكسـر في صخـور القـشرة الأرضية، حيـث تنشـأ أولى الأمـواج الزلزاليـة الجسـمية فيهـا وتنتشر منها إلى جسم الأرض _____.

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

7. البؤرة جزء من صدع نشـط لم يحـدث 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 يتسـبب في حركة الماء إلى أعلى يسمى الأمواج الزلزالية.
10. السـجل الزلـزالي الـذي يتـم الحصـول عليـه مـن السيزمومتر يسمى فجوة زلزالية.

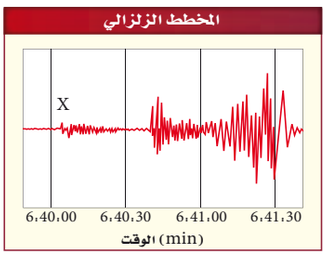
وضح العلاقة بين المصطلحات الآتية في كل زوج مما يأتي:

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 للتسـييل أكبر ما يمكن عند مرور أمواج زلزالية فيها؟
a. الجرانيت. c. التربة والرسوبيات المفككة.
b. الصخر المتحول. d. اللابة.

أجب عن الأسئلة 18–16 مستعينًا بالرسم أدناه.



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

تثبيت المفاهيم الرئيسة

15. c
16. a
17. d

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.
c. تسييل التربة.
b. صنع الفطائر.
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

49. 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

50. **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".

18. a

19. b

أسئلة بنائية

20. الطاقة المتحررة من زلزال اليابان أكبر 32 مرة من زلزال تايوان.

21. سعة موجة زلزال اليابان أكبر بحوالي 10 مرات من سعة موجة زلزال تايوان.

22. هناك زلازل كل من تشيلي وألاسكا واليابان وتايوان مصاحبة لأنطقة الطرح، أما زلزال كاليفورنيا فيوجد على طول صدع تحويلي. لكن جميع هذه الزلازل تحدث نتيجة حركة الصفائح الأرضية.

23. كلاهما ينتقل على السطح. تنتقل الأمواج السطحية خلال الصخور (القشرة الأرضية والوشاح) بينما تنتقل أمواج تسونامي خلال مياه المحيط، كما أن أمواج تسونامي أبطأ كثيرًا.

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

التفكير الناقد

25. التاريخ القديم للسجل الزلزالي، وقوة هذه الزلازل، ووجود فجوات زلزالية وقياسات تراكم الإجهادات.

26. ينبغي أن تتضمن الرسوم الإطار والكتلة المعلقة وجهاز التسجيل.

27. الجملة غير صحيحة. إذا وقع زلزال في منطقة ما فمن المحتمل أن يحدث زلزال آخر في يوم ما.

28. قد تتنوع الإجابات. ينبغي أن تتضمن التصاميم المحتملة أعمدة داعمة أو تصميم أبنية خشبية وليس أسمنتية.

خريطة مفاهيمية

29. يجب أن تتضمن الخريطة المفاهيمية المصطلحات الواردة في السؤال لإدراج فروع (الأمواج الزلزالية) تحت هذا المصطلح ومنها: الأمواج السطحية، الأمواج الثانوية، الأمواج الأولية، على أن يدرج فروع كل منها تحتها. ويمكن للطلبة إضافة أي خصائص أخرى تتعلق بكل نوع من الأمواج إلى الخريطة المفاهيمية.

سؤال تحدٍّ

30. تكون الصخور القريبة من السطح أبرد وأكثر هشاشة، ومن ثم أكثر قابلية للانهيار مقارنة بالصخور العميقة، حيث تسبب درجة الحرارة المرتفعة في الأعماق زيادة الخاصية البلاستيكية للصخر، فتقل قابليتها للانهيار إذا تعرضت لإجهادات.

اختبار مقنن

اختيار من متعدد

1. c
2. c
3. b
4. b
5. a
6. c
7. c

أسئلة الإجابات القصيرة

8. مركز الزلزال يقع في المدينة المنورة. ويمكن تحديد ذلك عن طريق جمع بيانات محطات الزلازل الثلاثة ورسم ثلاثة دوائر والنقطة التي تتقاطع عندها الدوائر الثلاث تعد المركز السطحي للزلزال .
9. نموذج الإجابة. عند رسم دائرة واحدة تبين المواقع المحتملة للزلزال. وعند رسم دائرتين تبين مساحة التداخل ولكن لا شيء محدد. أما عند رسم ثلاث دوائر تظهر نقطة التقاء الدوائر الثلاثة التي تعد الموقع الدقيق لمركز الزلزال السطحي .

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 مركالي المعدل
   b. مقياس العزم الزلزالي d. السيزموجرام

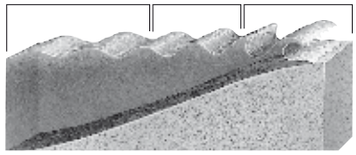
أسئلة الإجابات القصيرة

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

استعمل الشكل أدناه للإجابة عن السؤالين 11 و12.



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

12. كيف تختلف حركة المياه والطاقة في الموجة المحيطية؟

القراءة والاستيعاب

التنبؤ بالزلازل

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

والزلازل ظاهرة فجائية لا يستطيع الجيوفيزيائيون معرفة متى وأين تحدث بالضبط. وتقدر الزلازل التي تسجل في العام الواحد بـ 500000 زلزال. يوجد منها فقط 100000 زلزال يستطيع أن يشعر به الإنسان. و100 زلزال تقريبًا يسبب الدمار. ويجري الباحثون دراسات عميقة على الحيوانات لاكتشاف ماذا تسمع أو تشعر قبل أن يحدث الزلزال. واستعمل هذا الإحساس أداة للتنبؤ بالزلازل. وقد شكك العلماء في إمكانية تنبؤ الحيوانات بالزلازل، بالرغم من توثيق حالات لسلوكيات غريبة لبعض الحيوانات قبل حدوث الزلازل؛ وذلك لعدم وجود صلة بين تكرار حدوث سلوك معين وحدوث الزلزال.

13. ماذا يمكن أن نستنتج بعد قراءة النص السابق؟

a. تستطيع الحيوانات التنبؤ بالزلازل لأنها تشعر باهتزازات الأرض قبل الإنسان.

b. لا تستطيع الحيوانات التنبؤ بالزلازل.

c. هناك حاجة لدراسة إضافية وبحث قبل تأكيد أو نفي قدرة الحيوانات على التنبؤ بالزلازل.

d. الحيوانات تتنبأ بالزلازل منذ قرون.

14. أي سلوكيات الحيوانات ليست من الأدلة على تنبؤ الحيوانات بالزلازل؟

a. الحركة العنيفة للأسماك.

b. هجرة النحل لخلاياه.

c. وضع الدجاج للبيض.

d. هجرة الثعابين لجحورها.

10. نعم لأن المركز السطحي للزلزال يقع في شبه الجزيرة العربية.

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

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

القراءة والاستيعاب

13. c

14. c

الفصل 4

الأحافير والسجل الصخري

الفكرة العامة يستعمل العلماء طرائق متعددة لدراسة تاريخ الأرض الطويل.

4–1 السجل الصخري

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

4–2 التأريخ الجيولوجي

الفكرة الرئيسة يستخدم العلماء المبادئ الجيولوجية لمعرفة ترتيب الأحداث الجيولوجية وفق حدوثها زمنيًا. كما يستعملون طرائق الاضمحلال الإشعاعي وبعض أنواع الرسوبيات لتحديد العمر المطلق لكثير من الصخور.

مخطط الفصل 4

الأحافير والسجل الصخري

الأهداف	المواد والأدوات المستعملة	الزمن المقترح
4–1 السجل الصخري 1. **توضح** لماذا يحتاج العلماء إلى سلم الزمن الجيولوجي. 2. **تميز** بين الدهر والحقبة والعصر والحين. 3. **تصف** مجموعات النباتات والحيوانات التي عاشت خلال الحقب المختلفة من تاريخ الأرض.	**تجربة استهلالية.** صفحة 95: رمل، علبة كرتونية، قطعة إسفنجية، ماء صنبور ساخن، إناء سعته 500 mL، ملح، ساق زجاجية.	40 دقائق
4–2 التأريخ الجيولوجي 1. **تصف** مبدأ النسقية وتبيّن أهميته في الجيولوجيا. 2. **تطبّق** المبادئ الجيولوجية في ترتيب الطبقات الصخرية وتحدد أعمارها النسبية. 3. **تقارن** بين أنواع مختلفة من عدم التوافق. 4. **توضح** كيف يستخدم العلماء المضاهاة في فهم تاريخ منطقة ما. 5. **تقارن** بين التأريخ المطلق والتأريخ النسبي. 6. **تصف** كيف يحدد العلماء الأعمار المطلقة للصخور والمواد الأخرى باستعمال العناصر المشعة. 7. **توضح** كيف يستخدم العلماء مواد محددة غير مشعة في تأريخ الأحداث الجيولوجية.	**تجربة.** صفحة 103:ورق ألقلام. **عرض عملي.** صفحة 104: صورًا متنوعة من الانترنت تمثل انواعًا مختلفة من عدم التوافق **عرض عملي.** صفحة 105: صور متنوعة تمثل صخورًا قديمة وأحافير. **مختبر الجيولوجيا.** صفحة 114 أقلام ملونة، سلم الزمن الجيولوجي، لوح ملصقات (إعلانات)، مراجع علمية، إنترنت.	20 دقيقة 10 دقائق 5 دقائق 90 دقائق

ترميز مستويات الأنشطة والتجارب لمراعاة الفروق الفردية

ف م أنشطة للطلبة الذين هم فوق المستوى (المتميزين).	**ض م** أنشطة للطلبة الذين هم ضمن المستوى.	**د م** أنشطة للطلبة الذين هم دون المستوى.	**تعلم تعاوني** أنشطة صُممت لمجموعات عمل صغيرة متعاونة.

الفصل 4

الفكرة العامة

الزمن الجيولوجي ناقش مع الطلبة مفهوم الزمن، واطلب إليهم أن يوضحوا كيف يعرفون متى وقعت أحداث معينة، وما الأدوات التي يستخدمونها؟ يمكن أن تتضمن الإجابات الكتب والتلفاز والمعلمين والوالدين، وقد تكون بعض الإجابات التأريخ الإشعاعي. ثم سألهم: هل يمكن استعمال أي من هذه الطرائق لقياس الزمن الجيولوجي؟ الطريقة الوحيدة التي يمكن استعمالها في قياس الزمن الجيولوجي هي التأريخ الإشعاعي وضح لهم أن السجل الصخري لا يعد كافيًا لفهم الحياة وغيرها في زمن "ما قبل الكامبري" وذلك لندرة الأدلة التي تحويها الصخور الممثلة لها.

دعم المحتوى

الأراضي الوعرة (القاحلة) تعطي المناظر الطبيعية في الصحاري العربية صورة مثالية للتضاريس الوعرة. وتتطوّر مثل هذه التضاريس – ومنها الهضاب الوعرة والقمم الجبلية وغيرها – عندما تتعرض منطقة تحوي تتابعًا لطبقات صخرية مكونة من طبقات قاسية (مثل الحجر الرملي) متبادلة مع طبقات طرية (كالغضار) إلى معدل تعرية مرتفع؛ إذ يتعرى الغضار بسرعة، بينما يكوّن الحجر الرملي الصلب جروفًا شديدة الانحدار. وتنشأ الألوان المختلفة في الأراضي الوعرة من أكسدة المعادن الغنية بالحديد، قد تحتوي هذه الطبقات على تشكيلة من الأحافير تكونت خلال العصور الجيولوجية التي تكونت فيها هذه الأراضي.

السبورة التفاعلية

استعمل عروضًا تقديمية (بالبوربوينت) تشتمل على:

- ملخص لمحتوى فصل.
- عروض متحركة.
- صور تمثل احافير متنوعة وصورة سلم الزمن الجيولوجي
- روابط بالموقع التعليمي: www.obeikaneducation.com

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 5–7 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 .

التأريخ النسبي | التأريخ المطلق

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

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

تجربة استهلالية

المهارات العلمية عمل نماذج، الملاحظة، الاستنتاج، القياس باستعمال SI.

احتياطات السلامة اطلب إلى الطلبة الإطلاع على تعليمات السلامة في المختبر قبل البدء في التجربة. على الطلبة أن يلبسوا النظارات الواقية. حذّرهم من ماء الصنبور الساخن، وأن يتعاملوا معه بحذر.

استراتيجيات التدريس

- يمكن استعمال أواني بلاستيكية كبيرة بدلاً من علب الكرتون.
- قطّع الإسفنج وشكّله في صورة عظام.
- اترك الإسفنج الأحفوري مدة سبعة أيام على الأقل ليتصلب، فإذا كان الجو رطبًا أو في أيام الشتاء فاتركه مدة عشرة أيام.

التقويم

المعرفة. اسأل الطلبة لماذا تصلب الإسفنج؟ يتصلب الإسفنج عندما يجف الرمل فيتبلور الملح في فجوات الإسفنج مما يؤدي إلى تصلب الإسفنج. اسألهم: كيف تحاكي هذه التجربة تكوّن الأحافير في الطبيعة؟ يشبه ما حدث في هذه التجربة ما يحدث في الطبيعة؛ حيث تتسرب المعادن الأرضية المذابة في المياه إلى فراغات العظام أو في أي أجزاء صلبة، ثم تتبلور هذه المعادن وتتصلب آخذة شكل الأجزاء الصلبة. اطلب إلى الطلبة أن يصمموا نشاطًا ينمذج طرائق أخرى لتكوّن الأحافير. يستطيع الطلبة أن يستخدموا العسل لنمذجة تكون أحفورة في العنبر، وذلك من خلال صب العسل في إناء صغير، ثم وضع حشرة بلاستيكية في العسل، مع تغطية "الحشرة" بمزيد من العسل، ثم وضع الإناء في مجمد ثلاجة. ويستطيع الطلبة أن يستخدموا الطين في نمذجة طبعات أحفورية، وذلك ببسط الطين على منضدة ثم ضغط أصداف أو عظام أو نباتات أو أي أجزاء من مخلوقات حية في الطين.

التحليل

1. ستتنوع الإجابات. على الطلبة أن يلاحظوا أن فراغات الإسفنج قد استبدلت ببلورات الملح.
2. بعد موت الحيوان تتحلل أجزاؤه الرخوة وتبقى أجزاؤه الصلبة، ومع مرور الوقت يُستبدل بالمعادن الفراغات التي في الأجزاء الصلبة. يمثل الملح هذه المعادن.

4-1

1. التركيز

الفكرة الرئيسة

نظم الوقت اطلب إلى الطلبة مناقشة الأحداث الرئيسية في حياة إنسان عادي. تتضمن الأمثلة الحبو والمشي وقضاء الحاجة وتعلم القيادة والتخرج في الجامعة والحصول على وظيفة عمل ويصبح والدًا، والإحالة على التقاعد. ثم اسألهم: هل يمكن تقسيم هذه الأحداث إلى مراحل؟ تتضمن الأمثلة مراحل الطفولة المبكرة والطفولة والمراهقة والبلوغ. ثم اسألهم: كيف تساعد هذه المراحل الناس على التواصل وتحليل تواريخ حياتهم؟ لا يصل كل إنسان إلى الحدث نفسه في الوقت نفسه، إلا أن هذه المراحل مفيدة لأنها تشكل مرجعيات للتواصل بين الناس.

2. التدريس

المفاهيم الشائعة غير الصحيحة

قد يظن الطلبة وجود تاريخ جيولوجي موحد يُطبق على جميع المناطق في العالم.

استكشاف المفاهيم الشائعة غير الصحيحة

اطلب إلى الطلبة أن يقارنوا بين التاريخ الجيولوجي لمنطقتهم مع التاريخ الجيولوجي لمنطقة أخرى. يمكن الحصول على هذه المعلومات من هيئة المساحة الجيولوجية المختصة.

عرض المفهوم

وضح أن التاريخ الجيولوجي للمناطق المحددة يختلف بسبب التغير المستمر في القوى التي تؤثر في سطح الأرض من منطقة لأخرى .

تقويم المعرفة الجديدة

اطلب إلى الطلبة أن يربطوا بين سلم الزمن الجيولوجي مع التاريخ الجيولوجي لمنطقتهم المحلية.

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 الأرض.

المفردات الجديدة

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

السجل الصخري
The Rock Record

الفكرة الرئيسة **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.

الربط مع العلوم الأخرى

التاريخ يُعدّ وضع الأحداث المستمرة في تتابع من الماضي إلى الحاضر ضمن ترتيب معين، جزءًا مهمًا يعبر عن فهمنا للتاريخ. اطلب إلى الطلبة أن يبحثوا عن أحداث تتعلق بالتاريخ الإسلامي مثلاً ، أو بتطور المعرفة العلمية في أحد المواضيع، ثم ينشئوا خط زمن لهذه الأحداث. يمكن الإفادة من المراحل الآتية في السيرة النبوية، حيث يستطيع الطلبة التوسع في هذه الأحداث كما يريدون.

المرحلة الأولى: من ولادة النبي صلى الله عليه وسلم إلى مبعثه.

المرحلة الثانية: من مبعثه صلى الله عليه وسلم إلى هجرته.

المرحلة الثالثة: من هجرته صلى الله عليه وسلم إلى وفاته. **ض م**

سلم الزمن الجيولوجي

الهدف

يتعرف الطلبة أن العلماء يقسمون الزمن الجيولوجي إلى وحدات معيارية غير متساوية في طولها، وهي الدهور والحقب والعصور والأحيان.

نشاط

وحدات الزمن قسّم طلبة الصف إلى مجموعات، وعيّن لكل مجموعة واجبًا تعلميًّا، بأن تبحث كل مجموعة عن أصل أسماء مجموعة من العصور في سلم الزمن الجيولوجي، ويعرضوا ما توصلوا إليه في غرفة الصف. اشتُق معظم الأسماء من أماكن جغرافية، فالكريتاسي مثلاً - ويسمى أيضًا العصر الطباشيري - مشتق من المناطق الطباشيرية في شمال فرنسا، والبيرمي سُمّي باسم مقطع صخري بالقرب من بيرم في روسيا، والديفوني سُمّي باسم تكشفات رملية في ديفون في إنجلترا.

ض م تعلم تعاوني

دعم المحتوى

تغيرات في السلم الزمني لقد أدي اختلاف بعض التتابعات الرسوبية في الولايات المتحدة وأوربا بعضها عن بعض إلى اختلاف في تسمية العصور في سلم الزمن الجيولوجي. ففي الولايات المتحدة قسّم العلماءُ العصرَ الكربوني إلى عصرين: الميسيسبي (كربوني أسفل)، والبنسلفاني (كربوني أعلى). وقد وُضع هذا النظام لتمييز العصر الميسيسبي الذي يتكون أساسًا من الحجر الجيري ذي المنشأ البحري الضحل، من العصر البنسلفاني الذي يتكون من طبقات الفحم الحجري ذي المنشأ القاري.

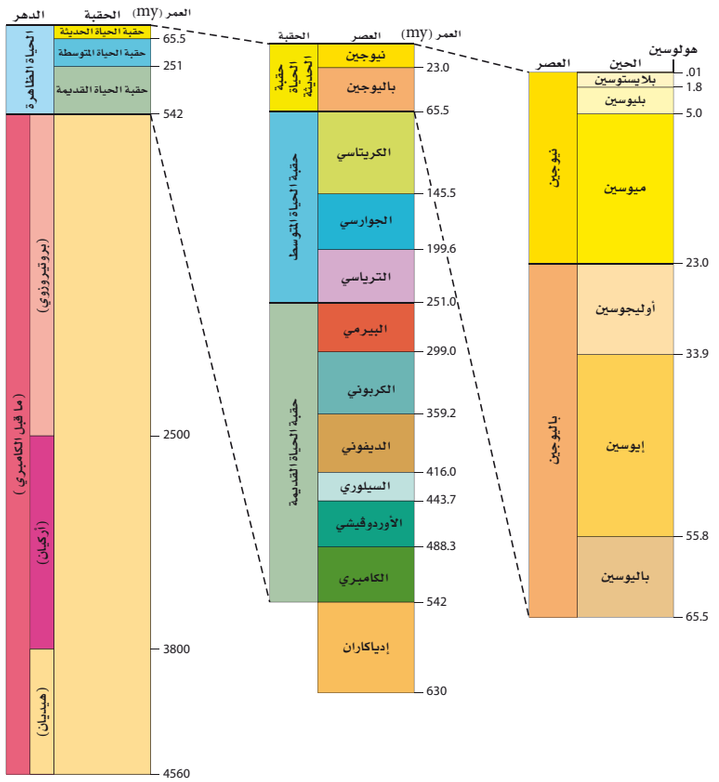
المختبر الجيولوجي يمكن تنفيذ المختبر الجيولوجي الموجود في نهاية الفصل في هذه المرحلة.

إجابة أسئلة الأشكال الشكل 2-4 العصر الرباعي، حقبة الحياة الحديثة، دهر الحياة الظاهرة.

سلم الزمن الجيولوجي Geologic Time Scale

الشكل 2-4 يبدأ سلم الزمن الجيولوجي منذ نشأة الأرض قبل 4.6 بلايين عام. ويقسّم 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.



طرائق تدريس متنوعة

الطلبة ذوو المستوى المتقدم يظهر سلم الزمن الجيولوجي في العادة، تتابعًا متصلاً بصورة رأسية. اطلب إلى الطلبة أن يبحثوا عن طرائق أخرى في كيفية عرض الزمن الجيولوجي، كأن يتم عرض الزمن الجيولوجي على أنه مساوٍ لـ 24 ساعة (يوم)، أو تمثيله في صورة تقويم سنوي أو ساعة، أو مرسومًا على ملعب كرة قدم.

دعم المحتوى

الإجماع العلمي أي تعديل أو تغيير في سلم الزمن الجيولوجي لا يمكن إجراؤه إلا بموافقة المفوضية العالمية للطبقية (ICS)، وهي أكبر مجلس علمي في مؤسسة الاتحاد الجيولوجي العالمي، وتضم هذه المؤسسة أعضاء من أكثر من 110 دول. وتشجع المفوضية من خلال اجتماعاتها المنتظمة والمجلات العلمية الحوار والنقاش حول أفضل طرائق تقسيم الزمن الجيولوجي، وأفضل الأماكن في العالم لوضع الحدود بين الوحدات الزمنية.

في عام 2004 م قامت المفوضية بتنقيح سلم الزمن الجيولوجي، حيث ضُمّن عصر الأركيان، وأعيد ضبط تواريخ بعض العصور الأخرى، ويوضح **الشكل 2–8** دهر الهيديان ضمن سلم الزمن الجيولوجي، وإن لم يعتمد رسميًّا. وعلى الرغم من ذلك يستخدمه العديد من العلماء. ومن المرجح أن يصبح رسميًّا في المستقبل. كما أن مصطلح ما قبل الكامبري ليس هو المصطلح الرسميّ، ولكنه شائع الاستعمال، ويتوقع أن يظل مستعملاً.

ماذا قرأت؟ يساعد سلم الزمن الجيولوجي العلماء على تنظيم تاريخ الأرض والتواصل مع علماء آخرين بصورة فعّالة.

إجابة أسئلة الأشكال **الشكل 3–4** يحتمل أن هذا المخلوق الحي كان يعيش على قاع المحيط أو سابحًا في الماء. في معظم الأحيان يصعب تحديد كيف يتحرك المخلوق الحي من خلال تفحص أحفورته.

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.

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

1857 اكتشف عمّال المقالع هيكلاً عظميًّا يسمى نيندرتال وهو نوع شبيه 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.

1800 1840 1880 1920

دفتر الجيولوجيا

زمن ما قبل الكامبري يمثل زمن ما قبل الكامبري 90 % من تاريخ الأرض، ولترسيخ مقدار ذلك في أذهان الطلبة، ساعدهم على أن يتعرفوا أعمارهم بعد مرور 90 % منها (0.9 × العمر)، من خلال كتابة ما يتذكرونه من التسعين في المئة الأولى من أعمارهم، ثم كتابة ما يتذكرونه من العُشر الأخير في دفاترهم.

من المرجح أن يجد الطلبة أن العُشر الأخير من أعمارهم قد حُفظ بصورة أفضل في ذاكرتهم، تمامًا كما حُفظ العشر الأخير من تاريخ الأرض في السجل الصخري.

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 زمنيًا، 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.

تطبيق الجيولوجيا

الأحافير في وسائل الإعلام عادة ما تعلن وسائل الإعلام عن اكتشافات في الأحافير. اسأل الطلبة إن كانوا يتذكرون اكتشافات أحفورية حديثة، واطلب إليهم أن يحضروا مقالات إخبارية عن اكتشافات أحفورية، وأن يتحققوا إن كانت بعض أنواع الأحافير قد لاقت اهتمامًا إعلاميًّا أكثر من غيرها. قد يلاحظون أن أحافير الديناصور تلاقي قدرًا أكبر من الاهتمام. د م | ض م

مناقشة

مناظرة حول مدد الوحدات الزمنية قسّم طلبة الصف إلى مجموعتين، واطلب إلى المجموعة الأولى أن تقدم الحجج والبراهين لتغيير الوحدات الزمنية في السلم الزمني إلى وحدات زمنية متساوية في المدة الزمنية، واطلب إلى المجموعة الثانية أن تدافع عن بقاء الوحدات الزمنية في السلم الزمني غير متساوية دون تغيير. من البراهين على تساوي الوحدات في الزمن: من الصعب مقارنة الزمن في السجل الجيولوجي عندما تكون الحقب والعصور جميعها غير متساوية، لذا يفضل تقسيم الزمن الجيولوجي إلى مدد متساوية في الزمن كالساعات والأيام والأسابيع والشهور التي تعودنا عليها. والكثير من الأحداث الكونية تحدث بصورة منتظمة في المدة الزمنية، مثل مدة دوران الأرض حول نفسها ومدة دورانها حول الشمس، كما أن اكتشاف طريقة التاريخ الإشعاعي يساعد العلماء على تحديد الأعمار بدقة كبيرة. من البراهين على عدم تساوي الوحدات في الزمن: أنشئ سلم الزمن الجيولوجي بناء على الأحداث الجيولوجية التي تطورت على سطح الأرض، وهي لا تحدث وفق جدول زمني منتظم، فإذا جعلنا كلًّا من الحقب والعصور متماثلة من حيث المدة الزمنية فسيؤدي ذلك إلى تغير المدد الزمنية للأحداث التي تميز تاريخ الأرض، وكذلك من الصعب تغيير المعتقدات الراسخة حول هذه الأحداث.

ض م | تعلم تعاوني

في الميدان

زهو زونقهي Zhou Zhonghe هو عالم أحافير صيني متخصص في أحافير الطيور. كان زهو مولعًا بالطيور منذ طفولته في ريف الصين. وقد اشتهر زهو بسبب اكتشافاته الكثيرة لبعض الأحافير المحفوظة جيدًا من الطيور والديناصورات الريشية في إقليم لياونج الصيني. زوّدت هذه الاكتشافات العلماء بأدلة قوية لفرضية أن الطيور قد تطوّرت من الديناصورات، كما اقترحوا أيضًا أن عملية الطيران يمكن أنها تطوّرت من الحركة الانزلاقية للمخلوقات الحية التي تعيش على الأشجار. وقد حصل زهو على درجة الدكتوراه من جامعة كنساس وهو يعمل الآن في الأكاديمية الصينية للعلوم في بكين، كما أنه يقضي معظم وقته في دراسة هياكل الطيور الحديثة، مما يعمق من فهمه لحياة أسلاف الطيور القدماء.

مناقشة

الانقراض اطلب إلى الطلبة باستعمال اسلوب العصف الذهني مناقشة أسباب انقراض أنواع المخلوقات الحية، وأن يكتبوا تقريرًا إخباريًّا في دفاتر الجيولوجيا، يعلنون فيه عن انقراض مستقبلي لنوع مهدد بالانقراض. ض م تعلم تعاوني

3. التقويم

التحقق من الفهم

التعزيز اسأل الطلبة عن أهمية الأحافير في تطوير سلم الزمن الجيولوجي، وحاورهم حول فروع العلم التي ينبغي لعالم الأحافير أن يدرسها ليصبح عالمًا بالأحافير. على الطلبة أن يدركوا الترابط بين علم الحياة وعلم الأرض.

إعادة التدريس

إعداد خط الزمن اطلب إلى كل طالب عمل قائمة تتألف، على الأقل، من عشرة من الأحداث الأكثر أهمية في حياته، ثم يُنشئ مخططًا زمنيًّا (خطًّا زمنيًّا) بعنوان (أحداث عظيمة في حياتي).

التقويم

المعرفة اطلب إلى الطلبة أن يعدوا قائمة بدهور سلم الزمن الجيولوجي وأحقابه، وعدد السنوات التقريبية لكل وحدة، ودعهم يتناقشوا بإيجاز كيف تساعد هذه الوحدات الجيولوجيين على تفسير تاريخ الأرض.

■ **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.

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.

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

التقويم 1-4

1. يساعد سلم الزمن الجيولوجي العلماء على تنظيم تاريخ الأرض، والتواصل مع غيرهم في البحوث والدراسات.
2. الدهور هي الأجزاء الأكثر شمولاً بين تقسيمات الزمن الجيولوجي تليها الحقب فالعصور فالأحيان. ستختلف الأمثلة ولكنها قد تشمل الزمن الذي نعيشه. دهر الحياة الظاهرة، حقبة الحياة الحديثة، العصر الرباعي، حين الهولوسين.
3. إن ظاهرة الانقراض الجماعي يسهل تعرفها في السجل الأحفوري، كما تُزوّد الجيولوجيين بطريقة لتقسيم الزمن لأنها تحدث عادة في فترة زمنية قصيرة نسبيًّا
4. لأن حقبة الحياة الحديثة لم تتعرض لعمليات تجوية وتعرية كما تعرضت باقي الحقب لذلك احتفظت بالسجل الصخري بشكل اكبر.
5. لا يعلم العلماء عن هذا الزمن (ما قبل الكامبري) إلا القليل، وذلك لعدم وجود حيوانات لها أجزاء صلبة حينها، كما أن صخور ما قبل الكامبري قديمة جدًّا وشديدة التشوه لدرجة أنها تخلو من أي سجل للأحداث الجيولوجية.

الرياضيات في الجيولوجيا

6. يجب أن تحوي الرسوم جميع الحقب المدوّنة في سلم الزمن الجيولوجي، وعليها النسب الآتية: حقبة الحياة الحديثة % 12 ، وحقبة الحياة المتوسطة % 34، وحقبة الحياة القديمة % 54.

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 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.**

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.

الربط مع العلوم الأخرى

الفلك ينطبق مبدأ النسقية على علم الفلك تمامًا كما ينطبق على علوم الأرض. يستخدم الفلكيون عادة فكرة السنة الضوئية لفهم تاريخ الكون. والسنة الضوئية هي المسافة التي يقطعها الضوء في سنة واحدة = 9,800,460,000,000 km تقريبًا.

ولأن الضوء يسير دائمًا بالسرعة نفسها (299,792,458 m /s) فإن الفلكيين يستطيعون قياس المسافات على مستوى الكون بناء على مفهوم النسقية. يبعد العنقود المجري في العذراء مثلاً مسافة 65 مليون سنة ضوئية عن الأرض تقريبًا، وهذا يعني أن الضوء الذي يصلنا اليوم قد غادر العنقود المجري في العذراء قبل 65 مليون سنة، وهو الزمن نفسه تقريبًا الذي انقرضت فيه الديناصورات.

4-2

1. التركيز

الفكرة الرئيسة

العمر النسبي اعمل قائمة بعشرة أحداث تاريخية حدثت في الخمس عشرة سنة الماضية، مثل انتخاب رئيس بلدية أو الفوز بكأس العالم، أو لقب رياضي فازت به مدرستك. افصل هذه الأحداث التي في القائمة واكتبها على أشرطة بصورة منفصلة، وأعط كل شريط لمجموعة مكونة من 4–2 طلبة، واطلب إلى طلبة الصف أن يعملوا معًا في ترتيب هذه الأحداث من الأقدم إلى الأحدث. يساعد هذا النشاط الطلبة على استيعاب مفهوم العمر النسبي، وأن التواصل بمناقشة النتائج حاجة ملحة. ض م تعلم تعاوني

2. إعادة التدريس

إثراء

الكارثيّة اطلب إلى الطلبة أن يبحثوا في الفرق بين النسقية والكارثية، وكيف أدخل مفهوم الكارثية ضمن مفاهيم تاريخ الأرض، وأن يعرضوا ما توصلوا إليه في غرفة الصف. الكارثية مذهب جيولوجي، مفادها أن التغيرات الرئيسة في قشرة الأرض لم تنشأ بفعل تغيرات تدريجية، بل ناتجة عن أحداث فجائية مدمرة مثل ارتطام نيزكي. واليوم يرى غالبية الجيولوجيين أن تاريخ الأرض عبارة قصة مكتوبة بأحداث بطيئة ومتدرجة، تتخللها أحيانًا أحداث كارثية. ف م

استعمل المصطلحات العلمية

كرونولوجيا (أو التسلسل الزمني) اطلب إلى الطلبة أن يبحثوا في أصل مصطلح كرونولوجي Chronology وتعريفه. يعني مصطلح كرونولوجي ترتيب الأحداث زمنيًّا، ويتألف من مقطعين: Chronos أو (Khronos) وهي كلمة يونانية تعني "الزمن"، و logos كلمة يونانية وتعني "كلمة"، وقد استعملت هنا على صورة logy أو ology وتعني "متصلة بموضوع الدراسة أو الاهتمام". اطلب إلى الطلبة أن يذكروا مصطلحات أخرى لها مثل هذه الجذور، مثل psychology دراسة العقل البشري.

المفاهيم الشائعة غير الصحيحة

بعد دراسة الطلبة النسقية، قد يظن بعضهم أن سطح الأرض لا يمكن أن يتغير بصورة كبيرة في وقت قصير نتيجة للتجوية والتعرية.

استكشاف المفاهيم الشائعة غير الصحيحة

اطلب إلى الطلبة أن يتوقعوا ما يحدث لكومة مفككة من الرمل أو التربة في أثناء حدوث عاصفة مطرية، ثم دعهم يلاحظوا ذلك على أرض الواقع.

عرض المفهوم

اعرض على الطلبة صورًا لمنطقة أو مناطق قبل الفيضانات أو الأعاصير البحرية وبعدها، حيث توضح هذه الصور التغيرات التي تحدث في المناظر الأرضية أو السواحل البحرية. (يمكن الحصول على الصور من الإنترنت). وضح لهم أن نشاط كل من عمليتي التجوية والتعرية يزداد في ظروف جوية معينة.

تقويم المعرفة الجديدة

اطلب إلى الطلبة أن يعدوا قائمة بالقوى الطبيعية التي تؤدي إلى تغيير سطح الأرض. تتضمن الأمثلة المياه والرياح والجليد وتغيرات درجة الحرارة . ثم اطلب إليهم أن يتناقشوا في دور كل من هذه القوى في تغيير سطح الأرض على المدى القصير والبعيد. مثال، يكون معدل التعرية بالمياه مرتفعًا في الإعصار البحري، ومنخفضًا في الأنهار. ض م

■ **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

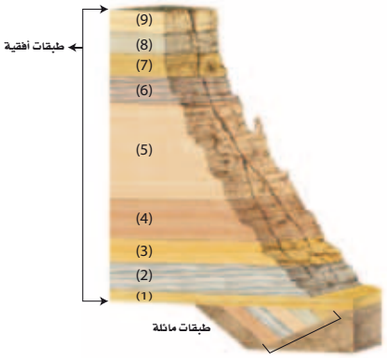
المبدأ

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.

طرائق تدريس متنوعة

الطلبة دون المستوى اطلب إلى الطلبة أن يبنوا نماذج بسيطة لتتابع طبقات صخرية من الأقدم إلى الأحدث، مستعينين بأنسجة معينة. يمكن تمثيل الحجر الرملي مثلاً بدوائر صغيرة ومتساوية تقريبًا، والغضار بخطوط متقطعة، والحجر الجيري كبناء الطوب في المنازل، والكونجلوميرات بحبات تشبه الحصى ضمن أرضية بلون ما، ثم أعطهم ترتيب الطبقات زمنيًّا: الحجر الرملي هو الأقدم ويعلوه الغضار فالحجر الجيري فالكونجلوميرات.

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 تغير عن وضعها الأفقي الأصلي.

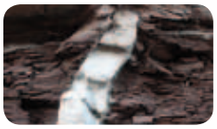
مبدأ القاطع والمقطوع cross-cutting relationship تتميز صخور الدرع العربي – الذي يشكل الجزء الغربي من شبه الجزيرة العربية – بوجود الكثير من القواطع المكونة من الصخور النارية القاعدية والفلسية التي تقطع الصخور الأقدم منها. ويوضح **الشكل 9–4** صخور الشيست المتحولة مقطوعة بقواطع رأسية جرانيتية. والقواطع صخور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

■ **إجابة أسئلة الأشكال الشكل 9–4** قد تملأ القواطع النارية أحد الشقوق، وعندما تبرد المادة النارية تتبلور، كما في الصورة.

تجربة

الهدف يوضح الطلبة كيف تستخدم مبادئ التأريخ النسبي.

المهارات العلمية التمييز بين السبب والنتيجة، تفسير البيانات، الملاحظة، الاستنتاج، عمل نماذج.

احتياطات السلامة اطلب إلى الطلبة الإطلاع على تعليمات السلامة في المختبر قبل البدء بالتجربة.

استراتيجية التدريس اطلب إلى الطلبة أن يعملوا في مجموعات ثنائية.

النتائج المتوقعة سيلاحظ الطلبة أن تحديد الأعمار النسبية للطبقات الصخرية يكون من خلال مقارنة طبقة صخرية مع أخرى أو تركيب جيولوجي مع تركيب آخر.

التحليل

1. يجب استعمال المبادئ الآتية: تعاقب الطبقات والترسيب الأفقي والقاطع والمقطوع.
2. ينص مبدأ القاطع والمقطوع على أن القاطع أحدث من المقطوع، وبناء عليه فإن القاطع الرأسي أحدث من الطبقات 3-1.
3. يمثل القطع (الخط) XY صدعًا، وهو أحدث من القاطع العمودي والطبقات المحيطة به لأنه يقطعها جميعًا.

التقويم

الأداء قسّم الطلبة إلى مجموعات ثلاثية، واطلب إليهم أن يتفحصوا صورا متنوعة تمثل عدم التوافق الزاوي، وأن يحددوا الأعمار النسبية للصخور والأحداث الموجودة في الصور، ثم يدوّنوا ملاحظاتهم وتحاليلهم في دفاتر الجيولوجيا. **تعلم تعاوني**

دعم المحتوى

عدم توافقات متعددة يتكوّن عدم التوافق نتيجة حدوث فجوة زمنية في السجل الصخري تنتج بفعل عمليات رفع وتعرية وغيرها، وبناء على ذلك يُحتمل أن يوجد أكثر من عدم توافق واحد في الطبقة الصخرية نفسها، ومثال ذلك، يؤدي اندفاع الباثوليث (جسم ناري جوفي ضخم) إلى طيّ طبقات صخرية إلى أعلى، ثم يلي ذلك عمليات التعرية والدفن، فيتكون عدم توافق زاويّ على جانبي الطية ولاتوافق وعدم توافق انقطاعي فوق الطية.

نموذج

المبادئ الجيولوجية زوّد مجموعات الطلبة بأربع قطع من معجون الصلصال بألوان مختلفة، واطلب إلى كل مجموعة أن تبني نموذجًا يمثل الترسيب الأفقي وتعاقب الطبقات والقاطع والمقطوع وعدم التوافق الزاوي، ثم اطلب إليهم أن يرسموا النماذج الأربعة، ويضعوا عناوين لها في دفاتر الجيولوجيا. ض م تعلم تعاوني

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

وينص **مبدأ القاطع والمقطوع cross-cuttingrelationship** 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**.

عرض عملي

عدم التوافق العظيم اعرض على الطلبة صورًا لأنواع مختلفة من عدم التوافق (يمكن أن تجدها على الإنترنت)، واطلب إليهم تعرف كل نوع منها، واحرص على تضمين مثال على عدم التوافق العظيم، وهو انقطاع في السجل الصخري بين ما قبل الكامبري والكامبري، الذي يوجد في مناطق كثيرة من أنحاء العالم، وهو غاية في الوضوح في الأخدود العظيم في كولورادو ومعظم أواسط الجزيرة العربية وجنوب الأردن. ويمثل عدم التوافق العظيم فترة مفقودة من تاريخ الأرض تمتد بين 2.5 مليون سنة إلى 1.5 بليون سنة.

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 الانقطاعي عندمـا يكون سـطح التعريـة متعرجًـا، ولكن تصعب رؤيته عندما يكون مستويًا.

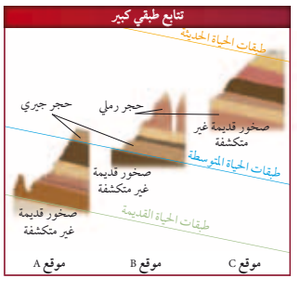
اللاتوافق Nonconformity هو سـطح يتكـون عندما تعلو طبقة رسـوبية صخـورًا نارية أو متحولـة كالجرانيت أو الرخام، وسـطح اللاتوافق سطح تعرية يسهل تعرُّفه. لأن الجرانيت والرخام يتكونان في الأعماق فإن سـطح اللاتوافق سـوف يشـير إلى فترة زمنية ضائعة في السـجل الصخـري، وهي الفـترة التي انقضت في أثنـاء رفع هذه الصخـور 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 للتجوية والتعرية، 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 (الدالـة) 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.



الشكل 11–4 يمثل الحجر الجيري أحدث الطبقات الصخرية في الموقع أو أقدمها في الموقع B، وطبقة الحجر الرملي تمثل أحدث الطبقات الصخرية في الموقع B ولكنها تعد صخورًا غير متكشفة في الموقع C.

استنتج تركيب الطبقـة المدفونـة أسـفل الطبقـة عند الموقع B.

إجابة أسئلة الأشكال الشكل 11–4

الطبقة التي أسـفل الطبقة في المنطقة B – على الأغلب – هي نفسـها الطبقة التي تقع مباشرة في المنطقة A.

ماذا قرأت؟ عـدم التوافق الانقطاعي هو سـطح تعريـة يتكـون عندمـا تعلـو طبقـة رسـوبية أفقيـة طبقة رسـوبية أخرى، بينـما اللاتوافق هو سـطح تعرية يتكون عندما تعلو طبقة رسوبية صخورًا متحولة أو نارية.

تطوير المفهوم

توضيح المفهوم وفر رسـومًا توضيحيـة لأوضاع طبيعية؛ لتوضيح مبادئ التاريخ النسـبي التي يمكن اسـتعمالها في تحديـد العمر النسـبي للصخـور. يمكن اسـتعمال صور لمناطـق في الجزيـرة العربيـة، أو يمكـن اسـتعمال صـور لأوضاع محلية من منطقتك.

نشاط

مهـارة اطلـب إلى الطلبة أن يرسـموا على السـبورة تتابعًا رسوميًّا يوضح مبادئ التاريخ النسبي: الترسيب الأفقي وتعاقـب الطبقـات والقاطـع والمقطـوع والمحتبسـات، وعـدم التوافق، وأن يكونـوا مسـتعدين لتقديم توضيح موجز لرسوماتهم في غرفة الصف.

عـرض عملي

المضاهـاة لتوضيـح المضاهاة، اعمل ساندوتشًـا كبيرًا بإضافة شرائـح (طبقات) من اللحم والحبش والطماطم والجبن إليه، أو أي طعام متوافر لديك (يمكن أن تستخدم أطعمة أخرى). ينبغي أن تمتد الطبقات على طول الساندوتش، ولكن بسمك مختلف. ضـع شريحتين مـن اللحم مثلاً عنـد طرف السـاندوتش وخمس شرائـح عند الطرف الآخـر، ثم اقطع السـاندوتش عـلى بُعد 2.5 cm مـن كل طرف عدة مـرات في أثناء العمل. أشرك طلبة الصف في مضاهاة الوحدات المختلفة من طرف السـاندوتش مع الطـرف الآخـر. ولاحظ، أنه على الرغم من اختلاف سـمك الطبقات، إلا أن التتابع جميعه بقي كما هو. بعد الانتهاء من العرض ناقشهم في كيفية استعمال المضاهاة في توقع التتابع والسمك حتى في المناطق التي لم تُقطع في الساندوتش.

مختبر حل المشكلات

الهدف يفسر الطلبة التاريخ الجيولوجي لتتابع صخري.

المهارات العلمية تفسير الرسوم العلمية، الملاحظة، الاستنتاج، التمييز بين السبب والنتيجة.

استراتيجيات التدريس

- قسم الطلبة إلى مجموعات. واطلب إليهم أن يسجلوا ملاحظاتهم وإجاباتهم في دفاتر الجيولوجيا.
- اطلب إلى مجموعات مختارة من الطلبة أن تشارك تحليلاتها للمخطط مع الصف كله.
- تولَّ إدارة المناقشة الصفية.

التحليل

1. الحد الفاصل بين الطبقات A–F هو لاتوافق لأن طبقة رسوبية قد ترسبت فوق صخر ناري تعرض للتعرية. بينما الطبقات E–F تمثل عدم توافق انقطاعي لأن طبقة رسوبية قد ترسبت على طبقة رسوبية أخرى تعرضت للتعرية. يمكن تفسير D–F على أنها لاتوافق (لأن طبقة رسوبية قد ترسبت فوق صخر ناري تعرض للتعرية).

2. الطبقة B هي الأقدم.

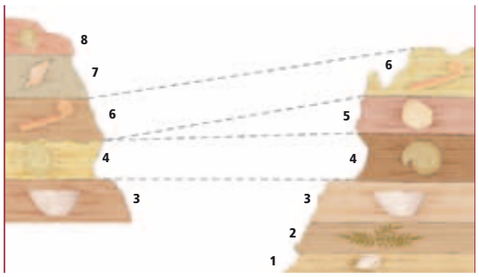
3. يمكن أن توجد المحتبسات في الجسم الناري A وفي القاطع الناري الذي قطع الطبقات B,C,D وجزءًا من الطبقة E .

4. الطبقات الصخرية على جانبي المخطط غير متطابقين؛ لأن تشكل الصدع أدى إلى رفع الجانب الأيسر إلى أعلى.

التفكير الناقد

5. القاطع أحدث من الطبقات المطوية لأنه يقطعها، وهذا ينطبق مع مبدأ القاطع والمقطوع.

6. قد تكون الطبقة I أزيلت بالتعرية من الجانب الأيسر من المخطط لأنها قد ارتفعت إلى أعلى وتعرضت للتعرية بصورة كبيرة.



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

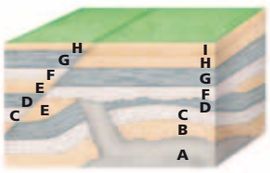
يستعمل جيولوجيو البترول المبادئ الجيولوجية في تعرّف السجل الصخري لخزانات النفط والغاز الطبيعي.

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

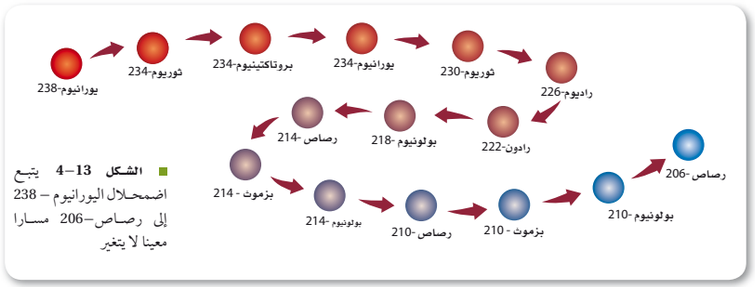
5. **طبق** ما أحدث المعالم الجيولوجية في الشكل: القاطع أم الطبقات المطوية؟ ما المبدأ الذي استعملته في معرفة ذلك؟
6. **اقترح** لماذا لا توجد الطبقة I عن يسار الشكل؟

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** يُمَكِّنُ 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

المناقشة

الزمن المطلق اطلب إلى الطلبة أن يفكروا بوسائل مختلفة للإخبار عن الوقت. ستتضمن الإجابات الساعات وساعات الحائط والساعات الرملية ...إلخ. واطلب إليهم أن يفكروا في أشياء في الطبيعة يمكن استعمالها للإخبار عن الوقت. ربما تتضمن الإجابات موقع الشمس في السماء أو أطوار القمر. اسألهم: ما الشيء المشترك بين جميع هذه الأشياء التي تخبر عن الوقت، سواء الطبيعية أو التي صنعها الإنسان؟ يشترك كل من دقات عقرب الثواني في الساعة أو سقوط حبات الرمال في ساعة الرمل ونظام دوران الأرض والقمر في حدوثها ضمن فترات زمنية منتظمة معروفة المدة. ولتحديد الزمن المطلق لا بد للعلماء أن يستخدموا أنظمة مضبوطة بفترات معروفة.

دعم المحتوى

الساعة الذرية ربما سمع الطلبة عن الساعة الذرية. واسألهم عما إذا كان لذلك علاقة بالاضمحلال الإشعاعي. الجواب: كلا؛ لأن الساعة الذرية لا تعتمد على بالاضمحلال الإشعاعي ولا علاقة لها بالنشاط الإشعاعي، بل يشبه مبدأ عملها عمل الساعات العادية؛ فبدلاً من النوابض ذات النوعية القديمة تعتمد دقات الساعة الذرية على الرنين الطبيعي (الاهتزازات) للذرات.

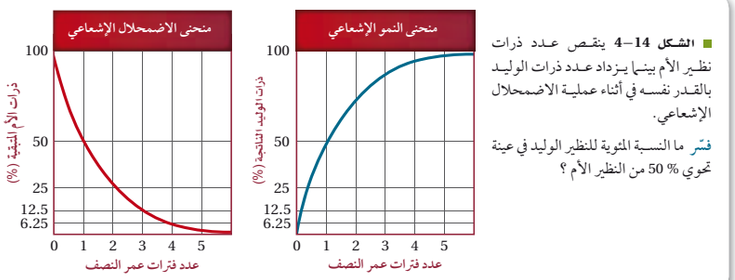
الربط مع العلوم الأخرى

الدواء يمكن أن يسبب الاضمحلال الإشعاعي ضررًا للبشر إذا كان بجرعات كبيرة، ولكنه يكون مفيدًا إذا كان بجرعات صغيرة؛ إذ يستخدم الأطباء وأطباء الأسنان الأشعة السينية لمساعدتهم على تشخيص المرض أو الضرر الذي يصيب الجسم. فعلى سبيل المثال يمكن أن يحقن الأطباء المرضى بجرعات بسيطة من النظائر المشعة (تسمى أيضًا الذرات المشعة، وقد تكون طبيعية أو من صنع الإنسان) لمساعدتهم على تحديد موقع المرض، أو مشاهدة كيف تعمل أجزاء الجسم الداخلية، وأحيانا تُستعمل في قتل الخلايا السرطانية، وتُسمى حينها طريقة العلاج هذه العلاج الإشعاعي.

دعم المحتوى

الأعمار الدقيقة يمكن تقدير أعمار العينات الصخرية وغيرها التي يتراوح أعمارها بين آلاف السنين إلى بلايين السنين بدقة باستعمال طرائق قياس إشعاعية. فعلى سبيل المثال استعمُلت طريقة الاضمحلال الإشعاعي بالكربون في قياس عمر القماش الذي استعمل في لف المومياوات المصرية في منطقة دهشور، فوجد أن عمره 2050 سنة، وهو يتطابق مع عمر الأهرام، الذي تم تقديره بالسجلات التاريخية. كما حُسبت أعمار عينات مأخوذة من حجر الخفاف والرماد البركاني في وادي أون بكاليفورنيا فوجد أنها 700,000 سنة. وتعلو الترسباتِ البركانيةَ هذه رواسبُ جليديةٌ منقولة، حيث استعمل بوصفها طبقة مرشدة في تأريخ الفترة الجليدية التي سبقتها. كما قُدر عمر صخور الدرع العربي في الجزيرة العربية فوجد انها تتراوح بين my (1000–450) مع وجود دلائل حديثة على ان عمرها يصل إلى 1600 مليون سنة.

إجابة أسئلة الأشكال **الشكل 14–4** سيكون هناك 50 % وليد، و 50 % الأم.



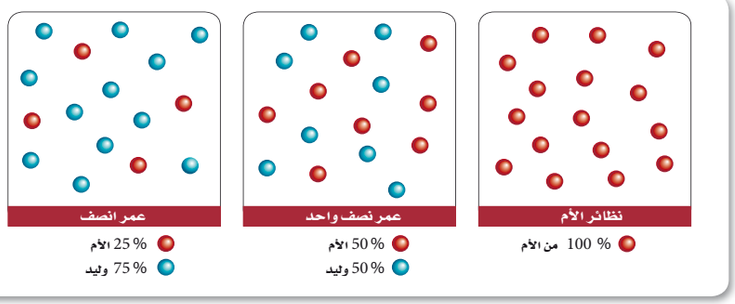
الشكل 14–4 ينقص عدد ذرات نظير الأم بينما يزداد عدد ذرات الوليد بالقدر نفسه في أثناء عملية الاضمحلال الإشعاعي.

فسّر 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.



طرائق تدريس متنوعة

الطلبة دون المستوى اطلب إلى الطلبة إعداد نشرة تصف، على الأقل، ثلاث طرائق لتقدير العمر المطلق، كالتأريخ الإشعاعي، وتحليل حلقات الشجر وعينات الجليد الاسطوانية والرقائق (طبقات رسوبية رقائقية)، على أن يستعينوا بالصور والرسومات في نشراتهم، لتوضيح المواد التي يمكن تقدير أعمارها بجميع الطرائق المختلفة المستعملة في تقدير الأعمار المطلقة. **د م**

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)

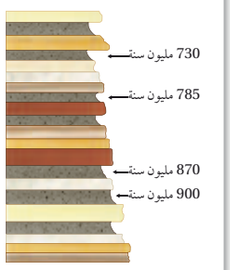
تأريخ الصخور Dating rocks لتأريخ صخر ناري أو متحول، يتفحص العلماء نسب النظائر المشعة للأم إلى الوليد في المعادن المكونة للصخر. يوضح **الجدول 1-4** بعض النظائر المشعة التي يمكن أن تُستعمل. ويعتمد استعمال النظير الأفضل لتأريخ أعمار الصخور على العمر التقريبي للصخر المراد تحديد عمره. مثال ذلك، قد يستعمل 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 إشعاعيًا

عرض عملي

تحديد أفضل طريقة احصل على عينات أو صور عديدة لصخور قديمة أو أحافير مثل صخور نارية يعود عمرها إلى ما قبل الكامبري، أو قطع من عظام ديناصور من حقبة الحياة المتوسطة، قطع من شجرة عمرها ضمن البلايستوسين، واسأل الطلبة: أي طرائق التأريخ الإشعاعي يمكن استعمالها في الحصول على أعمار مطلقة لكل من هذه العينات؟ الصخور النارية ما قبل الكامبري: أي نظير من الجدول 1-4 يصلح لتأريخها عدا الكربون. عظام ديناصور الحقبة الوسطى: لا يصلح تأريخها بالكربون المشع لأنها قديمة جدًّا، كذلك لا تستخدم النظائر المشعة الأخرى لأن مصدرها ليس من الصخور النارية أو المتحولة. قطع من شجرة عمرها من البلايستوسين: يمكن تأريخها بالكربون المشع إذا كان عمرها أقل من 60,000 سنة.

نشاط

الاضمحلال الإشعاعي اطلب إلى جميع الطلبة الوقوف على أحد جوانب غرفة الصف ليمثلوا نظير أم مشع (نشيط) عمره نصف دقيقة، واطلب إليهم (النظير الأم المشع) أن ينتقل نصفهم (يضمحلوا) بصورة عشوائية إلى الجانب الثاني من الصف في دقيقة واحدة، حيث يمثل النصف في الطرف الثاني النظير الوليد المستقر، ثم ينتقل النصف المتبقي في الطرف الأول (الذي يمثل النظير الأم) إلى الطرف الثاني بعد دقيقتين، ويكرروا ذلك بعد ثلاث دقائق وهكذا. وأخيرًا وضح لهم أنه يمكن حساب عدد الطلبة وتحديد نسبة الأم إلى الوليد، ومن ثم حساب عدد فترات عمر النصف التي انقضت.

ض م تعلم تعاوني

دعم المحتوى

المعايرة يتكون الكربون-14 في الجزء العلوي من الغلاف الجوي بفعل أنواع مختلفة من الإشعاعات الكونية، ولأن الإشعاعات الكونية تتذبذب عبر السنين، لذا فإن نسب الكربون-14 تتغير أيضًا، وهذا بدوره يُغير من نسبة الكربون-14 إلى الكربون-12، مما يجعل تأريخ البقايا العضوية أمرًا صعبًا، كما تؤثر كل من الأنشطة الطبيعية الأخرى كالنشاط البركاني والأنشطة البشرية كحرق الوقود الأحفوري والتجارب النووية في نسب نظائر الكربون. ولتعويض هذه التغيرات يُعاير العلماء تواريخ مؤرخة بالكربون المشع بتواريخ من مصادر تأريخ أخرى مثل الحلقات الشجرية عينات الجليد الاسطوانية والرقائق الطبقية.

ماذا قرأت؟ المعادن في معظم الصخور الرسوبية تكوّنت في الأصل من صخور سابقة، لذا فإن أعمارها أقدم من أعمار الصخور الرسوبية.

إثراء

رسم مقطع عرضي اطلب إلى الطلبة أن يتفحصوا مقطعًا عرضيًّا من شجر خشب أصم (مثل شجرة القيقب، أو الدّردار) تم الحصول عليه من منجرة، وأن يرسم كل طالب منهم مقطعًا عرضيًّا، ليحددوا عمر الشجرة والتاريخ المناخي. ف م

الخلفية النظرية

التاريخ بالأشنات تعتمد بعض طرائق التأريخ على معدلات نمو بعض المخلوقات الحية، فعلى سبيل المثال يعتمد تأريخ الأشنات على معدلات نموها على سطوح الصخور المتكشفة، وهي طريقة مفيدة، وخصوصًا في المناطق التي تنتشر فيها الأشنات بكثرة، ومنها الجبال والصحاري. وفي بعض الحالات يمكن تأريخ السطوح الصخرية المتكشفة لأعمار تصل إلى 10,000 سنة. ولاستعمال التأريخ بالأشنات في التأريخ المطلق، لا بد من معايرة حجم الأشنات ومعدلات نموها بطريقة تاريخ مستقلة مثل التأريخ بالكربون المشع، أو المضاهاة الحلقية.

ويساعد التأريخ بالأشنات العلماء على تحديد وقت وقوع الأحداث وتكراراتها، مثل الانهيارات والانزلاقات الأرضية. وأحد ميزات هذه الطريقة أنها غير مكلفة، ويمكن استعمالها عند عدم إمكانية تطبيق الطرائق الأخرى، ولكنها مفيدة فقط إذا استُعلمت في المناطق التي تمت فيها المعايرة.

■ **إجابة أسئلة الأشكال الشكل 17–4** 480 سنة من 1500 إلى 1980.

■ **الشكل 17–4** يمكن تحقيق التأريخ بالحلقات السنوية الشجرية من خلال مضاهاة الحلقات السنوية بين عينات خشبية مختلفة حية وميتة. يسمى العلم الذي يستعمل حلقات الشجر السنوية في التأريخ المطلق التأريخ بالأشجار.

احسب عدد السنين التي يمثلها الشكل أعلاه.

■ **الشكل 18–4** يستعمل العلماء عينات الجليد الأسطوانية لتأريخ الرسوبيات الجليدية ولمعرفة المزيد عن مناخ الأرض القديم.

تحوي أنسجة المخلوقات الحية جميعها –ومنها الإنسان– على كمية قليلة من الكربون–14. ويضمحل الكربون–14 في أثناء حياة المخلوق الحي ولكنه يتجدد باستمرار بوساطة عملية التنفس. وعندما يموت المخلوق الحي فإنه لا يأخذ الكربون–14 من جديد، لذا تنقص كمية الكربون–14 في جسمه مع مرور الوقت.

ويستطيع العلماء من خلال قياس كمية الكربون–14 في المادة العضوية أن يحددوا الزمن الذي انقضى منذ موت المخلوق الحي. وتعد هذه الطريقة مفيدة عمليًّا في تحديد أعمار الأحداث الجيولوجية الحديثة التي تحوي بقايا المادة العضوية.

طرائق أخرى لتحديد العمر المطلق
Other Ways to Determine Absolute Age

تُعدّ طريقة التأريخ الإشعاعي من أكثر الطرائق الشائعة لدى الجيولوجيين لتحديد عمر المواد الجيولوجية؛ إلا أن هناك طرائق تأريخ أخرى كثيرة؛ إذ يمكنهم أيضًا استعمال مواد أخرى تساعدهم على تحديد أعمار بعض الأجسام أو الأحداث، ومن ذلك حلقات الشجر وعينات الجليد الأسطوانية ورسوبيات قيعان البحيرات ورسوبيات قيعان المحيطات.

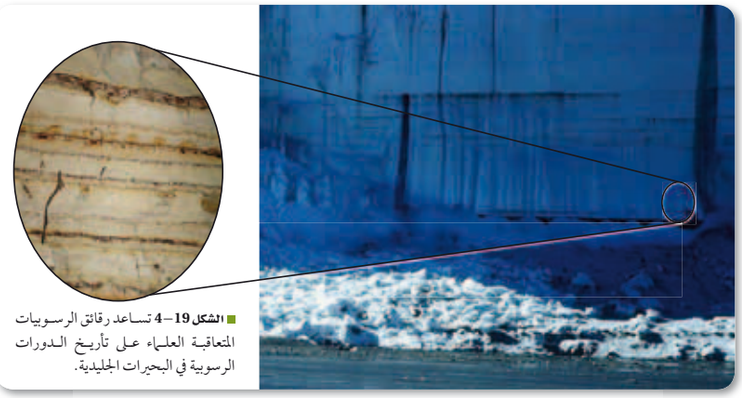
حلقات الأشجار السنوية Tree rings يحوي الكثير من الأشجار سجلًّا زمنيًّا في حلقات جذوعها. تسمى هذه الحلقات حلقات الأشجار السنوية. تتكوّن كل حلقة شجرية سنوية من زوج من حلقات نمو موسمية مبكّرة، وأخرى متأخرة. ويعتمد عرض الحلقات على ظروف بيئية محددة؛ حيث تكون عريضة عند توافر مطر غزير؛ لأن الأشجار تنمو بسرعة، وتكون رفيعة في المناخ الجاف. لذا فإن الأشجار التي تنمو في الإقليم الجغرافي نفسه وضمن فترة زمنية معينة يكون عرض الحلقات هو نفسه. ويوضح **الشكل 17–4**، كيف استطاع العلماء تحديد أعمار الأشجار على أنها 10,000 سنة، من خلال إجراء مقارنة بين حلقات هذه الأشجار.

الربط مع العلوم الأخرى

علم الآثار طور الفلكي الأمريكي أندريو دوجلاس، في بداية القرن العشرين أول مضاهاة لحلقات الشجر باستعمال أشجار من الجنوب الغربي للولايات المتحدة الأمريكية، في تأريخ وحدات سكنية مصنوعة من الحجر والطين في ولاية كولورادو. ثم أسس لاحقًا مختبر البحث في حلقات الشجر في جامعة أريزونا، والذي يضم الآن أكثر من 360 ألف قطعة خشبية أثرية من أنحاء العالم.

دفتر الجيولوجيا

المناخات القديمة كلّف الطلبة البحث عن أي شيء يمكن أن يستفيد منه العلماء في فهم المناخات القديمة من خلال دراسة الفقاعات الهوائية في عينات الجليد الاسطوانية وتدوينه في دفتر الجيولوجيا. قد تحوي الفقاعات الهوائية في عينات الجليد الاسطوانية بقايا تدل على مناخات قديمة للغلاف الجوي؛ إذ ترتبط النظائر مع درجة الحرارة وتغيرات مستوى سطح البحر. كما تحمل البقايا العضوية المحفوظة في الجليد أدلة على الحياة القديمة، بالإضافة إلى الثورانات البركانية التي تُخلف وراءها طبقات مميزة من الرماد البركاني يمكن تعرفها بسهولة.



■ **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.

ماذا قرأت؟ يعكس عرض حلقات الشجرة الظروف البيئية الموسمية؛ حيث يكون العرض أكبر في السنوات التي تتوافر فيها المياه وأشعة الشمس، وأضيق ما يمكن في سنوات الجفاف.

3. التقويم

التحقق من الفهم

نشاط اطلب إلى أحد المتطوعين أن يرسم مخططًا على السبورة حول اضمحلال الكربون-14 إلى نيتروجين-14 خلال أربع فترات عمر نصف، بمعاونة طلبة الصف. يجب أن يحتوي الرسم أعمارًا رقمية ونسب كل من الكربون-14 والنيتروجين-14 لكل فترة عمر نصف، مع العلم أن عمر النصف للكربون-14 =5730 سنة: 5730 سنة تكون النسبة: 50% من كل من، N-14 و C-14. 11460: سنة تكون النسبة % 75 من N-14و% 25 من C-14. 17.190 سنة: تكون النسبة 87.5% من N-14 و 12.5% من C-14. 22920 سنة تكون النسبة: % 93.75 من N-14 و6،25% من C-14. **تعلم تعاوني**

إعادة التدريس

إعداد جدول بيانات كلف الطلبة العمل في أزواج لإعداد جداول يدونون فيها بيانات تتضمن على الأقل أربعة عناصر مشعة شائعة، منها: U-238, C-14، على أن تحتوي الجداول أيضًا على أعمار النصف لهذه العناصر، والوليد الناتج، ومعادلات الاضمحلال الإشعاعي، والمواد التي يمكن تأريخها لكل عنصر من العناصر المشعة الواردة في الجداول. **تعلم تعاوني**

التقويم

تقويم الأداء اكتب الجملة الآتية على السبورة: يعتمد استعمال أفضل النظائر على العمر النسبي للصخر المراد تحديد عمره، ثم كلف الطلبة كتابة مقالات في دفاتر الجيولوجيا الخاصة بهم، يوضحون فيها معنى هذه الجملة.

التقويم 2-4

1. ينص مبدأ التـرسـيب الأفقي على أن الطبقات تترسب في وضـع أفقي تقريبًا. وينص مبدأ تعاقب الطبقات على أن الطبقات الأحدث تكـون فوق الطبقات الأقدم. أما مبـدأ القاطع والمقطـوع فينص على أن الأجسـام النارية المندفعة والصـدوع أحدث من الطبقـات التي تقطعها. وأمـا مبدأ الاحتواء فينص على أن القطع الصخرية أقدم من الطبقات التي تحتويها.
2. يجب أن تتوافق رسوم الطلبة مع تفسيرات عدم التوافق في المتن.
3. تسـاعد الأحافير العلماء على تحديد مـا إذا كانت طبقات صخريـة - وتسـمى أحيانًـا تكشـفات - في مـكان ما قد تكونت في الوقت نفسه مع تكشفات في مكان آخر، وهذا يسـاعدهم على فهم تاريخ الترسـيب في منطقـة جغرافية كبـيرة والتأريخ النسـبي لطبقاتهـا، كما أن وجـود أحافير متشـابهة في مناطق متباعدة جدًّا يسـاعد العلماء أيضًا على تحديد أماكن وجود الغاز والبترول والثروات المعدنية.
4. يعد الفحم الحجري طبقة متميزة يسهل تعرفها. ويمكن استعمال طبقة الفحم الحجري بوصفها طبقة مرشدة إذا كانت واسعة الانتشار.
5. لأن مبدأ النسقية يقضي بأن الصخور النارية قد تشكلت في المـاضي بالكيفيـة نفسـها التي تتشـكل بهـا في الوقت الحـاضر، ويسـتطيع العلـماء أن يدرسـوا كيفيـة تشـكل الصخـور الناريـة حاليًّا لتطوير فرضياتهم حول تشـكل الصخور النارية في الماضي.
6. لأن الاضمحـلال الإشـعاعي يحـدث بطريقـة منتظمة ويمكـن توقعـه فهو يعمـل كسـاعة جيولوجيـة يزوّدنا بأعمار رقمية للعينات أكثر دقة مقارنـة بطرائق التأريخ النسبي التي تزودنا بأعمار نسبية فقط.
7. كلتاهمـا طريقـة تأريـخ إشـعاعية. يضمحـل اليورانيـوم-238 إلى رصـاص-206 ويسـتخدم في تحديـد أعـمار الصخور الضاربة في القـدم. أما طريقة الـ C-14 فتزودنا بأعمار المواد العضوية الحديثة نسبيًّا.
8. تسـاعد الرقائـق الرسـوبية الجيولوجـي عـلى تأريـخ الترسبات الموسمية (الفصلية) للرسوبيات الجليدية.

التقويم 2-4

الخلاصة

- ينص مبدأ النسقية على أن العمليات التي تحدث في أيامنا الحالية كانت موجودة منذ أن خلق الله الأرض.
- يستعمل الجيولوجيـون المـبادئ الجيـولوجية لتـحديد العـمر 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.
- يـمـكـن اسـتـعـمـال مـعـدل إضمحلال عناصر مشعة معينة كساعة جيولوجية.
- يمكن استعمال حلقات الأشجار السـنـويـة وعـيـنـات 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 استعمالها 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؟

9. يعني مبدأ النسـقية في سـياق التأريخ الإشـعاعي أن النشاط الإشعاعي يعمل في أيامنا هذه، كما عمل في الماضي.
10. يسـتطيع الجيولوجي أن يختبر الفرضيـة بمقارنة معالم معينة مثل المحتوى الأحفوري وأنواع الصخور والطبقات المرشـدة في كل معلم. فإذا كانت المعالم متشابهة فإن ذلك يدعم الفرضية.
11. يمكـن اسـتعمال كل مـن التـأريـخ بالكربون المشـع والمضاهـاة الحلقية، فـإذا أعطت مجموعتـين من النتائج أو أكثـر، وكانتا متشـابهتين فإن كلتا الطريقتين تدعم الأخرى، وتقلل من نسبة الخطأ.
12. ستتنوع الإجابات، ولكن يجب أن توضح أن الطبقة المرشدة، وهي طبقة من نوع الصخر نفسـه تنتشر في منطقة جغرافية واسـعة. يمكن لإعصار بحري ضخم أو لعاصفة غبارية أن ترسب طبقة من الرسوبيات، ويمكن أن تشـكل هـذه الرسـوبيات طبقة مرشـدة إذا كانت واسـعة الانتشـار ويسهل تعرفها في السجل الصخري.
13. 2.6 بليون سنة.

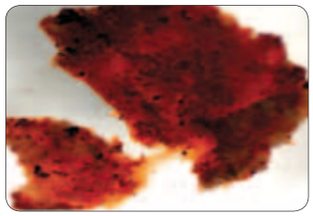
اكتشاف أنسجة لديناصور

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 جدًا 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 رؤى 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.

الكتابة في الجيولوجيا

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

الكتابة في الجيولوجيا

صمم ملصقاً ينبغي أن تتضمن ملصقات الطلبة معلومات حول الاكتشافين اللذين تم مناقشتهما في هذا المقال .و قد يذكر الطلبة أن العلماء كانو لسنوات عديدة يعتقدون أن عظام الأحافير لا تحتوي على أي نوع من الأنسجة الرخوة أو المواد الكيميائية التي يمكن تحليلها. وقد اكتشفت الأنسجة الرخوة في عظمة الفخذ لديناصور التيرانوصور (T.rex).و قد شجع هذا العلماء على البحث و العثور على عينات مماثلة في أحافير الديناصورات الأخرى.

يتعرَّف الطلبة بعض الطرائق التي يستخدمها علماء الأحافير في استكشاف وتحليل الأنسجة الرخوة في عظام أحافير الديناصورات.

دعم المحتوى

الهادراصور يشار إلى أنه ينتمي إلى نوع ديناصورات مناقير البط. ذات المناقير التي ليس لها أسنان داخلية و إنما بعض الأسنان المنتشرة على الجوانب الخارجية للفكوك يتراوح طولها بين 3–12 M . وجدت أحفورة الهادراصور محنطة في ولاية مونتانا في عام 2000 باسم ليوناردو، ويعتقد أن عمره كان ثلاث أو أربع سنوات. وتغطي الأنسجة الرخوة حوالي 90% من الهيكل العظمي. ويعتقد العلماء أن الهادراصور دفن بسرعة بعد موته مباشرة برواسب نهرية ذات حبيبات ناعمة. وهذا يفسر الحفظ الجيد للأحفورة .

استراتيجيات التدريس

- وضح للطلبة أنه يتم استعمال الاشعة الطبقية في المجال الطبي لتقديم صور لهياكل الجسم الداخلية. ويتم إنتاج مقاطع عرضية رقيقة للنسيج من خلال عبور حزمة من الأشعة السينية فيه. ويمكن إنتاج صورة ثلاثية الأبعاد لنسيج من انتاج العديد من المقاطع العرضية المتراصة معًا.
- ناقش الطلبة ما هي أنواع المعلومات التي قد يتعلمها من البحث في أجهزة لديناصور الداخلية.

مختبر الجيولوجيا

الاعداد للمختبر

الزمن المقترح 90 دقيقة

المهارات العلمية التفكير بطريقة ناقدة، التصنيف، المقارنة، التواصل.

احتياطات السلامة اطلب إلى الطلبة الإطلاع على تعليمات السلامة قبل البدء في التجربة.

إعداد الأدوات إذا كان الطلبة لا يتوافر لديهم إنترنت أو المراجع العلمية فوفر لهم نسخًا تتضمن جميع الأحداث التي تساهم في تشكيل سطح الأرض، ووزعها على جميع طلبة الصف.

خطوات العمل

- لمساعدة الطلبة على مقارنة بياناتهم كوّن شفافية أو جدولاً باستعمال الحاسوب تتضمن أعلى عشرة خيارات لكل مجموعة مرتبة من الأقدم إلى الأحدث، بحيث يشمل كل حدث عمره التقديري (النسبي).
- شجع الطلبة على المناقشة الصفية.

التحليل والاستنتاج

1. ستتنوع الإجابات حسب الأحداث التي اختارها الطلبة في تشكيل سطح الأرض.
2. ستتنوع الإجابات: أحد المعالم التي يُحتمل أن تكون مشتركة هي الأحداث التي ساهمت في انقراض وتنوع المخلوقات الحية.
3. ربما يكون أحد الأمثلة عدم انقراض الديناصورات، وفي هذه الحالة يتوقع أن يؤدي ذلك إلى تقلص انتشار الثدييات بصورة كبيرة.
4. سيؤدي الانقراض إلى إخلاء المَواطن البيئية لتصبح مهيأة فيما بعد لعيش مخلوقات حية جديدة.

شارك بياناتك

راجع مع أقرانك يجب أن يوضح الطلبة الأحداث المشتركة في قوائمهم مع القوائم الموجودة على الموقع الإلكتروني. وإذا لم يتوافر للطلبة إنترنت فاعمل قائمة للصف تتضمن أهم الأحداث، واطلب إلى كل مجموعة أن تحدد الأحداث الأكثر أهمية حسب رأيهم، ثم اطلب إليهم أن يتناقشوا ويتحاوروا فيما بينهم ليبينوا أهم حدثين أو ثلاثة مرت في تاريخ الأرض.

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. شكّل 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 الرئيسة

يمكن للطلبة استعمال فقرات مختصرة لمراجعة المفاهيم الرئيسة للفصل.

يستطيع الطلبة زيارة الموقع الإلكتروني

www.obeikaneducation.com

بهدف:

- دراسة الفصل كاملًا على الموقع.
- الحصول على مزيد من المعلومات والمشاريع والأنشطة.
- التقدم لاختبار الفصل والاختبار المقنن.

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. • يتغيّر سلّم الزمن الجيولوجي مع زيادة معرفة العلماء العلمية عن تاريخ الأرض.
4–2 التأريخ الجيولوجي	
مبدأ النسقية التأريخ النسبي مبدأ الترسيب الأفقي مبدا 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.

الفصل 4

مراجعة الفصل

مراجعه المفردات

1. سلم الزمن الجيولوجي.
2. عدم التوافق.
3. الاضمحلال الإشعاعي.
4. الدهر.
5. المضاهاة.
6. كلاهما وحدات زمنية ولكن العصور وحدات زمنية أكبر من الحين.
7. تستعمل طرائق التأريخ المطلق لتحديد العمر الرقمي للصخر أو جسم آخر بينما يمكن استعمال التأريخ النسبي لتقدير الأعمار وإعطاء أعمار نسبية.
8. عدم التوافق الانقطاعي، هو سطح تعرية بين طبقتين رسوبيتين متوازيتين اللاتوافق سطح تعرية بين طبقة رسوبية يعلوها صخور نارية أو متحولة.
9. المضاهاة الصخرية هي مطابقة تكشفات صخرية محددة في منطقة ما مع تكشفات مماثلة لها من حيث المكونات المعدنية للصخر ونسيجه في منطقة جغرافية أخرى. بينما المضاهاة الاحفورية المطابقة باستعمال الاحافير المرشدة.
10. مبدأ القاطع والمقطوع.
11. مبدأ النسقية.
12. الطبقة المرشدة.
13. مبدأ الترسيب الأفقي..

تثبيت المفاهيم الرئيسة

14. b
15. c
16. b
17. a
18. d
19. b
20. d
21. d

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.

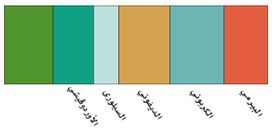
ضع المصطلح الصحيح بدلًا من الكلمة التي تحتها خط:

10. وفق مبدأ الترسيب الأفقي يكون الصدع أو القاطع أحدث من الصخر المقطوع.
11. ينص التأريخ النسبي على أن العمليات التي تحدث حاليًا 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.

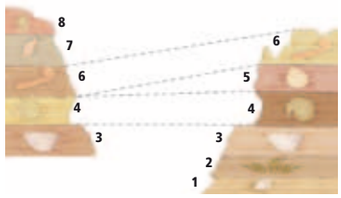


17. ما العصر المفقود في الشكل أعلاه؟
    a. الكامبري. c. البيرمي.
    b. الترياسي. d. باليوجين.
18. ما أقصر وحدة زمنية في سلم الزمن الجيولوجي؟
    a. العصر. c. الحقبة.
    b. الدهر. d. الحين.
19. ما المبدأ الجيولوجي الذي يستعمله الجيولوجي عندما يُعاين تكشّفا صخريًا ويحدد بناء عليه أن الطبقة السفلى هي الأقدم؟
    a. النسقية. c. الترسيب الأفقي.
    b. تعاقب الطبقات. d. الاحتواء.
20. يتحلل اليورانيوم-238 إلى الثوريوم-234 . ما علاقة الثوريوم-234 باليورانيوم-238؟
    a. أم. c. أخ.
    b. ابن. d. وليد.

أسئلة بنائية

22. الدهر – الحقبة – العصر – الحين.
23. يستخدم الجيولوجيون الانقراض الجماعي لتعيين الحدود بين الوحدات الزمنية في سلم الزمن الجيولوجي أي أنها تزودنا بنقاط مرجعية أو أسس في تقسيم سلم الزمن الجيولوجي إلى وحدات زمنية.
24. تستخدم طرائق التأريخ المطلق لتحديد العمر الرقمي (الدقيق) للصخر أو جسم آخر بينما يمكن استعمال التأريخ النسبي لتقدير الأعمار وإعطاء أعمار نسبية.
25. لولا سلم الزمن الجيولوجي لما تمكن الجيولوجيون من التواصل فيما بينهم، أو إجراء مضاهاة بين الأحداث بالتفصيل، أو وضع عملهم في سياق معين.
26. ستتنوع الإجابات، عدم التوافق هو سطح تم تعريته ودفنه، ولأنه تعرض للتعرية فأصبح غير موجود، ويمثل فترة زمنية مفقودة (فترة زمنية ضائعة)

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.

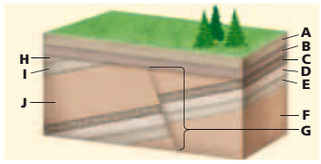
25. قيّم فائدة وجود سلّم زمن جيولوجي متفق عليه عالميًّا.

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.

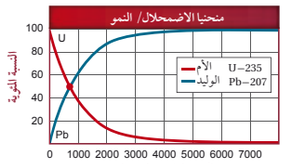
29. أوجد عدم توافق زاوي في الشكل السابق.

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 34.



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. قوِّم هل يمكن استعمال الكربون المشع في تحديد عمر ديناصور؟ وضح إجابتك.

في السجل الصخري.

27. الأدلة الداعمة: يمكن أن يُحاجّ الطلبة أنه من الصعب مقارنة الزمن إذا كانت العصور متفاوتة من حيث امتدادها الزمني. ولأن الناس معتادون على تقسيم الزمن إلى وحدات متساوية فإنه من المنطقي تقسيم سلم الزمن الجيولوجي بالطريقة نفسها. وعندما أسس سلم الزمن الجيولوجي لم تكن طرائق التأريخ المطلق مكتشفة بعد، أما الآن فهي موجودة.

الأدلة المناقضة: يمكن أن يُحاجّ الطلبة أن سلم الزمن أسس بناء على الأحداث الجيولوجية والتطور، وهي غير منظمة في جدول زمني. وبجعلنا كل العصور متساوية من ناحية امتدادها الزمني فإن ذلك يقلل من أهمية الأحداث التي ميزت تاريخ الأرض.

التفكير الناقد

28. الطبقة F هي الأقدم.

29. يوجد عدم التوافق الزاوي عند أسفل الطبقة B لأنها ترسبت فوق الطبقات المائلة.

30. ترتيب الوحدات على النحو التالي:

a. ترسبت الطبقات F,E,D,C,J,I,H أفقيًّا (حسب مبدأ الترسيب الأفقي ومبدأ تعاقب الطبقات).

b. حدوث ميلان للطبقات F,E,D,C,J,I,H وتعرض بعض الطبقات H,I,J إلى التعرية (مبدأ الترسيب الأفقي).

c. قطع الصدع G تتابع الطبقات F,E,D,C,J وحركها (مبدأ القاطع والمقطوع).

d. ترسبت الطبقتان B,A.(مبدأ الترسيب الأفقي ومبدأ تعاقب الطبقات).

31. ستتنوع الإجابات. تعتمد تقنيات التأريخ النسبي على الحس المنطقي؛ فالجاذبية ترسب الرواسب على هيئة طبقات. كما يعتمد الناس على الحس المنطقي في ترتيب الأحداث الجيولوجية قبل توافر أدوات العلم، التي ساعدتهم على تحديد الأعمار رقميًّا.

32. 3.9 بلايين عام.

33. تمثل النقطة الحمراء فترة عمر النصف، حيث تحتوي العينة نصف الأم ونصف وليد.

34. يمكن استعمال كل من المضاهاة الحلقية والتأريخ بالكربون المشع. يمكن للجيولوجي أن يقارن عينة مجهولة بعينة أخرى معلومة من خلال المضاهاة الحلقية من نفس المنطقة. أما استعمال التأريخ بالكربون المشع فتتم بحساب نسبة C–14 إلى C–12 والتي تشير إلى الزمن الذي انقضى منذ موت المخلوق الحي.

خريطة مفاهيمية

35. مثال على إجابة صحيحة: ينقسم سلم الزمن الجيولوجي إلى فرعين يوضحان أن السلم تطور بالتأريخ النسبي والتأريخ المطلق. ويتفرع التأريخ النسبي إلى فرعين ليوضح أنه يستخدم أدلة من اللاتوافق والأحافير. ويتفرع التأريخ المطلق إلى فرعين يوضحان أنه يستخدم أدلة من الأحافير والتأريخ الإشعاعي

سؤال تحدٍّ

36. كلا. الديناصورات وجدت في حقبة الحياة المتوسطة وانقرضت قبل 66 مليون سنة. أما التأريخ بالكربون المشع فيفيد في تحديد أعمار الأشياء التي يقل عمرها عن 60,000 سنة.

اختبار مقنن

اختيار من متعدد

1. ما الوحدة الزمنية الصغرى في الوحدات الزمنية الآتية ؟

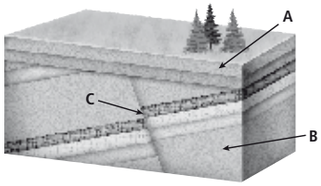
a. الدهر.

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؟

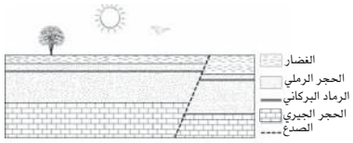
a. مبدأ الترسيب الأفقي.

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.

اختبار مقنن

اختيار من متعدد

1. d

2. b

3. c

4. d

5. b

6. d

7. a

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.

8. c

أسئلة الإجابات القصيرة

9. ينص مبدأ النسقية أن العمليات الجيولوجية التي تحدث اليوم هي نفسها التي كانت تعمل منذ تشكل الأرض. وضع جيمس هاتون هذا المبدأ ليفهم الأرض في الماضي.

10. يساعد سلم الزمن الجيولوجي العلماء على توضيح العلاقة بين الأحداث الجيولوجية والتغيرات البيئية بطريقة منظمة، ويساعد على تصنيف الأحافير زمنيًّا وتطوّر أشكال الحياة

11. عملية التأريخ النسبي تعطي عمر تقديري للصخور وتحدد الاحدث والاقدم ويستخدم فيها المبادئ النسبية اما التأريخ المطلق فيعطي عمر الصخور بشكل دقيق.

القراءة والاستيعاب

12. d

13. a

قائمة المحتويات

جداول مرجعية : Reference Tables

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

خرائط مرجعية : Reference Maps

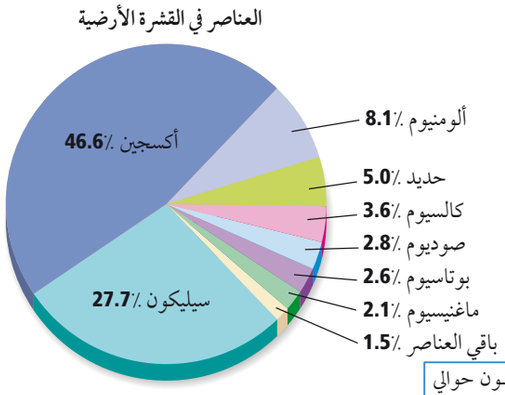
- خريطة ظهور المحيطات - Mid- Oceanic Ridge Map
- حدود الصفائح - Plate Boundaries
- جيولوجية شبه الجزيرة العربية - Geology of the Arabian Pensula

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.	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	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.		
حقبة الحياة		الكريتاسي	145,4	انقراض الديناصورات والأمونيت ظهور الطيور الحديثة بداية ظهور النباتات الزهرية مغطات البذور. بداية ظهور الثدييات والقنافذ الأرضية.	استمرار تكون جبال الأنديز بداية الحركة الأنديزية.	بداية تكون جبال الأنديز
		الجوارسي	199,9	ظهور الطيور الأولى سيطرة الديناصورات على القارات وسمائها.		
		الترياسي	251	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.		
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



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

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

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.

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.

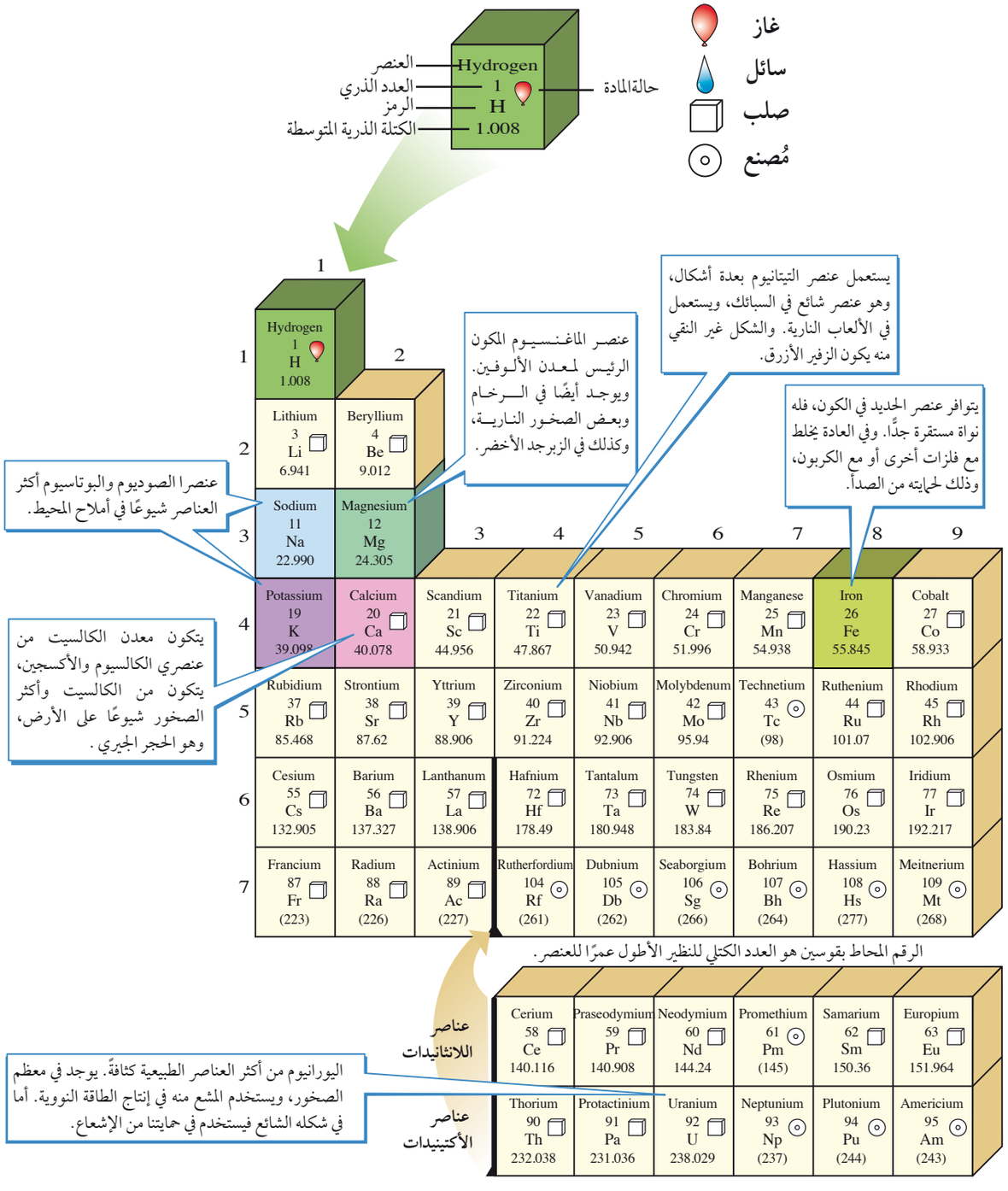
ينتج عنصر الرادون عن اضمحلال عنصر الراديوم وهو أثقل الغازات المعروفة. وللراديوم -222 مخاطر بيئية حيث يؤثر في جودة الهواء.

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



	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Hydrogen 1 H 1.008								
2	Lithium 3 Li 6.941	Beryllium 4 Be 9.012							
3	Sodium 11 Na 22.990	Magnesium 12 Mg 24.305							
4	Potassium 19 K 39.098	Calcium 20 Ca 40.078	Scandium 21 Sc 44.956	Titanium 22 Ti 47.867	Vanadium 23 V 50.942	Chromium 24 Cr 51.996	Manganese 25 Mn 54.938	Iron 26 Fe 55.845	Cobalt 27 Co 58.933
5	Rubidium 37 Rb 85.468	Strontium 38 Sr 87.62	Yttrium 39 Y 88.906	Zirconium 40 Zr 91.224	Niobium 41 Nb 92.906	Molybdenum 42 Mo 95.94	Technetium 43 Tc (98)	Ruthenium 44 Ru 101.07	Rhodium 45 Rh 102.906
6	Cesium 55 Cs 132.905	Barium 56 Ba 137.327	Lanthanum 57 La 138.906	Hafnium 72 Hf 178.49	Tantalum 73 Ta 180.948	Tungsten 74 W 183.84	Rhenium 75 Re 186.207	Osmium 76 Os 190.23	Iridium 77 Ir 192.217
7	Francium 87 Fr (223)	Radium 88 Ra (226)	Actinium 89 Ac (227)	Rutherfordium 104 Rf (261)	Dubnium 105 Db (262)	Seaborgium 106 Sg (266)	Bohrium 107 Bh (264)	Hassium 108 Hs (277)	Meitnerium 109 Mt (268)

عناصر اللانثانيدات	Cerium 58 Ce 140.116	Praseodymium 59 Pr 140.908	Neodymium 60 Nd 144.24	Promethium 61 Pm (145)	Samarium 62 Sm 150.36	Europium 63 Eu 151.964
عناصر الأكتينيدات	Thorium 90 Th 232.038	Protactinium 91 Pa 231.036	Uranium 92 U 238.029	Neptunium 93 Np (237)	Plutonium 94 Pu (244)	Americium 95 Am (243)

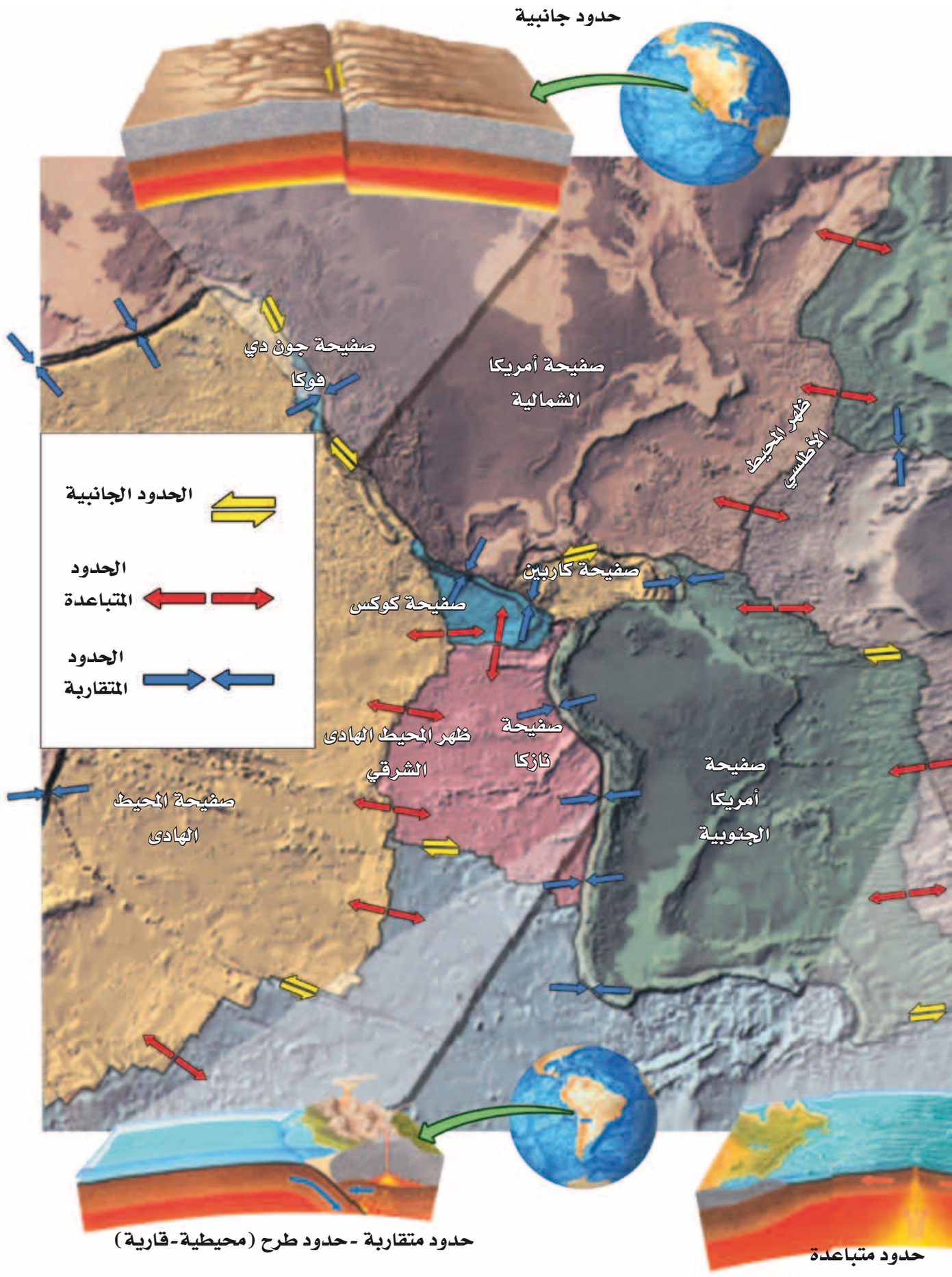
خريطة ظهور المحيطات
آسيا
أمريكا الشمالية
أستراليا
ظهر المحيط الهادي

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

جيولوجية شبه الجزيرة العربية

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 عموديًّا 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 مباديء 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 أفقيًا 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: ماجما 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.

مبـدأ الترسيـب الأفقـي original horizontality: مبدأ ينص على أن الصخور الرسوبية ترسبت في وضع أفقي تقريبًا.

مبـدأ تعاقب الطبقـات superposition: مبـدأ ينص على أنه في تعاقب صخري لم يشـهد أي أحـداث، فإن أقدم الصخور تكـون في القـاع، وكل طبقة تـلي ذلك تكون أحدث مـن الطبقة التي تحتها.

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

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

المخطـط الزلـزالي seismogram: السـجل الـذي يتـم الحصول عليه من مقياس الزلزال.

المركـز السطحـي للزلـزال epicenter: نقطـة على سـطح الأرض تقع مباشرة فوق بؤرة زلزال.

المضاهاة correlation: هي مطابقة تكشـفات صخرية معينة في منطقـة ما مع تكشـفات صخرية أخرى مشـابهة لها في مناطق أخرى.

المغناطيسيـة القديمـة paleomagnetism: السـجل المغناطيـسي للأرض الموثق في الصخور باسـتعمال بيانات جُمعت مـن معادن حاملة للحديد فيها؛ إذ إن هذه المعادن سـجلت اتجاه المجال المغناطيسي للأرض في وقت تشكلها.

المقذوفات البركانية الصلبة tephra: شـظايا من الصخور قذفـت في الهـواء في أثناء الثوران البركاني وتسـقط 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 حسـاس بوسـاطته يتم الكشف عن الاهتزازات الناجمة عن الأمواج الزلزالية.

مقياس العزم الزلـزالي moment magnitude scale: مقيـاس يسـتعمل لقياس قوة الزلـزال، آخـذًا في الاعتبار حجم الكـسر في الصدع وصلابـة الصخور ومقـدار الحركة على طول الصـدع، بناء على قيم يمكـن تقديرها من حجـم أنواع الأمواج الزلزالية المختلفة.

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

(ن)

النشـاط الـبركاني volcanism: يصـف جميـع العمليـات المرتبطـة مـع تفريـغ الماجمـا والمـاء السـاخن والبخـار مـن باطن الأرض.

نطـاق الطـرح subduction: عمليـة غطـس صفيـة أرضية تحت صفيحة أرضية أخرى.

النمـوذج model: أحفورة ناتجة عـن ملء التجويف الداخلي (القالـب) لمخلوق الأحفورة بالرسـوبيات أو بالمعادن، وتحدث هـذه العمليـة عندما تتحلل الأجـزاء الداخليـة لصدفة المخلوق الحـي في الصخور الرسـوبية ثم تـزول بفعل التجويـة أو التعرية تاركةً فراغًا أو قالبًا، حيث يتكون النموذج فيه.