المملكة العربية السعودية

وزارة التعليم
Ministry of Education

قررت وزارة التعليم تدريس
هذا الكتاب وطبعه على نفقتها

علم الأرض

(الجيولوجيا)

التعليم الثانوي - نظام المقررات

(مسار العلوم الطبيعية)

قام بالتأليف والمراجعة
فريق من المتخصصين

طبعة ١٤٤٢-٢٠٢٠

يُوزع مجاناً ولا يُباع

SA.GEO.SE.intro.indd 1 03/03/2020 11:48 AM

ⓒ وزارة التعليم ، ١٤٣٩هـ

فهرسة مكتبة الملك فهد الوطنية أثناء النشر
وزارة التعليم
علم الأرض (الجيولوجية): التعليم الثانوي – نظام المقررات – مسار العلوم الطبيعية ./ وزارة التعليم.– الرياض ، ١٤٣٩هـ
٢٥٠ ص ؛ ٥ ,٢٧ x ٢١سم
ردمك : ٨ــ ٦٦٠ ــ ٥٠٨ ــ ٦٠٣ ــ ٩٧٨

أ– الجيولوجيا – كتب دراسية ٢– التعليم الثانوي – مناهج –
السعودية – أ. العنوان
ديوي ٧ ,٥٥٠ ١٤٣٩ / ٩٥٢٣

رقم الإيداع :٩٥٢٣ / ١٤٣٩
ردمك :٨ـ ٦٦٠ـ ٥٠٨ـ ٦٠٣ـ ٩٧٨

حقوق الطبع والنشر محفوظة لوزارة التعليم
www.moe.gov.sa

مواد إثرائية وداعمة على "منصة عين"

IEN.EDU.SA

تواصل بمقترحاتك لتطوير الكتاب المدرسي

FB.T4EDU.COM

المقدمة

بِسْمِ اللهِ الرَّحْمنِ الرَّحيمِ

الحمد لله رب العالمين، والصلاة والسلام على أشرف الأنبياء والمرسلين، وعلى آله وصحبه أجمعين، وبعد:

يأتي اهتمام المملكة بتطوير المناهج الدراسية وتحديثها من منطلق أحد التزامات رؤية المملكة العربية السعودية (٢٠٣٠) وهو: "إعداد مناهج تعليمية متطورة تركز على المهارات الأساسية بالإضافة إلى تطوير المواهب وبناء الشخصية"، وذلك من منطلق تطوير التعليم وتحسين مُخرجاته ومواكبة التطورات العالمية على مختلف الصعد.

وقد جاء كتاب علم الأرض داعمًا لرؤية المملكة العربية السعودية (٢٠٣٠) نحو الاستثمار في التعليم عبر "ضمان حصول كل طالب على فرص التعليم الجيد وفق خيارات متنوعة".

وقد جاء هذا الكتاب في ثمانية فصول، هي: المعادن، والصخور النارية، والصخور الرسوبية والمتحولة، والمياه الجوفية، والصفائح الأرضية، والبراكين، والزلازل، والأحافير والسجل الصخري.

وقد تم بناء محتوى كتاب الطالب بطريقة تتيح ممارسة العلم كما يمارسه العلماء، وجاء تنظيم المحتوى بأسلوب مشوق يعكس الفلسفة التي بنيت عليها سلسلة مناهج العلوم من حيث إتاحة الفرص المتعددة للطالب لممارسة الاستقصاء العلمي بمستوياته المختلفة: المبني والموجَّه والمفتوح. من خلال تنفيذ التجربة الاستهلالية، وتجربة، ومختبر حل المشكلات، ومختبر الجيولوجيا، وبما يُعزز أيضًا مبدأ رؤية ٢٠٣٠ "نتعلّم لنعمل".

وعندما تبدأ دراسة المحتوى تجد في كل قسم ربطًا بين المفردات السابقة والمفردات الجديدة، وفكرة رئيسة خاصة بكل قسم ترتبط مع الفكرة العامة للفصل. وستجد أدوات أخرى تساعدك على فهم المحتوى، منها ما يتعلق بالربط بمحاور رؤية (٢٠٣٠) وأهدافها الاستراتيجية ومنها ربط المحتوى مع واقع الحياة. وكذلك تضمِّن كل قسم مجموعة من الصور والأشكال والرسوم التوضيحية بدرجة عالية الوضوح تعزز فهمك للمحتوى.

وقد وظفت أدوات التقويم الواقعي في مستويات التقويم بأنواعه الثلاثة: التمهيدي، والتكويني، والختامي؛ إذ يمكن توظيف الصورة الافتتاحية والتجربة الاستهلالية في كل فصل بوصفهما تقويمًا تمهيديًّا؛ لتقييم ما يعرفه الطلاب عن موضوع الفصل. ومع التقدم في دراسة كل جزء من المحتوى تجد سؤالاً تحت عنوان « ماذا قرأت؟»، وفي نهاية الفصل تجد دليلاً لمراجعة الفصل يتضمَّن تذكيرًا بالفكرة العامة والأفكار الرئيسة والمفردات، وخلاصة بالأفكار الرئيسة التي وردت في كل قسم. كما تجد تقويمًا للفصل في صورة أسئلة متنوعة تهدف إلى مراجعة المفردات وتثبيت المفاهيم، وأسئلة بنائية، وأسئلة خاصة بالتفكير الناقد، وتصميم خرائط مفاهيمية، وسؤال تحفيز. وفي نهاية كل فصل تجد اختبارًا مقننًا يهدف إلى تقويم فهمك للموضوعات التي درستها في الفصل.

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

SA GEO 3E Intro.indd 3 4/8/19 4:18 PM

قائمة المحتويات

دليل الطالب

كيف نستفيد من كتاب علم الأرض؟ 6

مقدمة إلى علم الأرض 9

الفصل 1

المعادن 14

1-1: ما المعدن؟ 16

1-2 : أنواع المعادن 26

السياحة الجيولوجية 32

مختبر الجيولوجيا 33

دليل مراجعة الفصل 34

تقويم الفصل 35

اختبار مقنن 38

الفصل 2

الصخور النارية 40

2-1: ما الصخور النارية؟ 42

2-2: تصنيف الصخور النارية 48

الجيولوجيا والبيئة 54

مختبر الجيولوجيا 55

دليل مراجعة الفصل 56

تقويم الفصل 57

اختبار مقنن 60

الفصل 3

الصخور الرسوبية والمتحولة 62

3-1: تشكّل الصخور الرسوبية 64

3-2: أنواع الصخور الرسوبية 71

3-3: الصخور المتحولة 76

السياحة الجيولوجية 83

مختبر الجيولوجيا 84

دليل مراجعة الفصل 85

تقويم الفصل 86

اختبار مقنن 88

الفصل 4

المياه الجوفية 90

4-1: حركة المياه الجوفية وتخزينها 92

4-2: موارد المياه الجوفية 99

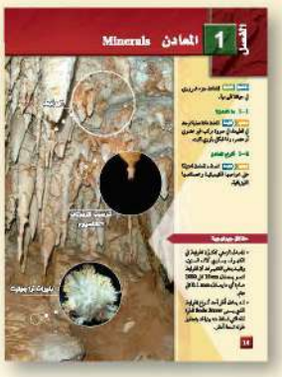
الجيولوجيا والبيئة 105

مختبر الجيولوجيا 106

دليل مراجعة الفصل 107

تقويم الفصل 108

اختبار مقنن 110



SA.GEO.SE.intro.indd 4

الفصل 5

الصفائح الأرضية 112
5-1: انجراف القارات 114
5-2 : توسع قاع المحيط 119
5-3 : حدود الصفائح وأسباب حركتها 126
الجيولوجيا والبيئة 134
مختبر الجيولوجيا 135
دليل مراجعة الفصل 137
تقويم الفصل 138
اختبار مقنن 140

الفصل 6

البراكين 142
6-1: ما البركان؟ 144
6-2: الثورانات البركانية 153
علم الأرض والتقنية 159
مختبر الجيولوجيا 160
دليل مراجعة الفصل 161
تقويم الفصل 162
اختبار مقنن 164

مرجعيات الطالب

صفات المعادن ذات البريق الفلزي 224
صفات المعادن ذات البريق اللافلزي 225
الصخور 226
سلم الزمن الجيولوجي 227
الجدول الدوري للعناصر 228
المعادن الفلزية في المملكة العربية السعودية 230
خريطة ظهور المحيطات 232

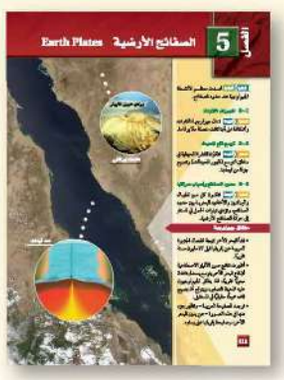
الفصل 7

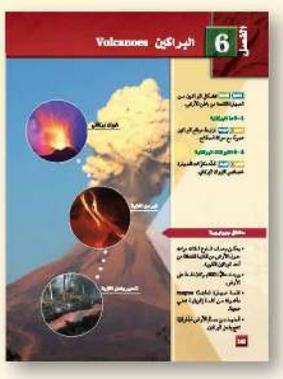
الزلازل 166
7-1:الأمواج الزلزالية وبنية الأرض 168
7-2: قياس الزلازل وتحديد أماكنها 176
7-3: الزلازل والمجتمع 182
الجيولوجيا والمجتمع 189
مختبر الجيولوجيا 190
دليل مراجعة الفصل 191
تقويم الفصل 192
اختبار مقنن 194

الفصل 8

الأحافير والسجل الصخري 196
8-1: السجل الصخري 198
8-2: التأريخ الجيولوجي 203
علم الأرض والتقنية 215
مختبر الجيولوجيا 216
دليل مراجعة الفصل 217
تقويم الفصل 218
اختبار مقنن 220

حدود الصفائح 234
جيولوجية شبه الجزيرة العربية 236
مواقع محطات الرصد الزلزالي 238
مواقع المراكز السطحية للزلازل في العالم 239
الحرات في المملكة العربية السعودية 240
المصطلحات 242





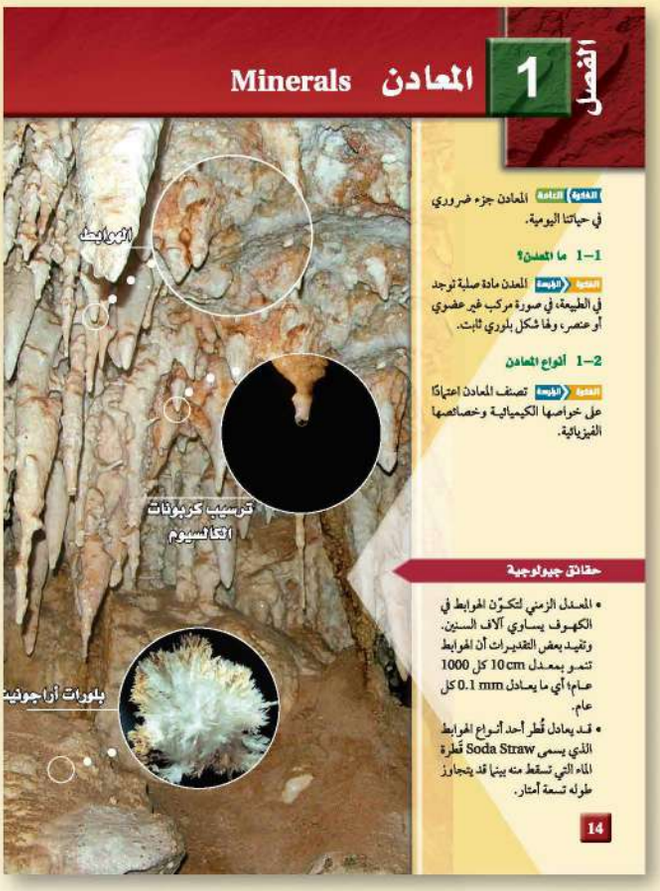
SA GEO 3E Intro.indd 5 4/8/19 4:21 PM

كيف نستفيد من كتاب علم الأرض؟

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

قبل أن تقرأ

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



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

الفكرة الرئيسة تصف الموضوع، وتدعم فكرته العامة.

طرائق أخرى للتصفح

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

SA.GEO.SE.intro.indd 6

كيف نستفيد من كتاب علم الأرض؟

عندما تقرأ

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

1-1

الأهداف
- تتعرّف المعدِن.
- تصف كيف تتكون المعادن.
- تصنف المعادن حسب خصائصها الكيميائية والفيزيائية.

مراجعة المفردات
العنصر: مادة نقية لا يمكن تفتيتها إلى مواد أبسط بطرائق فيزيائية أو كيميائية.

المفردات الجديدة
المعدن
البلورة
البريق
القساوة
الانقصام
المكسر
المخدش
الوزن النوعي

ما المعدن؟ What is a mineral?

الفكرة الرئيسة المعدن مادة صلبة توجد في الطبيعة، في صورة مركب غير عضوي أو عنصر، ولها شكل بلوري ثابت.

الربط مع الحياة. انظر حولك في غرفة صفك، لتجد الفلز في مقعدك والجرافيت في قلمك الرصاص، والزجاج في النوافذ. هذه الأشياء أمثلة على استعمال الإنسان المعادن لمواد مصنوعة من المعادن.

الخصائص العامة للمعادن Mineral Characteristics

تتكون القشرة الأرضية من 3000 معدن تقريبًا. والمعدن Mineral مادة طبيعية، صلبة، غير عضوية، لها مكونات كيميائية معينة، وبناء بلوري عند. انظر الشكل 1-1. وهذه المعادن كونت الصخور وشكلت سطح الأرض. وقد ساعدت بعض المعادن في تشكيل الحضارة الإنسانية؛ فقد حدث تقدم في مرحلة ما قبل التاريخ عندما تمكن الإنسان وتقنيٌ من استخلاص فلز الحديد، واستعماله في صنع أدواته. وقد قال تعالى في محكم آياته ﴿ وَسَخَّرَ لَكُم مَّا فِي السَّمَاوَاتِ وَمَا فِي الْأَرْضِ جَمِيعًا مِّنْهُ إِنَّ فِي ذَٰلِكَ لَآيَاتٍ لِّقَوْمٍ يَتَفَكَّرُونَ ﴾ سورة الجاثية.

تتكون بشكل طبيعي وغير عضوي Naturally occurring and inorganic تتكون المعادن بطرائق طبيعية. لذا، فإن الألماس الصناعي والمواد الأخرى التي تم تحضيرها في المختبرات لا تعدُّ معادن.

الشكل 1-1 تعكس أشكال بلورات المعادن هذه الترتيبَ الداخلي لذراتها.

الكالسيت

البيريت

16

الروابط البيئية يتضمن محتوى علم الأرض أجزاء من فصول وفقرات تؤكد التطبيقات البيئية المرتبطة مع واقع الحياة: وعندما تشاهد هذه الأيقونة فكر في كيفية ربط المحتوى مع العالم من حولك.

الربط مع الحياة: يصف ارتباط المحتوى مع حياتك.

ماذا قرأت؟ أسئلة تقوّم مدى فهمك لما درسته.

الشكل 12-2 يمكن تعرُّف المعادن المكونة للجرانيت باستعمال شرائح رقيقة تحت المجهر المستقطب.

الشرائح الرقيقة Thin Sections

تعرُّف الصخر بفحص الجيولوجيون بلورات المعادن في العيّنات الصخرية في صورة شرائح رقيقة تحت أنواع خاصة من المجاهر. والشريحة الرقيقة قطعة من الصخر سمكها 0.03 mm تقريبًا، مثبتة على قطعة زجاجية بحيث تسمح بنفاذ الضوء خلالها. ويوضح الشكل 12-2 مقطع من الجرانيت تحت المجهر.

الصخور النارية موارد طبيعية Igneous rocks as Resources

للصخور النارية أهمية اقتصادية كبيرة في حياتنا؛ فالعديد من المعادن التي تستخدم في المجوهرات تتبلور فيها، ويمكن أن يستخلص منها العديد من العناصر المفيدة ومنها الليثيوم وغيره مما يدخل في مجالات عديدة في حياتنا، وتستخدم الصخور النارية أيضًا في المباني. وتوضح الفقرات التالية بعض هذه الاستخدامات:

العروق Viens تحتوي المواقع المتبقيّة من تبلور الصهارة على تراكيز عالية من السيليكا والماء، كما تحتوي على شوائب أو بقايا من عناصر لم تصنف ضمن الصخور النارية؛ فالذهب والفضة والرصاص والنحاس من الفلزات التي لم تنضمها المعادن الشائعة. وتتحرر هذه العناصر من السيليكا المذابة في نهاية عملية تبلور الصهارة، على هيئة مواقع ساخنة غنيّة بالعناصر، تملأ الشقوق والفراغات في الصخور المجاورة. وتتصلب هذه المواقع مكوِّنة عروقًا غنيّة بمعادن أو فلزات ذات قيمة اقتصادية، ومنها عروق الكوارتز الحاملة للذهب في مهد الذهب في المملكة العربية السعودية. ويبين الشكل 13-2 ذهبًا متكونًا في عروق الكوارتز.

الشكل 13-2 يستخرج الذهب والكوارتز معًا من المناجم، ثم يفصلان لاحقًا.
استعمل ما الذي يمكنك تحديده من هذه الصورة من درجة انصهار الذهب؟

51

SA GEO 3E Intro.indd 7 4/8/19 4:22 PM

كيف نستفيد من كتاب علم الأرض؟

مهارات قرائية

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

بعدما قرأت

اقرأ الخلاصة وأجب عن الأسئلة لتقويم مدى فهمك لما درسته.

Remote Sensing» وتستخدم هذه الطريقة من خلال الأقمار الاصطناعية أو ملاحظات تحمل معدات خاصة؛ لجمع بيانات ومعلومات عن الخامات المعدنية، أو التراكيب الجيولوجية المناسبة للتجمعات المعدنية على سطح الأرض. وتعتمد هذه الطريقة على قياس مقدار الطاقة الكهرومغناطيسية المنبثقة أو المنعكسة من الأجسام المراد دراستها، ثم معالجتها باستخدام برمجيات خاصة، ورسم صور وخرائط للأجسام المدروسة. ومن الخامات المعدنية التي يتم اكتشافها بهذه الطريقة: النحاس والذهب، وخامات الحديد.

ويوجد في المملكة العربية السعودية الكثير من الخامات الاقتصادية، من أهمها الذهب الذي يستخرج من مناجم مهد الذهب والصخيرات والمجداج. ومن الخامات الأخرى: الفضة والنحاس والنيكل والكروم والزنك.

الأحجار الكريمة Gems ما الذي يجعل الياقوت أكثر قيمة من الثلج؟ تذكر، وتكونه أكثر جمالاً من الملح؟ لماذا يعتبر الياقوت من الأحجار الكريمة؟ **والأحجار الكريمة Gems** معادن ثمينة ونادرة وجميلة، فضلاً عن قساوتها ومقاومتها للخدش. والأحجار الكريمة تصقل، وتستعمل في صناعة المجوهرات. ويوضح الشكل 21–1 ألماسًا مصقولاً وآخر غير مصقول.

يؤدي وجود بعض الشوائب أحيانًا في أحد المعادن إلى جعله ذا لون مختلف، وأقل ثمنًا من المعدن النقي نفسه. فالياقوت حجر كريم من الكوراندز حيث يحتوي على كمية من الحديد الذي يجعل لونه بنفسجيًا، ومعدن الكوروندم الذي يستعمل في جعل أدوات القطع أكثر حدةً يوجد أيضًا في شكلين من الأحجار الكريمة هما: الياقوت ruby والزفير Sapphir حيث يحتوي الياقوت على كميات نادرة من عنصر الكروم، بينما يحتوي الزفير على مقدار ضئيل من الكوبالت والتيتانيوم.

الشكل 21–1 الماس مصقول وآخر غير مصقول.

التقويم 2–1

الخلاصة

- ترتبط ذرة من السيليكون مع أربع ذرات من الأكسجين لتكوين هرم رباعي الأوجه.
- جميع المعادن الرئيسة تحتوي السيليكات والكربونات والأكاسيد والكبريتات والفوسفات والكبريتيدات والهاليدات والعناصر الحرة.
- يحتوي الخام على مادة قيمة، تعدينها تجدٍ اقتصاديًا.
- الأحجار الكريمة معادن قيمة لندرتها وجمالها.

فهم الأفكار الرئيسة

1. **الفكرة العامة** صنع جملة توضح العلاقة بين العناصر الكيميائية وخواص المعادن.
2. احصل قائمة توضح العنصرين الأكثر شيوعًا في القشرة الأرضية، واذكر اسم المجموعة المعدنية التي يشكلانها.

التفكير الناقد

3. كوّن فرضية تفسر لماذا لا يعد الأسبال معدنًا.
4. قوّم أي الفلزات الآتية يفضل استخدامه في الأدوات الرياضية وفي التطبيقات الطبية: التيتانيوم الذي وزنه الذري 4.5 ويحترق على 1°11 فقط، أم الفولاذ الذي وزنه الذري 7.7 ويحترق على 1°Cr و 1°Fe

الكتابة في الكيمياء

5. صمّم إعلانًا لبيع معدن من اختيارك. يمكنك اختيار أحجار كريمة أو معدن مهم صناعيًا، وضمّن الإعلان أي معلومات تظن أنها تساعدك على بيع المعدن.

31

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

اختبار مقنن

تقويم الفصل 1

15. أيٌّ المعادن الآتية لا يمكن تحديد الهدف باستعمال صفيحة البورسلان؟
   a. الفلسبار c. الفلوريت
   b. الذهب d. المغنيتيت
16. أيٌّ من العناصر الآتية أكثر شيوعًا في القشرة الأرضية؟
   a. الصوديوم c. الحديد
   b. السيليكون d. الكربون

استعمل الجدول الآتي للإجابة عن السؤال (17):

أشيع العناصر الكيميائية في المعادن	
الاسم	الصيغة الكيميائية
الكوارتز	SiO_2
الفلسبار	$NaAlSi_3O_8$ — $CaAl_2Si_2O_8$ $KAlSi_3O_8$
الأمفيبول	$Ca_2(Mg,Fe)_5Si_8O_{22}(OH)_2$ $Fe_7Si_8O_{22}(OH)_2$
الأوليفين	$(Mg,Fe)_2SiO_4$

17. ما العامل الرئيس الذي يحدد الاختلاف في تركيبات الكيميائية في المعادن في الجدول أعلاه؟
   a. معدل تبريد الصهارة.
   b. درجة حرارة الصهارة.
   c. وجود الماء أو غيابه.
   d. تغيرات في الضغط.
18. المعدن الساد في الحجر الجيري هو الكالسيت. لكن أيٌّ مجموعة معدنية يتبع؟
   a. السيليكات c. الأكاسيد
   b. الكربونات d. الكبريتات
19. أيٌّ معدن تتصاعد منه فقاعات غازية (فوران) عند ملامسته حمض الهيدروكلوريك؟
   a. الكوارتز c. الجبس
   b. الكالسيت d. الفلوريت
20. ما الخاصية التي تصف المصطلحات الآتية: باهت، حريري، شمعي، لؤلؤي، أرضي؟
   a. البريق c. اللون
   b. التخدش d. الانفصام
21. ماذا يطلب للمعدن لكي يعتبر خامًا؟
   a. أن يكون شائعًا.
   b. ألا يسبب إنتاجه تلوثًا.
   c. أن يوجد بصورة نقاوة في الطبيعة.
   d. أن يغلق إنتاجه ربحًا اقتصاديًا.

أسئلة بنائية

22. فسّر لماذا يختلف لون حجر الياقوت عن لون الزفير رغم أنهما تركيبان لمعدن الكوروندم؟
23. صف الأثر الفيزيائي الناجم عن وضع قطعة شفافة من معدن سبار أيسلندا (نوع من معدن الكالسيت) فوق كلمة مطبوعة في كتاب ما.
24. لخّص عملية تكوين بلورات سكر في كأس من الشاي الساخن على البارد.
25. كوّن فرضية أي الخواص المعدنية تتبعها مباشرة التركيب الذرات أو الأيونات في البلورات؟ وضح إجابتك.
26. قارن تركيبات الكربونات والجرانيت الكيميائية فسرها. ما أوجه الشبه والاختلاف بين هذين المعدنين؟ وبناءً بعد الأساس حجرًا كريمًا بخلاف الجرانيت؟

36

في نهاية كل فصل أسئلة التقويم، فضلًا عن أسئلة الاختبارات المقننة.

طرائق أخرى للمراجعة

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

SA.GEO.SE.intro.indd 8

علم الأرض Earth Science

مجال علم الأرض The Scope of Earth Science

مجال علم الأرض مجال واسع، يمكن تقسيمه إلى خمسة تخصصات رئيسة هي: علم الفلك، علم الأرصاد الجوية، علم طبقات الأرض، علم المحيطات، علم البيئة.

علم الفلك Astronomy يسمّى العلمُ الذي يدرس الأجسامَ الموجودة خارج نطاق الغلاف الجوي الأرضي عِلمَ الفلَك. وقبل اكتشاف الأجهزة المعقدة المستخدَمة في الرصد - ومنها التلسكوب الظاهر في **الشكل 1** كان الفلكيون يقتصرون على وصف مواقع الأجسام الفضائية بعضها بالنسبة إلى بعض.أما اليوم فأصبح علم الأرض يدرسُ الكونَ وكل شيء فيه،ويشمل ذلك: المجرّات، والنجوم، والكواكب، والأجرام السماوية الأخرى.

علم الأرصاد الجوية Meteorology يسمّى العلمُ الذي يدرس القوى والعمليات التي تسبّب تغييرًا في الغلاف الجويّ وتكوّن الطقس عِلمَ الأرصاد الجوية. ويحاول علماء الأرصاد الجوية توقّع حالة الطقس، وتعرّف كيف يمكن أن تؤثر تغيرات الطقس في مناخ الأرض مع مرور الزمن.

الشكل 1 أحد التلسكوبات الحديثة الموجود في جزيرة موناكيا في هاواي.

SA GEO 3E Intro.indd 9 4/8/19 4:22 PM

علم طبقات الأرض Geology هو العلم الذي يَدرس المواد المكوِّنة للأرض، والعمليات التي تعمل على تكوّن وتغيّر تلك المواد، كما يدرس عِلمُ الجيولوجيا تاريخ الأرض وأشكال الحياة منذ نشأتها. ويعمل الجيولوجيون على تعرّف الصخور، ودراسة حركات الجليديات، ويفسّرون الأدلة التي تشير إلى أن تاريخ الأرض قد بدأ قبل 4.6 بليون سنة، ويحددون كيف تُغيّر بعض القوى كوكَبنا.

علم البيئة Environmental يسمى العلمُ الذي يدرس العلاقات المتبادلة بين المخلوقات الحية والبيئة المحيطة بها عِلمَ البيئة. ويَدرس علماءُ البيئة كيف تؤثر المخلوقات الحية في البيئة المحيطة بها بشكل إيجابي أو سلبي. والمواضيع التي يدرسها علماءُ البيئة تشملُ الموارِدَ الطبيعية، والتلوث، ومصادر الطاقة البديلة، وتأثير الإنسان في الغلاف الجوي.

علم المحيطات Oceanography تغطي المحيطات حوالي ثلاثة أرباع سطح الأرض، ويسمى العلم الذي يدرس المحيطات ومكوناتها عِلْمَ المحيطات. ويدرس هذا العلم المخلوقاتِ الحيةَ التي تعيش في المياه المالحة، ويقيس الخصائص الفيزيائية والكيميائية للمحيطات، كما يرصد العمليات المختلفة في هذه المسطحات المائية. وعندما يقوم علماء المحيطات بأبحاثهم العملية فغالبًا ما يغوصون في أعماق المحيطات لجمع البيانات، انظر **الشكل 2**.

الشكل 2 يدرس علماء المحيطات حياة المخلوقات الحية والخصائص المختلفة للمحيط.

SA.GEO.SE.intro.indd 10

تخصصات فرعية Subspecialties تتألف التخصصات الرئيسة لعلم الأرض من تخصصات فرعية مختلفة، ويوضح الجدول 1 بعض تلك التخصصات.

الجدول 1	أمثلة على التخصصات الفرعية لعلم الأرض	
التخصص الرئيس	التخصص الفرعي	المواضيع التي تدرسها
علم الفلك Astronomy	الفيزياء الفلكية Astrophysics	فيزيائية الكون، وتشمل الخصائص الفيزيائية للأجرام السماوية الموجودة في الفضاء.
	علم الكواكب Planetary science	الكواكب والعمليات التي تكونها.
علم الأرصاد Meteorology	علم المناخ Climatology	نمط الطقس خلال فترة زمنية طويلة.
	كيمياء الغلاف الجوي Atmospheric chemistry	كيمياء الغلاف الجوي للأرض وللكواكب الأخرى.
علم طبقات الأرض Geology	علم الأحافير Paleontology	بقايا المخلوقات الحية التي عاشت على الأرض، والبيئات القديمة.
	الجيوكيمياء geochemistry	تركيب الأرض والعمليات التي تغيّرها.
علم المحيطات Oceanography	علم المحيطات الفيزيائي Physical oceanography	الخصائص الفيزيائية للمحيطات ومنها: الملوحة، والموجات، والتيارات البحرية.
	جيولوجية البحار Marine geology	المميزات الرئيسة لقاع المحيط، وتشمل الصفائح التكتونية للمحيط.
علم البيئة Environmental science	علم بيئة التربة Environmental soil science	التفاعلات بين الإنسان والتربة، ومنها: تأثير الأساليب الزراعية، آثار الملوثات على التربة والنباتات والمياه الجوفية.
	كيمياء البيئة Environmental chemistry	التغيرات الكيميائية المؤثرة في البيئة بسبب التلوث والطرق والعمليات الطبيعية.

SAGEO3E.Intro.indd 11 4/8/19 4:23 PM

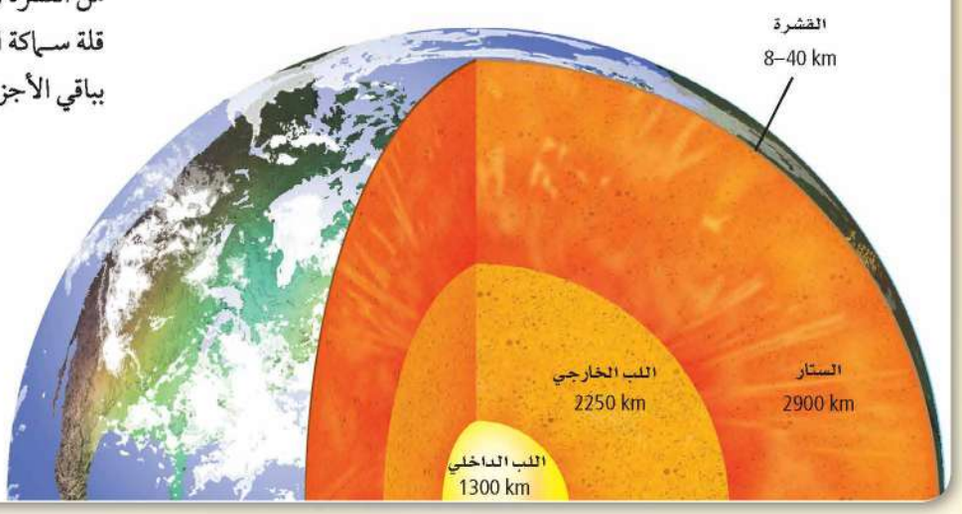
أغلفة الأرض Earth's Spheres

حدّد العلماء الذين يدرسون الأرض أربعة أغلفة رئيسة هي: الغلاف الصخري، والغلاف الجوي، والغلاف المائي، والغلاف الحيوي. وكل غلاف من هذه الأغلفة له خصائص تميّزه ومع ذلك يتفاعل مع باقي الأغلفة.

الغلاف الصخري Geosphere تسمى المنطقة التي تمتدّ من سطح الأرض حتى مركزها الغلافَ الصخريَّ. ويقسم هذا الغلافُ إلى ثلاثة أجزاء رئيسة هي: القشرة، والستار، واللب. ويبيّن **الشكل 3** تلك الأجزاء. أما **القشرة** فهي الغلافُ الخارجي للأرض، وتكون في الحالة الصلبة، وهي نوعان: قشرة قارية، وقشرة محيطية. ويقع **الستارُ** أسفلَ منها، ويختلف عنها من حيث التركيب والخصائص الفيزيائية. وتتراوح درجة حرارة الستار بين $100C^\circ$ و $4000C^\circ$، وهو أعلى حرارةً منَ القشرة الأرضية. ويقعُ أسفلَ الستارِ **لبُّ الأرضِ** ويقسمُ إلى قسمين: لبٌّ خارجيٌّ سائلٌ، ولبٌّ داخليٌّ صلبٌ.

الغلاف الجوي Atmosphere تسمى طبقةُ الغازات التي تحيط بكوكبنا الغلافَ الجويَّ. ويتكون الغلاف الجوي من: ٪78 نيتروجين، و٪21 أكسجين، ونسبة ٪1 الباقية تشمل بخار الماء والأرجون وثاني أكسيد الكربون وغيرها من الغازات. وللغلاف الجوي العديدُ من الفوائد، منها: تزويد المخلوقات الحية بالأكسجين، وحماية سكان الأرض من الأشعة الضارة الآتية من الشمس، والمساعدة على الحفاظ على كوكب الأرض عند درجة حرارة مناسبة لحياة المخلوقات الحية فيه.

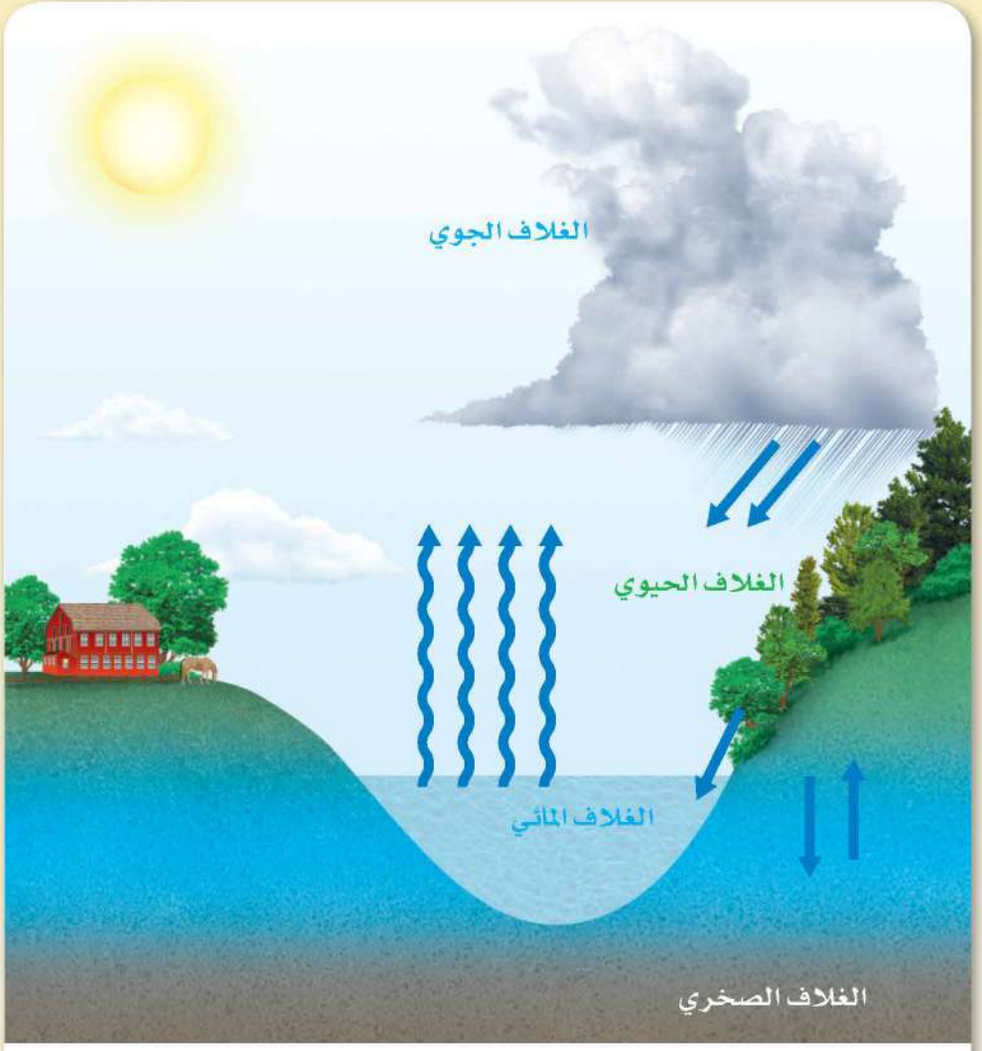
الغلاف المائي Hydrosphere هو جميع المياه الموجودة على الأرض، ومن ضمنها المياه الموجودة في الغلاف الجوي. وتشكّل المياه المالحة حوالي ٪97 من مياه الأرض، بينما تشكّل المياه العذبة النسبة الباقية وتساوي ٪3. وتتواجد المياه العذبة في كل من: الجليديات، والبحيرات، والأنهار، والمياه الجوفية الموجودة في باطن الأرض.



الشكل 3 يتكون الغلاف الصخري من القشرة والستار واللب. لاحظ قلة سماكة القشرة الأرضية مقارنة بباقي الأجزاء.

SA.GEO.SE.intro.indd 12

الغلاف الحيوي Biosphere يشمل الغلافُ الحيويُّ جميع المخلوقاتِ الحيةَ التي تعيش على كوكب الأرض، بالإضافة إلى البيئات التي تعيش فيها. وتعيش معظم المخلوقات الحية ضمن أعماق لا تتعدى عدة أمتار من سطح الأرض. ولكن بعضَها تعيش على أعماق كبيرة تحت سطح المحيطات. وبعضُها يعيش على قمم الجبال العالية. وتتطلب جميع أشكال الحياة تفاعلًا على الأقل مع واحد من الأغلفة الأخرى؛ لبقائها على قيد الحياة. ويبين **الشكل 4** الترابط بين الأغلفة الأربعة، فمثلًا الغلافُ الجوي الأرضي الحالي تَشَكَّل قبل ملايين السنين خلال تفاعله مع كل من الغلاف الصخري والغلاف المائي والغلاف الحيوي. وتُغيّر المخلوقاتُ الحية – ومنها الإنسان – بشكل مستمر في الغلاف الجوي من خلال أنشطتها وعملياتها الطبيعية.



الشكل 4 تعتمد أغلفة الأرض على بعضها البعض. لاحظ كيف ينتقل الماء من الغلاف المائي إلى الغلاف الجوي ثم يهطل على الغلاف الحيوي ثم يترشح إلى داخل الغلاف الصخري.

8A GEO 3E Intro.indd 13 4/8/19 4:23 PM

الفصل 1 المعادن Minerals

الفكرة العامة المعادن جزء ضروري في حياتنا اليومية.

1–1 ما المعدن؟

الفكرة الرئيسة المعدن مادة صلبة غير عضوية توجد في الطبيعة، لها تركيب كيميائي، وشكل بلوري ثابت.

1–2 أنواع المعادن

الفكرة الرئيسة تصنف المعادن اعتمادًا على خواصها الكيميائية وخصائصها الفيزيائية.

حقائق جيولوجية

- المعدل الزمني لتكوّن الهوابط في الكهوف يساوي آلاف السنين. وتفيد بعض التقديرات أن الهوابط تنمو بمعدل 10 cm كل 1000 عام؛ أي ما يعادل 0.1 mm كل عام.
- قد يعادل قُطر أحد أنواع الهوابط الذي يسمى Soda Straw قَطرة الماء التي تسقط منه بينما قد يتجاوز طوله تسعة أمتار.

تجربة استهلالية

ما الأشكال التي تتخذها المعادن؟

رغم وجود آلاف المعادن في القشرة الأرضية، إلا أن لكل معدن خصائص فريدة تميزه عن غيره من المعادن.

تدل هذه الخصائص على مكونات المعدن وعلى الطريقة التي تكوّن بها، وتستعمل الخواص الفيزيائية في التمييز بين المعادن.

الخطوات

1. اقرأ تعليمات السلامة في المختبر.
2. ضع قليلًا من حبيبات **ملح الطعام** (معدن الهاليت) على **شريحة المجهر**. ضع الشريحة على منضدة المجهر، أو شاهد الحبيبات باستخدام **العدسة المكبرة**.
3. ركز على حبيبة واحدة في كل مرة. عُدّ أوجه كل حبيبة، ثم ارسمها.
4. اختبر **بلورة كوارتز** بعد ذلك باستخدام المجهر أو العدسة المكبرة. عُد جوانب البلورة، ثم ارسمها. (قد لا تحتاج إلى عدسة مكبرة إذا كانت بلورة الكوارتز أو الهاليت كبيرة الحجم).

التحليل

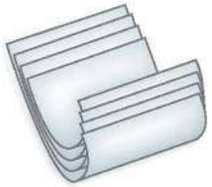
1. **قارن** بين شكل بلورة الكوارتز وبلورة الهاليت.
2. **صف** خواص أخرى لعيناتك المعدنية.
3. **استنتج** سبب الفروق التي شاهدتها.

المطويات
منظمات الأفكار

تعرُّف المعادن

اعمل المطوية الآتية، وسجل فيها الخواص الفيزيائية التي تستخدم في تعرف المعادن.

الخطوة 1: ضع أربع أوراق من دفتر الملاحظات بعضها فوق بعض، متباعدة إحداها عن الأخرى بمقدار 2cm كما في الشكل المجاور.



الخطوة 2: اثن الطرف السفلي للأوراق لتكوين سبعة ألسِنة متساوية. ثم اضغط بقوة على الجزء المطوي لتثبت الألسِنة في أماكنها.

الخطوة 3: ثبت الأوراق المطوية معًا بالدبابيس من الأعلى كما في الشكل المجاور.

الخطوة 4: اكتب الخواص الفيزيائية المستعملة في تعرف المعادن على كل لسان.

استخدم هذه المطوية في القسم 1–1، مع قراءتك هذا الدرس، صف الخواص الفيزيائية والكيميائية للمعادن المستعملة في كل فحص.

SA GEO SE CH01.indd 15 4/8/19 4:29 PM

رابط الدرس الرقمي
www.ien.edu.sa

1-1

الأهداف

- تتعرّف المعدِن.
- تصف كيف تتكون المعادن.
- تصنف المعادن حسب خصائصها الكيميائية والفيزيائية.

مراجعة المفردات

العنصر: مادة نقية لا يمكن تفتيتها إلى مواد أبسط بطرائق فيزيائية أو كيميائية.

المفردات الجديدة

المعدن
البلورة
البريق
القساوة
الانفصام
المكسر
المخدش
الوزن النوعي

ما المعدن؟ What is a mineral?

الفكرة الرئيسة المعدن مادة صلبة غير عضوية توجد في الطبيعة، لها تركيب كيميائي، وشكل بلوري ثابت.

الربط مع الحياة. انظر حولك في غرفة صفك، لتجد الفلز في مقعدك والجرافيت في قلمك الرصاص، والزجاج في النوافذ. هذه الأشياء أمثلة على استعمال الإنسان المعاصر لمواد مصنوعة من المعادن.

الخصائص العامة للمعادن Mineral Characteristics

تتكون القشرة الأرضية من 3000 معدن تقريبًا، و**المعدن Mineral** مادة طبيعية، صلبة، غير عضوية، لها مكونات كيميائية معينة، وبناء بلوري محدد، انظر **الشكل 1–1**. وهذه المعادن كونت الصخور وشكلت سطح الأرض. وقد ساعدت بعض المعادن في تشكيل الحضارة الإنسانية؛ فقد حدث تقدم في مرحلة ما قبل التاريخ عندما تمكن الإنسان وقتئذٍ من استخلاص فلز الحديد، واستعماله في صنع أدواته. وقد قال تعالى في محكم أياته ﴿ وَسَخَّرَ لَكُم مَّا فِي ٱلسَّمَٰوَٰتِ وَمَا فِي ٱلۡأَرۡضِ جَمِيعٗا مِّنۡهُۚ إِنَّ فِي ذَٰلِكَ لَأٓيَٰتٖ لِّقَوۡمٖ يَتَفَكَّرُونَ ١٣ ﴾ سورة الجاثية.

تتكون بشكل طبيعي وغير عضوي Naturally occurring and inorganic تتكون المعادن بطرائق طبيعية. لذا، فإن الألماس الصناعي والمواد الأخرى التي تم تحضيرها في المختبرات لا تعَدُّ معادن.

البيريت

الكالسيت

الشكل 1–1 تعكس أشكال بلورات المعادن هذه الترتيبَ الداخلي لذراتها.

والمعادن مواد غير عضوية؛ فليست مكونة من مادة حية، ولا من مادة كانت حية، أو ناشئة عن نشاط حيوي. وبناء على هذه الخاصية يعَدُّ الملح معدنًا، أما السكر الذي يستخرج من النبات فليس معدنًا. ماذا عن الفحم الحجري مثلًا؟ الفحم الحجري ليس معدنًا؛ لأنه تكون من مواد عضوية قبل ملايين السنين.

بناء بلوري محدد Definite crystalline structure المعدن له بناء بلوري محدد، وهذا يعني أن الذرات مرتبة في بناء هندسي منتظم ومتكرر، وينتج عن هذا البناء البلورة. **والبلورة Crystal** جسم صلب تترتب فيه الذرات بنمط متكرر. وغالبًا ما يمثل البناء الداخلي المنتظم شكلَ البلورة نفسها.

وعندما يتوافر للمعدن حيِّز فإنه ينمو فيه أحيانا مكونًا بلورة كبيرة مكتملة الأوجه كالتي في **الشكل 1–1**. إلَّا أن البلورات المكتملة الأوجه نادرة الوجود. أما الأكثر شيوعًا فهي بلورات غير مكتملة الأوجه، ومنها المبينة في **الشكل 2–1**؛ لنموها في حيِّز محصور (مغلق)، ولا ينعكس بناؤها الذري الداخلي على شكلها الخارجي.

ماذا قرأت؟ صف الترتيب الذري لبلورة ما.

مواد صلبة ذات تراكيب محددة Solids with specific compositions
المواد الصلبة لها شكل وحجم محددان، أما السوائل والغازات فليس لهم ذلك، لذا لا يعدَّان من المعادن.

لكل نوع من المعادن مكونات كيميائية خاصة به، وقد تكون هذه المكونات محددة أو متغيرة إلى حد ما. والقليل من المعادن ومنها المعادن الحرة (الأصلية) – وتشمل النحاس والفضة والكبريت– مكون من عنصر واحد فقط انظر **الشكل 3–1**، أما معظم المعادن فمكون من مركبات؛ فمعدن الكوارتز (SiO_2) مثلًا؛ مكون من ذرتين من الأكسجين وذرة واحدة من السيليكون. ورغم وجود معادن أخرى تحتوي على السيليكون والأكسجين، إلَّا أن نِسَب هذين العنصرين وترتيبهما في الكوارتز خاصيتان ينفرد بهما هذا المعدن.

الكوارتز

الفلوريت

الشكل 2–1 تبلورت هذه القطعة من الكوارتز في حيز محصور ضمن كسر أو شق في الصخر.

المفردات

مفردات أكاديمية

محصور
حيز صغير محدد

الكبريت

النحاس

الفضة

الشكل 3–1 بعض المعادن ومنها الكبريت والنحاس والفضة مكونة من عنصر واحد.

SA.GEO.SE.CH01.indd 17 4/8/19 4:30 PM

الشكل 4–1 مدى التغير في المكونات الكيميائية وما يتبعه من تغير في المظهر الخارجي كافيان لتعرُّف أنواع معادن الفلسبار المتعددة بدقة.

التغيرات في المكونات الكيميائية Variation in composition قد تختلف المكونات الكيميائية لبعض المعادن قليلًا تبعًا للظروف التي تتكوَّن عندها بلوراتها. فمعادن الفلسبار البلاجيوكليزي مثلًا في **الشكل 4–1** تتفاوت مكوناتها من معدن الألبيت الغني بالصوديوم الذي يتكون في درجات حرارة منخفضة، إلى معدن الأنورثيت الغني بالكالسيوم الذي يتكون في درجات حرارة مرتفعة. وعندما يتبلور المعدن عند درجات حرارة متوسطة يدخل كل من الصوديوم والكالسيوم في البناء البلوري مُنتِجَيْن طبقات متبادلة تسمح للضوء بالانكسار والتشتت، مسبِّبَين ظهور المعدن بألوان متدرجة، كما في معدن اللابرادوريت، انظر **الشكل 4–1**. وينتج عن هذا التغير الطفيف في مكونات المعدن الكيميائية تغيّرٌ في مظهره الخارجي.

الصخور تتكون من معادن Rock–Forming minerals

رغم وجود ثلاثة آلاف معدن تقريبًا في القشرة الأرضية، إلَّا أن ثلاثين معدنًا فقط هي الأكثر شيوعًا. وتشكِّل ثمانية إلى عشرة من هذه المعادن معظم صخور القشرة الأرضية. لذا يشار

الجدول 1–1 المعادن الأكثر شيوعًا في صخور القشرة الأرضية

الكوارتز	الفلسبار	المايكا	البيروكسين
SiO_2	$NaAlSi_3O_8 - CaAl_2Si_2O_8$ و $KAlSi_3O_8$	$K(Mg,Fe)_3(AlSi_3O_{10})(OH)_2$ $KAl_2(AlSi_3O_{10})(OH)_2$	$MgSiO_3$ $CaMgSi_2O_6$ $NaAlSi_2O_6$
الأمفيبول	**الأوليفين**	**الجارنت**	**الكالسيت**
$Ca_2(Mg,Fe)_5Si_8O_{22}(OH)_2$ $Fe_7Si_8O_{22}(OH)_2$	$(Mg,Fe)_2SiO_4$	$Mg_3Al_2Si_3O_{12}$ $Fe_3Al_2Si_3O_{12}$ $Ca_3Al_2Si_3O_{12}$	$CaCO_3$

العناصر الأكثر شيوعًا في صخور القشرة الأرضية

SA.GEO.SE.CH01.indd 18 4/8/19 4:30 PM

إليها أنها المعادن المكونة للصخور، وهي مكونة من ثمانية عناصر هي الأكثر شيوعًا في القشرة الأرضية وهي الأكسجين والسيلكون والألومنيوم والحديد والكالسيوم والصوديوم والبوتاسيوم والماغنسيوم انظر **الجدول 1–1**.

معادن تتبلور من الصهارة Minerals from magma تسمى المادة المصهورة التي تتكون وتتجمع تحت سطح الأرض الصهارة. وهي أقل كثافة من الصخور الصلبة المحيطة بها، لذا يمكنها الصعود نحو طبقات الأرض العليا الباردة ثم تتبلور.

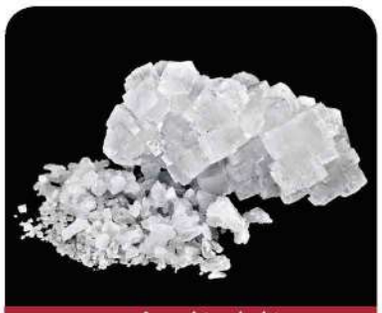
إذا بردت الصهارة ببطء في الأعماق فسوف يكون لدى الذرات وقت كاف لترتب نفسها في بلورات كبيرة الحجم، كما في صخر الجرانيت المبين في **الشكل 5–1**. أما إذا وصلت إلى سطح الأرض ولامست الماء أو الهواء فإنها تبرد بسرعة، وتتكون بلورات صغيرة. ويسهم عدد العناصر الموجودة في الصهارة ونوع هذه العناصر في تحديد نوع المعدن المتكون.

ماذا قرأت؟ وضح كيف تؤثر ملامسة الصهارة للماء في حجم البلورة؟

المعادن المتبلورة من المحاليل Minerals from solutions تذوب الأملاح في مياه المحيطات مكونة محلولًا ملحيًّا، وعندما يصبح المحلول مشبعًا بمادة مذابة فلا يمكنه إذابة المزيد منها، فإذا ذابت كمية أكبر يصبح فوق المشبع، وعندئذٍ تتهيأ الظروف لتكوين المعادن؛ حيث ترتبط الذرات المنفردة بعضها مع بعض، وتترسب مكونةً بلورات المعادن.

وقد تتبلور المعادن من المحاليل أيضًا عند تبخر الماء؛ حيث تترسب المعادن المذابة في المحلول. وتسمى المعادن المتكونة من تبخر السوائل **المتبخرات**. ومن ذلك تكوُّن الملح الصخري كما في **الشكل 5–1** بفعل عملية التبخر. ويوضح **الشكل 6–1** تكوُّن المتبخرات الملحية في سبخة القصب في المملكة العربية السعودية.

الجرانيت



الملح الصخري

الشكل 5–1 تكونت البلورات في هاتين العينتين بطرائق مختلفة.

صف الفرق بين هاتين العينتين.

الشكل 6–1 تكونت هذه المتبخرات بسبب تبخر الماء المالح المتجمع في السبخة.

SA.GEO.SE.CH01.indd 19 4/8/19 4:30 PM

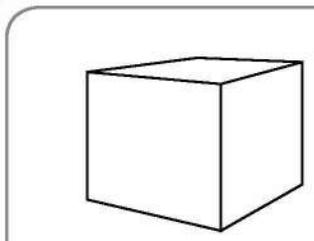
تعرُّف المعادن Identifying Minerals

يجـري الجيولوجيون كثيرًا من الاختبارات لتعرف المعادن. وتعتمد هذه الاختبارات عـلى الخـواص الفيزيائيـة والكيميائية للمعـادن، ومنها: الشـكل البلـوري والبريق والقساوة والانفصام والمكسر والمخدش واللون والنسيج والكثافة والوزن النوعي، وبعض الخواص الأخرى.

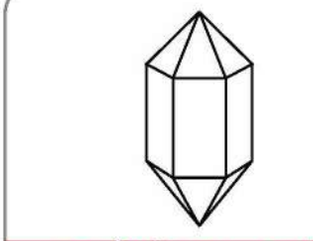
الشكل البلوري Crystal Form بعض المعادن تمتاز بأشكال بلورية مميزة يمكن تعرُّفها بسهولة. فالهاليت (ملح الطعام) غالبًا ما تكون بلوراته المكعبة كاملة الأوجه، وبلورات الكوارتز ذات النهايتين المدببتين والمحاطة بستة أوجه جانبية تمثل ميزة لها تسهّل تعرُّفها، انظر **الشكل 7–1**. ولأن البلورات المكتملة النمو نادرة التشكل، لذا يندر تعرُّف المعدن اعتمادًا على شكل بلوراته.

البريق Luster تسمى الكيفية التي يعكس بها المعدنُ الضوءَ الساقط على سطحه **البريـق Luster**. ويوجـد نوعان من البريـق: الفلزي واللافلـزي. فالفضة والذهب والنحـاس والجالينـا لهـا سـطوح لامعـة تعكس الضـوء، كـما تعكس قطع السـيارة المصنوعـة من الكروم الضوء السـاقط عليها، لـذا يقال إن لهذه المعـادن بريقًا فلزيًّا. والمعادن ذات البريق الفلزي ليست جميعها فلزات، ولكن سطحها لامع كالفلزات. أمـا المعـادن ذات البريـق اللافلـزي - ومنهـا الكالسـيت والجبـس والكبريـت والكوارتـز - فلا تلمع كالفلزات. ويوصـف البريق اللافلزي بأنه باهت أو لؤلؤي أو شـمعي أو حريـري أو أرضي (مطفـي). ويوضح **الشـكل 8–1** الفرق في البريق الناتج بسـبب الاختلافات في المكونات الكيميائية للمعدنين. ويعد البريق اللافلزي للمعادن صفة غير مميزة لها؛ فالمعدن الذي يبدو شمعيًّا لشخص ما قد لا يبدو كذلك لشـخص آخـر، لذا لابد أن يقترن اختبـار البريق باختبـارات فيزيائية أخرى لتعرُّف المعادن.

ماذا قرأت؟ عرِّف مصطلح البريق.



بلورة مكعبة الشكل



بلورة سداسية الأوجه

الشـكل 7–1 توجـد المعـادن المكتملـة بأشـكال بلورية مميزة لها يمكن من خلالها تعرُّفها.

مهن مرتبطة بالمعادن

الجوهـري: الجوهـري شـخص يقطـع الأحجـار الكريمة ويلمعها وينقشـها. وهو الـذي يـدرس المعـادن وصفاتهـا مـن أجل معرفة أنسبها لاستخدامها في عمله.

أبحث عبر الإنترنت لتعرف المزيد من المهن المرتبطة بالمعادن.

التلك

الكاؤولينيت

الشـكل 8–1 المظهر الصفيحي اللامع للتلك يكسبه بريقه اللؤلؤي، في حين أن الكاؤولينيت - وهو أيضًا معدن أبيض لكنه على النقيض من التلك - ذو بريق أرضي.

SA.GEO.SE.CH01.indd 20 4/8/19 4:30 PM

الجدول 2–1 مقياس موهس للقساوة		
المعدن	القساوة	قساوة بعض المواد الشائعة
التلك	1	
الجبس	2	ظفر الأصبع = 2.5
الكالسيت	3	قطعة نحاسية = 3.5
الفلوريت	4	مسمار حديدي = 4.5
الأباتيت	5	الزجاج = 5.5
الفلسبار	6	نصل السكين = 6.5
الكوارتز	7	قطعة بورسلان = 7
التوباز	8	
الكورندوم	9	
الألماس	10	

القساوة Hardness أكثر الاختبارات مصداقية واستخدامًا في تعرُّف المعادن هو **القساوة Hardness** وهو مقياس لقابلية المعدن للخدش. وقد طور الجيولوجي الألماني فريدريك موهس مقياسًا لتعرف قساوة المعادن المجهولة، بمقارنتها بقساوة عشرة معادن معلومة القساوة. والمعادن المختارة في مقياس موهس يمكن تعرُّفها بسهولة، ويكثر وجودها في الطبيعة إلا الألماس.

ماذا قرأت؟ وضح ماذا تقيس القساوة؟

يمثل معدن التلك الدرجة رقم 1 في مقياس موهس للقساوة؛ لأنه من أطرى المعادن، ويمكن خدشه بظفر الأصبع. وفي المقابل فإن الألماس يمثل الرقم 10 في المقياس نفسه. لذا يستخدم لجعل أدوات القطع ومنها مثقاب الحفر ومعدات الصقل أكثر حدة. ويوضح **الشكل 9–1** معدني الماس والكورندوم.

ويستخدم المقياس المبين في **الجدول 2–1** بالطريقة الآتية: المعدن الذي يُخدَشُ بظفر الإصبع قساوته تعادل 2 أو أقل، والمعدن الذي لا يُخدش بظفر الإصبع ويُخدَشُ قطعة نحاسية تتراوح قساوته بين 2.5 – 3.5. أما المعدن الذي يَخدش قطعة نحاسية فقساوته أكبر من 3.5. ويمكن أن تستخدم مواد أخرى شائعة كتلك المُدوَّنة في الجدول. ويوضح **الشكل 10–1** معدنين مختلفين في قساوتهما.

الانفصام والمكسر Cleavage and Fracture يُحَدِّدُ البناء البلوري كيف تنكسر المعادن، فهي تنكسر بسهولة عند المستويات التي تكون الروابط الذرية على طولها ضعيفة. ويقال عن المعدن الذي ينقسم بسهولة وبشكل مستوٍ في اتجاه واحد أو أكثر أن له **انفصامًا Cleavage**. ولتعرف المعدن حسب انفصامه يقوم الجيولوجيون بِعدِّ مستويات الانفصام، ودراسة الزوايا بينها. فعلى سبيل المثال، لمعدن المايكا انفصام بمستوى واحد إذ ينفصم إلى رقائق بسبب ضعف الروابط الذرية له.

الشكل 9–1 أكثر المعادن قساوة هما معدني الألماس والكورندوم ودرجتا قساوتهما 10 و 9 بالترتيب.

الألماس

الكورندوم

الشكل 10–1 المعدن العلوي يمكن خدشه بظفر الأصبع. والمعدن الشفاف السفلي لا يمكن خدشه بظفر الأصبع ولكن يخدشه معدن آخر.

حدد أي المعدنين أكثر قساوة؟

الشكل 11–1 للهاليت انفصام مكعب تام؛ فهو ينكسر إلى قطع بزوايا 90 درجة. أما معدن الكوارتز فإن الروابط القوية فيه تمنع حدوث الانفصام. أما المكسر المحاري فيميّز المعادن التي تتكون من بلورات لا ترى بالعين المجردة مثل الصوان.

الشكل 11–1 يوضح انفصام مكعب تام لمعدن الهاليت؛ بمعنى أنه ينفصل بمستويات ثلاثة؛ بسبب ضعف التجاذب الذري على طول هذه المستويات.

أما معدن الكوارتز فينكسر بدون انتظام بحواف متعرجة بسبب الترابط الذري المحكم. ويقال عن المعادن التي تنكسر بحواف خشنة متعرجة إن لها **مكسرًا Fracture**. فالصوان والجاسبر والكالسيدوني (أنواع مختلفة من الكوارتز المجهري البلورات) تظهر مكسرًا فريدًا بأشكال قوسية تشبه زخارف أصداف المحار، ويسمى هذا المكسر مكسرًا محاريًا.

تجربة

تعرُّف الانفصام والمكسر

كيف يستخدم الانفصام في تعرف المعادن؟ يتكون الانفصام عندما ينكسر المعدن في مستويات الروابط الضعيفة، وإن لم يكن للمعدن انفصام يظهر مكسرًا. وتعد طريقة تعرف وجود انفصام أو عدم وجوده وتحديد عدد مستويات الانفصام طريقة ذات مصداقية في تعرف المعادن.

خطوات العمل

الجزء الأول

1. اقرأ نموذج السلامة العامة في كراسة التجارب العملية.
2. احصل على عيِّنات لخمس معادن من معلمك، وصنفها في مجموعتين: الأولى المعادن التي لها انفصام، والأخرى المعادن التي لا انفصام لها.
3. رتِّب المعادن التي لها انفصام إلى مستويات من الانفصام الأقل إلى الأكثر. ما عدد المستويات التي تُظهرها كل عينة؟ عرِّف هذه المعادن إن استطعت.
4. اختبر المعادن التي لا انفصام لها، وَصِفْ سطوحها، وتعرَّفْها إن استطعت.

الجزء الثاني

5. احصل على عينتين إضافيتين من معلمك. هل للمعادن الجديدة انفصام أم مكسر؟ صنِّفها.
6. استعمل المنقلة لقياس الزوايا بين مستويات الانفصام للمعادن الإضافية، وسجِّل قياساتك.

التحليل

1. **سجِّل** عدد مستويات الانفصام، أو وجود مكسر في العينات السبع.
2. **قارن** بين زوايا الانفصام للعينتين 6 ، 7. وهل تمثل العينتان نفس المعدن أم لا؟
3. **توقّع** نتيجة ما يحصل لكل معدن منها لو ضرب بمطرقة.

SA.GEO.SE.CH01.indd 22 4/8/19 4:30 PM

المخدش Streak يترك المعدن الذي يُخدَش بقطعة البورسلان مسحوقًا ملونًا على سطحها. والمخدش Streak هو لون مسحوق المعدن، ويكون مخدش المعادن اللافلزية في العادة أبيض اللون، لذا يكون المخدش مفيدًا جدًّا في تعرُّف المعادن الفلزية أكثر من المعادن اللافلزية، وقد لا يشبه مخدش المعدن الفلزي لونه الخارجي، كما في **الشكل 12–1**. فعلى سبيل المثال يوجد معدن الهيماتيت بهيئتين ينجم عنهما مظهران مختلفان. فالهيماتيت الذي يتكون بفعل التجوية والتعرض للهواء والماء يكون مظهره صدئًا، وبريقه أرضيًّا، بينما الهيماتيت الذي تكوَّن من الصهارة لونه فضي، ومظهره فلزي، أما مخدشهما فأحمر إلى بني. ولا يمكن أن نستخدم المخدش إلَّا مع المعادن الأطرى من قطعة الخزف، وهذا سبب آخر يجعل استعمال المخدش في تعرُّف المعادن محدودًا.

ماذا قرأت؟ فسر أي نوع من المعادن يمكن تعرُّفه باستعمال المخدش؟

اللون Color من أهم الخصائص الملاحظة في المعدن، ولكنه أقل الخصائص في تعرُّف المعادن. وينتج اللون أحيانًا من وجود بعض العناصر النادرة أو المركبات داخل المعدن. فعلى سبيل المثال، يكون الكوارتز أبيض اللون كما في **الشكل 2–1** السابق ولكنه أيضًا يوجد بألوان مختلفة، كما في **الشكل 13–1**؛ بسبب وجود عناصر نادرة فيه. فالجاسبر الأحمر والجمشت الأرجواني والسترين البرتقالي تحتوي على كميات وأشكال مختلفة من الحديد. أما الكوارتز الوردي فيحتوي على المنجنيز أو التيتانيوم. وسبب ظهور الكوارتز بلون حليبي أنه يحتوي على فقاعات من الغازات والسوائل المحصورة في البلورة.

الشكل 12–1 رغم أن هاتين القطعتين من الهيماتيت مختلفتان في المظهر، إلَّا أن مخدشهما واحد (لون المسحوق نفسه)؛ لأن مكوناتهما الكيميائية واحدة.

المطويات

ضمِّن مطويتك معلومات من هذا القسم.

الشكل 13–1 تحتوي هذه العينات المختلفة وجميعها من الكوارتز على السيليكون والأكسجين، وتحدد الشوائب لون العينة.

SA.GEO.SE.CH01.indd 23 4/8/19 4:30 PM

الشكل 14–1 يختلف الإحساس بالنسيج من شخص لآخر. توصف عينة الفلوريت هذه بأنها ناعمة.

الكثافة والوزن النوعي Density and specific gravity قد يكون لمعدنين أحيانًا الحجم نفسه، إلَّا أن كليهما مختلفان بسبب اختلاف كثافتيهما. فإذا كان لديك عينتان من الذهب والبيريت لهما الحجم نفسه، فسوف تكون كتلة الذهب أكبر؛ لأن كثافته أكبر. والكثافة انعكاس للكتلة الذرية وبنائية المعدن، فكثافة البيريت $5.2\ g/cm^3$، وكثافة الذهب $19.3\ g/cm^3$. ويمكن حساب الكثافة من خلال العلاقة: $D = \frac{M}{V}$ حيث D الكثافة، M الكتلة، وV الحجم. ولأن الكثافة لا تعتمد على شكل أو حجم المعدن فإنها وسيلة ناجحة لتعرُّف المعادن. ويسمى مقياس الكثافة الأكثر استخدامًا من قِبَل الجيولوجيين **الوزن النوعي Specific gravity**، وهو النسبة بين كتلة المادة إلى كتلة حجمها من الماء في درجة حرارة $4°C$. فمثلًا، الوزن النوعي للبيريت 5.2، والوزن النوعي للذهب النقي 19.3.

النسيج Texture يصف النسيج ملمس المعدن، وتعدّ هذه الخاصية غير مميزة للمعادن، مثلها في ذلك مثل خاصية البريق، ويمكن وصف النسيج بأنه ناعم أو خشن أو متعرج أو شحمي أو صابوني. فمثلًا، نسيج الفلوريت في **الشكل 14–1** ناعم، بينما نسيج التلك في **الشكل 8–1** شحمي.

ماذا قرأت؟ فسر العلاقة بين الوزن النوعي والكثافة.

مختبر تحليل البيانات

ما البيانات التي تتضمنها بطاقة تعريف المعدن؟

بطاقة تعريف المعدن

لون المعدن	المخدش	القساوة	الانفصام والمكسر
أحمر نحاسي		3	مكسر مسنن
	أحمر أو بني محمر	6	مكسر غير منتظم
أصفر ذهبي -باهت	أصفر		
	شفاف	7.5	مكسر محاري
رمادي أو أخضر أو أبيض			مستويان للانفصام

التحليل

1. انسخ البيانات في الجدول، واستعمل مَرجعًا مناسبًا لتعبئة الجدول.
2. أضف أعمدة للجدول لكتابة اسم المعدن واستعمالاته وخصائص أخرى مميزة.

التفكير الناقد

3. **حدد** أي هذه المعادن يخدش الزجاج؟ لماذا؟
4. **توقع** المعادن التي توجد في الطلاء وفي مقعدك.
5. **توقع** أي بيانات أخرى يمكن أن نضيفها إلى الجدول.

صفات خاصة Special Properties هناك الكثير من الصفات الخاصة التي يمكن استعمالها في تعرف المعادن، ومنها: المغناطيسية، والانكسار المزدوج وتصاعد الفقاعات الغازية عند تفاعلها مع حمض الهيدروكلوريك والفلورة، كما في الجدول 3–1.

الجدول 3–1 صفات خاصة ببعض المعادن

الخاصية	**الانكسار المزدوج** يحدث عندما يمر شعاع ضوئي عبر معدن وينقسم إلى شعاعين.	**الفوران** يحدث عندما يتفاعل حمض الهيدروكلوريك مع الكالسيت فتتصاعد الفقاعات محدثة صوتًا للفوران.	**المغناطيسية** تحدث بين المعادن المحتوية على الحديد.	**تعدد الألوان** سببه انكسار الأشعة الضوئية.	**التضوء (الفلورة)** تحدث عندما تتعرض بعض المعادن للأشعة فوق البنفسجية التي تجعلها تتوهج في الظلام.
المعدن	سبار أيسلند (كالسيت شفاف).	الكالسيت	الماجنيتيت البيروتيت	لابرادورايت	الفلوريت الكالسيت
مثال					

التقويم 1–1

الخلاصة

- المعدن مادة صلبة غير عضوية توجد في الطبيعة، ولها مكونات كيميائية محددة، وترتيب ذريٍّ داخلي منتظم.
- البلورة مادة صلبة، تترتب الذرات فيها وفق ترتيب معين بصورة متكررة.
- تتكون المعادن من الصهارة أو من محاليل فوق مشبعة.
- يتم تعرف المعادن اعتمادًا على خواصها الفيزيائية والكيميائية.
- لتعرّف نوع المعدن بشكل دقيق نحتاج إلى إجراء اختبارات متعددة له منها: تحديد القساوة، وتحديد الوزن النوعي.

فهم الأفكار الرئيسة

1. الفكرة الرئيسة **اذكر** سببين لعدم اعتبار النفط معدنًا.
2. عرف المقصود بأن المعادن تتشكل بصورة طبيعية.
3. **قارن** بين تكون المعادن من الصهارة، ومن المحاليل.
4. **ميز** بين الخواص الأكثر مصداقية والأقل مصداقية للمعادن.

التفكير الناقد

5. **وضح** كيف يمكنك فحص قساوة معدن الفلسبار باستخدام كل مما يأتي: قطعة زجاج، عملة نحاسية، قطعة بورسلان.
6. **توقع** مدى نجاح الفحص المخبري الذي يقوم به الطلاب لمقارنة المخدش واللون لكل من الفلوريت والكوارتز والفلسبار.

الرياضيات في الجيولوجيا

7. احسب حجم 5 g من الذهب النقي، إذا علمت أن كثافة الذهب $19.3\ g/cm^3$.

رابط الدرس الرقمي

www.ien.edu.sa

1-2

أنواع المعادن Types of Minerals

الأهداف

- تتعرف مجموعات المعادن المختلفة.
- توضح مجسم السيليكا الرباعي الأوجه.
- تناقش كيف تستعمل المعادن؟

مراجعة المفردات

رابطة كيميائية: القوة التي تربط ذرتين إحداهما بالأخرى.

المفردات الجديدة

السيليكات

الهرم الرباعي الأوجه

الخام

الأحجار الكريمة

الفكرة الرئيسة تُصنف المعادن اعتمادًا على خواصها الكيميائية والفيزيائية.

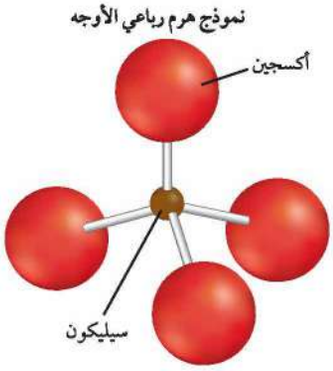
الربط مع الحياة. يُصنف كل شيء في العالم إلى مجموعات مختلفة، فالطعام والحيوانات والنباتات وغيرها تُصنف في مجموعات اعتمادًا على بعض صفاتها أو خصائصها. ولا تختلف المعادن في ذلك؛ حيث تُصنف هي أيضًا في مجموعات.

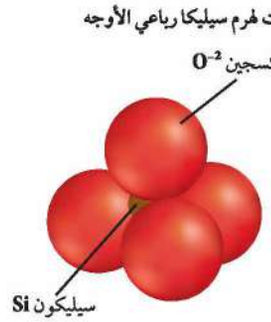
مجموعات المعادن Minerals Groups

ترتبط العناصر بعضها مع بعض بطرائق وأشكال ونسب مختلفة، وينتج عن ذلك تكوُّن آلاف المعادن. ولتسهيل دراسة المعادن وفهم خواصها صَنَّفَها الجيولوجيون إلى مجموعات، ولكل مجموعة طبيعة كيميائية محددة وخصائص مميزة.

السيليكات Silicate يُعد الأكسجين أكثر العناصر شيوعًا في القشرة الأرضية، يليه السيليكون، وتسمى المعادن المحتوية على الأكسجين والسيليكون وعنصر آخر أو أكثر –في الغالب– **السيليكات Silicate**. وتشكل السيليكات 96٪ تقريبًا من المعادن الموجودة في القشرة الأرضية. ويتبع المعدنان الأكثر شيوعًا (الفلسبار والكوارتز) مجموعة السيليكات.

وحدة البناء الأساسية للمعادن السيليكاتية هي سيليكا الهرم الرباعي الأوجه المبين في **الشكل 15–1**. **والهرم الرباعي الأوجه Tetrahedron** جسم صلب محاط بأربعة أوجه من مثلثات متساوية الأضلاع على شكل هرم، لذا يمكن تسميته هرم السيليكا. من المعروف أن الإلكترونات في مستويات الطاقة الأخيرة في الذرة تسمى إلكترونات التكافؤ. ويحدد عدد إلكترونات التكافؤ نوع وعدد الروابط الكيميائية التي تشكلها الذرة، ولأن لذرة السيليكون أربعة إلكترونات تكافؤ، فلديها القدرة على الارتباط بأربع ذرات أكسجين بطرائق متعددة، مما يسمح بوجود معادن السيليكا بتراكيب متنوعة، وخصائص مختلفة. كما في **الشكل 16–1**.





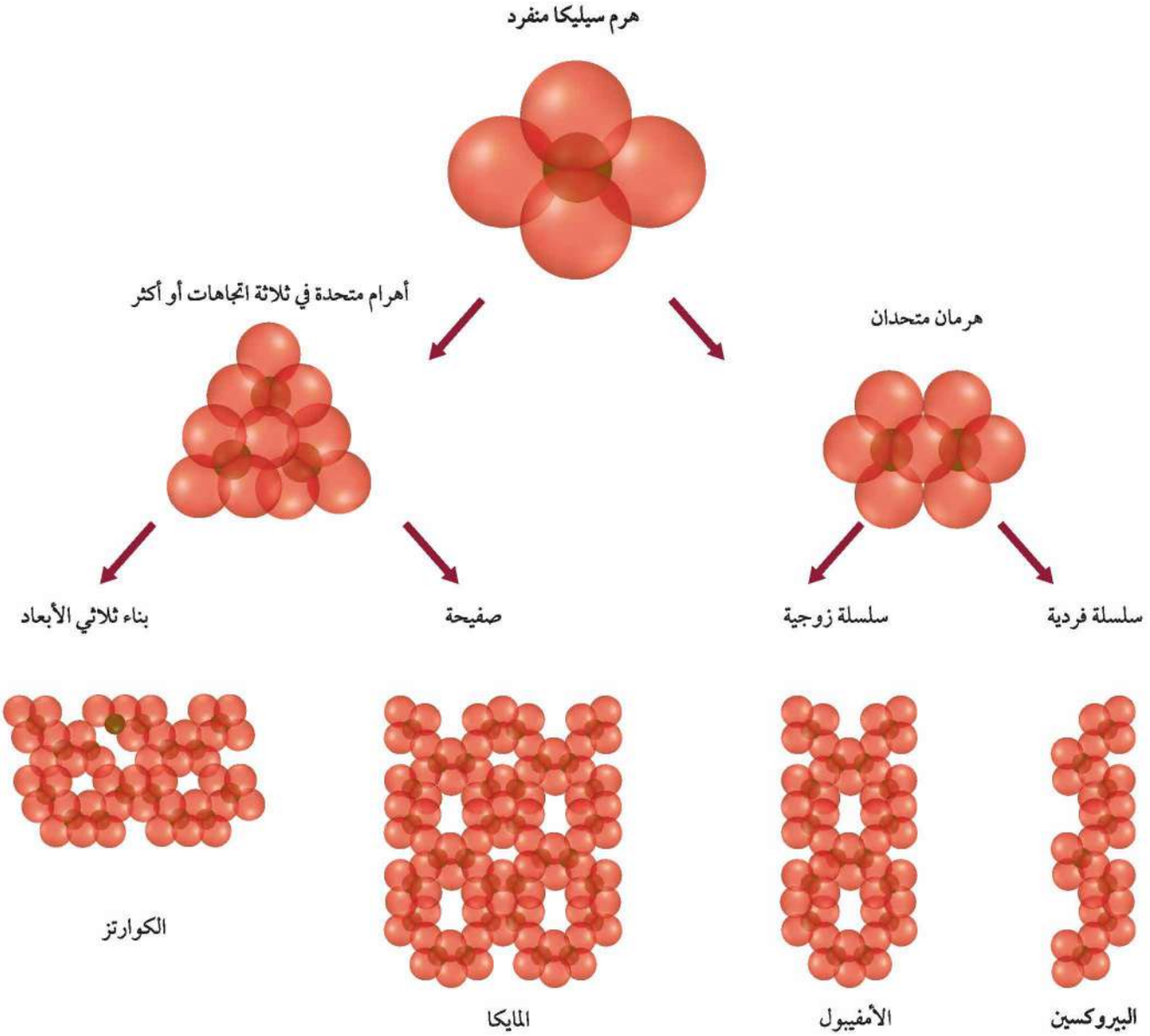
الشكل 15–1 يشكل أيون السيليكا SiO_4^{-4} ما يسمى سيليكا رباعي الأوجه (هرم السيليكا)؛ حيث توجد ذرة السيليكون في مركزه الذي يرتبط برابطة تساهمية مع أيونات الأكسجين.

حدد عدد الذرات في الهرم الواحد.

SA.GEO.SE.CH01.indd 26 4/8/19 4:30 PM

أهرامات السيليكا Silica Tetrahedron

الشكل 16–1 تحتوي أهرامات السيليكا على أربعة أيونات أكسجين مرتبطة مع ذرة سيليكون مركزية، وتتحد أهرامات السيليكا، بعضها مع بعض على شكل سلاسل وصفائح وتراكيب معقدة، وتصبح هذه التراكيب معادن سيليكاتية متعددة في الأرض.



SA.GEO.SE.CH01.indd 27 4/8/19 4:31 PM

المايكا

الإسبستوس

الشكل 17–1 تختلف المعادن السيليكاتية اعتمادًا على ترتيب أهرامات السيليكا فيها. فمثلاً ترتبط أهرامات السيليكا على شكل سلاسل زوجية في الإسبستوس بينما ترتبط على شكل صفائح في المايكا. وفي كلا النوعين تكون الروابط ضعيفة بين السلسلتين وبين كل صفيحتين.

ترتبط أيونات رباعي الأوجه بعضها مع بعض بروابط قوية لتشكل الصفيحة أو السلسلة أو تراكيب معقدة ثلاثية الأبعاد. والروابط بين الذرات تساعد في تنوع خصائص المعادن، ومنها المكسر والانفصام.

يظهر **الشكل 17–1** الصفائح السيليكاتية (Phyllosilicate)، حيث ترتبط كل من أيونات البوتاسيوم الموجبة أو الألومنيوم مع صفائح الأهرامات السالبة الشحنة، وتنفصم المايكا إلى صفائح بسهولة؛ لأن قوى التجاذب بين صفائح أهرامات السيليكا وأيونات الألومنيوم والبوتاسيوم ضعيفة. ويتكون الإسبستوس أيضًا من سلاسل مزدوجة من أهرامات السيليكا، وتنتج عن ضعف الروابط بين هذه السلاسل المزدوجة الطبيعة الليفية لمعدن الأسبستوس.

المفردات

صفائحي

الاستعمال العلمي

صفائح سيليكا رباعي الأوجه

الاستعمال الشائع

صفائح المعجنات والحلويات

الكربونات Carbonates يتحد الأكسجين بسهولة مع معظم العناصر تقريبًا مكونًا مجموعات معدنية منها الكربونات. والكربونات معادن مكونة من أيونات فلز أو أكثر موجبة الشحنة متحدة مع أيون الكربونات CO_3^{-2} سالب الشحنة.

ومن أمثلة الكربونات: الكالسيت والدولوميت والرودوكروزيت. وتوجد معادن

الشكل 19–1 استعمالات المعادن عبر الزمن تغيرت قيم المعادن واستعمالاتها عبر الزمن.

3000–3300 ق. م شاعت الأسلحة البرونزية في منطقة الشرق الأدنى مع بزوغ فجر الإمبراطوريات القوية.

800 ق. م استعمل الألماس في الهند، ومنها انتشر إلى أماكن أخرى في العالم، في القطع، والحفر، وفي الحلي.

500 قبل الميلاد — **3000 قبل الميلاد** — **10000 قبل الميلاد**

9000 – 12000 ق.م أدى الطلب على الأوبسيديان وهو زجاج بركاني يستخدم في صنع الأدوات إلى تشكل أول طريق تجاري طويل.

1000 – 1200ق. م أصبح البرونز في الشرق الأدنى نادرًا، واستعمل الحديد بدلًا منه في صناعة الأدوات والأسلحة.

506ق. م سيطرت روما على صناعة الملح في أوستايا. وقد دفعت روما رواتب لجنودها على شكل حصص من الملح.

SA.GEO.SE.CH01.indd 28 4/8/19 4:31 PM

الكربونـات في الصخـور الجيرية والرخـام، وتمتاز بعض معـادن الكربونات ومنها الكالسـيت بتعـدد ألوانهـا بسـبب وجـود شـوائب فيهـا، كذلـك يتميـز معـدن الرودوكروزيت بلونه الوردي المبين في **الشكل 18–1**.

الأكاسـيد Oxides مركبات تتألف من أكسـجين وفلز. وتعـد معادن الهيماتيت Fe_2O_3 والماجنيتيت Fe_3O_4 أكاسيد حديد شائعة، ومصدرًا جيدًا للحديد. ومعدن اليورانينيت UO_2 معدن قيم؛ لأنه يشـكل المصدر الرئيس لليورانيوم المسـتخدم في إنتاج الطاقة النووية.

الفوسفات Phosphate معادن تحتوي على أيون الفوسفات $(Ph_4)^{-3}$ ضمن تركيبها الكيميائي. ومـن أشـهر معادن هـذه المجموعـة الأباتيـت $Ca_5(PO_4)$ (F, Cl, OH)، وتستخدم الفوسفات في صناعة الأسمدة وإنتاج حامض الفوسفوريك.

المجموعات الأخرى Other groups هناك مجموعات معدنية رئيسـة أخرى، ومنهـا الكبريتـات والكبريتيـدات والهاليـدات والفوسـفات والعنـاصر الحـرة (الأصلية). فالكبريتيـدات – ومنها البيريت FeS_2 – مركبات تتألف من الكبريت وعنصر واحد أو أكثر. أما الكبريتات – ومنها الأنهيدريت $CaSO_4$ – فهي مركبات لعنـاصر متحـدة مع أيـون الكبريتات SO_4^{-2}. وتتكـون الهاليـدات – ومنها معدن الهاليت NaCl – من أيونات الكلوريد أو الفلوريد متحدة مع كالسيوم أو صوديوم أو بوتاسـيوم. والعنـاصر الحـرة – ومنها الفضة Ag أو النحـاس Cu – مكونة من عنصر واحد فقط كما في **الشكل 3–1** السابق.

الرودوكروزيت

الكالسيت

الشـكل 18–1 من الأمثلة عـن الكربونات الرودوكروزيت والكالسيت.

المعادن الاقتصادية Economic Minerals

تستعمل المعادن في صناعة الحواسيب والسيارات والتلفزيونات والمكاتب والطرق والبنايـات والمجوهـرات والدهانـات وأدوات الرياضـة والأدويـة، وفي صناعات أخـرى كثـيرة. وتتضـح الاسـتعمالات المختلفـة للمعادن عـبر التاريخ بدراسـتك

800–900 م اسـتعمل الكيميائيـون الصينيون الملح الصخري وعنصري الكبريت والكربـون في صناعـة ملـح البـارود الـذي اسـتعمل للمـرة الأولى في الألعـاب الناريـة، واستعمل في وقت لاحق في الأسلحة.

1546 م ساعدت مناجم الفضة في أمريـكا الجنوبيـة الأسـبان عـلى تأسـيس تجارة عالميـة قوية، وتوفير الفضة اللازمة في صك النقود.

2006 م هنالـك 242 محطة طاقة نوويـة وقودهـا اليورانيـوم تعمل عـبر العـالم بقـدرة كليـة مقدارها 369.566 جيجا وات.

500 ميلادية — 1500 ميلادية — 2000 ميلادية

400–200 م مكـنت أدوات الـزراعـة والأسلحة الحديديـة الناس مـن الهجرة عبر إفريـقـيا لاسـتصـلاح الأراضـي وإقـامـة المستوطنات والحلول محل مجتمعات الصيد.

1927 م حققت أول ساعة كوارتز نجاحًا في الحفاظ على دقة الوقت، وقد سـاهمت خصائص الكوارتز في تطوير صناعة المذياع والرادار والحاسوب.

SA.GEO.SE.CH01.indd 29 4/8/19 4:31 PM

يلخص الجدول 4–1 مجموعات المعادن واستعمالاتها الرئيسة.

الجدول 4–1 مجموعات المعادن الرئيسة

المجموعة	الأمثلة	الاستعمالات الاقتصادية
السيليكات	المايكا (بيوتيت) أوليفين Mg_2SiO_4 الكوارتز SiO_2 الفيرميكيوليت	نوافذ الأفران الأحجار الكريمة (بيرودوت) صناعة الزجاج يضاف لتربة الأصص
الكبريتيدات	البيريت FeS_2 المركزيت FeS_2 الجالينا PbS السفاليريت ZnS	صناعة حمض الكبريتيك مجوهرات خام الرصاص خام الزنك
الأكاسيد	الهيماتيت Fe_2O_3 الكورندم Al_2O_3 اليورانينيت UO_2 الإلمنيت $FeTiO_3$ الكروميت $FeCr_2O_4$	خام حديد، صبغة حمراء حجر جلخ، مجوهرات (الياقوت، زفير) مصدر لليورانيوم مصدر للتيتانيوم، صبغة، يستعاض به عن الرصاص في الدهانات مصدر للكروم، وصلات سباكة، إضافات للسيارات.
الكبريتات	الجبس $CaSO_4 . 2H_2O$ الأنهيدريت $CaSO_4$	أعمال المسح، مثبط لتصلب الأسمنت أعمال المسح الجيولوجية.
الهاليدات	الهاليت NaCl الفلوريت CaF_2 السلفيت KCl	ملح الطعام، علف للمواشي، قاتل للأعشاب، إعداد الأطعمة وحفظها صناعة الفولاذ، صناعة أدوات الطهي صناعة الأسمدة
الفوسفات	الأباتيت $Ca_5(PO_4)_6(OH,F,Cl)_2$	صناعة الأسمدة
الكربونات	الكالسيت $CaCO_3$ الدولوميت $CaMg(Co_3)_2$	صناعة الأسمنت والجير والطباشير صناعة الأسمنت والجير، مصدر للكالسيوم والماغنسيوم في الفيتامينات
العناصر الحرة الطبيعية (الأصلية)	الذهب Au النحاس Cu الفضة Ag الكبريت S الجرافيت C	العملات المعدنية والمجوهرات العملات المعدنية والأسلاك الكهربائية والمجوهرات العملة والمجوهرات والتصوير الأدوية والصناعات الكيميائية (أعواد الثقاب والألعاب النارية) أقلام الرصاص والتشحيم

الشكل 20–1 أجزاء من هذه الدراجة مصنوعة من التيتانيوم؛ لخفة وزنه ومتانته الجيدة، مما يجعله فلزًّا مثاليًّا للاستخدام.

المخطط الزمني في **الشكل 19–1**.

الخامات Ores كثير من المواد التي سبق ذكرها مصنوع من الخامات. ويسمى المعدن **خامًا Ore** إذا احتوى على مواد قيمة يمكن تعدينها، بحيث تكون مجدية اقتصاديًّا. فالهيماتيت على سبيل المثال خام يحتوي على عنصر الحديد، فالمواد المصنوعة من الحديد في غرفة صفك مصدرها على الأغلب خام الهيماتيت، والمواد المصنوعة من الألومنيوم مصدرها خام البوكسيت، والدراجة النارية في **الشكل 20–1** مصنوعة من فلز التيتانيوم الذي يستخرج من معدن الإلمنيت.

ويتم استكشاف المعادن الاقتصادية بطرق مختلفة منها الاستشعار عن بُعد

SA.GEO.SE.CH01.indd 30 4/8/19 4:31 PM

Remote Sensing؛ وتستخدم هذه الطريقة من خلال الأقمار الاصطناعية أو طائرات تحمل معدات خاصة؛ لجمع بيانات ومعلومات عن الخامات المعدنية، أو التراكيب الجيولوجية المصاحبة للتجمعات المعدنية على سطح الأرض. وتعتمد هذه الطريقة على قياس مقدار الطاقة الكهرومغناطيسية المنبعثة أو المنعكسة عن الأجسام المراد دراستها، ثم معالجتها باستخدام برمجيات خاصة، ورسم صور وخرائط للأجسام المدروسة. ومن الخامات المعدنية التي يتم استكشافها بهذه الطريقة: النحاس، والذهب، وخامات الحديد.

ويوجد في المملكة العربية السعودية الكثير من الخامات الاقتصادية، من أهمها الذهب الذي يستخرج من مناجم مهد الذهب والصخيرات والحجار. ومن الخامات الأخرى: الفضة والنحاس والنيكل والكروم والزنك.

الأحجار الكريمة Gems ما الذي يجعل الياقوت أكثر قيمة من المايكا؟ لندرته، ولكونه أكثر جمالًا من المايكا، لذا يعتبر الياقوت من الأحجار الكريمة. **والأحجار الكريمة Gems** معادن ثمينة ونادرة وجميلة، فضلًا عن قساوتها ومقاومتها للخدش. والأحجار الكريمة تصقل، وتستعمل في صناعة المجوهرات. ويوضح **الشكل 21–1** ألماسًا مصقولًا وآخر غير مصقول.

يؤدي وجود بعض الشوائب أحيانًا في أحد المعادن إلى جعله ذا لون مختلف، وأغلى ثمنًا من المعدن النقي نفسه. فالجمشت حجر كريم من الكوارتز حيث يحتوي على كمية من الحديد الذي يجعل لونه بنفسجيًّا، ومعدن الكورونـدم الذي يستعمل في جعل أدوات القطع أكثر حدةً يوجد أيضًا في شكلين من الأحجار الكريمة هما: الياقوت ruby والزفير Sapphir؛ حيث يحتوي الياقوت على كميات نادرة من عنصر الكروم، بينما يحتوي الزفير على مقدار ضئيل من الكوبالت والتيتانيوم.

الشكل 21–1 يظهر جمال الأحجار الكريمة الحقيقي بمجرد قطعها وتلميعها.

التقويم 2–1

الخلاصة

- ترتبط ذرة من السيليكون مع أربع ذرات من الأكسجين لتكوين هرم رباعي الأوجه.
- مجموعات المعادن الرئيسة تتضمن السيليكات والكربونات والأكاسيد والكبريتات والفوسفات والكبريتيدات والهاليدات والعناصر الحرة.
- يحتوي الخام على مادة قيمة، تعدينها مُجْدٍ اقتصاديًّا.
- الأحجار الكريمة معادن قيمة لندرتها وجمالها.

فهم الأفكار الرئيسة

1. **الفكرة الرئيسة** صغ جملة توضح العلاقة بين العناصر الكيميائية وخواص المعادن.
2. **اعمل قائمة** توضح العنصرين الأكثر شيوعًا في القشرة الأرضية، واذكر اسم المجموعة المعدنية التي يشكلانها.

التفكير الناقد

3. **كوِّن فرضية** تفسر لماذا لا يعد الأوبال معدنًا.
4. **قوِّم** أي الفلزات الآتية يفضل استخدامه في الأدوات الرياضية وفي التطبيقات الطبية: التيتانيوم الذي وزنه النوعي 4.5 ويحتوي على Ti فقط، أم الفولاذ الذي وزنه النوعي 7.7 ويحتوي على Cr و O و Fe؟

الكتابة في الجيولوجيا

5. صمِّم إعلانًا لبيع معدن من اختيارك. يمكنك اختيار أحجار كريمة أو معدن مهم صناعيًّا، وضمِّن الإعلان أي معلومات تظن أنها تساعدك على بيع المعدن.

SA.GEO.SE.CH01.indd 31 4/8/19 4:32 PM

السياحة الجيولوجية

الربط مع رؤية ٢٠٣٠

رؤية VISION 2030 المملكة العربية السعودية KINGDOM OF SAUDI ARABIA

مجتمع حيوي

● من أهداف الرؤية: ٢.٣.١ المحافظة على تراث المملكة الإسلامي والعربي والوطني والتعريف به

في الميدان

الدحول في المملكة العربية السعودية

تعتبر الدحول الصحراوية في المملكة العربية السعودية واحدة من أجمل وأروع المناطق السياحية الطبيعية في الصحراء. وقد تكونت هذه الدحول ببطء عبر مئات الألوف من السنين. وتقوم هيئة المساحة الجيولوجية السعودية بدراسة الدحول، ومنها الواقعة في منطقة الصمان شمال شرق الرياض، واتخاذ الإجراءات اللازمة للمحافظة عليها.

والدحول ـ مفردها دحل ـ فتحات في الأرض، أشبه بالأنفاق، يصل قُطر فوّهة بعضها إلى حوالي ٢٠ مترًا. وتتكون الدحول نتيجة تسرب المياه عبر الشقوق في الصخور، ومع مرور الزمن يذوب الصخر وتتكون الدحول. وتنمو في الدحول بلورات من معدني الكالسيت والجبس بأشكال وألوان مميزة، وتختلف البلورات في أطوالها حيث يتجاوز بعضها المتر أحيانًا.

كيف تكونت هذه البلورات؟ تحتاج البلورات إلى أشياء عدة لكي تتكون، أولها الفراغ وهو الدحل، وتحتاج البلورات في تكونها أيضًا إلى مصدر من الماء غني بالمعادن الذائبة. وهناك عوامل أخرى أيضًا، منها: الضغط، درجة الحرارة، مستوى الماء في الكهف، كيميائية المياه الغنية بالمعادن.

ومن الدحول المشهورة في المملكة العربية السعودية: دحل سُلطان الذي يقع بالقرب من قرية المعاقلة في منطقة الصمان الذي يتميز بمدخل ضيق، يقود إلى بهو رائع، تتدلى من سقفه الهوابط الجميلة. وفيه ممرات عديدة، ممتدة، ويمتلئ في الشتاء بالمياه.

ومن الدحول أيضًا دحل درب نجم، في صحراء المجمعة الشرقية وهو أقدم الدحول المكتشفة، ودحل هيت في جبال الجبيل بالقرب من الخرج وهو من أعجب وأغرب الدحول في المملكة العربية السعودية؛؛ حيث اكتشف في باطنه بحيرة تقع على عُمق مئة متر تقريبًا تحت سطح الأرض. كذلك دحل المربع ودحل المفاجأة في منطقة الصمان الذي يوصف بأنه أجمل الدحول على الإطلاق؛ لما فيه من مناظر خلابة ناتجة عن تبلور معدن الكالسيت على شكل هوابط وصواعد وأعمدة في غرفتي الثريا والأنياب.

الكتابة في الجيولوجيا

بحث: ابحث في الإنترنت والموسوعات العلمية حول أحد الدحول أو الكهوف الشهيرة، أو زر ـ مصطحبًا معلمك ـ أحد الدحول القريبة من منطقتك، ووثق زيارتك بصور أو عينات صخرية تجمعها ثم اكتب تقريرًا يتضمن المعلومات التي حصلت عليها

SA GEO SE CH01.indd 32 4/8/19 4:32 PM

مختبر الجيولوجيا

صمم بنفسك

دليل المعادن الميداني

خلفية علمية: هل استخدمت دليلًا ميدانيًّا من قبل لتعرف الطيور أو الأزهار أو الصخور أو الحشرات. إذا فعلت ذلك فأنت تعرف أن الدليل الميداني لا يحتوي فقط صورًا لما تبحث أو ترغب في تعرُّفه، بل أكثر من ذلك؛ إذ يحتوي الدليل الميداني للمعادن على خلفية علمية عن المعادن عمومًا، ومعلومات محددة عن كل معدن، تتضمن خصائصه، وتكونه، واستعمالاته.

سؤال: ما المعلومات التي يجب أن يتضمنها دليل المعادن الميداني لمساعدة القارئ على تعرُّف معدن مجهول؟

الأدوات

عينات معادن	قطعة نحاس
عدسة مكبرة	مشبك أوراق
لوح زجاج	مغناطيس
لوح المخدش (قطعة خزف)	حمض هيدركلوريك مخفف
مقياس موهس للقساوة	قطارة
مسمار أو دبوس فولاذي	مرجع علمي للمعادن

إجراءات السلامة

خطوات العمل

1. اقرأ تعليمات السلامة في المختبر.
2. تأكد من موافقة معلمك على خطتك قبل تنفيذها.
3. نظِّم مع أفراد مجموعتك الخطوات التي ستتبعها لإعداد الدليل الميداني، مع الأخذ في الاعتبار المواد المتاحة التي تحتاج إليها عند التخطيط للعمل.
4. هل يجب أن تكرر إجراءات فحص أي خاصية للمعدن؟ وكيف تعرف إذا كانت خاصية معينة تدل على معدن معين دون سواه؟
5. صمم جدول بيانات لتلخيص نتائجك، وتأكد من وجود عمود لتسجيل إذا كان الدليل يتضمن اختبارًا محددًا يتم من خلاله تعرف المعدن أم لا. ويمكنك استعمال هذا الجدول كأساس لدليك الميداني.
6. اقرأ المخطط وتأكد إذا كانت جميع الخطوات مقبولة وقابلة للتنفيذ أم لا.
7. هل هناك إجراء يحتاج إلى بحث إضافي؟ استخدم المراجع العلمية أو الإنترنت لجمع المعلومات اللازمة لإنجاز الدليل.
8. ما المعلومات الإضافية التي يتضمنها الدليل؟ يمكن أن يبين الدليل طريقة تكوُّن كل معدن، واستعمالاته وصيغته الكيميائية وصورة معنونة للمعدن أو رسم المعدن.

التحليل والاستنتاج

1. **حلل** أيّ الاختبارات أكثر تمييزًا للمعادن؟ وأيّها أقل تمييزًا؟ ناقش الأسباب التي تجعل خاصيةً ما أكثر فائدة من غيرها في تعرف المعدن.
2. **لاحظ وفسِّر** أيُّ المعادن يتفاعل مع حمض الهيدروكلوريك؟ ولماذا تظهر الفقاعات على سطح العينة؟
3. **الربط مع الكيمياء** اكتب معادلة كيميائية موزونة تصف فيها التفاعل الكيميائي بين المعدن والحامض.
4. **لخِّص** ما المعلومات التي تضمنها الدليل؟ وما المصادر التي استخدمت لجمع المعلومات؟ صف تصميم صفحة الدليل.
5. **قوِّم** ما إيجابيات وسلبيات الدليل؟
6. **استخلص النتائج** اعتمادًا على نتائجك، هل هناك أي فحص حاسم يمكن استعماله بشكل دائم لتمييز المعادن؟ وضح إجابتك.

الكتابة في الجيولوجيا

مشاركة الزملاء أرسل ملخص نتائجك إلى زملائك في الصف أو المدرسة. قارن بين نتائجك ونتائج طلاب آخرين نفذوا هذه التجربة.

SA.GEO.SE.CH01.indd 33 4/8/19 4:32 PM

الفصل 1

دليل مراجعة الفصل

الفكرة العامة المعادن جزء ضروري في حياتنا اليومية.

المفردات	المفاهيم الرئيسة
1–1 ما المعدن؟	
المعدن البلورة البريق القساوة الانفصام المكسر المخدش الوزن النوعي	**الفكرة الرئيسة** المعدن مادة صلبة توجد في الطبيعة، في صورة مركب غير عضوي أو عنصر، ولها شكل بلوري ثابت. • المعادن مادة طبيعية، صلبة، غير عضوية، لها مكونات كيميائية معينة، وبناء بلوري محدد. • البلورة جسم صلب تترتب فيه الذرات بنمط متكرر. وغالبًا ما يمثل البناء الداخلي المنتظم للمعدن شكل البلورة. • المعادن تتبلور من الصهارة، ومن المحاليل فوق المشبعة. • لتميز المعادن بطريقة صحيحة لا بد من اختبار أكثر من خاصية.
1–2 أنواع المعادن	
سيليكات هرم رباعي الأوجه الخام الأحجار الكريمة	**الفكرة الرئيسة** تُصنف المعادن اعتمادًا على خواصها الكيميائية والفيزيائية. • تحاط ذرة السيليكون في مجموعة السيليكات بأربع ذرات أكسجين لتشكل هرم السيليكا. • مجموعات المعادن الرئيسة هي: السيليكات والكربونات والأكاسيد والفوسفات والكبريتيدات والكبريتات والهاليدات والعناصر الحرة. • الخام يحتوي على مواد قيِّمة يمكن تعدينها بحيث تكون مُجدية اقتصاديًّا. • يمكن تصنيف المعادن اعتمادًا على صفاتها الكيميائية وخصائصها الفيزيائية. • الأحجار الكريمة معادن ثمينة ونادرة وجميلة، فضلًا عن قساوتها ومقاومتها للخدش.

SA.GEO.SE.CH01.indd 34 4/8/19 4:32 PM

الفصل 1 تقويم الفصل

مراجعة المفردات

لتحديد المصطلح الذي يصف كلًّا من العبارات الآتية استعن بما ورد في دليل مراجعة الفصل:

1. العنصر أو المركب غير العضوي الصلب الذي يوجد في الطبيعة.
2. الأشكال الهندسية المنتظمة والمرتبة بنمط متكرر في المعادن.
3. مجموعة المعادن المحتوية على السيليكون والأكسجين.

وضِّح العلاقة بين المصطلحات الآتية في كل زوج مما يأتي:

4. خام، حجر كريم.
5. سيليكات، هرم رباعي الأوجه.

أكمل الجمل الآتية بالمفردات المناسبة:

6. تُظهر المعادن التي تنكسر عشوائيًّا .....
7. فحص الـ ..... يحدد المواد التي يخدشها المعدن.

تثبيت المفاهيم الرئيسة

استعمل الصورة أدناه في الإجابة عن سؤال 8.

8. ما الخاصية المعدنية التي يتم فحصها؟

a. النسيج c. الانفصام

b. المكسر d. القساوة

9. ما الخاصية التي تؤدي إلى تكسر معدن الجالينا إلى مكعبات صغيرة؟

a. الكثافة c. القساوة

b. البناء البلوري d. البريق

10. ما الخاصية المستعملة في تصنيف المعادن إلى مجموعات منفردة؟

a. البناء الذري الداخلي.

b. وجود أهرامات السيليكا أو عدم وجودها.

c. المكونات الكيميائية.

d. الكثافة والقساوة.

11. معدن كتلته 100 g وحجمه $50\ cm^3$. ما كثافته؟

a. $5000\ g/cm^3$ c. $5\ g/cm^3$

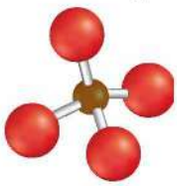
b. $2\ g/cm^3$ d. $150\ g/cm^3$

12. ما الصيغة الكيميائية الصحيحة لهرم السيليكا؟

a. SiO_2 c. SiO_4^{-4}

b. $Si_2O_2^{+4}$ d. Si_2O_2

استعمل الشكل أدناه في الإجابة عن السؤالين 13 و 14



13. أين يرتبط رباعي الأوجه بعضه مع بعض؟

a. في مركز ذرة السيليكون.

b. عند أيِّ ذرة أكسجين.

c. عند ذرة الأكسجين العلوية فقط.

d. عند ذرات الأكسجين السفلية فقط.

14. أيُّ مجموعات المعادن الآتية تتكون بشكل رئيس من شكل رباعي الأوجه؟

a. السيليكات c. الكربونات

b. الأكاسيد d. الكبريتات

SA.GEO.SE.CH01.indd 35 4/8/19 4:32 PM

تقويم الفصل 1

15. أيُّ المعـادن الآتية لا يمكن تحديد مخدشـه باسـتعمال صفيحة البورسلان؟

a. الهيماتيت c. الفلسبار

b. الذهب d. الماجنيتيت

16. أيُّ مـن العنـاصر الآتيـة أكثـر شـيوعًا في القـشرة الأرضية؟

a. الصوديوم c. الحديد

b. السيليكون d. الكربون

استعمل الجدول الآتي للإجابة عن السؤال (17):

الصيغ الكيميائية لبعض المعادن

الاسم	الصيغة الكيميائية
الكوارتز	SiO_2
الفلسبار	$NaAlSi_3O_8$ — $CaAl_2Si_2O_8$ و $KAlSi_3O_8$
الأمفيبول	$Ca_2(Mg,Fe)_5Si_8O_{22}(OH)_2$ $Fe_7Si_8O_{22}(OH)_2$
الأوليفين	$(Mg,Fe)_2SiO_4$

17. ما العامل الرئيس الذي يحدد الاختلاف في المكونات الكيميائية في المعادن في الجدول أعلاه؟

a. معدل تبريد الصهارة.

b. درجة حرارة الصهارة.

c. وجود الماء أو غيابه.

d. تغيرات في الضغط.

18. المعدن السـائد في الحجر الجيري هو الكالسيت. فإلى أيِّ مجموعة معدنية ينتمي؟

a. السيليكات c. الأكاسيد

b. الكربونات d. الكبريتات

19. أيُّ معـدن تتصاعد منه فقاعـات غازية (فوران) عند ملامسته حمض الهيدروكلوريك؟

a. الكوارتز c. الجبس

b. الكالسيت d. الفلوريت

20. مـا الخاصية التي تصـف المصطلحات الآتية: باهت، حريري، شمعي، لؤلؤي، أرضي؟

a. البريق c. اللون

b. المخدش d. الانفصام

21. ماذا يتطلب المعدن لكي يعتبر خامًا؟

a. أن يكون شائعًا.

b. ألا يسبب إنتاجه تلوثًا.

c. أن يوجد بصورة تلقائية في الطبيعة.

d. أن يحقق إنتاجه ربحًا اقتصاديًّا.

أسئلة بنائية

22. **فسِّر** لماذا يختلف لون حجـر الياقوت عن لون الزفير رغم أنهما شكلان لمعدن الكورندوم؟

23. **صـف** الأثر الضوئي الناجم عن وضع قطعة شـفافة من معدن سـبار أيسلندا (نوع من معدن الكالسيت) فوق كلمة جيولوجيا في كتاب ما.

24. **لخِّص** عملية تكون بلورات سكر في كأس من الشاي الساخن محلى بالسكر.

25. **كوِّن فرضية** أي الخواص المعدنية نتيجة مباشرة لترتيب الذرات أو الأيونات في البلورات؟ وضح إجابتك.

26. **قـارن** للألمـاس والجرافيـت المكونـات الكيميائيـة نفسـها. مـا أوجـه الشـبه والاختـلاف بـين هذيـن المعدنـين؟ ولمـاذا يعد الألمـاس حجرًا كريـمًا بخلاف الجرافيت؟

SA.GEO.SE.CH01.indd 36 4/8/19 4:32 PM

1 تقويم الفصل

التفكير الناقد

27. صف الاختلافات التي تظهرها معادن الجارنت المدونة في **الجدول 1–1**.

استعمل الصورة أدناه في الإجابة عن السؤال 28.

28. **ارسم** كيف يكون التركيب الذري لبلورة هذا المعدن إذا كان شكل البلورة انعكاسًا خارجيًّا له؟

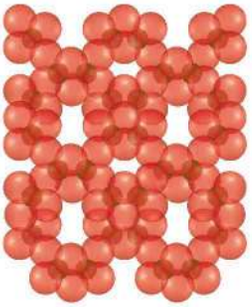
29. **اقترح** أفضل المعادن –ما عدا الألماس – التي يمكن أن تُستخدم في صنع ورق الصنفرة؟ وضح إجابتك مستخدمًا **الجدول 2–1**.

30. **قرِّر** أيّ المواد الآتية ليست معادن؟ النفط، الخشب، الفحم، الفولاذ، الأسمنت، الزجاج. ولماذا؟

31. **استدل** كيف استعمل المنقبون الأوائل في المناجم الكثافة في تحديد إذا كان المعدن الذي وجدوه بيريتًا أم ذهبًا؟

32. **قوِّم** تخيل أنه تم اكتشاف حجر كريم أكثر إبهارًا من الألماس والياقوت. قوِّم العوامل التي ستؤخذ بعين الاعتبار لتقدير قيمة الحجر الكريم الجديد مقارنةً بالأحجار الكريمة المعروفة.

استعمل الشكل الآتي للإجابة عن السؤالين 33 و34 :



33. **استنتج** المايكا معادن سيليكاتية صفائحية تترتب ذراتها، كما في الشكل أعلاه. ما الذي يربط هذه الصفائح التي تتكون من هرم رباعي الأوجه سالب الشحنة؟

34. **صف** نوع الانفصام في المعادن التي لها التركيب الذري الموضح في الشكل.

خريطة مفاهيمية

35. **ارسم** خريطة مفاهيمية مستعملًا المصطلحات الآتية: سيليكات، أكاسيد، هاليدات، كبريتات، كربونات، كبريتيدات، فوسفات، عناصر حرة (أصلية)، أضف أي مصطلحات مساعدة.

سؤال تحفيز

36. **رتِّب** بالإضافة إلى السيليكات الصفائحية هناك سيليكات السلاسل والسيليكات الثلاثية الأبعاد والسيليكات الحلقية. رتب ستة أهرامات سيليكا على شكل سيليكات حلقية، وتأكد من ربط ذرات الأكسجين بدقة.

SA.GEO.SE.CH01.indd 37 4/8/19 4:33 PM

اختبار مقنن

اختيار من متعدد

1. أي العناصر الآتية ترتيبه الثاني من حيث وفرته في القشرة الأرضية؟

a. النيتروجين
c. السيليكون
b. الأكسجين
d. الكربون

استعمل الجدول الآتي للإجابة عن السؤالين 2 و 3:

المعدن	القساوة	الوزن النوعي	البريق / اللون
الفلسبار	6–6.5	2.5–2.8	لافلزي/ شفاف أو أبيض
الفلوريت	4	3–3.3	لافلزي/ أزرق، أصفر، بنفسجي، أخضر، بني
الجالينا	2.5–2.75	7.4–7.6	فلزي/ رمادي، أسود
الكوارتز	7	2.65	لافلزي، شفاف عندما يكون نقيًّا

2. أيّ المعادن الآتية أكثر قساوة؟

a. الفلسبار
c. الجالينا
b. الفلوريت
d. الكوارتز

3. أيّ المعادن الآتية ذات لمعان فلزي؟

a. الفلسبار
c. الجالينا
b. الفلوريت
d. الكوارتز

4. أيّ الخصائص الآتية أكثر مصداقية لتعرف المعادن؟

a. اللون
c. القساوة
b. المخدش
d. البريق

استعمل الجدول الآتي للإجابة عن السؤالين 5 و 6:

المعدن	القساوة	المعدن	القساوة
التلك	1	الفلسبار	6
الجبس	2	الكوارتز	7
الكالسيت	3	التوباز	8
الفلوريت	4	كورندوم	9
الأباتيت	5	الألماس	10

5. بم تصف الألماس من واقع البيانات الواردة في الجدول؟

a. المعدن الأثقل.
b. المعدن الأبطأ في التكون.
c. الأكثر انتظامًا في البناء البلوري.
d. لا يمكن خدشه بأيّ معدن آخر.

6. أيُّ معدن يخدش الفلسبار ولا يخدش التوباز؟

a. الكوارتز
c. الأباتيت
b. الكالسيت
d. الألماس

7. التخطيط الجيد لإجراء تجربة لا يشترط بالضرورة وجود واحد من العناصر الآتية:

a. التكنولوجيا.
b. تحديد المتغيرات.
c. صياغة الفرضيات.
d. جمع البيانات.

SA.GEO.SE.CH01.indd 38 4/8/19 4:33 PM

اختبار مقنن

أسئلة الإجابات القصيرة

استعمل معامل التحويل والجدول الآتي للإجابة عن الأسئلة 10–8:

1.0 قيراط = 0.2g

ألماس	قيراط	جرام
ماسة سام: أكبر ماسة في العالم وجدت في الولايات المتحدة	40.4	؟
ماسة بنش جون: ثاني أكبر ماسة في العالم	؟	6.89
ماسة تريزا: اكتشفت عام 1888م	21.5	4.3
مجمل إنتاج غرب أستراليا من الألماس في العام 2001 م	21,679,930	؟

8. رتِّب الماسات الثلاث من الأصغر إلى الأكبر حسب أوزانها بالقيراط وسجِّل وزن كل منها.
9. كم كيلو جرامًا من الألماس أنتجت غرب أستراليا في العام 2001 م؟
10. لماذا يحول منقبو الألماس قياساتهم من القيراط إلى الجرام؟
11. لماذا يعاد تصنيف بعض المعادن من خام اقتصادي إلى معدن غير اقتصادي؟
12. عرّف البريق، وبيّن لماذا يصعب استعمال البريق في تعرف المعادن؟
13. لماذا تصنف بعض المعادن خامات، ولا تصنف معادن أخرى كذلك؟

القراءة والاستيعاب

السيليكون

السيليكون Si ثاني أكثر العناصر انتشارًا في القشرة الأرضية. إلا أن الاهتمام به زاد بشكل واسع بعد استعماله في صناعة الأجهزة الإلكترونية، ويوجد السيليكون في الطبيعة بأشكال متعددة؛ فهو موجود في الكثير من الصخور، وأحيانًا في المياه، وفي الهواء على شكل دقائق غبار، وفي هياكل بعض المخلوقات الحية، ويوجد أيضًا في الكواكب والنجوم.

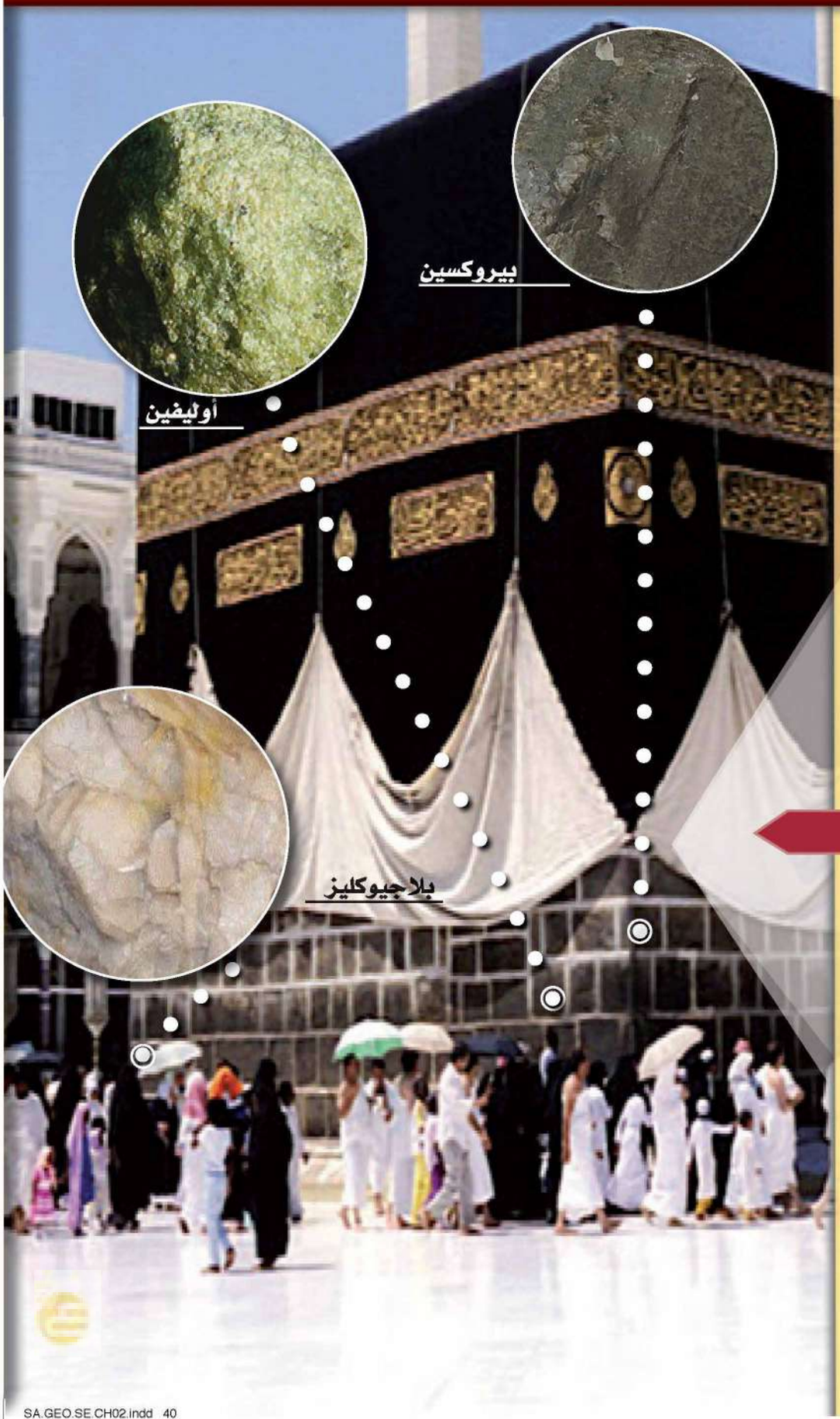
لا يوجد السيليكون منفردًا في الطبيعة، بخلاف الذهب أو الفضة، بل يوجد دائمًا متحدًا مع عناصر؛ منها الأكسجين O والألومنيوم Al والماغنسيوم Mg والكالسيوم Ca والصوديوم Na والبوتاسيوم K والحديد Fe، وغيرها من العناصر، ويكوّن مجموعة السيليكات، وهي أكبر المجموعات الكيميائية، وأكثرها تعقيدًا.

لون السيليكون رمادي باهت، ووزنه النوعي 2.42، وتكافؤه مثل تكافؤ الكربون، وقد دخل السيليكون في مجموعة من الصناعات الكيميائية، منها كربيد السيليكون الذي يستعمل لشحذ أدوات القطع، ومطاط السيليكون المستعمل في السدادات، والزيوت والدهانات. والسيليكون من العناصر شبه الموصلة، لذا يستعمل في الخلايا الشمسية لتوليد التيار الكهربائي من الضوء، ويستعمل في صنع الرقائق الإلكترونية والترانزستورات.

14. اعتمادًا على النص السابق؛ أيُّ خصائص السيليكون الآتية تشكل تحديًا لاستخدامه؟
    a. يحيط به هالة من الإلكترونات.
    b. لونه رمادي باهت.
    c. لا يوجد منفردًا في الطبيعة.
    d. واسع الانتشار في أماكن عديدة.
15. أيُّ الصناعات الآتية لا تعتمد على الحالة الكيميائية للسيليكون؟
    a. مطاط السيليكون والسدادات.
    b. كربيد السيليكون والحجارة التي تشحذ أدوات القطع.
    c. الرقائق الإلكترونية.
    d. الزيوت والدهانات.
16. لماذا لم يكن السيليكون معروفًا بشكل واسع قبل انتشار الأجهزة الإلكترونية؟

SA.GEO.SE.CH01.indd 39 4/8/19 4:33 PM

الفصل 2 الصخور النارية Igneous Rocks



الفكرة العامة الصخور النارية أول الصخور التي تشكلت عندما بردت الأرض، وتبلورت في القشرة الأرضية الأولية.

2–1 ما الصخور النارية؟

الفكرة الرئيسة الصخور النارية هي الصخور التي تتكون عندما تبرد المواد المنصهرة الموجودة في باطن الأرض، وتتبلور.

2–2 تصنيف الصخور النارية

الفكرة الرئيسة يعتمد تصنيف الصخور النارية على مكوناتها المعدنية وحجم بلوراتها ونسيجها.

حقائق جيولوجية

- بنيت الكعبة المشرفة في عهد نبي الله إبراهيم عليه السلام.
- تم بناؤها باستخدام الحجارة البازلتية المتوافرة في مكة المكرمة.
- تبلغ مساحة الكعبة المشرفة تقريبًا $145\ m^2$، وارتفاعها 14 m.

SA.GEO.SE.CH02.indd 40 4/8/19 4:34 PM

تجربة استهلالية

كيف نتعرف المعادن؟

تتكون الصخور النارية من معادن مختلفة، ويمكن تمييز تلك المعادن في بعض أنواع الصخور النارية التي تتكون من بلورات معدنية كبيرة.

الخطوات

1. اقرأ تعليمات السلامة في المختبر.
2. افحص عيِّنة من الجرانيت بالعين المجردة، وسجِّل ملاحظاتك.
3. استعمل عدسة مكبرة أو مجهرًا مستقطب لمشاهدة عيِّنة الجرانيت، وسجِّل ملاحظاتك.

التحليل

1. وضِّح ما شاهدته من خلال العدسة المكبرة أو المجهر المستقطب. ضمِّن رسمك مقياسًا للرسم توضّح من خلاله النسبة بين حجم البلورات في العينة وحجمها على الرسم.
2. عدِّد أنواع المعادن التي شاهدتها في عيِّنتك.
3. صف أشكال بلورات المعادن وحجومها.
4. اكتب أي دليل يفيد أن هذه البلورات تكوّنت من صخر مصهور.

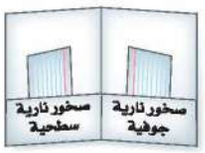
المطويات
منظمات الأفكار

أنواع الصخور النارية

اعمل المطوية الآتية للمقارنة بين الصخور النارية السطحية والصخور النارية الجوفية.

الخطوة 1: اثن أسفل ورقة أفقية نحو الأعلى بمقدار 3 cm.

الخطوة 2: اثن الورقة من المنتصف.



الخطوة 3: افتحها وألصقها بصمغ أو دبابيس لعمل جيبين، وعنونهما كما في الشكل.

استخدم هذه المطوية في القسم 2–2 من الفصل الثاني مستعملًا ربع ورقة تكتب فيها ملخصًا عن كيفية تكوّن كل نوع من الصخور مع إعطاء أمثلة.

رابط الدرس الرقمي

www.ien.edu.sa

2-1

الأهداف

- **تلخص** تكون الصخور النارية.
- **تصف** مكونات الصهارة.
- **تتعرف** العوامل التي تؤثر في كيفية انصهار الصخور وتبلورها.

مراجعة المفردات

السيليكات: معادن تحتوي على السيليكون والأكسجين، مع وجود واحد أو أكثر من عناصر أخرى غالبًا.

المفردات الجديدة

اللابة

الصخور النارية

الانصهار الجزئي

سلاسل تفاعلات باون

التبلور الجزئي

ما الصخور النارية؟
What are Igneous Rocks?

الفكرة الرئيسة **الصخور النارية صخور تتكوَّن عندما تبرد المواد المنصهرة في باطن الأرض وتتبلور.**

الربط مع الحياة. تستخدم الصخور النارية في العديد من المجالات ومنها: مجال البناء وفي المطابخ وواجهات المباني ورصف الشوارع.

تكوُّن الصخور النارية Igneous Rocks Formation

لو أنك تابعت فيلمًا عن بركان نشط لشاهدت كيف تتكون الصخور النارية. وكما درست سابقًا، فإن الصهارة صخور مصهورة توجد تحت سطح الأرض. أما **اللابة Lava** فهي صهارة تتدفق على سطح الأرض. تتكون **الصخور النارية Igneous Rock** عندما تبرد الصهارة أو اللابة وتتبلور المعادن. تمكَّن العلماء من صهر معظم أنواع الصخور في المختبر بتسخينها إلى درجات حرارة تتراوح بين 800° C و 1200° C. وتتوافر درجات الحرارة هذه في الطبيعة في الجزء السفلي من القشرة الأرضية، وفي الجزء العلوي من الستار. **ما هو مصدر هذه الحرارة؟** يعتقد العلماء أن مصدري الطاقة الحرارية الأرضية هما: الطاقة المتبقية من تكوّن الأرض من الصهير الأولي، وطاقة التحلل الإشعاعي للعناصر.

مكونات الصهارة Composition of magma يعتمد نوع الصخر الناري المتكوِّن على مكونات الصهارة، والصهارة خليط من صخر مصهور وغازات مذابة وبلورات معدنية، والعناصر الشائعة في الصهارة هي نفسها العناصر الرئيسة في القشرة الأرضية: الأكسجين O، والسيليكون Si، والألومنيوم Al، والحديد Fe، والكالسيوم Ca، والصوديوم Na، والبوتاسيوم K، والماغنيسيوم Mg. ومن بين جميع المركبات الموجودة في الصهارة، تعد السيليكا من أكثرها شيوعًا وتأثيرًا في

الجدول 1 – 2 أنواع الصهارة

نوع الصهارة	المحتوى من السيليكا	مثال
بازلتية	42 – 52٪	حرات المدينة المنورة
أنديزيتية	52 – 66٪	جبال الأنديز
ريولايتية	أكثر من 66٪	متنزه يلوستون – أمريكا

SA.GEO.SE.CH02.indd 42 4/8/19 4:34 PM

خصائصها. وتصنف الصهارة اعتمادًا على محتواها من السيليكا - كما هو مبين في الجدول 1– 2 إلى بازلتية أو أنديزيتية أو ريولايتية. ويؤثر محتوى الصهارة من السيليكا في درجة انصهارها وسرعة تدفقها.

وعندما تتحرر الصهارة من الضغط الواقع عليها من الصخور المحيطة بها تتمكن الغازات الذائبة فيها من الانطلاق إلى الغلاف الجوي. لذا تختلف مكونات اللابة الكيميائية قليلًا عن المكونات الكيميائية للصهارة التي نتجت اللابة عنها.

تكوّن الصهارة Magma formation تتكون الصهارة بانصهار قشرة الأرض، أو مادة الستار. وهناك أربعة عوامل رئيسة تؤثر في تكوُّن الصهارة، هي: درجة الحرارة، الضغط، المحتوى المائي، المحتوى المعدني لمادة القشرة أو الستار. وتزداد درجة الحرارة عادة كلما تعمَّقنا في القشرة الأرضية، وتسمى هذه الزيادة في درجة الحرارة المال الحراري، وهي ممثلة في **الشكل 1– 2**. ولدى حفَّاري آبار النفط خبرة مباشرة في المال الحراري الأرضي؛ فآلات الحفر -كتلك المبينة في **الشكل 2– 2** يمكن أن تصادف درجات حرارة تزيد على 200°C في أثناء حفر آبار النفط العميقة.

يزداد الضغط أيضًا مع زيادة العمق، وهذا ناجم عن وزن الصخور العلوية. وتفيد التجارب المختبرية أنه مع ازدياد الضغط الواقع على الصخور تزداد درجة الانصهار. لذلك فإن الصخر الذي ينصهر عند 1100°C على سطح الأرض ينصهر عند درجة 1400°C على عمق 100 km.

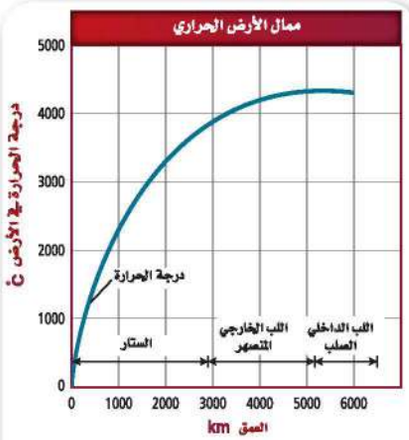
أما العامل الثالث الذي يؤثر في تكون الصهارة فهو المحتوى المائي الذي يغير من درجة انصهار الصخور التي تقل بازدياد المحتوى المائي.

ماذا قرأت؟ عدِّد العوامل الرئيسة المؤثرة في تكون الصهارة.

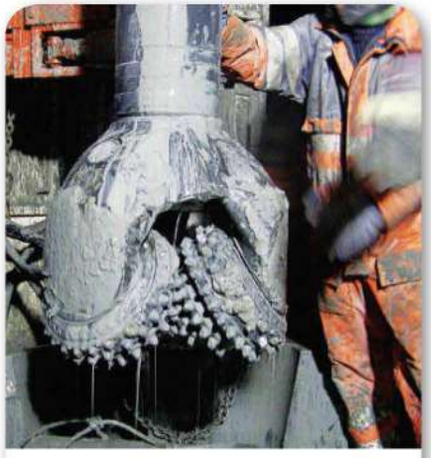
المحتوى المعدني Mineral content لكي نفهم كيف تعتمد الصهارة على عناصرها ومركباتها؛ من المفيد إلقاء الضوء على المحتوى المعدني للصهارة. المعادن المختلفة لها درجات انصهار مختلفة؛ فعلى سبيل المثال تنصهر صخور البازلت التي تتكون من معادن الأوليفين والفلسبار الكلسي والبيروكسين عند درجات حرارة أعلى، مقارنة بصخور الجرانيت أو الريولايت التي تتكون من الكوارتز والفلسبار البوتاسي.

إن درجة انصهار صخر الجرانيت أقل من درجة انصهار صخر البازلت؛ لأنه يحتوي على ماء أكثر، ولمعادنه درجات انصهار أقل.

وعمومًا تنصهر الصخور المحتوية على الحديد والماغنيسيوم -ومنها البازلت- عند درجات حرارة أعلى، مقارنة بالصخور المحتوية على نسب أعلى من السيليكون، ومنها الجرانيت.



الشكل 1– 2 متوسط المال الحراري في القشرة الأرضية 25°C/km تقريبًا، ويعتقد العلماء أنها تهبط بشدة إلى 1°C/km في الستار.



الشكل 2– 2 تزداد درجة حرارة الجزء العلوي من القشرة مع زيادة العمق 30° C/km تقريبًا. وتصادف آلة الحفر عند عمق 3 km صخورًا درجة حرارتها قريبة من درجة غليان الماء.

SA.GEO.SE.CH02.indd 43 4/8/19 4:34 PM

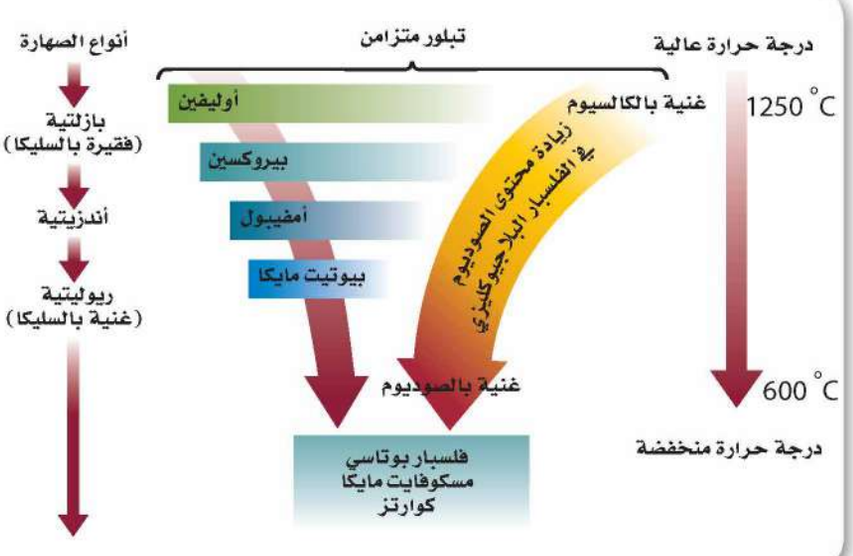
الانصهار الجزئي Partial melting افترض أنك جمدت شمعًا منصهرًا وماء في قالب مكعبات جليد، وأخذت هذا القالب خارج الثلاجة وتركته في درجة حرارة الغرفة؛ سوف ينصهر الجليد، ولكن الشمع لن ينصهر. والسبب في ذلك هو اختلاف درجتي انصهارهما. تنصهر الصخور بالطريقة نفسها لاختلاف درجات انصهار المعادن التي تحتويها. لذلك لا تنصهر جميع أجزاء الصخر عند درجة الحرارة نفسها. وهذا يفسر لماذا تُكوّن الصهارة غالبًا مزيجًا من بلورات ومصهور صخري. وتسمى عملية انصهار بعض المعادن عند درجات حرارة منخفضة مع بقاء معادن أخرى صلبة **الانصهار الجزئي Partial Melting**. انظر **الشكل 3– 2**. ويضاف مع صهر كل مجموعة معدنية عناصر جديدة إلى خليط الصهارة، مما يؤدي إلى تغير في مكوناتها، وإذا لم تكن درجات الحرارة كافية لصهر الصخر بأكمله فإن مكونات الصهارة الناتجة ستختلف عن مكونات الصخر الذي تكونت منه، وهذه إحدى الطرائق التي تتكون بها الأنواع المختلفة من الصخور النارية.

ماذا قرأت؟ لخِّص لماذا تختلف مكونات الصهارة الكيميائية عن المكونات الكيميائية للصخر الأصلي؟

الشكل 3– 2 تبدأ المعادن في الانصهار في منطقة ما عندما تبدأ درجة الحرارة بالإرتفاع.
حدد ماذا تتوقع أن تكون درجة انصهار الكوارتز اعتمادًا على هذا الشكل؟

سلاسل تفاعلات باون Bowen's Reaction Series

قام الجيولوجي الكندي باون في مطلع القرن العشرين بتوضيح كيف تبرد الصهارة وتتبلور المعادن فيها، بترتيب منتظم في عملية تعرف الآن **بسلاسل تفاعلات باون Bowen's Reaction Series**. ويوضح **الشكل 4– 2** العلاقة بين درجة حرارة الصهارة في أثناء تبريدها والمعادن السيليكاتية التي تشكل الصخور النارية. وقد اكتشف باون نمطين للتبلور؛ الطرف الأيمن ويتميز بتغير متدرج ومستمر في مكونات المعدن في مجموعة الفلسبار، أما الطرف الأيسر الموازي فيتميز بتغير مفاجئ وغير مستمر في المعادن الغنية بالحديد والماغنسيوم.



الشكل 4– 2 في الطرف الأيسر من سلاسل تفاعلات باون، تتغير المعادن الغنية بالحديد والماغنسيوم بشكل مفاجئ مع انخفاض درجة حرارة الصهارة.
قارن كيف يمكن مقارنة ذلك مع الفلسبار في الطرف الأيمن من الشكل؟

SA.GEO.SE.CH02.indd 44 4/8/19 4:34 PM

المعادن الغنية بالحديد والماغنسيوم Iron –magnesium rich mineral يمثل الطرف الأيسر من سلسلة تفاعلات باون المعادن الغنية بالحديد والماغنسيوم، والتي تخضع لتغيرات مفاجئة مع تبريد الصهارة وتبلورها؛ ففي البداية يتبلور معدن الأوليفين من الصهارة، وعندما تبرد الصهارة بما يكفي لبدء تبلور معدن جديد يتشكل البيروكسين من تفاعل الأوليفين مع الصهارة، ومع استمرار انخفاض درجة الحرارة تحدث تفاعلات مشابهة منتجة الأمفيبول والبيوتيت وهي أقل المعادن احتواءً على الحديد والماغنسيوم.

الفلسبار Feldspar يمثل الطرف الأيمن من سلسلة تفاعلات باون معادن فلسبار البلاجيوكليز التي تخضع لتغير مستمر في مكوناتها، فمع تبريد الصهارة يتكون أكثر معادن البلاجيوكليز غنى بالكالسيوم. ويتفاعل هذا المعدن مع الصهارة، وتتغير مكوناته ليصبح غنيًّا بالصوديوم، وفي بعض الحالات عندما يتم التبريد سريعًا تصبح أنوية الفلسبار الغنيَّة بالكالسيوم غير قادرة على التفاعل تمامًا مع الصهارة، فتكون النتيجة هي تكون بلورة ذات نطاقات غنية بالكالسيوم وأخرى بالصوديوم كما في **الشكل 5– 2**.

الشكل 5– 2 عندما تبرد الصهارة بسرعة قد لا تجد بلورة الفلسبار الوقت الكافي للتفاعل تمامًا مع الصهارة فتبقى على أنوية غنية بالكالسيوم. والنتيجة تكون بلورات بنطاقات تتميز بغناها بالكالسيوم وأخرى بالصوديوم.

التبلور الجزئي Fractional Crystallization

عندما تبرد الصهارة تتبلور معادنها بترتيب عكس ترتيب انصهار بلورات المعادن في حالة الانصهار الجزئي، بمعنى أن آخر المعادن انصهارًا تكون أولها تبلورًا.

وتسمى عملية تصلب بلورات المعادن وانفصالها **التبلور الجزئي Fractional crystallization**. وتشبه هذه العملية عملية الانصهار الجزئي في أن تركيب الصهارة يتغير في كل منهما. وفي هذه الحالة تنفصل البلورات التي تتكون في البداية عن الصهارة، ولا تستطيع التفاعل معها، فتصبح الصهارة المتبقية غنيَّة بالسيليكا.

تجربة

مقارنة الصخور النارية

كيف تختلف الصخور النارية بعضها عن بعض؟ للصخور النارية خصائص كثيرة مختلفة. فاللون وحجم البلورات تعدّ من المعالم التي نستطيع من خلالها تمييز الصخور النارية بعضها عن بعض.

خطوات العمل

1. اقرأ نموذج السلامة في المختبر الموجود في دليل التجارب العملية، واملأه.
2. احصل على مجموعة من عينات صخرية نارية من معلمك.
3. لاحظ الخصائص الآتية لكل صخر: مجمل اللون، حجم البلورات، والمكونات المعدنية (إن أمكن).
4. صمّم جدول بيانات لتدوين ملاحظاتك.

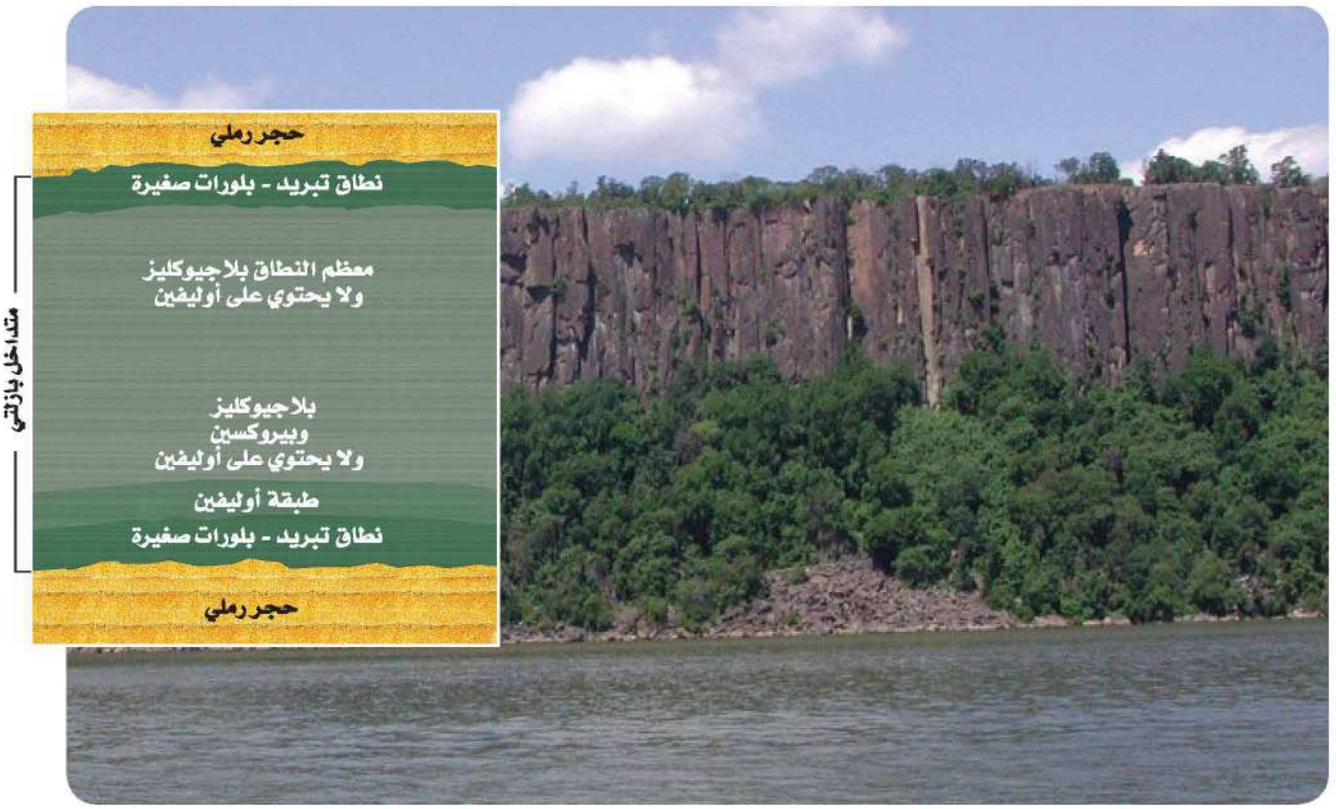
التحليل

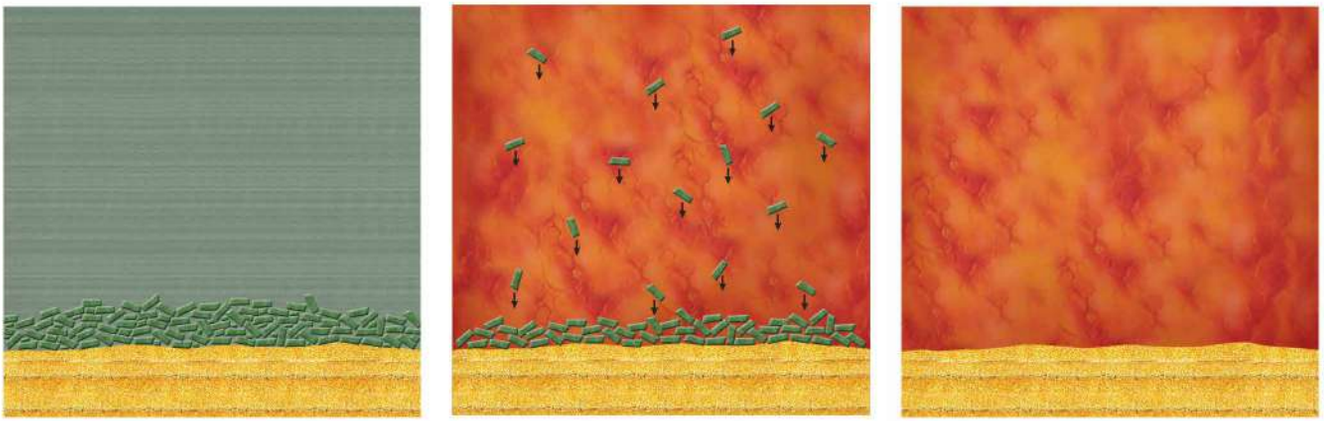
1. صنّف عيناتك إما بازلتية وإما أنديزيتية وإما ريوليتية. [تلميح: كلما زاد محتوى الصخر من السيليكا يصبح لونه فاتحًا].
2. قارن بين عيناتك باستخدام جدول البيانات. كيف تختلف؟ ما الخصائص التي تشترك فيها المجموعات؟
3. خمّن الترتيب الذي تبلورت به العينات. [تلميح: استخدم سلاسل تفاعلات باون دليلًا].

SA.GEO.SE.CH02.indd 45 4/8/19 5:53 PM

التبلور الجزئي وترسب البلورات
Fractional Crystallization and Crystal Settling

الشكل 6– 2 تعتبر عتبة باليسيد (Palisade Sill) في وادي نهر هدسون (Hudson) في نيويورك ونيوجيرسي مثالًا على عملية التبلور الجزئي وترسيب البلورات. ففي العتبة البازلتية تكونت بلورات صغيرة في نطاق التبريد؛ لأن الأجزاء الخارجية من هذا الجسم البازلتي بردت بسرعة أكبر من الأجزاء الداخلية.





مع بدء تبريد الصهارة التي اخترقت الطبقات الصخرية تتكون البلورات وتستقر في القاع، وتسمى هذه الطبقية في توزيع البلورات التبلور الجزئي.

SA.GEO.SE.CH02.indd 46 4/8/19 4:35 PM

آلية التبلور الجزئي Mechanism of partial crystallizaion

كما هي الحال عادة في الاستقصاء العلمي قاد اكتشاف باون لمزيد من التساؤلات. فعلى سبيل المثال، إذا تحول الأوليفين إلى بيروكسين فلماذا نجد الأوليفين في الصخر؟ يفترض الجيولوجيون أنه في ظروف خاصة تنفصل البلورات المتكونة من الصهارة فيتوقف التفاعل بين الصهارة والمعدن، ويمكن أن يحدث هذا عندما تستقر البلورات في قاع الجسم الصهاري، وعندما ينفصل سائل الصهارة عن البلورات يتكون جسمان ناريّان مختلفان في مكوناتهما. ويوضح **الشكل 6–2** هذه العملية، كما يوضح مفهوم التبلور الجزئي من خلال عرض مثال عتبة باليسيد، وهذه إحدى الطرق التي تتكون بها الصهارة المشار إليها في **الجدول 1– 2**.

وباستمرار التبلور الجزئي وانفصال بلورات أخرى من المعادن تصبح الصهارة أغنى بالسيليكا وعناصر الألومنيوم والبوتاسيوم. لذا، فإن آخر معدنين يتبلوران هما: الفلسبار البوتاسي والكوارتز. والفلسبار البوتاسي أكثر أنواع الفلسبار شيوعًا في القشرة الأرضية، بينما تحتوي العروق على الكوارتز غالبًا كما في **الشكل 7– 2**؛ لأنه يتبلور في أثناء اندفاع الجزء السائل المتبقي من الصهارة في الشقوق الصخرية.

الشكل 7– 2 تمثل عروق الكوارتز هذه آخر ما برد وتبلور من الجسم الصهاري المتبقي.

التقويم 1–2

الخلاصة

- تتكون الصهارة من صخور منصهرة وغازات مذابة وبلورات معدنية.
- تُصنّف الصهارة إلى بازلتية أو أنديزيتية أو ريوليتية اعتمادًا على كمية السيليكا التي تحتويها.
- تنصهر المعادن المختلفة وتتبلور عند درجات حرارة مختلفة.
- توضح سلاسل تفاعلات باون الترتيب الذي تتبلور حسبه المعادن من الصهارة.

فهم الأفكار الرئيسة

1. **الفكرة الرئيسة** **توقّع** المظهر الذي سيبدو عليه صخر ناري تكون من صهارة خرجت إلى السطح فبدأت تبرد بسرعة، ثم قلّت سرعة تبريدها مع الوقت.
2. **اعمل قائمة** بالعناصر الثمانية الرئيسة الموجودة في معظم أنواع الصهارة. أضف الرمز الكيميائي لكل عنصر.
3. **لخّص** العوامل التي تؤثر في تكوين الصهارة.
4. **قارن** بين الصهارة واللابة.

التفكير الناقد

5. **توقّع** إذا كانت درجة الحرارة تزداد نحو مركز الأرض، فلماذا يصبح مركز الأرض صلبًا؟
6. **استدل** على محتوى السيليكا في صهارة مشتقة من الانصهار الجزئي لصخر ناري. هل سيكون أكثر، أم أقل، أم مساويًا لمحتوى الصخر نفسه؟ وضّح إجابتك.

الكتابة في الجيولوجيا

7. ادّعى أحد هواة جمع الصخور أنه وجد أول مثال على البيروكسين والفلسبار الغني بالصوديوم في الصخر نفسه. اكتب تعليقًا على هذا الادعاء.

SA.GEO.SE.CH02.indd 47 4/8/19 4:35 PM

رابط الدرس الرقمي

www.ien.edu.sa

2-2

الأهداف

- تصنف الصخور النارية وفق مكوناتها المعدنية وأنسجتها.
- تتعرف أثر معدَّلات التبريد في حجوم البلورات في الصخور النارية.
- تصف بعض استخدامات الصخور النارية.

مراجعة المفردات

التبلور الجزئي

عملية متعاقبة يتم في أثنائها فصل أول البلورات المتكونة من الصهير، فلا تتفاعل مع الصهارة المتبقية.

المفردات الجديدة

الصخور الجوفية
الصخور السطحية
الصخر البازلتي
الصخر الجرانيتي
الصخور المتوسطة
الصخور فوق القاعدية
النسيج
النسيج البورفيري
النسيج الفقاعي
البيجماتيت
الكمبرليت

تصنيف الصخور النارية
Classification of Igneous Rocks

الفكرة الرئيسة **يعتمد تصنيف الصخور النارية على مكوناتها المعدنية وحجم بلوراتها ونسيجها.**

الربط مع الحياة. هناك شيء مشترك بين الأرضيات والمباني والجدران؛ فالعديد منها من النوع الصخري المعروف بالجرانيت، وهو صخر شائع في القشرة الأرضية.

المكونات المعدنية للصخور النارية
Mineral Composition of Igneous Rocks

تُصنف الصخور النارية عمومًا إلى صخور جوفية (متداخلة)، وأخرى سطحية (بركانية)؛ فعندما تبرد الصهارة وتتبلور تحت سطح الأرض تتكوَّن **الصخور الجوفية Intrusive Rocks**، وتكون بلورات الصخور الجوفية كبيرة عادة، بحيث يمكن رؤيتها بالعين المجردة. وتشكل الصهارة التي تبرد وتتبلور على سطح الأرض **صخورًا سطحية Extrusive Rocks**، ويشار إليها أحيانًا بالحرات أو طفوح اللابة أو الطفوح البازلتية. والبلورات التي تتكون في هذه الصخور صغيرة ويصعب رؤيتها بالعين المجردة، ويُصنِّف الجيولوجيون هذه الصخور حسب مكوناتها المعدنية، بالإضافة إلى الخصائص الفيزيائية ومنها حجم البلورات والنسيج وهذا يمثل مؤشرًا لتعرف أنواع الصخور النارية المتنوعة.

تُصنَّفُ الصخور النارية حسب مكوناتها المعدنية؛ **فالصخور البازلتية Basultic Rocks** ومنها الجابرو- لونها غامق، ومحتواها من السيليكا قليل، وتتكون في غالبيتها من البلاجيوكليز والبيروكسين. أما **الصخور الجرانيتية Granitic Rock** -ومنها الجرانيت- فهي فاتحة اللون ومحتواها من السيليكا كثير، ويتكون معظمها من الكوارتز والفلسبار البوتاسي والبلاجيوكليز. وتسمى الصخور ذات المكونات المتوسطة بين البازلت والجرانيت **الصخور المتوسطة Intermediate Rocks**، ويتكون معظمها من البلاجيوكليز والهورنبلند، ويعد الديوريت مثالًا جيدًا على هذا النوع. ويوضح **الشكل 8– 2** أمثلة على الأنواع الثلاثة من الصخور النارية.

الشكل 8– 2 يمكن ملاحظة الفروق في مكونات الصهارة في الصخور التي تتكون عندما تبرد الصهارة وتتبلور.

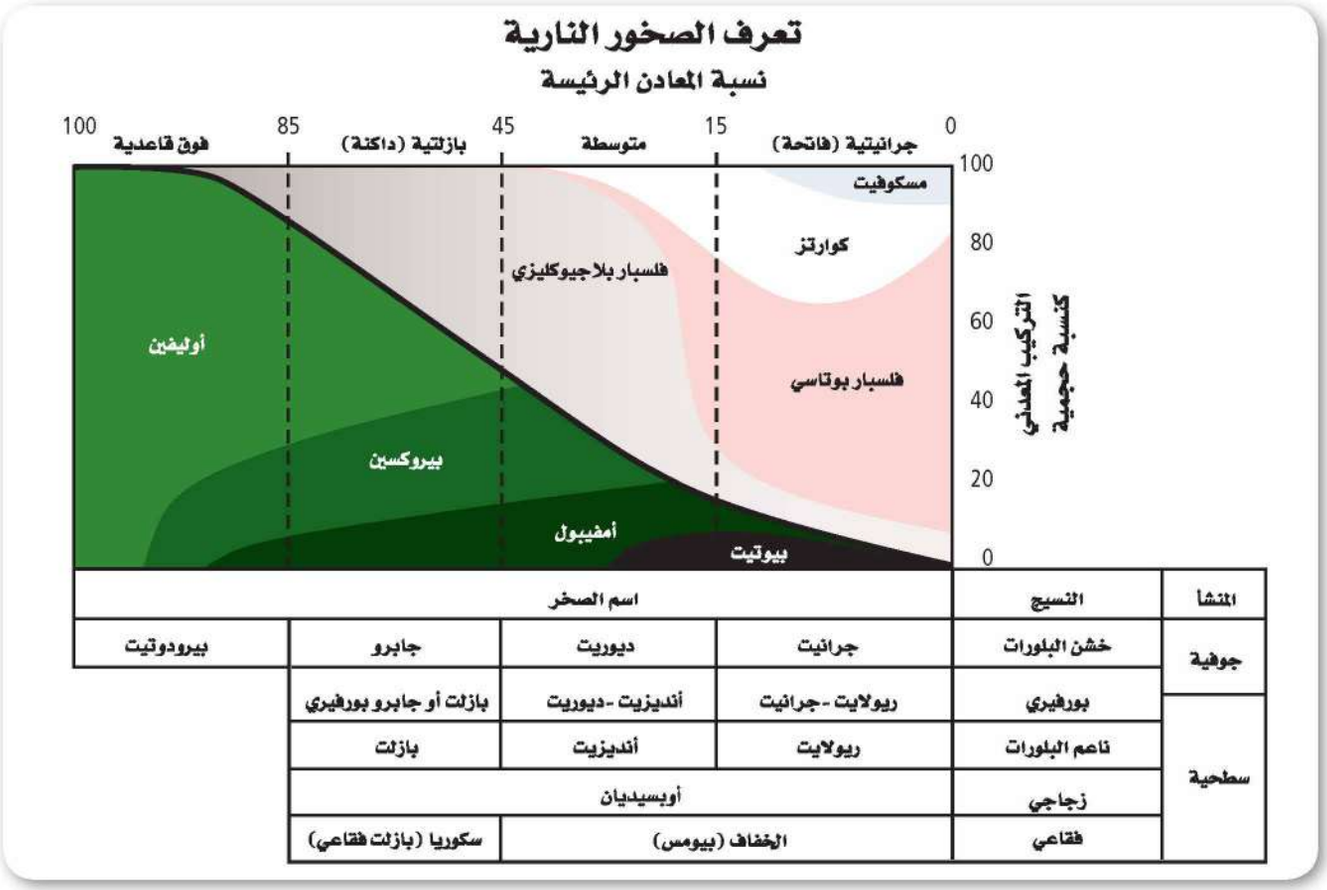
لاحظ. صف الفروق التي تشاهدها في هذه الصخور.

الديوريت

الجرانيت

الجابرو

SA.GEO.SE.CH02.indd 48 4/8/19 4:35 PM



المنشأ	النسيج	اسم الصخر				
جوفية	خشن البلورات	جرانيت	ديوريت	جابرو	بيرودوتيت	
سطحية	بورفيري	ريولايت - جرانيت	أنديزيت - ديوريت	بازلت أو جابرو بورفيري		
	ناعم البلورات	ريولايت	أنديزيت	بازلت		
	زجاجي	أوبسيديان				
	فقاعي	الخفاف (بيومس)		سكوريا (بازلت فقاعي)		

وهناك مجموعة رابعة من الصخور تدعى **فوق القاعدية Ultrabasic**، منها صخر البيرودوتيت، وتحتوي هذه الصخور فقط على معادن غنية بالحديد مثل الأوليفين والبيروكسين، وهي دائمًا داكنة اللون. ويلخص **الشكل 9– 2** آلية تعرُّف الصخور النارية.

الشكل 9– 2 أنواع الصخور النارية يمكن تعرُّفها من خلال نسب المعادن فيها.

النسيج Texture

كما تختلف الصخور النارية في مكوناتها المعدنية، وتختلف أيضًا في حجوم بلوراتها، ويشير **النسيج Texture** إلى حجم البلورات التي يتكون منها الصخر، وإلى شكلها وتوزيعها. فعلى سبيل المثال يمكن وصف نسيج الريولايت المبين في **الشكل 10– 2** بأنه ناعم البلورات، أما الجرانيت فيوصف بأنه خشن البلورات، ويرجع الاختلاف في حجم البلورات إلى أن أحدهما صخر سطحي، والآخر صخر جوفي (متداخل).

المطويات

ضمِّن مطويتك معلومات من هذا القسم.

الشكل 10– 2 للريولايت والجرانيت والأوبسيديان أنسجة مختلفة لأنها تكونت بطرائق مختلفة.

الأوبسيديان

الجرانيت

الريولايت

SA.GEO.SE.CH02.indd 49 4/8/19 4:35 PM

أنديزيت (النسيج البورفيري)

بازلت فقاعي

الخفاف (بيومس)

الشكل 11– 2 تعطي أنسجة الصخور معلومات عن كيفية تكون الصخر؛ حيث تحتفظ أنسجة هذه الصخور بأدلة عن معدلات التبريد، وكذلك تدلّ على وجود الغازات المذابة فيها أو عدم وجودها.

حجم البلورة ومعدلات التبريد Crystal size and cooling rates

عندما تتدفق اللابة على سطح الأرض تبرد بسرعة، ولا تتهيأ الفرصة لتشكل بلورات كبيرة، فَتُنتِجُ صخورًا نارية سطحية كالريولايت المبين في **الشكل 10– 2**. بلوراتها صغيرة لا يمكن رؤيتها بالعين المجردة، وأحيانًا يحدث التبريد بسرعة كبيرة جدًّا، بحيث لا تتهيأ الفرص لتكوُّن البلورات، وينتج زجاج بركاني يسمى أوبسيديان كما في **الشكل 10– 2**. وفي مقابل ذلك يمكن للصخور الجوفية –ومنها الجرانيت والديوريت والجابرو– التي تبرد ببطء أن تكون بلوراتها بحجم أكبر من 1 cm.

النسيج البورفيري Porphyritic texture انظر إلى أنسجة الصخور في **الشكل 11– 2**. توضح الصورة العلوية صخرًا يحتوي على بلورات بحجمين مختلفين، ويظهر هذا الصخر **نسيجًا بورفيريًّا Porphyritic Texture** يتميز بوجود بلورات كبيرة واضحة المعالم، محاطة ببلورات صغيرة من المعدن نفسه أو من معادن مختلفة. ما الذي جعلها تتكون في صورة بلورات صغيرة وأخرى كبيرة وكلتاهما في صخر واحد؟ تدل الأنسجة البورفيرية أن جزءًا من الصهارة مرّ في البداية بتبريد بطيء في باطن الأرض، حيث نمت عليه البلورات الكبيرة الحجم، ثم قذفت فجأة إلى مواقع أعلى في القشرة الأرضية أو على سطح الأرض، وبدأت الصهارة المتبقية تبرد بسرعة مكونة بلورات صغيرة الحجم تحيط بالبلورات الكبيرة التي تبلورت من قبل.

النسيج الفقاعي Vesicular texture تحتوي الصهارة على غازات ذائبة، تأخذ في التصاعد عندما ينحسر الضغط عنها، فتصبح عندئذ لابة؛ فإذا كانت اللابة شديدة القوام، فإنها تمنع تصاعد الفقاعات الغازية بسهولة، فتترك الغازات ثقوبًا في الصخر تسمى فقاعات، ويبدو الصخر إسفنجيًّا، ويسمى هذا المظهر الإسفنجي **نسيجًا فقاعيًّا Vesicular Texture**. ويعد كل من الخفاف والبازلت الفقاعي أمثلة على ذلك. انظر **الشكل 11– 2**

ماذا قرأت؟ فسّر سبب تكون الثقوب في الصخور النارية.

SA.GEO.SE.CH02.indd 50 4/8/19 4:35 PM

الشكل 12– 2 يمكن تعرُّف المعادن المكونة للجرانيت باستعمال شرائح رقيقة تحت المجهر المستقطب.

الشرائح الرقيقة Thin Sections

لتعـرُّف الصخر يفحص الجيولوجيون بلـورات المعادن في العيِّنات الصخرية في صـورة شرائـح رقيقة تحت أنواع خاصة من المجاهر (المجهر المسـتقطب). والشريحـة الرقيقـة قطعة مـن الصخر سـمكها 0.03 mm تقريبًـا، مثبتة على قطعـة زجاجية بحيث تسـمح بنفاذ الضوء خلالها. ويوضح **الشـكل 12– 2** مقطع من الجرانيت تحت المجهر المستقطب.

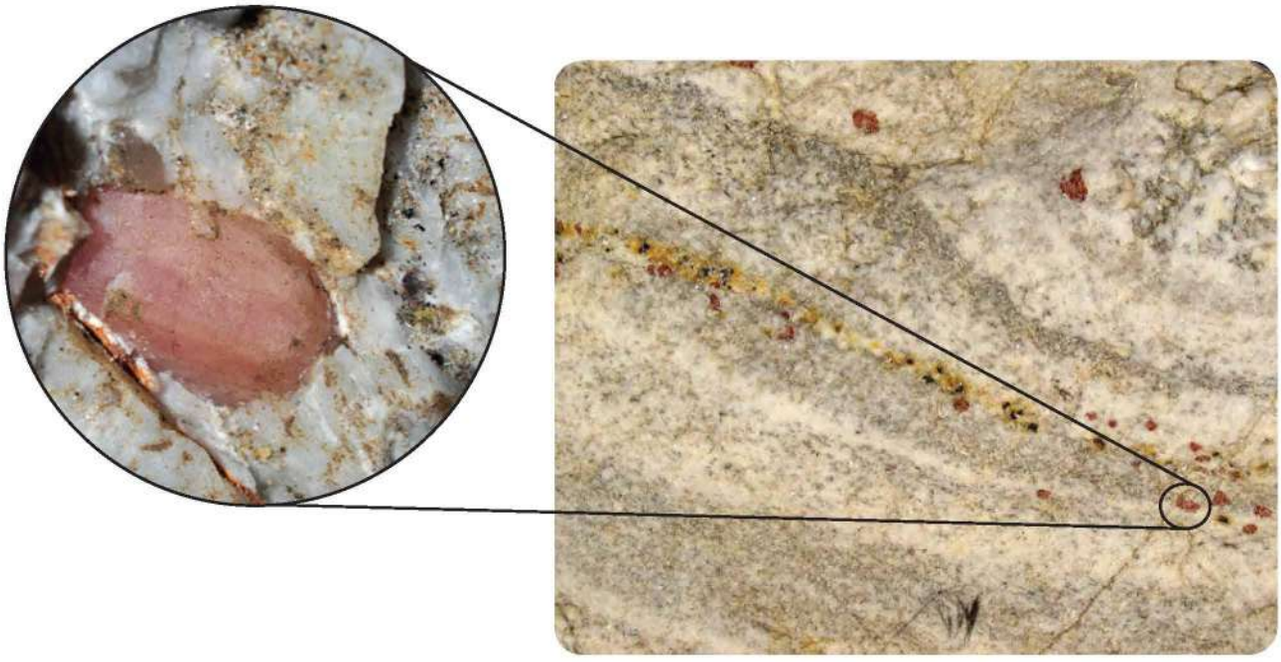
الصخور النارية موارد طبيعية
Igneous rocks as Resources

للصخور النارية أهمية اقتصادية كبيرة في حياتنا؛ فالعديد من المعادن التي تسـتخدم في المجوهـرات تتبلور فيها، ويمكن أن يسـتخلص منها العديد من العنـاصر المفيدة ومنها الليثيوم وغيره مما يدخـل في مجالات عديدة في حياتنا، وتستخدم الصخور النارية أيضًا في المباني. وتوضح الفقرات الآتية بعض هذه الاستخدامات:

العـروق Viens تحتوي الموائع المتبقيَّة من تبلـور الصهارة على تراكيز عالية من السيليكا والماء، كما تحتوي على شوائب أو بقايا من عناصر لم تصنف ضمن الصخور النارية؛ فالذهب والفضة والرصاص والنحاس من الفلزات التي لم تتضمنها المعادن الشـائعة. وتتحرر هذه العناصر من السـيليكا المذابة في نهاية عمليـة تبلور الصهارة، على هيئة موائع سـاخنة غنيَّة بالعناصر، تملأ الشـقوق والفراغـات في الصخـور المجاورة. وتتصلب هذه الموائـع مكوِّنة عروقًا غنيَّة بمعادن أو فلزات ذات قيمة اقتصادية، ومنها عروق الكوارتز الحاملة للذهب في مهد الذهب في المملكة العربية السعودية. ويبين **الشكل 13– 2** ذهبًا متكونًا في عروق الكوارتز.

الشكل 13– 2 يستخرج الذهب والكوارتز معًا من المناجم، ثم يفصلان لاحقًا.

استدل مـا الـذي يمكنـك تحديـده مـن هذه الصورة عن درجة انصهار الذهب؟



الشكل 14– 2 عرق بيجماتيت يخترق صخور الجرانيت، وفيه بلورات جميلة.

ماذا قرأت؟ وضِّح لماذا تحتوي العروق على كميات كبيرة من الكوارتز؟

البيجماتيت Pegmatites تسمى الصخور التي تتكون من بلورات خشنة جدًا **بيجماتيت Pegmatites**. وتوجد صخور البيجماتيت على شكل عروق تحتوي على العديد من الفلزات والعناصر الأخرى القيمة. ويمكن أن تحتوي صخور البيجماتيت على خامات العناصر النادرة، ومنها الليثيوم Li والبيريليوم Be، فضلًا عن احتوائها على بلورات جميلة كما يتضح في **الشكل 14– 2**. ولأن هذه العروق تملأ الكهوف وشقوق الصخور فإن المعادن تنمو في الفراغات محتفظة بأشكالها؛ حيث وجدت معظم المعادن النفيسة في العالم في صخور البيجماتيت. ويوجد البيجماتيت في مناطق مختلفة جنوب المملكة العربية السعودية وغربها على هيئة قواطع في صخور جرانيتية.

مختبر حل المشكلات

تفسير الأشكال العلمية

كيف يمكنك تقدير المحتوى المعدني؟

تصنف الصخور النارية اعتمادًا على محتواها المعدني. ستستخدم في هذا النشاط الشريحة الرقيقة الموضحة في **الشكل 12– 2**؛ لتقدير نسب المعادن المختلفة في العيِّنة.

التحليل

1. صمّم طريقة لتقدير نسب المعادن في العيِّنة الصخرية في **الشكل 12– 2**.
2. اعمل جدول بيانات يضم المعادن ونسبها المقدرة.

التفكير الناقد

3. حدد بإستخدام **الشكل 9– 2**، موقع العيِّنة التي تمثلها الشريحة الرقيقة على المخطط المبين في الشكل.
4. قارن تقديرك لنسب المعادن في الصخور بتقدير زملائك في الصف. لماذا تختلف تقديراتكم؟ ما مصادر الخطأ المحتملة؟
5. اقترح طريقة لتطوير دقة تقديرك.

SA.GEO.SE.CH02.indd 52 4/8/19 4:35 PM

الكمبرليت Kimberlites الألماس معدن قيِّم، نادر الوجود، يوجد في الصخور فوق القاعدية المسماة **كمبرليت Kimberlite**، نسبة إلى مدينة كيمبرلي في جنوب إفريقيا، وتُعد هذه الصخور غير العادية أحد أنواع البيرودوتيت. وتتكون هذه الصخور على الأرجح في أعماق القشرة الأرضية، أو في الستار على أعماق تتراوح بين 150 km و 300 km؛ لأن الألماس الذي تحويه هذه الصخور مع معادن أخرى لا يمكن أن يتكون إلَّا تحت ضغط عال جدًّا.

وقد وضع الجيولوجيون فرضية مفادها أن صهارة الكمبرليت قد حُقنت بسرعة إلى أعلى في اتجاه سطح الأرض، مشكّلةً تراكيب طويلة ضيِّقة في صورة أنابيب، تمتد عدة كيلومترات في القشرة الأرضية، وتتراوح أقطارها بين 100 m و 300 m ومعظم ألماس العالم يأتي من مناجم جنوب إفريقيا. انظر **الشكل 15– 2**.

الصخور النارية في البناء Igneous rocks in construction

للصخور النارية عدة خصائص تجعلها مناسبة للبناء؛ فنسيج بلوراتها المتداخل يجعلها قوية، بالإضافة إلى احتوائها على العديد من المعادن المقاومة للتجوية. والجرانيت من أكثر الصخور النارية ثباتًا ومقاومة للتجوية، ولعلك شاهدت الكثير منه يستخدم بلاطًا للأرضيات، وفي المطابخ والرفوف، وأسطح المكاتب، وفي تزيين أوجه البنايات.

وتستخدم الصخور النارية– ومنها الجرانيت والجابرو– في المملكة العربية السعودية بوصفها أحجار زينة، وتستخرج من مناطق الدرع العربي غربي المملكة العربية السعودية.

الشكل 15– 2 يستخرج الألماس من الكمبرليت في منجم في جنوب إفريقيا.

التقويم 2–2

الخلاصة

- يعتمد تصنيف الصخور النارية على ثلاث خصائص رئيسة هي: التركيب المعدني والنسيج وحجم البلورات.
- يحدد معدل التبريد حجم البلورة.
- يكثر وجود الخامات في البيجماتيت. ويوجد الألماس في الكيمبرليت.
- تستخدم بعض الصخور النارية كمواد بناء؛ بسبب متانتها وجمالها.

فهم الأفكار الرئيسة

1. **الفكرة الرئيسة** استنتج لماذا التركيب الكيميائي للأوبسيديان الأسود أو الأحمر تركيبًا جرانيتيًّا؟
2. صف مجموعات الصخور النارية الثلاث الرئيسة.
3. طبِّق ما تعرفه عن معدلات التبريد في توضيح الاختلاف في حجوم البلورات.
4. ميِّز بين الأنديزيت والديوريت من خلال خاصيتين فيزيائيتين من خصائص الصخور النارية.

التفكير الناقد

5. حدِّد أيهما أكثر قابلية لتكوين بلورات مكتملة الأوجه في الصخور النارية: الكوارتز أم فلسبار البلاجيوكليز؟ وضح إجابتك.

الرياضيات في الجيولوجيا

6. قطعة جرانيت كثافتها $2.7 g/cm^3$، صنع منها طاولة مطبخ مستطيلة، سمكها 2 cm، وبُعداها $2.5 m \times 0.6 m$؟ ما كتلتها بالجرام؟

SA.GEO.SE.CH02.indd 53 4/8/19 4:35 PM

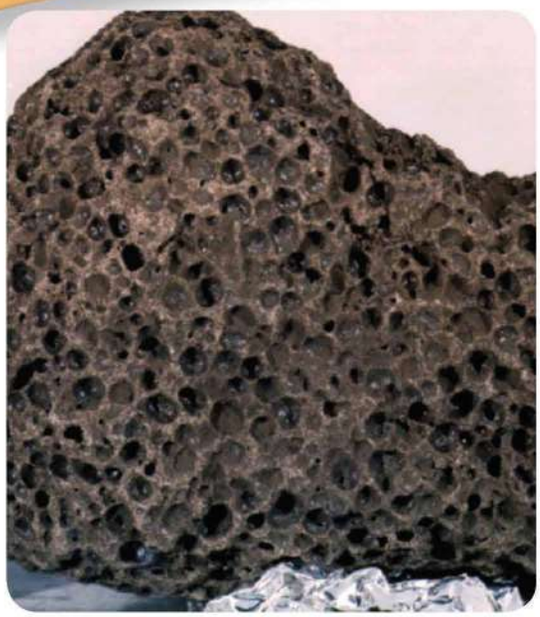
صخور القمر Moon Rocks

قام رواد الفضاء بست رحلات فضائية بالسفينة أبوللو إلى القمر بين عامي 1969 و 1972م؛ للحصول على معلومات عن نشأة القمر وتاريخه وتركيبه. وجمعوا نحو 2415 عينة مختلفة الأحجام من صخور القمر تزن حوالي 380 kg.

أنواع صخور القمر بدراسة العينات وتحليلها تبين أن صخور القمر تتنوع في ألوانها بين الرمادي والأسود والأبيض والأخضر، كما تختلف في نسيجها بين الزجاجي والقاسي والهشّ. وقد كشفت تحاليل الصخور أن هناك ثلاثة أنواع من الصخور على سطح القمر؛ وهي الصخور البازلتية التي نتجت عن الرماد البركاني واللابة التي وصلت إلى سطح القمر من خلال الشقوق التي تكونت بسبب ارتطام النيازك بسطح القمر. وصخور البريشيا التي تكونت عندما حطمت النيازك الصخور، وصهرت القطع معًا بفعل الحرارة الناجمة عن الارتطام. أما النوع الثالث هو صخر البريستين فلم ينتج عن ارتطام النيازك، بل هو صخر شائع رمادي اللون، يتكون من الفلسبار البلاجيوكليزي الغني بالكالسيوم.

مكونات صخور القمر تتميز صخور القمر عن غيرها بأمرين؛ أولهما: أنها غير مؤكسدة، ولا تحتوي على الماء، مع الأخذ في الاعتبار كمية الحديد التي يحتويها الصخر، حيث تختلف صخور الأرض عن صخور القمر في كون الأولى صدئة ومجواة، وثانيهما أن بعض سطوح صخور القمر مغطى ببثور (كبثور الجدري) تسمى حفر زاب (Zappits) تنتج عن ارتطام النيازك الدقيقة بصخور سطح القمر، وهذه غير موجودة على سطوح صخور الأرض؛ إذ تحترق في الغلاف الجوي قبل وصولها إلى سطح الأرض.

تصنيف صخور القمر يستعمل العلماء في تصنيف صخور القمر الخصائص نفسها المستعملة في تصنيف صخور الأرض، وقد سمَّى العلماء فئة جديدة من صخور القمر "كريب" (KREEP)، اعتمادًا على المكونات المعدنية؛ لكونها تحتوي على كميات كبيرة من البوتاسيوم (K) والعناصر الأرضية النادرة (REE) والفوسفور (P)، وهي أكثر إشعاعًا من صخور الأرض؛ لأنها تحتوي على ثوريوم أكثر.



الشكل 16– 2 قطعة من البازلت الذي جُمع من سطح القمر خلال رحلة أبوللو.

أبحاث صخور القمر ما زالت الأبحاث مستمرة على صخور القمر؛ حيث تمت حماية تلك العينات من التأكسد، بوضعها في أقبية من الفولاذ المضاد للصدأ في جو جاف من النيتروجين؛ لإبقائها بعيدة عن الرطوبة والصدأ. وما زال العلماء يواصلون بحوثهم حول هذه الصخور وهم يدرسون نشأة القمر وتاريخه.

الكتابة في الجيولوجيا

مقالة علمية ابحث باستخدام مصادر المعرفة المختلفة حول كيفية جمع العينات الصخرية من القمر، وطريقة تحليلها، وأهميتها العلمية. واكتب مقالة تلخّص فيها المعلومات الرئيسة حول ذلك، ثم تبادل المقالات مع زملائك.

SA.GEO.SE.CH02.indd 54 4/8/19 4:35 PM

مختبر الجيولوجيا

صمم بنفسك

نموذج تكون البلورات

خلفية علمية: يعتمد حجم بلورات الصخور النارية على معدل تبريد الصهارة، ومن الصعب مشاهدة تبلور الصهارة؛ لأنها ساخنة جدًّا، وكذلك بسبب بطء عملية التبلور. لكن هناك بعض المواد التي تتبلور عند درجات حرارة منخفضة، لذلك يمكن استعمالها لنمذجة عملية تبلور المعادن من الصهارة.

سؤال: كيف تتبلور المعادن من الصهارة؟

الأدوات

أطباق بتري نظيفة	مقياس حرارة
محلول الشب المشبع	مناشف ورقية
كأس زجاجية سعة 200 mL	ماء
عدسة مكبرة	مصدر حراري
ورق مقوى أسود	

إجراءات السلامة

احذر: عند صب محلول الشب في أطباق بتري لأول مرة لأنه ساخن، وقد يسبب تهيجًا للجلد. وإذا لامس المحلول الجلد فاغسله بماء بارد.

خطوات العمل

1. اقرأ احتياطات السلامة الخاصة بهذا النشاط.
2. خطِّط مع زملائك في المجموعة كيف تغيرون معدل تبريد محلول الشب الساخن في أطباق بتري، كل عضو في المجموعة سيختار طبق بتري في مكان محدَّد مسبقًا لمراقبته في أثناء الاستقصاء. تأكد من موافقة معلمك على الخطة المقترحة للعمل.
3. ضع ورقة مقواة سوداء على سطح مستوٍ، وتأكد أنك وضعتها في المكان المحدد مسبقًا، وضع أطباق بتري فوق الورقة.
4. استعمل كأسًا زجاجية للحصول على حوالى 150 mL من محلول الشب فوق المشبع من معلمك. درجة حرارة المحلول دون درجة الغليان؛ أي حوالي 95°C – 98°C.

5. املأ كل طبق من أطباق بتري إلى نصفه بالمحلول فوق المشبع مع اتباع إجراءات السلامة في أثناء صب المحلول.
6. راقب أطباق بتري كل 5 دقائق ولمدة 30 دقيقة، وسجِّل ملاحظاتك، وارسم البلورات التي بدأت تتكون.

التحليل والاستنتاج

1. **قارن** بين طريقة التبريد وبين الطرائق التي استعملتها المجموعات الأخرى. هل تظن أن هناك طريقة أفضل من الأخرى؟ وضح إجابتك.
2. **اختبر** بلوراتك. كيف تبدو؟ هل حجومها متساوية؟ وهل هي متشابهة في الشكل؟
3. **ارسم** شكل البلورات الأكثر شيوعًا، وقارن بين رسمك ورسوم المجموعات الأخرى. صف أيَّ نمط لاحظته في رسوم المجموعات الأخرى.
4. **استنتج** العوامل المؤثرة في حجم البلورات (الأطباق المختلفة). كيف عرفت ذلك؟
5. **فسِّر** لماذا يختلف شكل البلورات عند نموها؟
6. **قارن** بين هذه التجربة وتبلور الصهارة في الطبيعة.
7. **قوِّم** العلاقة بين معدل التبريد وتكون البلورات.

شارك بياناتك

راجع مع أقرانك. ضع ملخصًا لبيانتك، ثم قارنها مع الطلبة في الصف.

SA.GEO.SE.CH02.indd 55 4/8/19 4:35 PM

الفصل 2

دليل مراجعة الفصل

الفكرة العامة الصخور النارية أول الصخور التي تشكلت عندما بردت الأرض وتبلورت في القشرة الأرضية الأولية.

المفردات	المفاهيم الرئيسة
2–1 ما الصخور النارية؟	
اللابة الصخور النارية الانصهار الجزئي سلاسل تفاعلات باون التبلور الجزئي	**الفكرة الرئيسة** الصخور النارية هي الصخور التي تتكون عندما تبرد المواد المنصهرة الموجودة في باطن الأرض، وتتبلور. • تتكون الصهارة من صخور منصهرة وغازات مذابة وبلورات معادن. • تصنف الصهارة إلى بازلتية وأندزيتية وريولايتية؛ اعتمادًا على نسبة السيليكا في كل نوع. • المعادن المختلفة تنصهر وتتبلور عند درجات حرارة مختلفة. • تبين سلسلة تفاعلات باون تسلسل تبلور المعادن من الصهارة.
2–2 تصنيف الصخور النارية	
الصخور الجوفية (المتداخلة) الصخور السطحية الصخر البازلتي الصخر الجرانيتي الصخور المتوسطة الصخور فوق القاعدية النسيج النسيج البورفيري النسيج الفقاعي البيجماتيت الكمبرليت	**الفكرة الرئيسة** يعتمد تصنيف الصخور النارية على مكوناتها المعدنية وحجم بلوراتها ونسيجها. • تصنف الصخور النارية اعتمادًا على خصائصها. • يعتمد حجم البلورات على معدل التبريد. • غالبًا توجد الخامات في البيجماتيت، والألماس في الكيمبرليت. • تستخدم بعض أنواع الصخور النارية في البناء؛ لصلابتها، وتحملها الضغط، ولجمالها.

SA.GEO.SE.CH02.indd 56 4/8/19 4:35 PM

الفصل 2 تقويم الفصل

مراجعة المفردات

ضع المصطلح الصحيح مكان الكلمات التي تحتها خط فيما يأتي:

1. تتصاعد الغازات من الصهارة مع تدفقها على سطح الأرض.
2. يصف مقياس موهس للقساوة الترتيب الذي تتبلور على أساسه المعادن.
3. تتميز الصخور الجرانيتية بلونها الغامق ومحتواها القليل من السيليكا.
4. تتكون اللابة في الأعماق تحت القشرة الأرضية.

املأ الفراغ في الجمل الآتية بالمفردات الصحيحة:

5. يسمى النسيج الناري الذي يمتاز باحتوائه على بلورات كبيرة في أرضية من البلورات الصغيرة .....
6. يقال عن الصخور النارية التي تتكون في ظروف تبريد سريعة إنها .....
7. يقال عن الصخور الفاتحة اللون ذات البلورات كبيرة الحجم إنها .....

تثبيت المفاهيم الرئيسة

8. ما أول المعادن التي تتكون عندما تبرد الصهارة؟

a. الكوارتز c. الفلسبار البوتاسي
b. المايكا d. الأوليفين

استعمل الصورتين أدناه في الإجابة عن السؤال 9.

9. ما العملية التي حدثت؟

a. الانفصال الجزئي c التبلور الجزئي
b. الفصل البلوري d. الانصهار الجزئي

10. أيُّ المعادن مرتبط بالفرع الأيمن من سلاسل تفاعلات باون؟

a. أوليفين وبيروكسين c. فلسبار
b. مايكا وفلسبار d. كوارتز وبيوتيت

11. أيُّ أنواع الصهارة تحتوي كمية أكبر من السيليكا؟

a. البازلتية c. الريولايتية
b. الأندزيتية d. البيردويتية

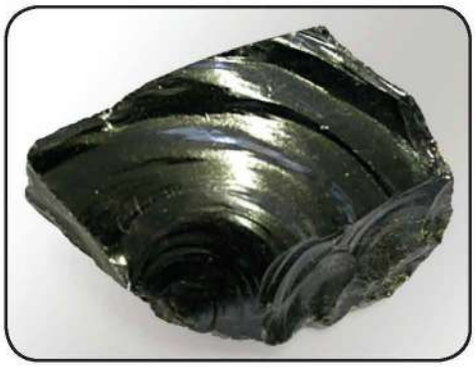
12. أيُّ العوامل الآتية لا يؤثر في تكون الصهارة؟

a. الحجم c. الضغط
b. درجة الحرارة d. المكونات المعدنية

13. أي الصخور السطحية الآتية لها مكونات الديوريت نفسها؟

a. الريولايت c. الأوبسيديان
b. البازلت d. الأنديزيت

استعمل الشكل أدناه للإجابة عن السؤال 14.



14. أيُّ العمليات كوَّنت هذا الصخر؟

a. تبريد بطيء c. تبريد سريع جدًّا
b. تبريد سريع d. تبريد بطيء ثم سريع

SA.GEO.SE.CH02.indd 57 4/8/19 4:35 PM

تقويم الفصل 2

15. أيُّ أنـواع الصخور فـوق القاعدية تحتوي أحيانًا على الألماس؟

a. البيجماتيت
c. الجرانيت
b. الكمبرليت
d. الريولايت

16. لمعـدلات التبريد السريعة أثر في حجـم البلورات في الصخور النارية، حيث تكوّن:

a. بلورات صغيرة
c. بلورات فاتحة
b. بلورات كبيرة
d. بلورات داكنة

17. ما المصطلح الذي يصف الصخور النارية التي تتبلور داخل الأرض؟

a. الصهارة
c. اللابة
b. الجوفية
d. السطحية

18. أيُّ المعدنين أكثر شيوعًا في الجرانيت؟

a. الكوارتز والفلسبار
b. الأوليفين والبيروكسين
c. الفلسبار البلاجيوكليزي وأمفيبول
d. الكوارتز والأوليفين

أسئلة بنائية

19. **اعمل قائمة** ببعض اسـتخدامات الصخور النارية في صناعة البناء.

20. **فسِّر** كيف، ولماذا يختلف الفلسبار البلاجيوكليزي في الصخور البازلتية عنه في الصخور الجرانيتية؟

استعمل الصورتين الآتيتين للإجابة عن السؤالين 21 و 22.

21. **ارسـم** مخططا انسيابيًّا لتوثيق عملية تكون الثقوب في عينّة البازلت الفقاعي.

22. **فكر** في الأسباب التي تجعل عيّنة الخفاف (البيومس) تطفو فوق سطح الماء.

23. **وضِّح** بالرسـم كيف يغـير التبلور الجزئـي مكونات الصهارة من خلال تكون الأوليفين الغني بالحديد.

24. **طبق** مفاهيم درجة الحرارة والتبلور لتفسـير لماذا –في الغالب– توصـف الصهارة بأنها مزيـج من بلورات وصهير صخري.

استعمل الجدول الآتي للإجابة عن السؤالين 26 و25.

مكونات الصخر

المعدن	النسبة المئوية للمعدن في الصخر			
	الصخر 1	الصخر 2	الصخر 3	الصخر 4
كوارتز	5	35	0	0
فلسبار بوتاسي	0	15	0	0
فلسبار بلاجيوكليزي	55	25	0	55
بيوتيت	15	15	0	10
أمفيبول	25	10	0	30
بيروكسين	0	0	40	5
أوليفين	0	0	60	0

25. **حلـل** البيانـات في الجدول وفـسِّر أيَّ الصخور أكثر شبهًا بالجرانيت؟

26. **ادمج**. استعمل بيانات الصخر 4 وحقيقة أن بلوراته صغيرة، في تحديد اسمه.

SA.GEO.SE.CH02.indd 58 4/8/19 4:36 PM

2 تقويم الفصل

التفكير الناقد

27. **قارن** بين الأوبسيديان والجرانيت لتوضيح سهولة نحت الجرانيت لعمل لوحات فنيَّة.

28. **قوّم** هذه العبارة: من الممكن أن يكون محتوى الصهارة من السيليكا كبيرًا، مقارنة بالصخر الذي تكون منها.

29. **طبق** ما تعرفه عن قساوة المعادن لتفسير عدم خدش سكاكين الفولاذ غير القابل للصدأ شفرة قطع الجرانيت.

30. **استدل** تُعد صخور الكيمبيرليت مصدر معظم الألماس. لماذا يدرس العلماء صخور الكيمبيرليت ليتعرفوا المزيد عن ستار الأرض؟

31. **قوّم** تتكون الصخور عمومًا من المعادن، وعندما يبرد الصخر المنصهر بسرعة كبيرة يتحول إلى زجاج، والزجاج البركاني عبارة عن صخر ناري سطحي. قوّم إذا كان هذا الصخر يحتوي على المعادن أم لا. فسّر إجابتك (ملاحظة: تذكر تعريف المعدن في الفصل الأول).

32. **استدل**. لماذا تكون الصخور المكونة من المعادن التي تتبلور أولًا حسب سلاسل تفاعلات باون غير مستقرة وتتحلل بسرعة على سطح الأرض؟

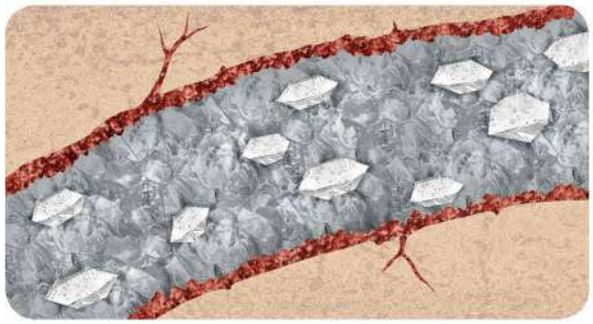
33. **كوِّن فرضية** كيف تبدو عتبة باليسيد إذا كان تركيب الصهارة جرانيتيًّا؟

خريطة مفاهيمية

34. استعمل المصطلحات الآتية في عمل خريطة مفاهيم تبين العلاقات بين المواقع في القشرة الأرضية والستار وحجم البلورات ونوع الصخر: سريع، بطيء، الأبطأ، جوفي، سطحي، صهارة، لابة، جرانيت، ريولايت، بازلت، جابرو، أوبسيديان، خفاف.

سؤال تحفيز

استعمل الصورة الآتية في الإجابة عن السؤال 35.



35. **حدد**. يوضح الشكل مقطعًا عرضيًّا لعرق في صخر ناري. ما مراحل تكوُّن هذا العرق الصخري؟

SA.GEO.SE.CH02.indd 59 4/8/19 4:36 PM

اختبار مقنن

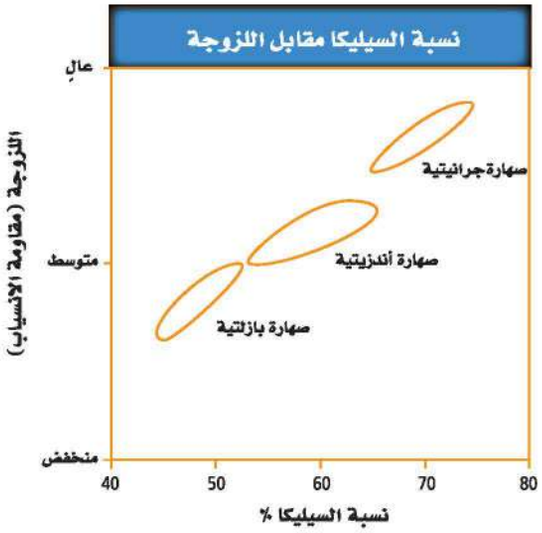
اختيار من متعدد

استعمل الجدول أدناه للإجابة عن السؤالين 1 و 2

خصائص الصخور			
	اللون	محتوى السيليكا	المكونات
الصخر A	فاتح	مرتفع	كوارتز وفلسبار
الصخر B	غامق	منخفض	أوليفين وبلاجيوكليز

1. ما نوع الصخر الأكثر شبهًا بالصخر A؟
   a. الجرانيت
   b. البازلت
   c. البيردوتيت
   d. الديوريت
2. ما نوع الصخر B؟
   a. الجرانيت
   b. الديوريت
   c. الجابرو
   d. البيجماتيت
3. أيُّ المواد الآتية أكثر وفرة في الصهارة، ولها تأثير كبير في خصائصها؟
   a. O
   b. Ca
   c. Al
   d. SiO_2
4. ما العملية التي تصف انتقال بلورات المعادن وانفصالها عن الصهارة؟
   a. الانصهار الجزئي
   b. التبلور الجزئي
   c. المهال الحراري
   d. الانفصال الجزئي
5. أيُّ الخصائص الآتية لا تُستعمل في تعرُّف المعادن؟
   a. القساوة
   b. اللون
   c. الكثافة
   d. الحجم

استعمل الرسم البياني الآتي في الإجابة عن السؤالين 6 و7.



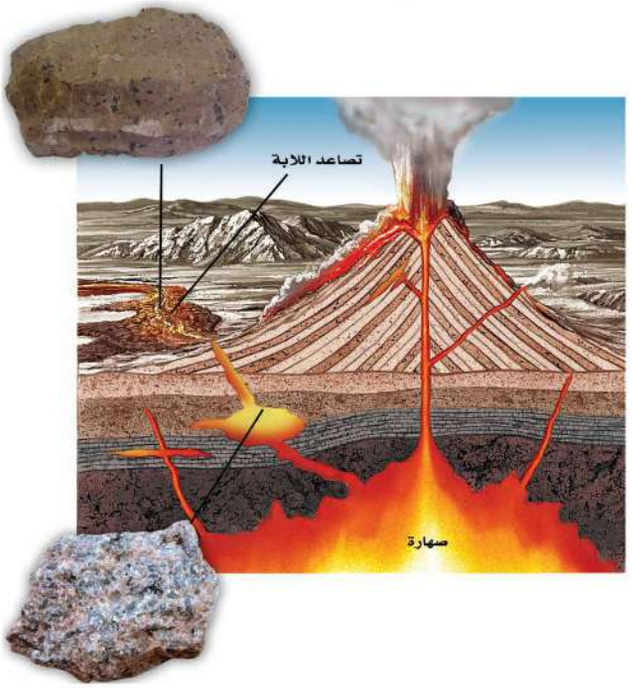
6. ما العلاقة التي يمكن استخلاصها من الرسم البياني؟
   a. الصهارة التي تحتوي على سيليكا أكثر تكون أعلى لزوجة.
   b. الصهارة التي تحتوي على سيليكا أقل تكون أعلى لزوجة.
   c. لزوجة الصهارة منخفضة دائمًا.
   d. لا توجد علاقة بين محتوى السيليكا واللزوجة.
7. ما العبارة الصحيحة حول الصهارة الجرانيتية؟
   a. أثقل من النوعين الآخرين من الصهارة.
   b. أخف من النوعين الآخرين من الصهارة.
   c. تنساب بسرعة أكبر من النوعين الآخرين من الصهارة.
   d. تنساب أبطأ من النوعين الآخرين من الصهارة.

SA.GEO.SE.CH02.indd 60 4/8/19 4:36 PM

اختبار مقنن

أسئلة الإجابات القصيرة

استعمل الشكل الآتي للإجابة عن الأسئلة 10– 8



8. ما نوع الصخر المبيَّن أسفل الصورة؟ أعط مثالًا على صخر شائع من هذا النوع، ووضح كيف يتكون هذا النوع.
9. ما نوع الصخر المبيَّن أعلى الصورة؟ أعط مثالًا لصخر شائع من هذا النوع، ووضح كيف يتكون هذا النوع.
10. ما الفرق بين طريقة تكون نوعي الصخور النارية؟
11. ما المقصود بأن المعدن يتكون طبيعيًّا، ومن أصل غير عضوي؟
12. لماذا تصنف بعض المعادن على أنها معادن نفيسة؟

القراءة والاستيعاب

براكين قاع المحيط

تتصاعد أعمدة الرماد البركاني وقطرات الكبريت المنصهر، ويتجمع الروبيان على وليمة من الأسماك التي قتلتها اللابة المتدفقة من فوهة البركان. هذا وصف لمشهد من فيلم تمَّ تصويره مؤخرًا تحت سطح الماء غرب المحيط الهادي.

المناظر التي يعرضها هذا الفيلم حقيقية، التقطت لبركان نشط من البراكين التي شكلت أقواس الجزر البركانية.

تحدث هذه البراكين بمحاذاة الأخاديد البحرية؛ حيث تنزلق صفيحة أرضية تحت صفيحة أخرى، وفي مقابل البراكين التي تحدث عند ظهر المحيط، حيث تتباعد الصفائح عن بعضها، فإن المقذوفات البركانية عند الأخاديد تتراكم بعضها فوق بعض، حيث ترتفع الجبال البركانية تدريجيًّا حتى تصل فوق سطح الماء، وتشكل الجزر البركانية. لقد مكَّنت التقنيات الحديثة العلماءَ من دراسة النشاط البركاني عند أقواس الجزر البركانية عن قرب، مما مكَّنهم من الحصول على معلومات واقعية عن عمليات تكوّن بعض هذه الجزر، ومنها جزيرة ماريانا. حيث تم رصد النشاط البركاني لجزيرة ماريانا للمرة الأولى عام 2004، ورغم أن النشاط البركاني في الجزيرة يحدث بمعدل ثابت وضعيف إلَّا أن ذلك لا يعني أنه كان نشطًا خلال العصور الماضية. وهذا يساعد العلماء على تصور الآلية التي تتكون بها هذه الجزيرة.

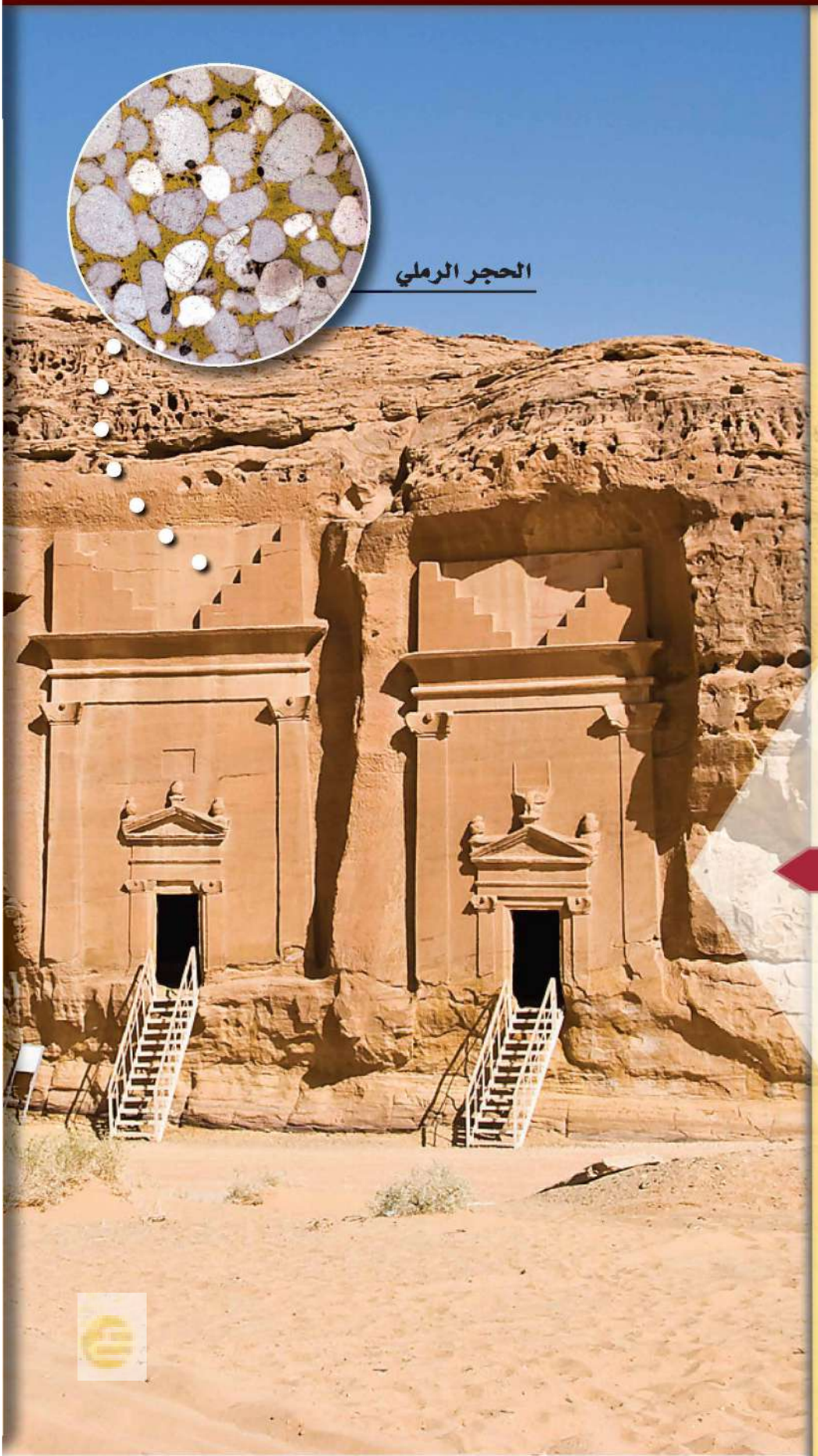
بعد قراءتك للنص أجب عن الأسئلة الآتية:

13. ما أهمية الدراسات الحديثة لجزيرة ماريانا؟
    a. تعطي العلماء فرصة لإلقاء نظرة واقعية على العمليات التي تشكل الجزر البركانية.
    b. تكشف أن البراكين يمكن أن تستمر في الثوران عقودًا طويلة.
    c. تكشف عن أسرار الحياة قرب فوهات البراكين.
    d. تمثل أول ملاحظة مباشرة على البراكين النشطة عند أقواس الجزر البركانية.
14. ماذا تستنتج من النص؟
    a. تستمر البراكين في الثوران بمستوى ثابت من الشدة.
    b. تحدث البراكين عند ظهر المحيط فقط.
    c. الروبيان يأكل الأسماك الميتة فقط.
    d. هناك نشاط بركاني في مواقع مختلفة تحت سطح الماء.

SA.GEO.SE.CH02.indd 61 4/8/19 4:36 PM

الفصل 3

الصخور الرسوبية والمتحولة
Sedimentary and Metamorphic Rocks



الفكرة العامة تنشأ معظم الصخور من صخور سابقة لها عبر عمليات جيولوجية خارجية أو داخلية.

3–1 تشكّل الصخور الرسوبية

الفكرة الرئيسة تنشأ الصخور الرسوبية عن تصخر الرسوبيات الناتجة عن عمليتي التجوية والتعرية.

3–2 أنواع الصخور الرسوبية

الفكرة الرئيسة تصنف الصخور الرسوبية بناء على طرائق تشكلها.

3–3 الصخور المتحولة

الفكرة الرئيسة تنشأ الصخور المتحولة عندما تتعرض صخور سابقة لها لزيادة الضغط والحرارة والمحاليل الحرارية المائية.

حقائق جيولوجية

مدائن صالح

- تقع مدائن صالح أو ما يُعرف بالحِجْر على بعد 22 km شمال شرق مدينة العُلا التابعة لمنطقة المدينة المنورة.
- تتكون صخور مدائن صالح من الحجر الرملي.
- أعلنت منظمة الأمم المتحدة للعلوم والتربية والثقافة عام 2008 أن مدائن صالح موقع تراث عالمي.

الربط مع رؤية ٢٠٣٠
رؤية VISION 2030
المملكة العربية السعودية KINGDOM OF SAUDI ARABIA
مجتمع حيوي
• من أهداف الرؤية: المحافظة على تراث المملكة الإسلامي والعربي والوطني والتعريف به.

نشاطات تمهيدية

تجربة استهلالية

ما الذي حدث هنا؟

الأحافير بقايا أو آثار لنباتات أو لحيوانات كانت تعيش في الزمن الماضي. في هذا النشاط، ستقوم بتفسير نشاط حيوان من آثار أقدامه الأحفورية.

الخطوات

1. اقرأ نموذج السلامة في المختبر.
2. ادرس صورة لمجموعة آثار أقدام حُفظت في صخور رسوبية.
3. اكتب وصفًا تبين فيه احتمال كيفية تكوُّن هذه الآثار.
4. ارسم مخططًا لمجموعة آثار أقدام أحفورية سجلت تأثير المخلوقات الحية في البيئة.
5. أعط مخططك إلى طالب آخر، واطلب إليه تفسير ما حدث.

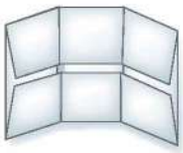
التحليل

1. حدد عدد الحيوانات التي خلَّفت هذه الآثار.
2. استدل على المعلومات التي يمكن الحصول عليها من دراسة آثار الأقدام الأحفورية.
3. فسّر هل تتفق إجابتك مع إجابات زملائك بالصف؟ ما الذي أدّى إلى وجود اختلافات في التفسير؟

المطويات
منظمات الأفكار

دورة الصخر اعمل المطوية الآتية لتوضح مسارات محتملة في تكون الصخور.

الخطوة 1: علّم رأسيًّا وسط ورقة مستطيلة، واطو أعلاها وأسفلها نحو الوسط لتشكيل جناحين.



الخطوة 2: اطوها إلى ثلاثة أقسام.

الخطوة 3: افتح الورقة، وقص الجناحين على طول خطوط الثني، كما هو موضح.

الخطوة 4: عنون أقسام المطوية كما هو موضح.

استخدم هذه المطوية في أثناء دراسة هذا الفصل. سجّل تحت كل عنوان العمليات التي يمكن للصخور أن تمر بها عندما تتغير من نوع إلى آخر، كما في العنوان المجاور في المطوية.

SA GEO SE CH03.indd 63 4/8/19 4:37 PM

رابط الدرس الرقمي

www.ien.edu.sa

3-1

تشكّل الصخور الرسوبية

Formation of Sedimentary Rocks

الأهداف

- تتبّع تشكُّل الصخور الرسوبية.
- توضح عملية التصخّر.
- تصف مظاهر الصخور الرسوبية.

مراجعة المفردات

النسيج: المظهر الفيزيائي للصخر أو ملمسه.

المفردات الجديدة

الرسوبيات
التصّخر
الترّاص
السمنتة
مادة لاحمة
التطّبق
التطّبق المتدّرج
التطّبق المتقاطع

الفكرة الرئيسة تنشأ الصخور الرسوبية عن تصخر الرسوبيات الناتجة عن عمليتي التجوية والتعرية.

الربط مع الحياة. قد ترى كمية من الرمل والتربة أو قطعًا مكسرة من الصخر على الأرض. ما الذي حدث لهذه المواد؟ وماذا سيحدث لها مستقبلاً؟

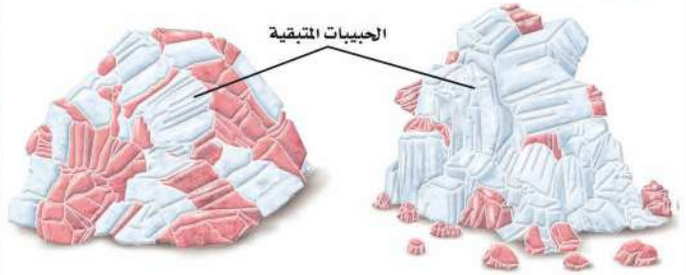
التجوية والتعرية Weathering and Erosion

تؤدي عمليات التجوية والتعرية إلى تكوّن رسوبيات تتراكم فتشكّل الصخور الرسوبية. **والرسوبيات Sediment** قطع صغيرة من الصخر انتقلت وترسّبت بفعل المياه والرياح والجليديات والجاذبية. وتتسبب مجموعة من العمليات الفيزيائية والكيميائية، إضافة إلى التجوية والتعرية، في تفتيت الصخور المتكشّفة فوق سطح الأرض إلى قطع أصغر فأصغر، تتحرك مع التيارات المائية، ومع مرور الوقت تتراكم وترسب وتلتحم معًا وتتصلّب فتكوّن صخورًا رسوبية.

التجوية Weathering تُنتج التجوية فتاتًا من الصخور والمعادن يعرف بالرسوبيات. ويتراوح حجم هذه الرسوبيات بين كتل ضخمة وحبيبات مجهرية. وتقسم التجوية إلى قسمين: تجوية كيميائية تحدث عندما تذوب أو تتغير معادن الصخر الأقل استقرارًا كيميائيًا. وتجوية فيزيائية تنفصل فيها الحبيبات أو البلورات الأكثر مقاومة عن الصخر على شكل حبيبات أصغر حجمًا، دون أن تتغير كيميائيًا. ويوضح الشكل 1–3 صخرًا تجوّى كيميائيًا وفيزيائيًا. ترى، ما الذي يحدث للمعادن الأكثر مقاومة للتجوية؟

الشكل 1–3 عندما يتعرض الجرانيت لنوعي التجوية الكيميائية والفيزيائية يتفتت في النهاية، ويمكن أن يتحلل، كما تشاهده في الشكل المجاور.

فسّر أي المعادن أكثر مقاومة للتجوية: الكوارتز، أو الفلسبار، أو المايكا؟



SA.GEO.SE.CH03.indd 64 4/8/19 4:38 PM

التعرية Erosion تسمى عملية إزالة الرسوبيات ونقلها التعرية. ويوضح الشكل 2–3 عوامل التعرية الأربعة: الرياح والمياه الجارية والجاذبية والجليديات. وتعد الرياح أكثر عوامل التعرية تأثيرًا في المملكة العربية السعودية؛ وذلك بسبب انتشار المناطق الصحراوية وقلة الغطاء النباتي فيها. وعندما تعصف الرياح على تلك المناطق تزيل الرمال والفتات الصخري وتحملها معها إلى أماكن أخرى ثم ترسبها على شكل كثبان رملية. وتؤثر المياه الجارية أيضًا على أراضي المملكة العربية السعودية، وعلى الرغم من قلة كميات الأمطار الساقطة عليها إلا أن مياه الأمطار تتجمع على شكل سيول وجداول بعد العواصف المطرية. ومن العلامات التي تدل بوضوح على حدوث التعرية تعكر مياه السيول بسبب اختلاط حبيبات الطين الناتجة عن التعرية مع المياه الجارية. وبعد تجوية الصخور تنتقل غالبًا إلى اماكن جديدة من خلال عملية التعرية، حيث تُحمل المواد وتنتقل دائمًا نحو المناطق المنخفضة أسفل المنحدر بتأثير الجاذبية الأرضية. وتعمل الجليديات أيضًا وهي كتل ضخمة من الجليد تتحرك عبر اليابسة على تعرية سطح الأرض. ولعلك لاحظت صورة مدائن صالح في بداية الفصل كيف أثرت التعرية على ارتفاع مستوى الأبواب عن سطح الأرض.

ماذا قرأت؟ لخص ما يجري في أثناء عملية التعرية.

الشكل 2–3 تتعرض الصخور المجوّاة والرسوبيات للتعرية والنقل بتأثير عوامل التعرية الرئيسة: الرياح والمياه الجارية والجاذبية الأرضية والجليديات.

الرياح

المياه الجارية

الجاذبية

الجليديات

SA.GEO.SE.CH03.indd 65 4/8/19 4:38 PM

تجربة

نموذج لتطبّق الرسوبيات

كيف تتشكّل الطبقات في الصخور الرسوبية؟

توجد الصخور الرسوبية عادة على شكل طبقات. ستلاحظ في هذا النشاط كيف تتشكّل الطبقات من ترسب حبيبات في الماء.

خطوات العمل

1. اقرأ نموذج السلامة في المختبر.
2. احصل على $100\ cm^3$ من الرسوبيات من مكان يحدده معلمك.
3. ضع الرسوبيات في قنينة لها غطاء سعتها 200 mL.
4. ضع ماءً في القنينة إلى ثلاثة أرباعها.
5. أحكم إغلاق القنينة بالغطاء.
6. احمل القنينة بكلتا يديك واقلبها عدة مرات لخلط الماء والرسوبيات معًا، ودع القنينة مقلوبةً قبل أن تضعها معتدلةً على سطحٍ مستوٍ، ثم اتركها مدة 5 دقائق تقريبًا.
7. لاحظ عملية الترسيب.

التحليل

1. وضّح ما لاحظته على شكل مخطط.
2. صف نوع الحبيبات التي ترسبت أولًا في قاع القنينة.
3. صف نوع الحبيبات التي تكوّن الطبقات العليا.

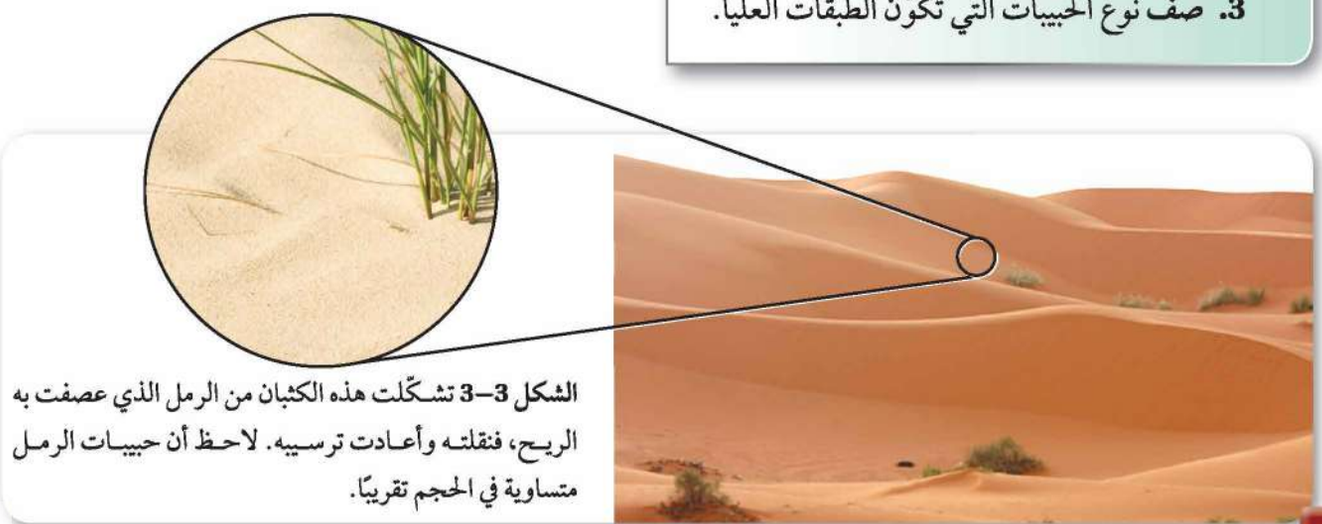
الترسيب Deposition يحدث الترسيب عندما تستقر الرسوبيات المنقولة على سطح الأرض، أو تهبط في قاع حوض مائي. ما الذي حدث في التجربة عندما توقفت عن قلب القنينة المليئة بالماء والرسوبيات؟ هبطت الرسوبيات إلى القاع وترسبت في طبقات، بحيث استقرت الحبيبات الكبرى في الأسفل والحبيبات الصغرى فوقها. وبالمثل، تترسب الرسوبيات في الطبيعة عندما يتوقف عامل النقل أو تقل سرعته. فعندما يتوقف هبوب الرياح، أو عند دخول نهر مياهًا هادئة في بحيرة أو محيط تترسب الرسوبيات المحمولة مكونةً طبقات من الرسوبيات، وتكون الحبيبات الكبيرة في الأسفل.

طاقة عوامل النقل Energy of transporting agents

تستطيع المياه السريعة أن تنقل حبيبات كبيرة الحجم أفضل من المياه البطيئة الحركة؛ فعندما تقل سرعة المياه تترسب أولًا الحبيبات الكبرى، ثم الصغرى وهكذا، بحيث تُفرز الحبيبات المتساوية الحجوم في طبقات. أما الرياح فلا تحرك إلا الحبيبات الصغيرة. ولهذا تتكون الكثبان الرملية في العادة من رمل ناعم جيد الفرز، كما في الشكل 3–3. ولكن ليست جميع الرسوبيات مفروزة؛ فالجليديات مثلًا تحمل جميع المواد على اختلاف حجومها بالقدر نفسه؛ فتحمل الصخورَ الكبيرة والرمل والطين، وعندما تنصهر الجليديات فإنها تلقيها دفعة واحدة على هيئة كومة غير مفروزة.

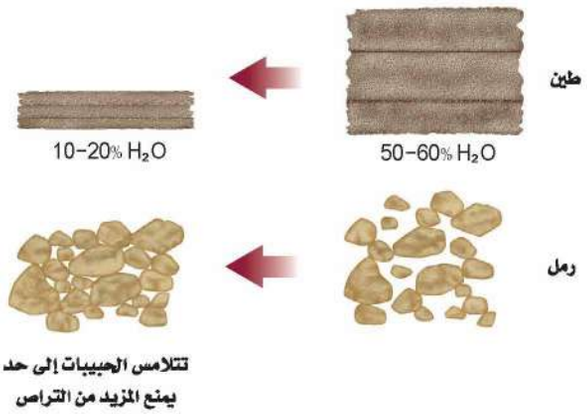
التصخّر Lithification

تستقر معظم الرسوبيات في النهاية في المناطق المنخفضة على سطح الأرض، ومنها الأودية والأحواض. ومع استقرار المزيد من الرسوبيات بعضها فوق بعض في المنطقة نفسها



الشكل 3–3 تشكّلت هذه الكثبان من الرمل الذي عصفت به الريح، فنقلته وأعادت ترسيبه. لاحظ أن حبيبات الرمل متساوية في الحجم تقريبًا.

SA.GEO.SE.CH03.indd 66 4/8/19 4:38 PM



الشكل 4–3 يؤدي محتوى رسوبيات الطين المرتفع من الماء وشكل حبيباتها الأفقي إلى تراص كبير عندما تخضع لثقل الرسوبيات التي فوقها.

يزداد الضغط على الطبقات السفلى، فتزداد درجة حرارتها، مما يؤدي إلى تصخر الرسوبيات. و**التصخر Lithification** عمليات فيزيائية وكيميائية تؤدي إلى تماسك الرسوبيات وتكوُّن صخر رسوبي. والمقطع الأول من كلمة التصخر بالإنجليزية lithification وهو lithify مأخوذ من الكلمة اليونانية lithos، وتعني الحجر.

التراصّ Compaction تشمل عملية التصخر مجموعة من العمليات تبدأ بعملية **التراص Compaction**؛ وهي تقارب حبيبات الرسوبيات بسبب الضغط الناتج عن وزن الرسوبيات التي تعلوها، ويترتب على ذلك تغيرات فيزيائية، كما في الشكل 4–3. فطبقات الطين تحتوي على 60% من حجمها ماء تقريبًا. لذا ينقص حجمها عندما يخرج الماء منها بتأثير الضغط. أما الرمل فلا ينضغط بقدر انضغاط الطين في أثناء عملية الدفن؛ وذلك لأن حبيبات الرمل تتكون في العادة من الكوارتز، وهي غير قابلة للتشوُّه تحت ظروف الدفن العادية.

يشكل تلامس حبيبات الرمل بعضها بعضًا هيكلًا داعمًا يعمل على بقاء الفراغات بين الحبيبات، حيث توجد المياه الجوفية والنفط والغاز الطبيعي في هذه الفراغات في الصخور الرسوبية.

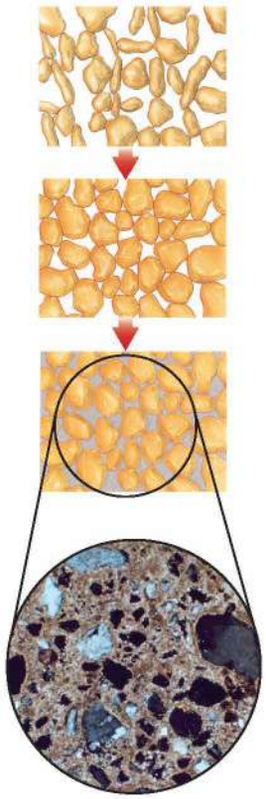
السمنتة Cementation لا يشكل الضغط القوة الوحيدة التي تربط الحبيبات معًا. حيث تحدث **السمنتة Cementation** وهي عملية يتم فيها ترسب معادن جديدة كانت مذابة ضمن المياه الجوفية بين الحبيبات الرسوبية مما يؤدي إلى التحام حبيبات الرسوبيات معًا مشكلةً صخرًا صلبًا. ويحدث هذا عندما تترسب **مواد لاحمة** ومنها: معدن الكالسيت $CaCO_3$ أو أكسيد الحديد Fe_2O_3 بين الحبيبات الرسوبية بالكيفية نفسها التي تترسب بها المعادن المذابة من المياه الجوفية. ويوضح الشكل 5–3 كيف تحدث هذه العملية.

معالم الصخور الرسوبية Sedimentary Features

كما تحتوي الصخور النارية على معلومات عن تاريخ نشأتها، فإن للصخور الرسوبية معالمها وخصائصها التي تساعد الجيولوجيين على تفسير نشأتها وتاريخ المنطقة التي تشكّلت فيها.

المطويات

ضمِّن مطويتك معلومات من هذا القسم.



الشكل 5–3 تترسب المعادن من المياه في أثناء تدفقها عبر مسامات الرسوبيات. تشكّل هذه المعادن مادة لاحمة تعمل على ربط الرسوبيات بعضها مع بعض.

SA.GEO.SE.CH03.indd 67 4/8/19 4:38 PM

الشكل 6–3 توضح الصورة كيف تم تسجيل التطبق المتدرج في أثناء انخفاض سرعة المياه وفقدان طاقتها الترسيبية.

التطبّق Bedding يسمى ترتُّب الصخور على هيئة طبقات أفقية **التطبق Bedding**. ويعدّ التطبق الأفقي هو الغالب والشائع في الصخور الرسوبية، ويحدث نتيجة للطريقة التي تترسب بها الرسوبيات بتأثير المياه أو الرياح. ويتراوح سمك الطبقة الواحدة بين ملمترات وعدة أمتار. وهناك نوعان مختلفان من التطبق، يعتمد كل منهما على طريقة النقل. أما حجم الحبيبات ونوع المادة المكوِّنة للطبقات فتعتمد على عوامل أخرى.

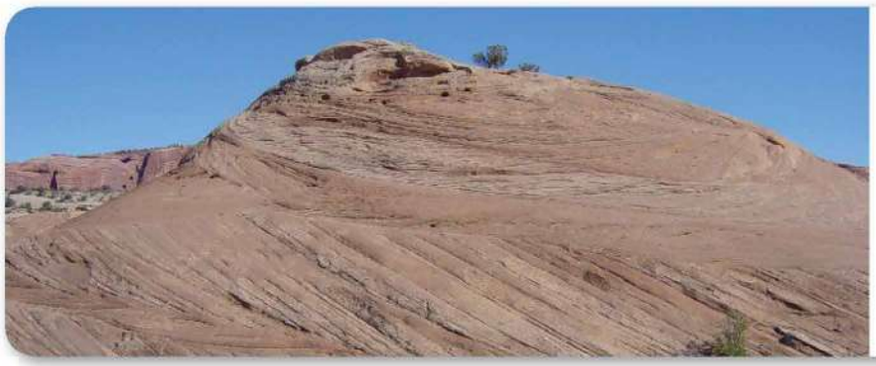
التطبّق المتدرّج Graded bedding يسمى نوع التطبق الذي تصبح فيه الحبيبات أثقل وأكبر حجمًا كلما اتجهنا إلى أسفل **التطبقَ المتدرج Graded bedding**. وغالبا ما يلاحظ التطبق المتدرج في الصخور الرسوبية البحرية فعندما تقل سرعة التيارات البحرية تفقد طاقتها على حمل الفتات الصخري، فتترسب المواد الأثقل والأكبر حجمًا أولًا، ثم تترسب بعدها بالتدريج المواد الأصغر. ويوضح الشكل **6–3** مثالًا على التطبق المتدرج.

التطبق المتقاطع Cross – bedding مظهر آخر مميز للصخور الرسوبية. ينشأ **التطبق المتقاطع Cross bedding**، كالذي يظهر في الشكل **7–3**، عندما تترسب طبقات مائلة نسبة إلى بعضها البعض، وبعد تصخُّر هذه الرسوبيات، يحتفظ الصخر بالتطبق المتقاطع. ويوضح الشكل **8–3** هذه العملية.

علامات النيم Ripple marks تتشكل علامات النيم – كما هو موضح في الشكل **8–3** –عندما تترسب الرسوبيات في تموجات صغيرة تكونت بفعل الرياح أو الأمواج أو التيارات النهرية. وتحفظ هذه العلامات في الصخر الصلب إذا طُمرت بهدوء ودون اضطراب أو اختلاط برسوبيات أخرى.

المهن في علم الأرض

عالم الرسوبيات: مهنة عالم الرسوبيات هي دراسة أصل الرسوبيات وترسيبها وتحولها إلى صخور رسوبية. وغالبا ما ينشغل علماء الرسوبيات في البحث عن البترول والغاز الطبيعي والمعادن المهمة اقتصاديًا والحصول عليها.

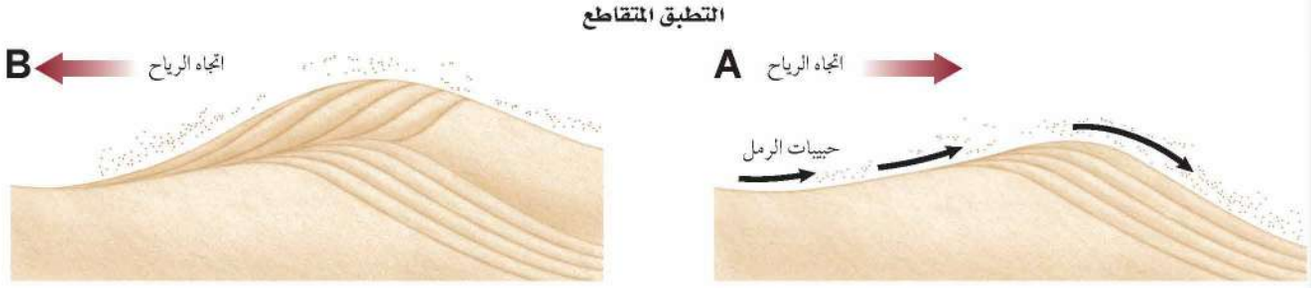


الشكل 7–3 تطبق متقاطع كبير الحجم في كثبان قديمة تشكّلت بالرياح.

SA.GEO.SE.CH03.indd 68 4/8/19 4:38 PM

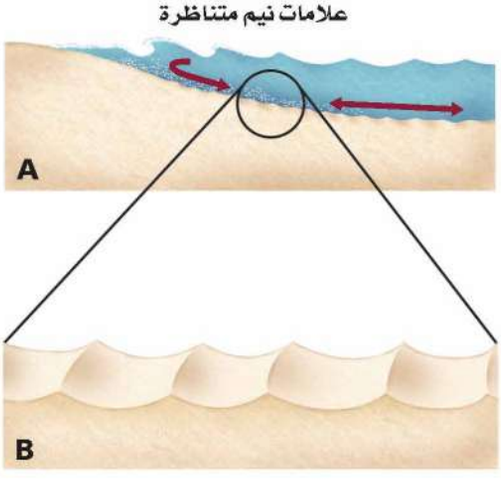
التطبق المتقاطع وعلامات النيم
Cross-Bedding and Ripple Marks

الشكل 8–3 ينتج عن حركة المياه والرسوبيات المفككة تكوّن تراكيب رسوبية كالتطبق المتقاطع وعلامات النيم.

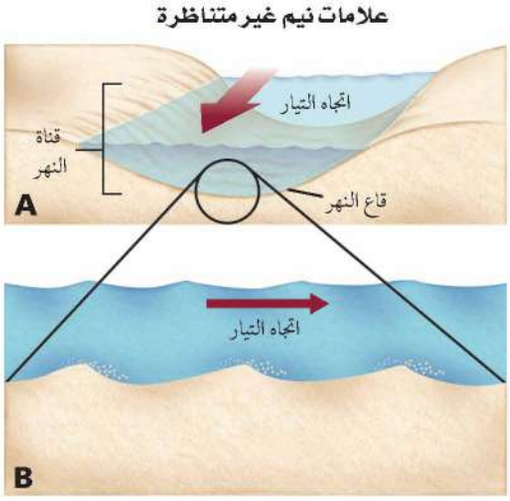


يستقر الرمل الذي تحمله الريح على جانب الكثيب البعيد عن اتجاه الريح، وعندما تغير الريح اتجاهها يتكون التطبق المتقاطع الذي يُظهر حادثة تغيير الاتجاه.

تُدفع رسوبيات قاع النهر بفعل حركة التيارات مشكلةً تلالًا صغيرة وتموجات، فإذا تلاها استقرار رسوبيات أخرى بزاوية معينة فوق الجانب المائل لهذه التلال في اتجاه التيار فعندئذ يتشكل التطبق المتقاطع. وفي النهاية تستوي المنطقة أو تتشكّل تلال جديدة، وتبدأ العملية من جديد.

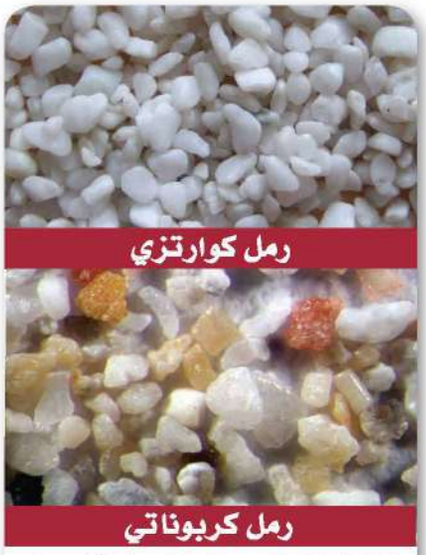


تؤدي حركة الأمواج على الشاطئ ذهابًا وإيابًا إلى دفع رمل القاع، فتشكل علامات نيم متناظرة؛ إذ تتوزع حبيبات الرمل على جانبي قمم التلال بانتظام.



تقوم التيارات التي تجري في اتجاه واحد – كتلك التي في الأنهار – بدفع رسوبيات القاع لتشكيل علامات نيم غير متناظرة؛ حيث يكون الجانب المعاكس لاتجاه التيار أكثر انحدارًا، ويحوي الرسوبيات الأخشن. لاحظ أن التيار المائي يسير من المنبع إلى المصب.

SA.GEO.SE.CH03.indd 69 4/8/19 4:38 PM



الشكل 9–3 حبيبات الرمل الكربوناتي المنقولة من مسافات قريبة حادة، مدببة الحواف، وليس لها استدارة أو نعومة كحبيبات الرمل الكوارتزي المنقولة من مسافات بعيدة.

الفرز والاستدارة Sorting and rounding تعد درجة فرز واستدارة الحبيبات أحد معالم الصخور الرسوبية حيث يُظهر التفحص الدقيق لحواف حبيبات الرمل أن بعضها مدبب الحواف، والبعض الآخر مستدير. فعندما يتكسّر الصخر يكون لشكل حواف القطع في بادئ الأمر زوايا حادة. وفي أثناء عملية النقل تصطدم الحبيبات معًا، فتتكسر الحواف الحادة، ومع الزمن تستدير حوافّ القطع الصخرية. وتتأثر درجة الاستدارة بمسافة نقل الرسوبيات وقساوة معادن الصخر؛ فكلما كان المعدن أكثر قساوة زادت فرصة استدارته قبل أن يتكسّر ويصغر حجمه كما يوضح الشكل 9–3.

أدلة من الماضي (الأحافير) Evidence of past life (Fossils) قد يكون أفضل دليل على تحديد الصخور الرسوبية احتواؤها على الأحافير؛ وهي كل ما يحفظ من بقايا أو طبعات أو أي آثار لمخلوقات عاشت في الماضي. فعندما يموت مخلوق حي ويُدفن قبل أن يتحلل قد يحفظ على شكل أحفورة حفظًا كاملاً دون تغير في تركيبه الكيميائي، وقد تحلّ معادن ذائبة في أثناء تكون الأحفورة محل الهيكل الصلب، فتغيّر تركيبه الكيميائي دون تغيير شكله الأصلي، ومنها تغير الأصداف المكونة من الكالسيت إلى سيليكا. ويهتم علماء الأرض بالأحافير؛ لأنها تزودهم بأدلة على أنواع المخلوقات الحية التي عاشت في الماضي البعيد، وكيف تغيرت عبر الزمن، وكذلك عن البيئات القديمة وقتئذٍ.

التقويم 1–3

الخلاصة

- تتشكّل الصخور الرسوبية بعمليات التجوية والتعرية والترسيب والتصخّر.
- تصبح الرسوبيات – بعمليتي التراصّ والسمنتة – صخورًا.
- الأحافير بقايا أو آثار مخلوقات حية كانت تعيش في الزمن الماضي، وتكون محفوظة – في الغالب – في الصخور الرسوبية.
- قد تحوي الصخور الرسوبية معالم مميزة، ومنها التطبّق المتدرج، والتطبّق المتقاطع، وعلامات النيم، واستدارة الحبيبات، واحتواؤها على الأحافير.

فهم الأفكار الرئيسة

1. **الفكرة الرئيسة** صف كيف تَنتج الرسوبيات عن التجوية والتعرية؟
2. **ارسم مخططًا.** لتوضيح لماذا تستقر الرسوبيات في طبقات؟
3. **وضح** كيف يتشكّل التطبق المتدرج باستخدام الرسم؟
4. **قارن** علاقة درجة الحرارة والضغط على سطح الأرض وما تحته بعملية التصخر.

التفكير الناقد

5. **قوِّم** هذه العبارة: قد يكون هناك تطبق متقاطع وتطبق متدرج في طبقة واحدة.
6. **حدد** في أي اتجاه تسير: نحو أعلى جدول جبلي جاف، أم نحو أسفله، بحيث تلاحظ أن شكل حبيبات الرسوبيات يصبح مدببًا أكثر باستمرار السير؟ فسر ذلك.

الكتابة في الجيولوجيا

7. تخيل أنك تصمم عرضًا لمتحف يتضمن صخورًا رسوبية تحوي أحافير المرجان وحيوانات بحرية أخرى. ارسم صورة البيئة التي تتوقع أنها كانت تعيش فيها. ثم اكتب وصفًا مرافقًا للصورة.

SA.GEO.SE.CH03.indd 70 4/8/19 4:38 PM

رابط الدرس الرقمي
www.ien.edu.sa

3-2

أنواع الصخور الرسوبية
Types of Sedimentary Rocks

الأهداف

- تصف أنواع الصخور الرسوبية الفتاتية.
- توضح كيفية تشكّل الصخور الرسوبية الكيميائية.
- تصف الصخور الرسوبية الكيميائية الحيوية.

مراجعة المفردات

محلول مشبع: أعلى محتوى ممكن من المعادن الذائبة في محلول.

المفردات الجديدة

الصخور الرسوبية الفتاتية

الفتاتي

المسامية

الصخور الرسوبية الكيميائية

المتبخرات

الصخور الرسوبية الكيميائية الحيوية

الفكرة الرئيسة تُصنّف الصخور الرسوبية بناء على طرائق تشكّلها.

الربط مع الحياة. إذا مشيت على طول شاطئ أو ضفة نهر فقد تلاحظ حجومًا مختلفة من الرسوبيات. يُحدد حجم حبيبات الرسوبيات نوع الصخر الرسوبي الذي يمكن أن يتشكّل منها.

الصخور الرسوبية الفتاتية
Clastic Sedimentary Rocks

أكثر أنواع الصخور الرسوبية شيوعًا **الصخور الرسوبية الفتاتية Clastic Sedimentary Rocks** التي تتشكّل من تراكم الرسوبيات المفككة على سطح الأرض. وكلمة **فتاتي Clastic** مأخوذة من كلمة klastos اليونانية بمعنى مكسّرة. وتُصنّف هذه الصخور بناء على حجم حبيباتها. انظر إلى الجدول 1-3 في الصفحة الآتية، الذي يلخص تصنيف الصخور الرسوبية بناء على حجم حبيباتها وطريقة تشكّلها ومكوناتها المعدنية.

الصخور الرسوبية الخشنة الحبيبات Coarse – grained rocks

تصنف الصخور الرسوبية المكونة من فتات الصخر والمعادن التي بحجم الحصباء على أنها صخور خشنة الحبيبات، كما في الشكل **10–3**. وبسبب كتلتها الكبيرة نسبيًّا تُنقل الحصباء بالتيارات المائية العالية الطاقة، كتلك التي تتولد في الجداول الجبلية، والأنهار الفائضة، ومياه الانصهار الجليدي. وفي أثناء عملية النقل تحتك الحبيبات بعضها ببعض، فتصبح مستديرة. وهذا هو سبب الاستدارة الجيدة لحصباء الشواطئ والأنهار وهذا يدل – كما ذكر سابقًا– على زيادة مسافة النقل. وتحوِّل عملية التصخُّر هذه الرسوبياتِ إلى صخر يسمى الكونجلوميرات.

وعلى نقيض الكونجلوميرات، تتكون البريشيا من حبيبات مدببة الحواف في حجم الحصباء. وتشير الحواف المدببة إلى أن الرسوبيات التي شكلت البريشيا لم تأخذ الوقت الكافي لتصبح مستديرة. ويدل هذا على أن هذه الحبيبات قد نقلت مسافة قصيرة واستقرت قريبًا من مصدرها. انظر الجدول **1–3**.

الشكل 10–3 تتكوّن صخور الكونجلوميرات والبريشيا من الرسوبيات الخشنة التي نقلت بمياه عالية الطاقة.

استدل على الظروف التي يمكن أن تسبب أنواع النقل اللازمة لتكوين هذين الصخرين.

الكونجلوميرات

البريشيا

SA.GEO.SE.CH03.indd 71 4/8/19 5:56 PM

الجدول 1–3 تصنيف الصخور الرسوبية

التصنيف	النسيج / حجم الحبيبات	المكونات	اسم الصخر
الفتاتية	خشن ($> 2\ mm$)	قطع من أي صخر – كوارتز وصوّان وكوارتزيت هي الشائعة.	كونجلوميرات (مستديرة) بريشيا (مدببة الحواف)
	متوسطة ($\frac{1}{16}\ mm - 2mm$)	كوارتز وقطع صخرية كوارتز وفلسبار بوتاسي وقطع صخر	حجر رملي حجر رملي أركوزي
	ناعمة ($\frac{1}{256}\ mm - \frac{1}{16}\ mm$)	كوارتز وطين	حجر الطمي
	ناعمة جدًّا ($< \frac{1}{256}\ mm$)	كوارتز وطين	الطَّفل
الكيميائية	ناعمة إلى خشنة التبلور	كالسيت $CaCO_3$	حجر جيري متبلور
	ناعمة إلى خشنة التبلور	دولوميت $(Ca, Mg)\ CO_3$ (يتفاعل مع الحمض إذا كان مسحوقًا)	دولوميت
	ناعمة التبلور جدًّا	كوارتز SiO_2 بلونيه الفاتح والغامق	صوّان
	ناعمة إلى خشنة التبلور	جبس $CaSO_4 . 2H_2O$	الجبس الصخري
	ناعمة إلى خشنة التبلور	هاليت $NaCl$	الملح الصخري
الكيميائية الحيوية	بلورات دقيقة مع تشققات محارية	كالسيت $CaCO_3$	مِكرايت
	أحافير كثيرة في أرضية من المِكرايت	كالسيت $CaCO_3$	حجر جيري أحفوري
	أووليت (كرات صغيرة من كربونات الكالسيوم)	كالسيت $CaCO_3$	حجر جيري أووليتي
	أصداف وأصداف مكسّرة مفككة	كالسيت $CaCO_3$	كوكينا
	أصداف مجهرية وصلصال	كالسيت $CaCO_3$	طباشير
	قطع مختلفة الحجوم	بقايا نبات متفحمة مع بعض الأحافير النباتية	فحم

المفردات

مفردات أكاديمية

خزّان جوفي

هو طبقات من الصخور تحت السطحية، بها قدر كاف من المسامية تسمح بتراكم كمية من النفط أو الغاز الطبيعي أو الماء. ومن الامثلة على الخزانات الجوفية في السعودية خزان الساق الذي يتكون من الحجر الرملي.

الصخور الرسوبية المتوسطة الحبيبات Medium–grained rocks

غالبًا ما تحوي قنوات الجداول المائية والأنهار والشواطئ والصحارى كميات وفيرة من الرسوبيات بحجم حبيبات الرمل. تصنف الصخور الرسوبية التي تتكوّن من قطع صخرية أو معدنية بحجم الرمل على أنها صخور فتاتية متوسطة الحبيبات. انظر إلى الجدول **1–3**. وتحوي الصخور الرملية في الغالب مجموعة من المعالم التي تهم العلماء. فمثلاً تشير علامات النيم والتطبق المتقاطع إلى اتجاه تدفق التيار. لذا يستعمل الجيولوجيون طبقات الصخور الرملية لعمل خرائط للجداول المائية القديمة وقنوات الأنهار.

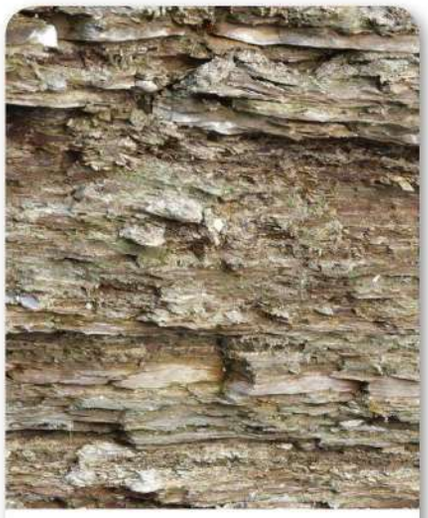
SA.GEO.SE.CH03.indd 72 4/8/19 4:38 PM

من خصائص الصخور الرملية المهمة أن مساميتها عالية نسبيًّا. والمسامية **Porosiy** هي النسبة المئوية للفراغات الموجودة بين الحبيبات المكونة للصخر. وقد تصل مسامية الرمل المفكك إلى 40٪. ويمكن المحافظة على هذه الفراغات في أثناء تحول الرمل إلى حجر رملي، مما يؤدي غالبًا إلى وجود مسامية قد تصل نسبتها إلى 30٪.

وعندما تكون المسام بعضها متصلًا ببعض تستطيع الموائع ومنها المياه أن تتحرك خلال الحجر الرملي بسهولة. وهذه الخاصية تجعل طبقات الصخور الرملية مهمة بوصفها خزانات تحت سطحية للنفط والغاز الطبيعي والمياه الجوفية.

الصخور الرسوبية الناعمة الحبيبات Fine–grained rocks تتكون هذه الصخور من حبيبات صغيرة بحجم حبيبات الطمي والطين. ومنها حجر الطمي والطَّفل. و تمثل هذه الصخور بيئات مياه ساكنة أو بطيئة الحركة كالمستنقعات والبرك. وفي غياب التيارات القوية وتأثير الأمواج تهبط هذه الرسوبيات إلى القاع، وتترسب في طبقات أفقية رقيقة. وعادة ما ينكسر الطَّفل على طول الطبقات الرقيقة، كما في الشكل **11–3**. وعلى النقيض من الحجر الرملي، تعمل الصخور الرسوبية الناعمة الحبيبات ذات النفاذية المنخفضة بوصفها حواجز تعيق حركة المياه الجوفية والبترول.

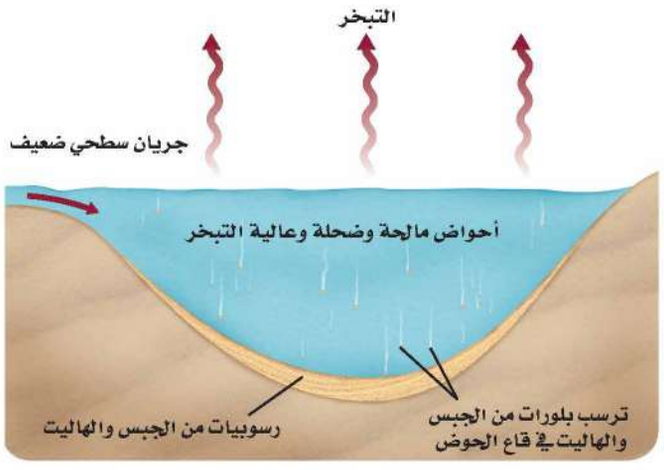
ماذا قرأت؟ وضح أنواع البيئات التي تتشكّل فيها الصخور الناعمة الحبيبات.



الشكل 11–3 ترسبت الرسوبيات الناعمة جدًّا في مياه هادئة وشكلت طبقات رقيقة من الطين.

الصخور الرسوبية الكيميائية والكيميائية الحيوية
Chemical and Biochemical Sedimentary Rocks

يتطلّب تشكّل الصخور الكيميائية والكيميائية الحيوية اشتراك عمليتي التبخّر وترسيب المعادن. ففي أثناء عملية التجوية تذوب المعادن وتُحمل إلى البحيرات والمحيطات. وعندما تتبخّر المياه من البحيرات والمحيطات تُترك المعادن الذائبة في المياه الباقية. وفي الأقاليم الجافة يمكن لمعدلات التبخر العالية أن تزيد تركيز المعادن الذائبة في المسطحات المائية. ويمثل الشكل **12–3** سبخة القصب غرب الرياض.



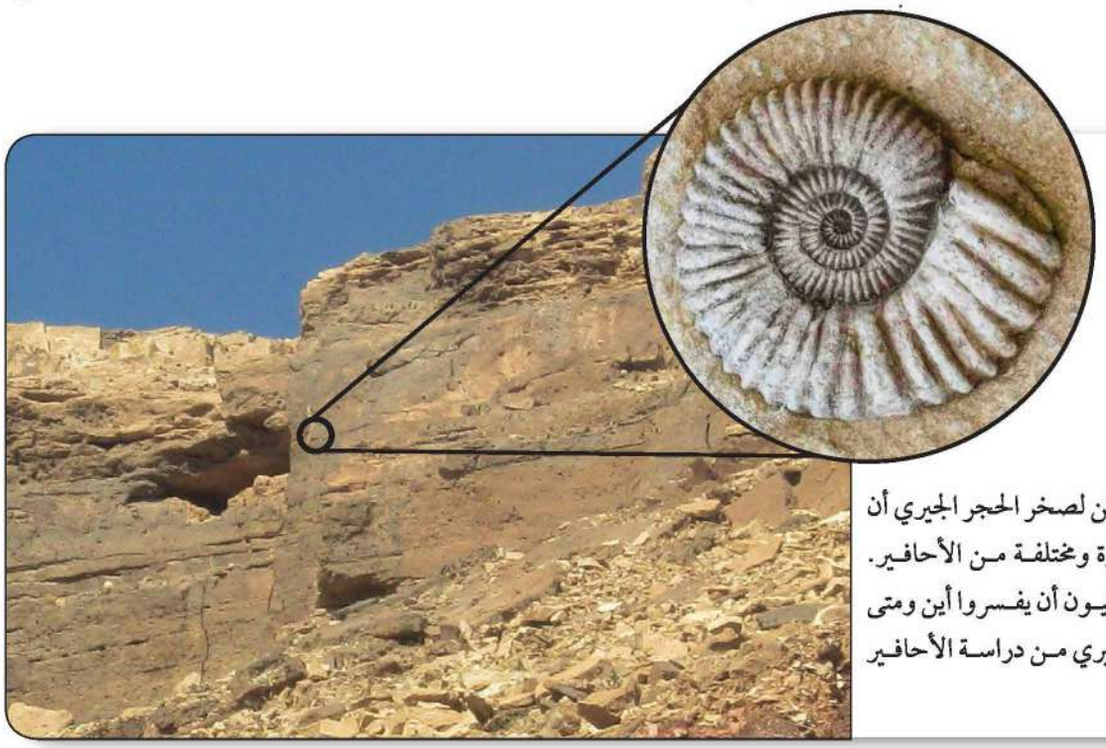
الشكل 12–3 يؤدي التبخر المستمر من مسطح مائي مالح إلى ترسيب كميات كبيرة من الملح. كما في سبخة القصب غرب الرياض.

SA.GEO.SE.CH03.indd 73 4/8/19 4:38 PM

الصخور الرسوبية الكيميائية Chemical sedimentary rocks عندما يزيد تركيز المعادن الذائبة في مسطح مائي عن حد الإشباع تترسب بلورات المعادن من المحلول، وتهبط إلى القاع. ونتيجة لذلك تتشكّل طبقات من **الصخور الرسوبية الكيميائية Chemical sedimentary rocks** تسمَّى **المتبخرات Evaporites**. تتشكّل المتبخرات في معظم الأحيان في الأقاليم الجافة، وفي أحواض التصريف المائي ذات التدفق المنخفض في القارات. وبسبب قلة المياه العذبة التي تتدفق إلى هذه المناطق يبقى تركيز المعادن المذابة مرتفعًا. وعلى الرغم من دخول المزيد من المعادن المذابة إلى هذه الأحواض يستمر تبخر المياه العذبة، مما يحافظ على تراكيز مرتفعة للمعادن. ومع مرور الزمن يمكن أن تتراكم طبقات سميكة من معادن المتبخرات على أرضية الحوض كما في الشكل **12–3**. ومن الأمثلة على هذه المعادن الجبس، الذي يتوافر في مناطق متعددة من المملكة العربية السعودية، ومنها منطقة مقنا شمال غرب المملكة العربية السعودية، ومنطقة الخرج، وبالقرب من مدينة بريدة.

الصخور الرسوبية الكيميائية الحيوية Biochemical sedimentary rocks

تتكون **الصخور الرسوبية الكيميائية الحيوية Biochemical sedimentary rocks** من بقايا مخلوقات حية كانت تعيش في الماضي. وأكثر هذه الصخور شيوعًا هو الحجر الجيري المكون أساسًا من معدن الكالسيت. وتَستعمل بعض المخلوقات الحية التي تعيش في المحيط كربونات الكالسيوم الذائبة في المياه لبناء أصدافها. وعندما تموت هذه المخلوقات الحية تهبط أصدافها إلى قاع المحيط فتشكّل طبقات سميكة من رواسب الكربونات. وفي أثناء عملية الدفن والتصخر تترسب كربونات الكالسيوم من المياه وتتبلور بين الأصداف وتشكّل الحجر الجيري. ويستخرج

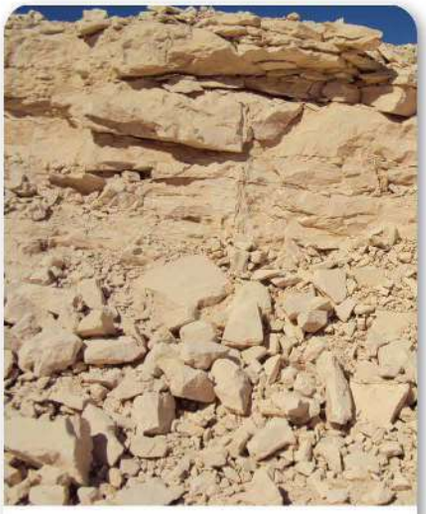


الشكل 13–3 يمكن لصخر الحجر الجيري أن يحوي أنواعًا كثيرة ومختلفة من الأحافير. ويستطيع الجيولوجيون أن يفسروا أين ومتى تشكّل الحجر الجيري من دراسة الأحافير الموجودة فيه.

SA.GEO.SE.CH03.indd 74 4/8/19 4:38 PM

الحجر الجيري من مناطق متعددة في المملكة العربية السعودية، ومنها منطقة أم الغربان شرق مدينة الخرج، ومنطقة سدوس، وشمال الدرعية بالقرب من الرياض. ومن الصخورالرسوبية الكيميائية الحيوية الأخرى في المملكة العربية السعوديةالفوسفات الذي يوجد في حزم الجلاميد بالقرب من مدينة عرعر. انظر الشكل الشكل 13–3.

يكثر وجود الحجر الجيري في البيئات البحرية الضحلة، ومن ذلك الشعاب المرجانية التي تنتشر بطول البحر الأحمر في مياه عمقها من 20 m – 15 غير بعيدة عن الشاطئ. و تتراكم هياكل وأصداف المخلوقات الميتة مكونةحجرًا جيريًّا. وتحتوي أنواع كثيرة من الحجر الجيري على أدلة على أصلها العضوي على هيئة أحافير وفيرة، كما في الشكل 14–3. ويمكن أن تتراوح أحجام هذه الأحافير بين أصداف كبيرة إلى أصداف مجهرية وحيدة الخلية، ولكن ليس جميع أنواع الحجر الجيري تحوي أحافير؛ فبعض أنواع الحجر الجيري مكونة من نسيج متبلور، وبعضها مكون من كريّات صغيرة من الرمل الكربوناتي، وبعضها الآخر مكون من طين كربوناتي ناعم الحبيبات. وهذه الأنواع كلها موجودة في الجدول 1–3.



الشكل 14–3 أحد منكشفات صخور الفوسفات في حزم الجلاميد شرق عرعر في المملكة العربية السعودية.

التقويم 2–3

الخلاصة

- الصخور الرسوبية فتاتية أو كيميائية أو كيميائية حيوية.
- تتشكّل الصخور الفتاتية من الرسوبيات، وتصنف على أساس حجم الحبيبات وشكلها.
- تتكون الصخور الكيميائية أساسًا من المعادن التي تترسب من المياه في مناطق ذات معدلات تبخر مرتفعة.
- تتكون الصخور الكيميائية الحيوية من بقايا مخلوقات عاشت في الزمن الماضي.
- تزود الصخور الرسوبية الجيولوجيين بمعلومات عن ظروف سطح الأرض التي سادت في الزمن الماضي.

فهم الأفكار الرئيسة

1. **الفكرة الرئيسة** اذكر نوع الصخر الرسوبي الذي يتشكّل من تعرية ونقل الحبيبات والقطع الصخرية وترسيبها.
2. وضح لماذا يعد الحجر الجيري صخرًا رسوبيًّا كيميائيًّا حيويًّا؟
3. حلل الظروف البيئية التي تفسّر تشكّل معظم الصخور الرسوبية الكيميائية في مناطق ذات معدلات تبخر مرتفعة.

التفكير الناقد

4. اقترح سيناريو يفسر إمكانية تشكّل طبقات متعددة من المتبخرات من مسطح مائي بحري، علمًا بأن الكمية الأصلية من المعادن المذابة فيه تكفي فقط لتكوين طبقة رقيقة من المتبخرات.

تفحص طبقات الطين في الشكل 11–3، وفسر عدم احتوائها على التطبق المتقاطع أو علامات النيم.

الرياضيات في الجيولوجيا

5. افترض أن طبقة من الطين سينقص حجمها بمقدار 35٪ في أثناء الترسيب والتراصّ، فإذا كان السمك الأصلي للطبقة هو 30 cm، فكم يصبح سمكها بعد عملية التراص؟

SA.GEO.SE.CH03.indd 75 4/8/19 4:39 PM

رابط الدرس الرقمي

www.ien.edu.sa

3-3

الأهداف

- تقارن بين أنواع الصخور المتحولة وأسباب تشكلها.
- تميز بين أنسجة التحول.
- تفسر كيفية حدوث التغيرات المعدنية والنسيجية في أثناء عملية التحول.

مراجعة المفردات

الصخور النارية الجوفية: صخور تشكّلت من صهارة بردت وتبلورت ببطء تحت سطح الأرض.

المفردات الجديدة

متورقة (صفائحية)

غير متورقة (غير صفائحية)

التحول الإقليمي

التحول بالتماس

التحول الحراري المائي

دورة الصخر

الصخور المتحولة Metamorphic Rocks

الفكرة الرئيسة **تنشأ الصخور المتحولة عندما تتعرض صخور سابقة لها لزيادة الضغط والحرارة والمحاليل الحرارية المائية.**

الربط مع الحياة. عند صناعة وطبخ المخبوزات تتحول جميع مكوناتها الأولية إلى شيء جديد. وكذلك تتغير خصائص الصخور إلى شيء جديد عندما تتعرض لدرجات الحرارة المرتفعة، وينتج عن ذلك صخور مختلفة كليًّا.

تعرُّف الصخور المتحوّلة

Recognizing Metamorphic Rocks

يوضح الشكل 15–3 صخورًا تحوّلت. كيف عرف الجيولوجيون حدوث ذلك؟ تزداد درجة الحرارة والضغط كلما تعمقنا في باطن الأرض، وعندما ترتفعان بقدر كافٍ تنصهر الصخور لتشكّل الصهارة. ولكن ما الذي يحدث لو لم تصل الصخور إلى درجة الانصهار؟ عندما تجتمع الحرارة والضغط العاليان، ويغيران نسيج الصخر ومكوناته المعدنية أو مكوناته الكيميائية من دون انصهاره يتشكّل الصخر المتحوّل. وكلمة تحول بالإنجليزية metamorphism مشتقة من الكلمة اليونانية meta بمعنى تغيّر، وكلمة morphe ومعناها شكل؛ إذ يتغير شكل الصخر في أثناء التحول، لكنه يبقى صلبًا.

وتتطلب عملية التحول درجات حرارة عالية، مصدرها حرارة باطن الأرض؛ ويتم ذلك بالدفن العميق، أو من الأجسام النارية الجوفية القريبة. أما الضغط العالي الذي تتطلبه عملية التحول فيتوافر بالدفن العميق أيضًا، أو من التضاغط الناتج في أثناء عملية تكوّن الجبال.

الشكل 15–3 يتطلب طي طبقات هذه الصخور أو ثنيها إلى الشكل الذي هي عليه اليوم وجود قوى كبيرة.

كوِّن فرضية للتغيرات التي حدثت للرسوبيات بعد استقرارها.

SA.GEO.SE.CH03.indd 76 4/8/19 4:39 PM

المعادن المتحولة Metamorphic minerals كيف يمكن أن تتغير المعادن من دون أن تنصهر؟ كما درستَ سابقًا، تتبلور المعادن من صهارة، وتبقى مستقرة ضمن مدى من درجات الحرارة المختلفة، وينطبق هذا المدى أيضًا على المعادن المكونة للصخور المتحوّلة، التي خضعت لتغيرات وهي في الحالة الصلبة. ففي أثناء التحول تتغير المعادن في الصخر إلى معادن جديدة بفعل ظروف الضغط والحرارة الجديدة. وقد قام العلماء بتجارب لتعرّف الظروف التي تؤدّي إلى تكوّن معادن جديدة تكرر ظهورها في الصخور المتحولة؛ وذلك لتفسير ما الذي يؤدي إلى تحوّل هذه الصخورداخل القشرة الأرضية. ويوضح الشكل **16–3** بعض المعادن المتحولة الشائعة.

ماذا قرأت؟ وضح ما المعادن المتحولة؟

أنسجة الصخور المتحولة Metamorphic textures تصنف الصخور المتحولة إلى مجموعتين على أساس النسيج: صفائحية (متورقة)، وغير صفائحية (غير متورقة). ويستعمل الجيولوجيون الأنسجة والمكونات المعدنية لتعرف الصخور المتحولة. ويوضح الشكل **17–3** كيفية استعمال هاتين الخاصيتين في تصنيف الصخور المتحولة.

الصخور المتورقة Foliated rocks تتميز الصخور المتحولة **المتورقة Foliated** بوجود المعادن في صفائح وأحزمة (خطوط)؛ حيث يتسبب الضغط العالي في أثناء التحول في صفّ المعادن الصفائحية أو الإبرية الشكل، بحيث يكون محورها الطويل متعامدًا مع الضغط، كما في الشكل **18–3** في الصفحة الآتية. وينتج عن هذا الاصطفاف المتوازي للمعادن التورق الذي تلاحظه في الصخور المتحولة المتورقة.

الستوروليت

المايكا

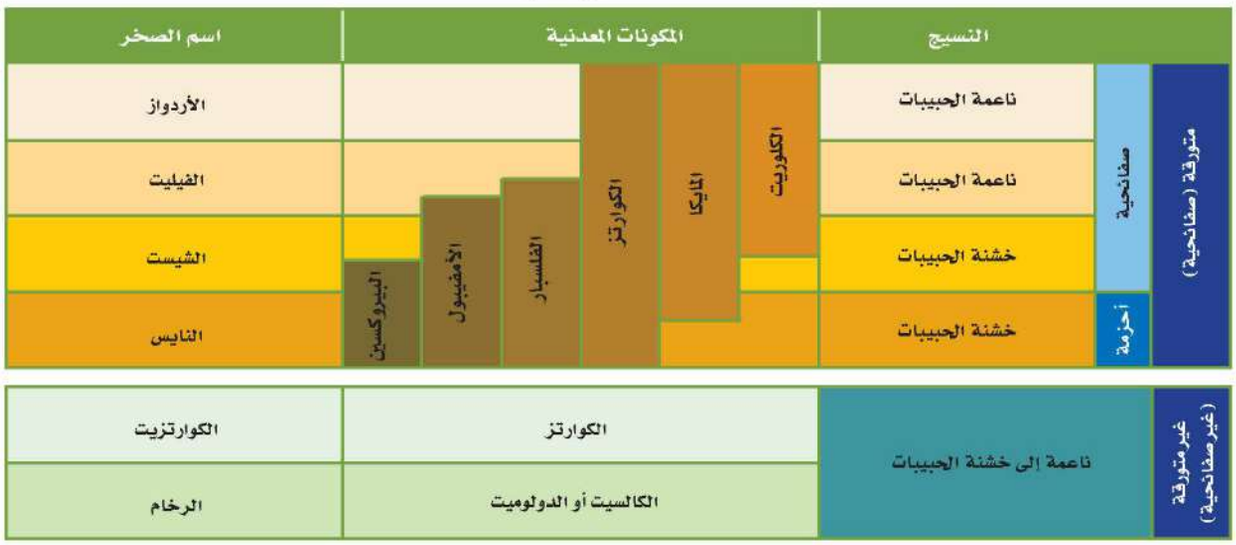
الجارنت

التلك

الشكل 16–3 معادن متحولة، منها المايكا والستوروليت والجارنت والتلك وتوجد بلوراتها بألوان وأشكال وأحجام متعددة، قد يكون لونها بين القاتم والفاتح.

الشكل 17–3 توازي الزيادة في حجم الحبيبات التغير في المكونات وتطور التورّق. ولا يعد حجم الحبيبات عاملًا في تصنيف الصخور غير المتورقة.

مخطط الصخور المتحولة



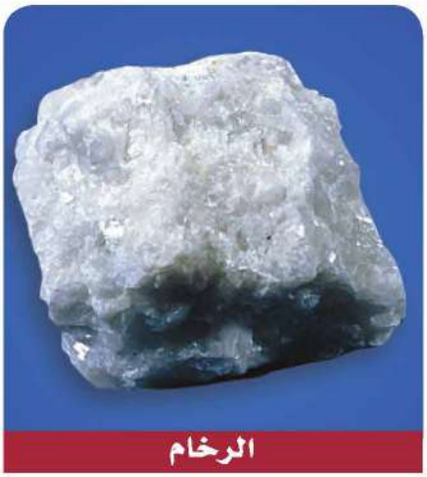
SA.GEO.SE.CH03.indd 77 4/8/19 5:57 PM

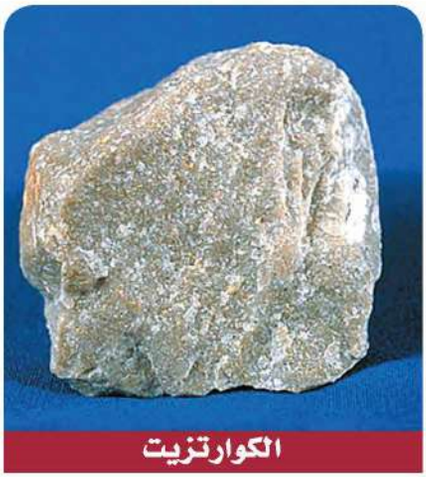
الشكل 18–3 يتطور التورق عندما يؤثر الضغط في اتجاهين متضادين، ويكون التورق متعامدًا على اتجاه الضغط.

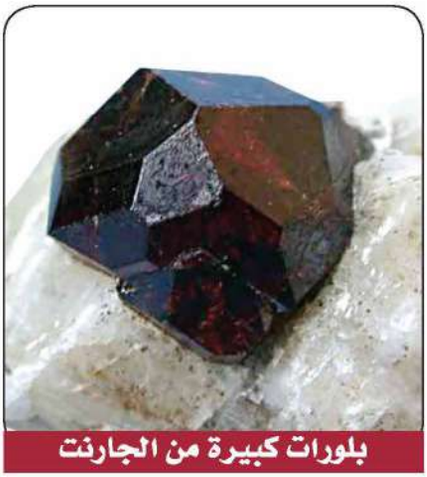
الصخور المتحولة غير المتورقة Nonfoliated rocks

تختلف الصخور المتحولة غير المتورقة Nunfoliated عن الصخور المتورقة في أنها مكونة من معادن ذات بلورات كتلية الشكل. ويوضح الشكل **19–3** مثالين شائعين على الصخور غير المتورقة، هما الرخام والكوارتزيت. والكوارتزيت صخر قاس، وغالبًا ما يكون فاتح اللون، وينشأ عن تحول الحجر الرملي الغني بالكوارتز، بينما ينشأ الرخام عن تحول الحجر الجيري. ونادرا ما تُحفظ الأحافير في الصخور المتحولة. وبعض أنسجة أنواع الرخام ملساء تشكّلت من تداخل حبيبات الكالسيت. وتستعمل أنواع الرخام هذه غالبًا في أرضيات المنازل. ويتم استخراج الرخام في المملكة العربية السعودية من عدة أماكن منها جبل خنوقة شمال شرقي عفيف، بينما يستخرج الرخام الأسود من جبل غرور ودمخ شمال غرب حلبان. ويمكن في ظروف معينة أن يكبر حجم المعادن المتحولة الجديدة، بينما تبقى المعادن المحيطة بها صغيرة الحجم. وعلى الرغم من أن هذه البلورات الكبيرة تشبه البلورات الكبيرة جدًّا في البيجماتيت الجرانيتي، إلا أنها تختلف عنها؛ فبدلًا من أن تتشكّل من الصهارة فإنها تتشكّل في الصخر الصلب من خلال إعادة ترتيب الذرات في أثناء التحول. ويوضح الشكل **19–3** معدن الجارنت الذي تشكل بهذه الطريقة.

الشكل 19–3 تختلف الصخور المتحولة الظاهرة في الشكل عن الصخور الرسوبية في أنها لا تُظهر وجود الأحافير فيها؛ لأن الحرارة الشديدة التي تعرضت لها أزالت تلك الأحافير. ومع ذلك، لا تؤدي عملية التحول دائمًا إلى تدمير التطبق المتقاطع وعلامات النيم التي يمكن مشاهدتها في بعض أنواع الكوارتزيت.


الرخام


الكوارتزيت


بلورات كبيرة من الجارنت

SA.GEO.SE.CH03.indd 78 4/8/19 4:39 PM

درجات التحول Grades of Metamorphism

تـؤدي توافقـات مختلفة من درجات الحرارة والضغـط إلى حدوث درجات تحول مختلفة. يقـترن التحول المنخفض الدرجة بدرجات الحـرارة والضغط المنخفضين وبمجموعـة محـددة مـن المعـادن والأنسـجة، بينما يقـترن التحول العـالي الدرجة بدرجـات حرارة وضغط مرتفعين وبمجموعة مختلفة من المعادن والأنسـجة. أما التحول المتوسط الدرجة فيقع بين التحولين منخفض الدرجة وعالي الدرجة.

ويوضح الشكل **20–3** المعادن الموجودة في صخر طَّفل متحول على درجات تحول مختلفة. لاحظ التغير في المكونات عندما تتغير الظروف من تحول منخفض الدرجة إلى عالي الدرجة. ويسـتطيع الجيولوجيون أن ينشـئوا ما يسـمى خرائط تحوّل من خلال إسقاط أماكن المعادن المتحولة على خريطة اقتصادية، وذلك لتحديد أماكن معادن متحولة إقتصادية ، منها الجارنت والتلك.

الشـكل 20–3 تحـول صخر الطَّفـل يؤدي إلى تكـون معادن مختلفة الألـوان في درجات تحول مختلفة.

أنواع التحول Types of Metamorphism

يمكـن أن تنتج آثـار التحول عن التحـول بالتماس والتحـول الإقليمي والتحول الحراري المائي، وتزودنا المعادن التي تشـكّلت ودرجة التغير التي حدثت للصخر بمعلومات عن نوع التحول ودرجته.

مختبر حل المشكلات

تفسير الرسوم العلمية التوضيحية

أي المعادن المتحولة يتشـكّل؟ يعتمد تشـكّل المعادن في الصخور المتحولـة عـلى درجـة تحـول الصخـر الأصـلي ومكوناتـه. ويوضـح الشـكل أدناه والشـكل **19–3** مجموعـات المعادن التي تتشكّل تحت ظروف مختلفة من التحول.

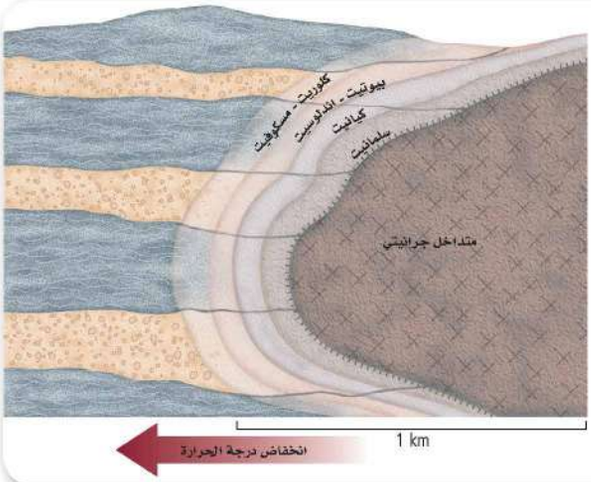
التحليل

1. مـا المعـدن الـذي يتشـكّل إذا تعـرض الطَّفـل والبازلت لتحول منخفض الدرجة؟
2. مـا المعـدن الذي يتشـكّل في الطَّفـل تحت ظروف التحول عالي الدرجة ، ولا يتشكّل في البازلت؟

التفكير الناقد

3. قارن مجموعات المعادن التي تتوقع تشكّلها في تحول متوسط الدرجة في كل من البازلت والطَّفل.
4. صـف الاختلاف في المكونات الرئيسـة بين الطَّفل والبازلت. كيف تعكس هذه الاختلافات المعادن التي تنشأ في أثناء التحول؟
5. فسر هناك تغير طفيف في المكونات المعدنية عندما يتحـول الحجـر الجـيري إلى رخـام؛ إلا أن معدن الكالسـيت يبقـى هو المعدن السـائد. فسر سـبب حدوث ذلك.

SA.GEO.SE.CH03.indd 79 4/8/19 4:39 PM



الشكل 21–3 قد يسبب التحول بالتماس الناتج عن حقن (المتداخل الجرانيتي) تشكّلَ أحزمة (نطق) من المعادن المتحولة.

وظّف ما تعلمته عن التحول بالتماس لتحديد نوع الصخر الموجود الآن على حافة الجسم الناري الجوفي.

المفردات

الاستعمال العلمي مقابل الاستعمال الشائع

متداخل (متطفل)

الاستعمال العلمي: صهارة متوضعة في صخر سابق.

الاستعمال الشائع: شخص تداخل في شؤون الآخرين؛ أي اقحم نفسه.

التحول الإقليمي Regional metamorphism ينشأ **التحول الإقليمي regional metamorphism** عندما تتعرض مناطق واسعة من القشرة الأرضية لدرجة حرارة وضغط مرتفعين، وتتراوح درجة التحول بين منخفض وعالٍ. أما نتائج التحول الإقليمي فتتضمن التغير المعدني ونوع الصخر، بالإضافة إلى طي وتشويه طبقات صخور المنطقة. ويوضح الشكل **15–3** طبقات صخور مطوية عانت من التحول الإقليمي.

التحول بالتماس contact meramorphism عندما تصبح مادة مصهورة كالأجسام النارية الجوفية، في تماس مع صخور صلبة، يحدث تأثير محلي نسميه **التحول بالتماس contact meramorphism** تتشكّل مجموعات المعادن المميزة للتحول بالتماس على درجات حرارة عالية وضغط متوسط إلى منخفض. ويوضح الشكل **21–3** نطق معادن مختلفة تحيط بالجسم الناري الجوفي. ولأن درجة الحرارة تنخفض عند الابتعاد عن الجسم الناري الجوفي فإن تأثيرات التحول تنخفض أيضًا مع المسافة. تعلمت سابقًا أن المعادن تتبلور عند درجات حرارة محددة، فالمعادن المتحولة التي تتشكّل عند درجات حرارة أعلى تكون أقرب إلى الجسم الناري الجوفي ، حيث أعلى درجة حرارة، ولأن اللابة تبرد بسرعة فإن الحرارة لا يمكنها أن تخترق كثيراً صخور السطح، لذا فإن تأثير التحول بالتماس الناتج عن الصخور النارية البركانية يكون محدودًا.

التحول الحراري المائي hydrothermal metamorphism يحدث **التحول الحراري المائي hydrothermal metamorphism** عندما تتفاعل مياه ساخنة جدًّا مع الصخر، فتغير مكوناته الكيميائية والمعدنية. وجملة الحراري المائي بالإنجليزية hydrothermal مشتقة من الكلمتين اليونانيتين hydro بمعنى الماء، و thermal بمعنى حرارة. ولما كانت الموائع في أثناء التحول تهاجر من الصخر وإليه، لذا فإن المكونات الكيميائية والنسيج الأصليين يمكن أن يتغيرا. وتكون التغيرات الكيميائية شائعة في التحول بالتماس بالقرب من الأجسام النارية الجوفية والبراكين النشطة. وغالبًا ما تتوضّع خامات اقتصادية بهذه الطريقة كالذهب والنحاس والخارصين والتنجستن والرصاص؛ فالذهب المتوضع في الكوارتز في الشكل **22–3** ناتج عن التحول الحراري المائي.

الشكل 22–3 تتكون عروق الذهب في الكوارتز عندما يبرد المحلول الحراري المائي.

SA.GEO.SE.CH03.indd 80 4/8/19 4:39 PM

الربط مع رؤية ٢٠٣٠

رؤية VISION 2030

المملكة العربية السعودية KINGDOM OF SAUDI ARABIA

مجتمع حيوي

● من أهداف الرؤية: تعظيم القيمة المتحققة من قطاع التعدين والاستفادة منها.

الأهمية الاقتصادية للصخور والمعادن المتحولة

Economic Importance of Metamorphic Rocks and Minerals

أدّى نمط الحياة الحديث إلى ازدياد استخراج واستخدام موارد الأرض الطبيعية. فنحن مثلًا نحتاج إلى الملح للطهي، والذهب للتجارة، وفلزات أخرى للبناء والأغراض الصناعية، كما نحتاج إلى الوقود الأحفوري للطاقة، وإلى الصخور والعديد من المعادن في المستحضرات التجميلية، إلى غير ذلك من الاستعمالات. ويوضح الشكل **23–3** مثالين لكيفية استعمال الصخور المتحوّلة في البناء. وينتج الكثير من هذه الموارد المعدنية الاقتصادية من عمليات التحوّل، ومن بينها: فلزات الذهب والفضة والنحاس والرصاص، بالإضافة إلى موارد غير فلزية مهمة وكثيرة.

موارد المعادن الفلزية Metallic mineral resources توجد الموارد الفلزية غالبًا على شكل خامات معدنية فلزية، وعلى الرغم من اكتشاف توضّعات فلزية نقية أحيانًا، فإن الكثير من التوضّعات غير النقية تترسّب من المحاليل الحرارية المائية، متركزة على هيئة عروق، أو منتشرة في كتلة الصخر. ويكثر وجود توضّعات الذهب والفضة والنحاس في العروق الحرارية المائية للكوارتز بالقرب من الأجسام النارية الجوفية. وتوجد معظم التوضّعات الفلزية الحرارية المائية على شكل كبريتيدات، ومنها: الجالينا (PbS)، والبيريت (FeS_2)، أو على شكل أكاسيد ومنها خاما الحديد (الماجنتيت والهيماتيت)؛ وهما معدنان تشكّلا بالتوضُّع من محاليل حرارية مائية حاملة للحديد. وفي المملكة العربية السعودية الكثير من المعادن التي توضّعت من المحاليل الحرارية المائية، ومنها: الذهب، والفضة، والنحاس.

ماذا قرأت؟ اذكر الموارد الاقتصادية التي تنتجها المحاليل الحرارية المائية.

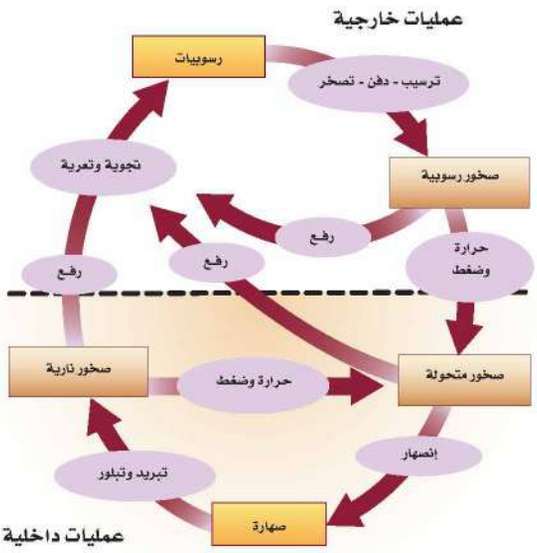
موارد المعادن غير الفلزية Nonmetallic mineral resources يؤدي تحوّل الصخور النارية فوق القاعدية إلى إنتاج معدني التلك والإسبستوس، ولما كانت قساوة التلك تساوي 1 على مقياس موهس، فإنه يستعمل بوصفه مسحوق بودرة، ومُشحِّمًا، كما يدخل في صناعة الدهانات. أما الإسبستوس فلأنه غير قابل للانفجار، وموصليته الحرارية والكهربائية منخفضة، لذا فإنه يستعمل مضادًّا للحريق وفي مواد العزل. وقبل أن تُعرف خصائصه المسببة للسرطان، استُعمل بشكل واسع في صناعة البناء، ولا تزال كثير من البنايات القديمة تحتوي على الإسبستوس. ومن المعادن الأخرى غير الفلزية التي تَنتج عن التحوّل معدن الجرافيت، وهو المكوّن الرئيس في صناعة أقلام الرصاص.

الشكل 23-3 الرخام والأردواز صخران متحولان استعملا في البناء منذ قرون.

دورة الصخر Rock Cycle

قد يتغير أي صخر إلى صخر آخر، وتسمى عملية التغير وإعادة التشكّل المستمرتان **دورة الصخر rock cycle**. ويلخص الشكل 24–3 دورة الصخر، حيث تمثل الأسهم العمليات المختلفة التي تغير صخرًا إلى نوع آخر. وتصنف أنواع الصخور الثلاثة– النارية والرسوبية والمتحولة – في مجموعات حسب طريقة تشكّلها. فالصخور النارية تتبلور من الصهارة، والصخور الرسوبية تتشكّل من رسوبيات ملتحمة أو مفككة، والصخور المتحولة تتكون عندما تتعرض الصخور الى حرارة وضغط.

وبعد أن يتشكّل الصخر، هل يحافظ على خصائصه ونوعه؟ قد يحدث ذلك، غير أن الاحتمال الأكبر هو ألا يظلّ كذلك؛ فقد تغير الحرارة والضغط الصخور النارية إلى صخور متحولة، وقد يتغير صخر متحول إلى صخر متحول آخر أو ينصهر، ومن ثم يكوّن صخرًا ناريًّا. وبدلًا من ذلك قد يتجوّى الصخر المتحول وتصيبه التعرية، ويصبح رسوبيات، وتلتحم هذه الرسوبيات وتكون صخرًا رسوبيًّا.



الشكل 24–3 تتغير الصخور باستمرار فوق سطح الأرض وتحته. توضح دورة الصخر بعض سلاسل التغيرات التي تمر بها الصخور.

التقويم 3–3

الخلاصة

- أنواع التحول الثلاثة الرئيسة هي التحول الإقليمي والتحول التماسي والتحول الحراري المائي.
- يمكن أن يكون نسيج الصخور المتحولة متورقًا أو غير متورق.
- في أثناء عملية التحول تتشكّل معادن جديدة تكون مستقرة تحت درجة الحرارة المرتفعة والضغط.
- مجموع العمليات التي تتغير خلالها الصخور بشكل مستمر من نوع إلى آخر تسمى دورة الصخر.

فهم الأفكار الرئيسة

1. **الفكرة الرئيسة** لخّص كيف يؤدي ارتفاع درجة الحرارة إلى عملية التحوّل؟
2. لخص أسباب تشكّل النسيج المتحول المتورق.
3. طبق مفهوم دورة الصخر لتفسر كيفية تصنيف الأنواع الصخرية الرئيسة الثلاثة.
4. قارن بين العوامل التي تسبب أنواع التحول الرئيسة الثلاثة.

التفكير الناقد

5. استنتج خطوات تكون صخر الرخام من الحجر الجيري.
6. توقع موقع جسم ناري جوفي بناء على المعلومات المعدنية الآتية: جُمع معدنا الكلوريت والمسكوفيت من الجزء الشمالي من منطقة الدراسة؛ وجُمع الجارنت والستوروليت من الجزء الجنوبي من المنطقة.

الرياضيات في الجيولوجيا

7. تتشكّل غالبًا الأحجار الكريمة في صورة بلورات معدنية كبيرة في الصخور المتحولة. وتوصف الأحجار الكريمة بوحدة القيراط. يساوي القيراط 0.2 g أو 200 mg. اكتشفت بلورة جارنت كبيرة في نيويورك عام 1885 كتلتها 4.4 kg وقطرها 15 cm. ما كتلة هذه الجوهرة بوحدة القيراط؟

SA.GEO.SE.CH03.indd 82 4/8/19 4:39 PM

السياحة الجيولوجية

في الميدان

الجزيرة العربية عبر العصور

يسافر بعض الناس إلى أماكن قاصية من العالم ليروا أنواعًا مختلفة من الصخور. ولا شك أن جزيرتنا العربية تتمتع بموقع فريد، وطبيعة جيولوجية خلابة تفرض فيها التشكيلات الجيولوجية نفسها؛ وتتكشف فيها سجلات صخرية لمعظم العصور الجيولوجية.

الرواسب الجليدية

رواسب الجليديات بالقرب من القوارة بمنطقة القصيم

هل تصدق أن جزيرة العرب مرت عليها عصور جليدية تركت وراءها رواسب جليدية موجودة في وديان جليدية قديمة تشبه تلك الموجودة حاليًا في شمال كندا وشمال أوربا. وقد تكونت تلك الرواسب الجليدية في العصر الأردوفيشي في مناطق مختلفة من الجزيرة العربية، مثل تلك الموجودة في منطقة القصيم في المملكة العربية السعودية، والتي تكونت منذ 450 مليون سنة، وهي تعد من الأمثلة النادرة على العصور الجليدية القديمة.

الربط مع رؤية ٢٠٣٠

رؤية VISION 2030 المملكة العربية السعودية KINGDOM OF SAUDI ARABIA

مجتمع حيوي

● من أهداف الرؤية: ٢.٣.١ المحافظة على تراث المملكة الإسلامي والعربي والوطني والتعريف به

الأشجار المتحجرة

تزخر الجزيرة العربية بعدد من مناطق الأشجار المتحجرة، التي تدل على أنها كانت خضراء في العصور التي نمت فيها تلك الأشجار. ومن ذلك الأشجارالمتحجرة المكتشفة في المملكة العربية السعودية، والتي تعود إلى العصر البيرمي، منذ 250 مليون سنة، وأخرى يعود عمرها إلى العصر الطباشيري منذ أكثر من 70 مليون سنة.

ومنها كذلك مجموعة من الأشجار المتحجرة لنوع من الصنوبر في بعض أجزاء صحراء الربع الخالي يرجع تاريخها إلى 50 مليون سنة.

وقد أشار رسول الله صلى الله عليه وسلم في حديثه الشريف عن أبي هريرة رضي الله عنه إلى أن أرض الجزيرة العربية كانت في السابق مليئة بالأشجار والمياه، فقال: لن تقوم الساعة حتى تعود أرض العرب مروجًا وأنهارًا.

الكتابة في الجيولوجيا

مطوية تعزيزية: ابحث عن مزيد من المعلومات عن أنواع الصخور الموجودة في منطقتك، والمستعملة في بناء المنشآت. اعمل مطوية تعزيزية تصف فيها رحلة تركز فيها على الجيولوجيا المحلية.

SA.GEO.SE.CH03.indd 83 4/8/19 4:39 PM

مختبر الجيولوجيا

تفسير التغيرات في الصخور

خلفية علمية: مع استمرار دورة الصخور يتغير الصخر من نوع لآخر. بعض التغيرات يمكن ملاحظتها بالعين المجردة إلا أن بعضها الآخر لا يمكن ملاحظته. لون الصخر وحجم الحبيبات والنسيج والتركيب المعدني أشياء يمكن ملاحظتها ووصفها بسهولة. لكن مع تغير المعادن يتغير بناؤها البلوري وكثافتها. كيف يمكن تمثيل ووصف هذه التغيرات؟ ادرس زوجين من عينات الصخور ليتبين لك كيف يتم ذلك.

سؤال: كيف تقارن بين خصائص الصخور النارية والرسوبية وبين خصائص الصخور المتحولة؟

الأدوات

عينات من: صخر رملي، الطَّفل، حجر جيري، جرانيت، كوارتزيت، أردواز، رخام، نايس.

عدسة يدوية

ورق

ميزان

مخبار مدرج حجم 100 mL أو كأس يتسع للعينة والماء.

إجراءات السلامة

خطوات العمل

1. اقرأ نموذج السلامة في المختبر.
2. حضر جدولًا لتسجيل البيانات كالجدول المجاور.
3. لاحظ كل عينة وسجل ملاحظاتك في الجدول.
4. تذكر أن الكثافة = $\frac{\text{الكتلة}}{\text{الحجم}}$. ضع مخططًا لقياس كل من الحجم والكتلة لكل عينة.
5. احسب كثافة كل عينة، وسجلها في الجدول.

التحليل والاستنتاج

1. **قارن** بين الحجر الرملي وبين الكوارتزيت.

جدول معلومات العينات

رقم العينة	1	2	3	4	5	6
اسم الصخر ونوعه						
الخصائص المميزة						
الكتلة						
الحجم						
الكثافة						

2. **صف** كيف تتغير حبيبات الكوارتز في الحجر الرملي في أثناء التحول.
3. **صف** اختلاف النسيج الذي تراه بين الطَّفل والأردواز.
4. **قارن** بين نتائج حساباتك وحسابات زملائك، واستنتج أسباب اختلاف النتائج.
5. **وضح** لماذا يمكن أن يختلف لون الصخور الرسوبية في أثناء عمليات التحول؟
6. **قوِّم** التغير في الكثافة بين كل من الطَّفل والأردواز، الحجر الرملي والكوارتزيت، الحجر الجيري والرخام. هل حدث تغير في جميع العينات؟ فسر نتائجك.

شارك بياناتك

راجع مع أقرانك. ناقش نتائجك مع المجموعات الأخرى في الصف مع التركيز على المتغيرات: الكتلة والحجم والكثافة.

SA.GEO.SE.CH03.indd 84 4/8/19 4:39 PM

الفصل 3

دليل مراجعة الفصل

الفكرة العامة تنشأ معظم الصخور من صخور سابقة لها من خلال عمليات جيولوجية خارجية أو داخلية.

المفردات	المفاهيم الرئيسة
3–1 تشكل الصخور الرسوبية	
الرسوبيات التصّخر التراّص السمنتة مادة لاحمة التطّبق التطّبق المتدّرج التطّبق المتقاطع	**الفكرة الرئيسة** تنشأ الصخور الرسوبية عن تصخر الرسوبيات الناتجة عن عمليتي التجوية والتعرية. • تتضافر عمليات التجوية والتعرية والترسيب والتصخر لتكوين الصخور الرسوبية. • تتصخر الرسوبيات بعمليتي التراص والسمنتة. • الأحافير هي كل ما يحفظ من بقايا أو طبعات أو أي آثار لمخلوقات عاشت في الماضي. • تحتوي الصخور الرسوبية على معالم مميزة كالتطبق المتدرج والتطبق المتقاطع وعلامات النيم.
3–2 أنواع الصخور الرسوبية	
الصخور الرسوبية الفتاتية الفتاتي المسامية الصخور الرسوبية الكيميائية المتبخرات الصخور الرسوبية الكيميائية الحيوية	**الفكرة الرئيسة** تصنف الصخور الرسوبية بناء على طرائق تشكلها. • الصخور الرسوبية تكون فتاتية أو كيميائية أو كيميائية حيوية. • الصخور الرسوبية الفتاتية تتكون من فتات صخري، وتصنف حسب حجوم حبيباتها وأشكالها. • تتكون الصخور الرسوبية الكيميائية من ترسب معادن مذابة في الماء. • تتكون الصخور الرسوبية الكيميائية الحيوية من بقايا مخلوقات كانت تعيش في الزمن الماضي. • تفيد الصخور الرسوبية الجيولوجيين في معرفة الظروف التي سادت سطح الأرض في الزمن الماضي.
3–3 الصخور المتحولة	
متورقة (صفائحية) غير المتورقة (غير صفائحية) التحول الإقليمي التحول بالتماس التحول الحراري المائي دورة الصخر	**الفكرة الرئيسة** تنشأ الصخور المتحولة عندما تتعرض صخور سابقة لها لزيادة الضغط والحرارة والمحاليل الحرارية المائية. • الأنواع الرئيسة للتحول هي التحول الإقليمي والتحول التماسي والتحول الحراري المائي. • نسيجا الصخور المتحولة هما المتورقة وغير المتورقة. • في أثناء عملية التحول تتغير المعادن في صخر ما إلى معادن جديدة مستقرة تحت الظروف الجديدة من الحرارة والضغط. • دورة الصخر هي مجموعة العمليات المستمرة التي تؤثر في الصخور وتغيرها من نوع لآخر.

SA.GEO.SE.CH03.indd 85 4/8/19 4:40 PM

الفصل 3 تقويم الفصل

مراجعة المفردات

أكمل الجملتين الآتيتين مستعملًا المفردات المناسبة:

1. ينتج عن تراص الرسوبيات الفتاتية والتحامها .....
2. تدعى طبقات الصخور الرسوبية التي تترسب مائلة على السطح الأفقي .....

ضع المصطلح الصحيح بدلًا من الكلمة التي تحتها خط:

3. تحدث السمنتة في أثناء استقرار الرسوبيات بتناقص طاقة المياه.
4. تتكوّن الصخور المتحولة الصفائحية من بلورات كتلية الشكل.

اكتب جملة تستعمل فيها زوج الكلمات في كل مما يأتي:

5. المسامية، الصخر الرسوبي الفتاتي
6. الراسب، التطبّق
7. فتاتي، المتبخرات

تثبيت المفاهيم الرئيسة

8. ما الراسب الفتاتي الذي حجم حبيباته أصغر فيما يأتي؟
   a. الرمل c. الحصى
   b. الطين d. حجر الطمي
9. ما الصخر الفتاتي الخشن الحبيبات الذي يحوي قطعًا مدببة؟
   a. الحجر الجيري c. الحجر الرملي
   b. الكونجلوميرات d. البريشيا
10. ما الصخر الحيوي الكيميائي الذي يحوي أحافير؟
    a. الصوان c. الحجر الرملي
    b. الحجر الجيري d. البريشيا
11. أيٌّ مما يأتي ليس من عوامل التحول ؟
    a. التصخر c. الحرارة
    b. المحاليل الحرارية المائية d. الضغط.

استعمل الشكل الآتي للإجابة عن السؤالين؛ 12 و 13.

12. ما المصطلح الأفضل لوصف نسيج هذا الصخر؟
    a. متبلور c. متورق
    b. غير متورق d. فتاتي
13. أي صخر ناري يشكل تحوله العينة أعلاه عادة؟
    a. الديورايت c. الجرانيت
    b. البازلت d. الجابرو
14. أي مما يأتي تتوقع أن تكون مساميته أكبر؟
    a. الحجر الرملي c. الحجر الجيري
    b. النايس d. الكوارتزيت
15. أيّ عوامل التعرية ينقل عادة فتاتًا بحجم حبيبات الرمل أو أقل من ذلك فقط؟
    a. الانزلاقات الأرضية c. الماء
    b. الجليديات d. الرياح
16. أيّ العمليات مسؤولة عن إذابة ونقل المواد من مكان إلى آخر؟
    a. التجوية c. الترسيب
    b. التعرية d. السمنتة

أسئلة بنائية

استخدم الشكل الآتي للإجابة عن السؤال 17.

17. صف كيف تلتصق الحبيبات معًا في الشكل.
18. لخص الفرق الرئيس بين صخر الكوكينا والحجر الجيري الأحفوري.

SA.GEO.SE.CH03.indd 86 4/8/19 5:58 PM

3 تقويم الفصل

19. احسب كتلة من الحجر الرملي حجمها $1m^3$، ومساميتها 30٪. كم لترًا من الماء يمكن أن تستوعب هذه الكتلة؟

20. وضح بالرسم الشرطين الضروريين لتشكّل الصخور المتحولة المتورقة.

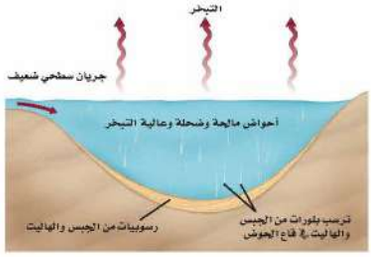
21. قارن بين طرائق تصخر الرمل والطين.

22. صنف أنواع الرسوبيات الآتية إلى سيئة الفرز أو جيدة الفرز: رمال الكثبان، مواد الانزلاقات الأرضية، رسوبيات جليدية، رمال الشواطئ.

23. حلل تأثير ترسب معادن الكالسيت أو أكسيد الحديد في الرسوبيات الفتاتية.

24. قارن بين الكونجلوميرات والبريشيا من حيث خصائصهما وطرائق تشكّلهما.

استعمل الشكل الآتي للإجابة عن السؤال 25.



25. قوّم تأثير انفتاح هذه البيئة على المحيط.

التفكير الناقد

26. اربط ما تعلمته عن أشكال البلورات لتفسير عدم تكون التورق في الرخام، رغم أنه تشكّل تحت ضغط عالٍ.

27. **مهنة الجيولوجي** يعمل بعض علماء الرسوبيات في أماكن استخراج الرمل والحصباء، حيث يحللون هذه المواد لتقرير أفضل الأمكنة، وكيف يستعملونها. استدل على أهمية فهم علماء الرسوبيات لما يحدث لمسامية الرمل إذا اختلطت به رسوبيات ناعمة الحبيبات.

28. وضح بالرسم خزانًا بتروليًّا مكونًا من طبقات من الرمل والطَّفل. حدد مكان البترول في الصخور.

29. قوّم ما إذا كانت علامات النيم وآثار أقدام حيوان تعد من الأحافير. فسر إجابتك.

استعمل الشكل الآتي للإجابة عن السؤالين 30 و 31.

30. قوّم الرسوبيات المكونة للطبقات في الشكل السابق. ما نوع هذا التطبق، وهل هو جيد الفرز أم رديء؟ وضح إجابتك.

31. استدل ما عامل التعرية الذي يمكن أن يُنتج الطبقات الموضحة في الشكل؟ وضح ذلك.

32. استنتج لماذا تكون القطع الزجاجية الموجودة على الشاطئ المكون من الرمل الكوارتزي مستديرة، بينما تكون حادة إذا كانت على شاطئ مكون من الرمل الكربوناتي؟

خريطة مفاهيمية

33. استخدم المصطلحات الآتية لبناء خريطة مفاهيم تنظم معالم الصخور الرسوبية: علامات النيم، تطبق متدرج، تطبق أفقي، غير متماثل، متماثل، تيار نهري، حركة الأمواج، ترسيب الرياح، ترسيب المياه. يمكن أن تستعمل بعض المصطلحات أكثر من مرة.

سؤال تحفيز

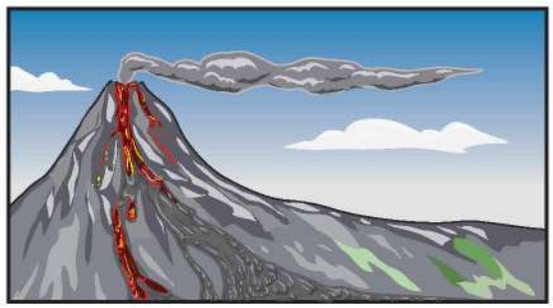
34. **كوِّن فرضية.** تُستنفد الكربونات على عمق 4000 m تقريبًا في مياه المحيط. وتحت هذا العمق لا تترسب الكربونات، ولا تتراكم الأصداف على قاع المحيط. كوِّن فرضية تفسِّر فيها سبب وجود هذا الشرط في المحيط.

SA.GEO.SE.CH03.indd 87 4/8/19 4:40 PM

اختبار مقنن

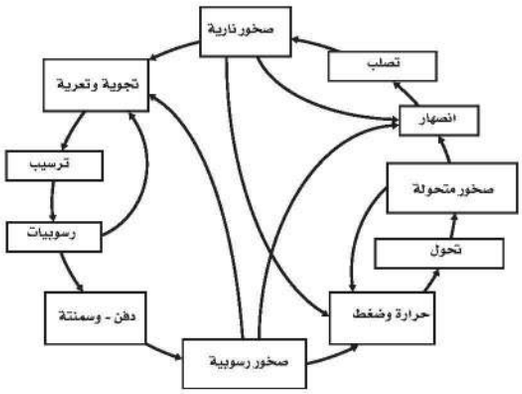
اختيار من متعدد

استعمل الشكل الآتي للإجابة عن السؤالين 1 و2.



1. ما الصخور الأكثر احتمالًا أن تتحول بسبب انسيابات اللابة؟
   a. الصخور التي في فوهة البركان؛ حيث تكون اللابة أسخن.
   b. الصخور التي في الفوهة والصخور الواقعة على طول الجزء العلوي من الجبل.
   c. جميع الصخور التي على الجبل.
   d. جميع الصخور التي يصلها انسياب اللابة.
2. ما نوع الصخر الذي يتشكّل، بعد أن تبرد اللابة وتتبلور؟
   a. الرسوبي
   c. الناري السطحي
   b. المتحول
   d. الناري الجوفي
3. ما الاسم الشائع لـ NaCl؟
   a. ملح الطعام
   c. ماء
   b. سكر
   d. كلور طبيعي
4. ما الخطوة الأولى التي تبدأ بها عملية تغير الرسوبيات إلى صخور رسوبية؟
   a. التطبق
   c. السمنتة
   b. الدفن
   d. التراصّ
5. ما الصخور المتحولة المكونة من معادن ذات بلورات كتلية الشكل؟
   a. المتورقة
   c. النايس
   b. غير المتورقة
   d. الشيست

استعمل الشكل الآتي في الإجابة عن السؤالين 6 و7.



6. بناء على المخطط أعلاه، كيف تتكون الصخور النارية؟
   a. ارتفاع في درجات الحرارة والضغط لصخور موجودة، دون حدوث انصهار لها.
   b. انصهار لصخور موجودة، ثم تصلبها.
   c. دفن وسمنتة للرسوبيات، ثم تصلبها.
   d. تجوية وتعرية للصخور، ثم تصلبها.
7. اعتمادا على دورة الصخر الموضحة أعلاه، ما الاحتمال الذي تتوقع حدوثه أكثر، بعد توضع الرسوبيات؟
   a. تشكّل التجوية المزيد من الرسوبيات.
   b. تبرُّد الصهارة وتشكّل صخورًا نارية.
   c. تتسبب الحرارة والضغط في صهر الرسوبيات
   د. تحدث السمنتة وتُشكّل الصخور الرسوبية.

SA.GEO.SE.CH03.indd 88 4/8/19 5:57 PM

اختبار مقنن

أسئلة الإجابات القصيرة

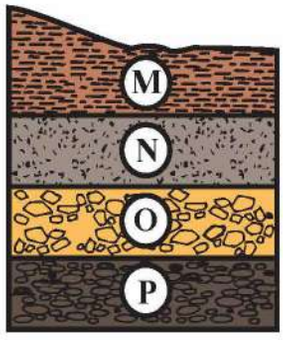
استخدم الشكل الآتي للإجابة عن السؤالين 8 و 9.

8. ما الذي تلاحظه في تشكّل الصخر الرسوبي أعلاه؟
9. هل تمثل هذه العملية التراصّ أم السمنتة؟ صف الفرق بين العمليتين.
10. كيف تُساعد دراسة طبقات الصخور الرسوبية وفهم كيفية تشكّلها علماءَ الأحافير في تعرُّف تاريخ الأرض؟

القراءة و الاستيعاب

طبقات الصخور الرسوبية

يرغب علماء الأحافير في دراسة طبقات الصخور الرسوبية ومكوناتها في منطقة معينة. ويوضح الشكل أدناه مقطعًا طوليًّا لطبقات صخور مدروسة. أما الجدول فيوضح المعلومات التي استطاع العلماء جمعها.



استعن بالشكل والجدول الآتي للإجابة عن السؤالين 11و 12

عمر طبقات الصخور الرسوبية

الطبقة	المكونات	العمر المقدر (بالسنوات)	العمق (بالأمتار)
M	صخور رسوبية	100,000	0 – 4.95
N	صخور رسوبية	غير معروف	5 – 7.95
O	صخور رسوبية	6 ملايين	8 – 8.95
P	صخور رسوبية	6.1 مليون	9 – 10

11. ما الذي كان ينبغي على علماء الأحافير تسجيله لتحسين نوعية المعلومات؟
    a. الوقت من السنة
    b. عمر الطبقة N
    c. تحديد موقع العمل
    d. كتلة الصخور الرسوبية.
12. إذا وجدت نوعًا من الأحافير في الطبقتين P و O ولم تجده في الطبقتين M و N فماذا تستنتج؟
    a. لا يعيش النوع في أي مكان من الأرض في الوقت الحاضر.
    b. اختفى وساد نوع آخر بدلاً عنه
    c. لقد انقرض النوع قبل أقل من 100,000 سنة مضت.
    d. لقد اختفى النوع من المنطقة قبل 6 ملايين سنة تقريبًا.

SA.GEO.SE.CH03.indd 89 4/8/19 5:57 PM

الفصل 4

المياه الجوفية Groundwater

الفكرة العامة يسهم الهطول والرشح في تكوين المياه الجوفية وخزنها في خزانات في باطن الأرض إلى أن تعود إلى السطح على شكل ينابيع، أو من خلال سحبها من الآبار الارتوازية.

4–1 حركة المياه الجوفية وتخزينها

الفكرة الرئيسة تزود خزانات المياه الجوفية الجداول والينابيع الطبيعية والمناطق بالمياه حيثما يتقاطع منسوبها مع سطح الأرض.

4–2 موارد المياه الجوفية

الفكرة الرئيسة لا تتوافر المياه الجوفية دائمًا بالكميات والمواقع المطلوبة حيثما نحتاجها، وإن وجدت فأحيانًا ما تكون ملوثة.

حقائق جيولوجية

- يقع ينبوع ذي عين في قرية ذي عين الأثرية جنوب غرب مدينة الباحة على بعد 24 km منها.
- يُعد ينبوع ذي عين من الينابيع دائمة التدفق طوال العام.
- تستخدم مياه الينبوع في ري مزروعات القرية وبخاصة الموز.

SA GEOSE CH04.indd 90 4/8/19 4:41 PM

تجربة استهلالية

كيف تُخزّن المياه في جوف الأرض؟

ربما يوجد تحت قدميك كميات هائلة من المياه في الفراغات بين الحبيبات في الصخور والرسوبيات المفككة والصدوع. ستقوم في هذا النشاط بعمل نموذج لخزان المياه الجوفية.

الخطوات

1. اقرأ نموذج السلامة في المختبر.
2. املأ مخبارًا مدرجًا سعته 250 mL رملًا ناعمًا جافًا.
3. املأ مخبارًا مدرجًا آخر سعته 250 mL ماءً.
4. اسكب الماء من المخبار الثاني في المخبار المدرج الأول الذي يحتوي على الرمل، حتى يصل إلى مستوى سطح الرمل. سجل قراءة حجم الرمل المشبع بالماء.
5. قس كمية المياه المتبقية في المخبار المدرج الثاني وسجلها.
6. كرر خطوات التجربة مرتين: مستخدمًا الرمل الخشن والطين.

التحليل

1. حدد كمية المياه الموجودة في كل من الرمل الناعم والرمل الخشن والطين بعد أن أصبح كل منهم مشبعًا بالماء.
2. احسب النسبة بين حجوم المياه إلى حجم كل من الرمل الناعم، والرمل الخشن، والطين وعبر عن هذه القيم في صورة نسبة مئوية.
3. استدل على حجم المياه باللتر، التي يمكن تخزينها في $1m^3$ لكل نوع من الرسوبيات (الرمل الناعم، والرمل الخشن، والطين).

المطويات
منظمات الأفكار

المخاطر التي تواجه المياه الجوفية

اعمل هذه المطوية لتلخيص المشكلات الرئيسة التي تهدد المياه الجوفية.

الخطوة 1: اثن الورقة من منتصفها طوليًا.

الخطوة 2: اثن الورقة إلى نصفين، واثن كل نصف إلى ثلاثة أقسام.

الخطوة 3: أعد الورقة كما هي وقصها على منطقة الثني حتى الخط الذي يقسم الورقة إلى نصفين، ستحصل على ستة ألسنة.

الخطوة 4: اكتب على كل لسان مشكلة من المشكلات التي تهدد مصادر المياه الجوفية كما تلاحظ في الشكل.

استخدم هذه المطوية في أثناء دراستك للقسم 2-4، ولخص فيها المشكلات التي تهدد المياه الجوفية.

SA GEO SE CH04.indd 91 4/8/19 4:41 PM

رابط الدرس الرقمي

www.ien.edu.sa

4-1

حركة المياه الجوفية وتخزينها

MovementandStorageofGroundwater

الأهداف

- **تصف** كيف يرتبط كل من تخزين المياه الجوفية وحركتها مع دورة الماء في الطبيعة.
- **توضح** المقصود بالخزان المائي الجوفي والطبقة العازلة.
- **تربط** بين مكونات الخزان المائي الجوفي ووجود الينابيع.

مراجعة المفردات

الدورة المائية: الحركة الدورانية الطبيعية المستمرة للماء ضمن أنظمة الأرض.

المفردات الجديدة

رشح
نطاق الإشباع
منسوب الماء
نطاق التهوية
النفاذية
الخزان المائي الجوفي
الطبقة العازلة (الصماء)
ينبوع
ينبوع ساخن
الينابيع الفوارة

الفكرة الرئيسة **تزود خزانات المياه الجوفية الجداول والينابيع الطبيعية والمناطق بالمياه حيثما يتقاطع منسوبها مع سطح الأرض.**

الربط مع الحياة. هل لاحظت ينبوع ماء يتدفق مدة طويلة دون وجود أمطار؟ لا شك أن مياه الأمطار تسهم في تدفق مياه الينابيع، لكن المصدر الأكبر لهذه المياه يأتي من تحت سطح الأرض.

الغلاف المائي The Hydrosphere

المياهُ الموجودة في القشرة الأرضية وعلى سطحها وفي الغلاف الجوي تشكل الغلافَ المائيَّ. وقد درست سابقًا في إطار أنظمة الأرض التي تضم كلًّا من الغلاف الصخري والمائي والجوي والحيوي، أن مياه المحيطات تشكل 97% تقريبا من الغلاف المائي، بينما تشكل مياه اليابسة 3% تقريبا من الغلاف المائي، ومعظمها مياه عذبة.

وتعد المياه العذبة أكثر الموارد المتجددة أهمية وشيوعًا، وعلى الرغم من أن معظم المياه العذبة (70–80%) مختزنة على هيئة غطاء جليدي وجليديات إلا أن مياه الأنهار والجداول المائية والبحيرات تمثل جزءًا يسيرًا من المياه العذبة السائلة، كما في **الجدول 1–4**. تذكر ما درسته سابقًا من أن الماء في الغلاف المائي يتحرك ضمن دورة الماء في الطبيعة.

الجدول 1–4 **مصادر المياه على الأرض**

الموقع	النسبة المئوية للمياه الكلية	حجم المياه (km^3)	تقديرات متوسط زمن وجود المياه
المحيطات	97.2	1230000000	3200 سنة
الغطاء الجليدي والجليديات	2.15	28600000	20000 سنة
المياه الجوفية	0.62	8000000	200 – 20000 سنة
البحيرات	0.009	123000	عشرات السنوات
الغلاف الجوي	0.001	12700	9 أيام
الأنهار والجداول المائية	0.0001	1200	أسبوعان

SA.GEO.SE.CH04.indd 92 4/8/19 4:42 PM

المياه الجوفية والهطول

Groundwater and Precipitation

تعد المحيطات المصدر الرئيس لجميع المياه على سطح الأرض. تتبخر المياه خلال دورة الماء في الطبيعة إلى الغلاف الجوي على شكل بخار ماء وغيوم، ثم تقوم الرياح وأنظمة الطقس بنقل رطوبة الجو إلى جميع أنحاء الأرض، حيث يتركز معظمها فوق اليابسة (القارات)، ويحصل الهطول الذي يمثل عودة الماء إلى سطح الأرض. لاحظ أن بعض الهطول يحدث فوق المحيط مباشرة والبعض الآخر يحدث فوق اليابسة. وقد قال الله تعالى في كتابه العزيز يصف أهمية الماء: ﴿وَمِنْ ءَايَٰتِهِۦٓ أَنَّكَ تَرَى ٱلْأَرْضَ خَٰشِعَةً فَإِذَآ أَنزَلْنَا عَلَيْهَا ٱلْمَآءَ ٱهْتَزَّتْ وَرَبَتْ ۚ إِنَّ ٱلَّذِىٓ أَحْيَاهَا لَمُحْىِ ٱلْمَوْتَىٰٓ ۚ إِنَّهُۥ عَلَىٰ كُلِّ شَىْءٍ قَدِيرٌ ﴿٣٩﴾﴾ فصلت.

وتسمى عملية تسرب مياه الأمطار بعد سقوطها على اليابسة إلى جوف الأرض **بالرشح Infiltration**، وتصبح مياهًا جوفية، بينما يجري جزء بسيط من مياه الأمطار على سطح الأرض في صورة جداول مائية وأنهار تعود مباشرة إلى المحيطات، وتتحرك المياه الجوفية في باطن الأرض حركة بطيئة وتعود في النهاية إلى السطح من خلال الينابيع (العيون)، وتنساب على شكل جداول مائية في المناطق الرطبة، ثم تتدفق عائدة إلى المحيطات.

ماذا قرأت؟ تعرَّف ما المصدر الرئيس لجميع المياه على اليابسة؟

تخزين المياه الجوفية Groundwater Storage

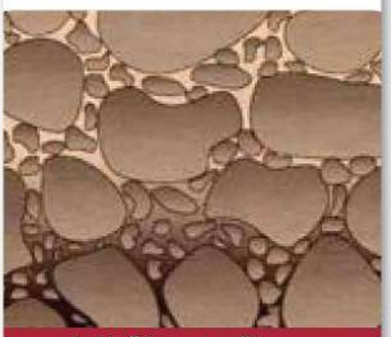
لوحظ أن البرك الصغيرة جدًّا التي تنشأ عن تجمع مياه الأمطار تختفي بسرعة؛ إذ ترشح جزئيًّا إلى باطن الأرض. ففي التربة الرملية غالبًا ما تتسرب المياه نحو الأسفل بسرعة. فأين تذهب هذه المياه؟ إنها تتجمع في الفراغات الصغيرة في باطن الأرض. وعلى الرغم من أن قشرة الأرض تبدو صلبة مصمتة إلا أن التربة والرسوبيات والصخور فيها عدد لا يحصى من الفراغات الصغيرة التي تسمى المسامات.

تشكل المسامات نسبة كبيرة من بعض الصخور. ويسمى الحجم الكلي للمسامات في الصخر المساميةَ. وكلما زادت مسامية الصخر سهُل تدفُّق الماء من خلاله إذا كانت مساماته متصلة. وتتراوح مسامية الصخور تحت السطحية بين 2% إلى أكثر من 50%. فعلى سبيل المثال، مسامية الرمل جيد الفرز 30%، ولكن في الرسوبيات رديئة الفرز تحتل المكونات صغيرة الحجم جزءًا من المسامات، ولذلك تقلل من المسامية الكلية للرسوبيات. انظر **الشكل 1–4**. وبالمثل فإن المادة اللاحمة التي تعمل على تماسك الحبيبات في الصخور الرسوبية معًا تقلل من مسامية الصخر. وتكون كميات المياه المختزنة في المسامات كبيرة جدًّا؛ لأن حجم الرسوبيات والصخور تحت سطح الأرض ضخم جدًّا.

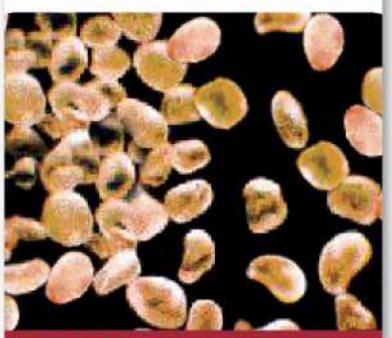
الشكل 1–4 تعتمد المسامية على حجم حبيبات المادة وتنوعها.

قارن بين المساميات المبينة في كل عينة.

حبيبات رمل كبيرة جيدة الفرز

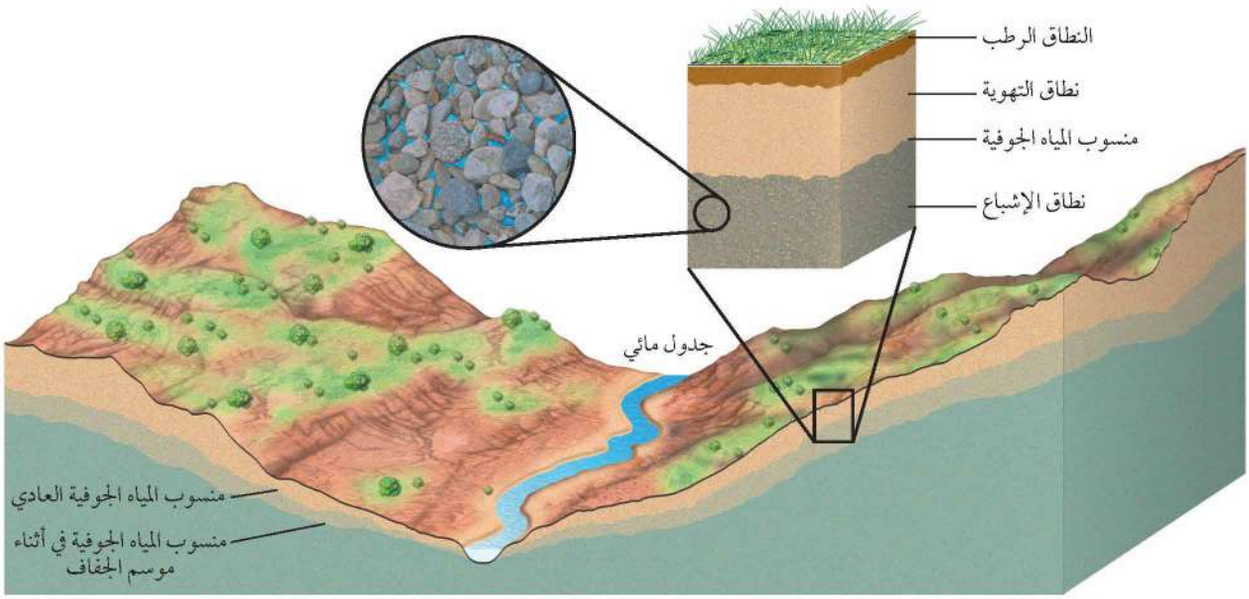


حبيبات رمل رديئة الفرز



حبيبات رمل صغيرة جيدة الفرز

SA.GEO.SE.CH04.indd 93 4/8/19 4:42 PM



الشكل 2–4 يبين نطاق الإشباع في منطقة تحت سطح الأرض.

صف النطاق الذي يعلو نطاق الإشباع.

نطاق الإشباع The Zone of Saturation

تسمى المنطقة تحت سطح الأرض المملوءة مساماتها تمامًا بالمياه الجوفية **نطاق الإشباع Zone of saturation**، ويسمى الحد العلوي لهذا النطاق **منسوب الماء Water table**. انظر **الشكل 2–4**. وفي **نطاق التهوية Zone of aeration** الذي يعلو منسوب الماء تكون الصخور رطبة، ولكن مساماتها غير مشبعة بالمياه، لذا يحتل الهواء جزءًا كبيرًا منها.

حركة المياه Water movement يمكن تصنيف المياه الموجودة في نطاقي الإشباع والتهوية إلى مياه جاذبية ومياه شعرية. ومياه الجاذبية هي المياه التي تتحرك إلى أسفل نتيجة الجاذبية الأرضية. أما المياه الشعرية فهي المياه التي تُسحب إلى أعلى بفعل الخاصية الشعرية، وهي موجودة فوق منسوب الماء؛ إذ تُحتجز داخل مسامات الصخور والرسوبيات بسبب التوتر السطحي. ويمكن ملاحظة فعل الخاصية الشعرية عندما نضع طرف ورق التنشيف على سطح الماء، حيث يظهر الماء وكأنه يرتفع إلى أعلى من خلال ورق التنشيف.

منسوب المياه الجوفية The water table يتفاوت عمق منسوب الماء في معظم الأحيان اعتمادًا على الظروف المحلية. ففي الجداول المائية على سبيل المثال يكون منسوب الماء قريبًا من سطح الأرض؛ إذ يصل عمق الماء إلى عدة أمتار فقط. أما في مناطق البرك فيَصِل منسوب الماء إلى مستوى سطح الأرض، بينما في مناطق أعلى التلال أو في المناطق الجافة يتراوح عمق منسوب الماء بين عشرات الأمتار ومئات الأمتار أو يزيد. ويوضح **الشكل 2–4** كيف يأخذ شكلُ منسوب المياه الجوفية شكلَ تضاريس السطح فوقه. فعلى سبيل المثال، ينطبق شكل انحدار منسوب المياه الجوفية مع شكل الوديان والتلال التي تعلوه على سطح الأرض. ولما كان منسوب الماء يعتمد على الهطول، لذا فهو يتذبذب فصليًّا وتبعًا لظروف الطقس الأخرى؛ إذ يرتفع في الفصول الرطبة وخصوصًا في فصل الشتاء، وينخفض في فصل الصيف الجافّ.

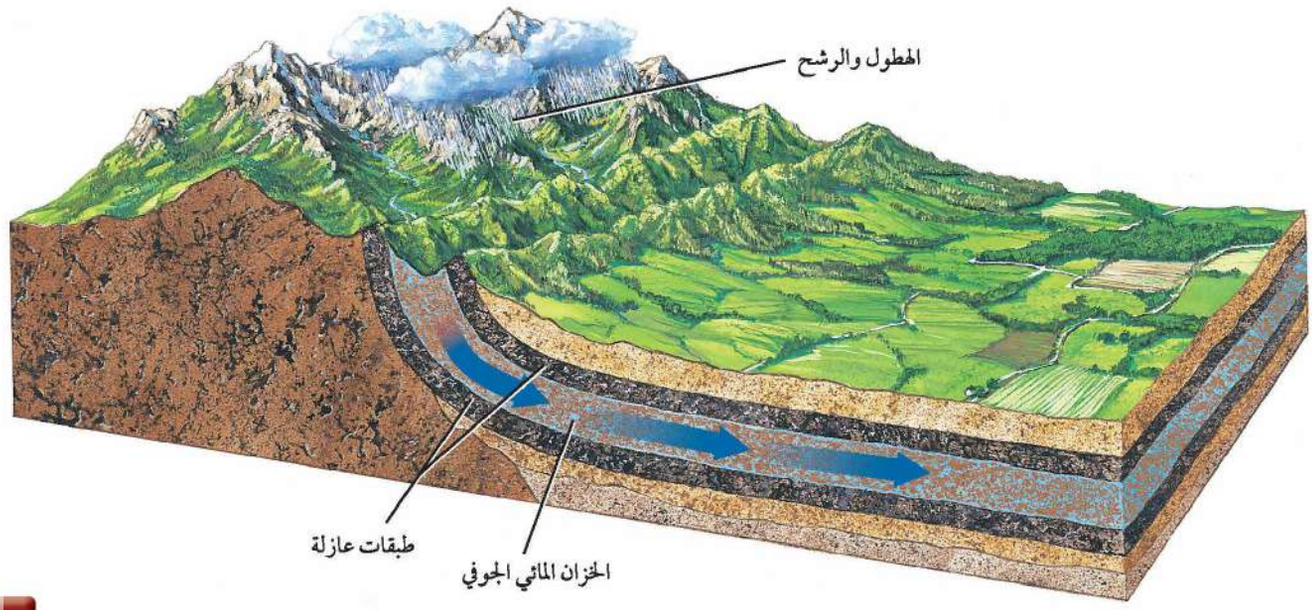
SA.GEO.SE.CH04.indd 94 4/8/19 4:42 PM

حركة المياه الجوفية Groundwater Movement

تنساب المياه الجوفية من أعلى إلى أسفل في اتجاه ميل منسوب الماء، وعادة ما تكون هذه الحركة بطيئة؛ لأن المياه الجوفية تنساب في خلال عدد كبير من المسامات الدقيقة في المواد تحت السطح. وتسمى قابلية المادة لإنفاذ الماء من خلالها **النفاذية Permeability**. بينما المواد التي حبيباتها كبيرة ومساماتها متصلة - ومنها الرمل والحصى- تكون نفاذيتها كبيرة، وتسمح بمرور المياه الجوفية خلالها بسرعة أكبر، وتتراوح نفاذية الصخور عادةً ما بين 1 متر في اليوم إلى 1 متر في السنة.

النفاذية Permeability تسمى الصخور والرسوبيات المنفذة للمياه الجوفية **الخزان المائي الجوفي Aquifers**. انظر **الشكل 3–4**. حيث تكون مسامات صخور الخزان المائي الجوفي كبيرة ومتصلة، ومن أمثلتها الرمل. أما الصخور والرسوبيات التي تتكون من حبيبات صغيرة فإن مساماتها صغيرة ونفاذيتها قليلة وتسمى صخورًا غير منفذة، وتسمى الطبقات غير المنفذة التي تحجز الماء وتمنعه من التدفق **الطبقة العازلة (الصماء) Aquicludes**. ويكون انسياب المياه الجوفية فيها بطيئًا، ويقاس غالبًا بالملمترات في اليوم. ويعد حجر الطمي والطَّفْل والطين أمثلة على الصخور غير المنفذة؛ فالطين غير منفذ؛ لأن حبيباته دقيقة ومتراصة، وتعمل على الاحتفاظ بالماء، ولهذا السبب يُستخدم الطين طبقةً مبطنة في البرك الاصطناعية، وفي مكابّ النفايات.

سرعة التدفق Flow velocity تعتمد سرعة تدفق المياه الجوفية على انحدار منسوب المياه الجوفية ونفاذية الصخر التي تتدفق المياه الجوفية من خلاله. وتقوم قوة الجاذبية بسحب المياه إلى أسفل، ويزداد التدفق عندما يكون انحدار منسوب الماء شديدًا، كما يتدفق الماء أسرع خلال الفتحات الكبيرة، مقارنة بسرعته خلال الفتحات الصغيرة. وتتناسب سرعة تدفق المياه الجوفية طرديًّا مع كل من انحدار منسوب المياه الجوفية ونفاذية المادة التي يتدفق الماء من خلالها.



الشكل 3–4 الخزان المائي الجوفي طبقة مكونة من صخور منفذة ومشبعة بالماء، ويقع هذا الخزان المائي الجوفي بين طبقتين غير منفذتين تسميان طبقتين عازلتين.

الشكل 4–4 توجد الينابيع عند نقاط تقاطع منسوب المياه الجوفية مع سطح الأرض.

الينابيع (العيون) Springs

تتحرك المياه الجوفية ببطء وباستمرار خلال الخزان المائي الجوفي، وتعود في النهاية إلى سطح الأرض. وفي معظم الأحيان تخرج المياه الجوفية من مكان تقاطع منسوبها مع سطح الأرض. ومثل هذه التقاطعات غالبًا ما توجد في المناطق المنحدرة. ويعتمد مكان خروج المياه الجوفية إلى السطح على ترتيب طبقات الخزان المائي الجوفي والطبقات العازلة في المنطقة.

ماذا قرأت؟ وضح كيف يؤثر انحدار اليابسة في أماكن الينابيع.

يعدّ الخزان المائي الجوفي طبقات منفذة تحت الأرض يتدفق الماء خلالها بسهولة. أما الطبقة العازلة فهي عبارة عن طبقات غير منفذة. يتألف الخزان الجوفي المائي عادةً من طبقات الرمل والحصى والحجر الرملي والحجر الجيري. أما الطبقة العازلة فتتألف من طبقات الطين أو الطَّفل، وتمنع حركة المياه الجوفية خلالها. ويؤدي اتصال الخزان المائي الجوفي مع الطبقة العازلة إلى تصريف المياه الجوفية عند سطح الأرض في منطقة التماس بينهما. انظر **الشكل 4–4**. يسمى هذا التصريف الطبيعي للمياه الجوفية **بالينابيع Springs**.

كما يمكن أن تخرج الينابيع عند طرف منسوب المياه الجوفية المرتفع؛ فنطاق الإشباع الذي يعلو الطبقة العازلة يفصل بين مستوى المياه الجوفية للطبقة المعلقة ومنسوب المياه الجوفية الرئيس الذي يقع أسفل منه. وهناك مناطق أخرى تخرج منها الينابيع على امتداد الصدوع.

انبثاق الينابيع Emergence of springs قد يكون الماء المتدفق من الينابيع في صورة نز أو تسرب، وقد يشكّل جدولًا. هناك مثلًا ينابيع كبيرة تسمى ينابيع الكارست ينبثق منها نهر كامل. وتوجد ينابيع الكارست في المناطق التي تتكون من الحجر الجيري؛ حيث تتغذى مياه الينبوع من ممرات تحت الأرض. أما في المناطق التي تتكون من صخور رسوبية أفقية فيتدفق الينبوع على جوانب الوديان من قاعدة الخزان المائي الجوفي، وعلى ارتفاع واحد. كما يظهر في **الشكل 5–4**. وقد قال الله تعالى: ﴿ أَلَمْ تَرَ أَنَّ ٱللَّهَ أَنزَلَ مِنَ ٱلسَّمَآءِ مَآءً فَسَلَكَهُۥ يَنَٰبِيعَ فِى ٱلْأَرْضِ ﴾ الزمر (٢١).

إرشادات الدراسة

الكتابة بالمشاركة

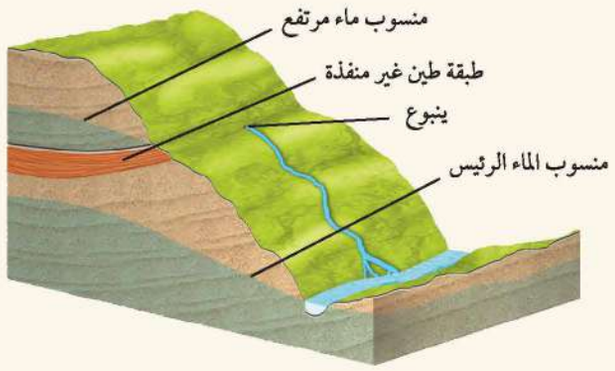
اكتب تقريرًا حول أحد الينابيع في المملكة العربية السعودية من حيث اسمه وكيفية تدفقه، ومكان وجوده وأهميته السياحية أو الزراعية.

SA.GEO.SE.CH04.indd 96 4/8/19 4:42 PM

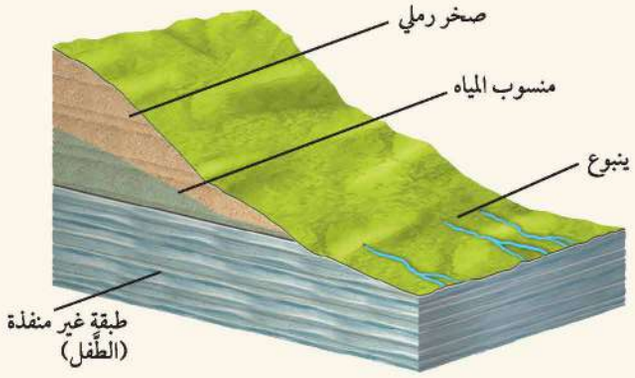
الينابيع Springs

الشكل 5–4 تتكون الينابيع نتيجة خروج المياه الجوفية إلى سطح الأرض، وتتشكل نتيجة تقاطع منسوب الماء مع سطح الأرض، ويمكن للينبوع أن يتشكل بطرائق مختلفة.

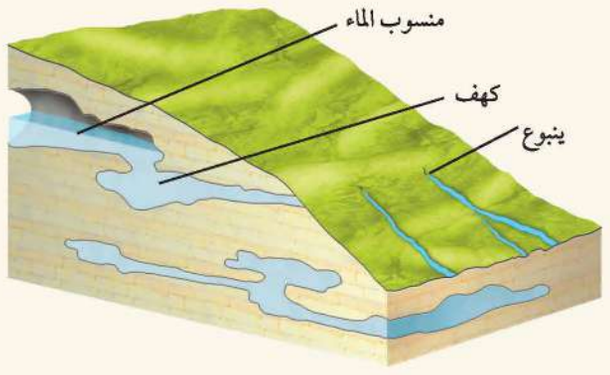
قارن بين نشأة أنواع الينابيع الأربعة.



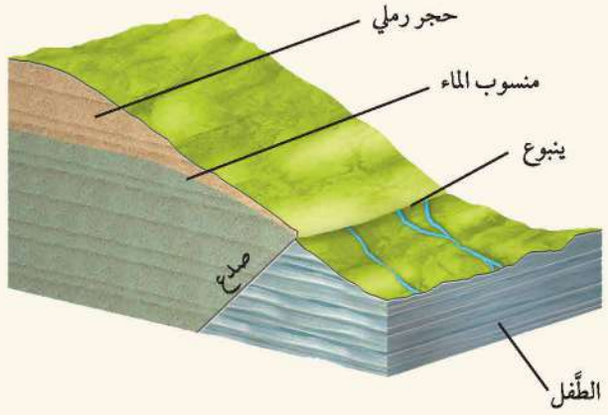
يؤدي وجود طبقات غير منفذة – ومنها الطَّفل – فوق الخزان المائي الجوفي إلى تكوين منسوب الماء المرتفع.



تتكون الينابيع نتيجة التقاء طبقة منفذة مع طبقة غير منفذة.



تتكون الينابيع الجيرية (Karst) في المناطق التي تعمل فيها المياه الجوفية على تجوية طبقة الحجر الجيري؛ حيث تنبع المياه من الكهوف المتصلة في جوف الأرض، فتصل إلى سطح الأرض.



تتكون بعض الينابيع في مناطق الصدوع، حيث تؤدي هذه الصدوع إلى التقاء نوعين مختلفين من الطبقات؛ كأن تلتقي طبقة صخرية مسامية مع أخرى غير مسامية.

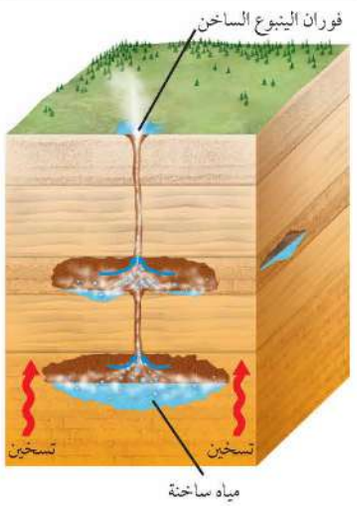
SA.GEO.SE.CH04.indd 97 4/8/19 4:42 PM

درجة حرارة الينابيع Temperature of springs ينظر الناس إلى مياه الينابيع على أنها باردة ومنعشة، إلا أن درجة حرارة المياه الجوفية التي تنصرف من خلال الينابيع عمومًا تساوي متوسط درجة الحرارة السنوية في المنطقة الموجودة فيها.

ومقارنة بدرجة حرارة الهواء فإن درجة حرارة المياه الجوفية عمومًا أبرد في فصل الصيف، وأسخن في فصل الشتاء. وهناك بعض الينابيع التي تكون مياهها أدفأ من متوسط درجة الحرارة السنوية، وتسمى **الينابيع الساخنة Hot springs**؛ اعتمادًا على درجة حرارتها. الينابيع الساخنة هي ينابيع مياه تزيد درجة حرارتها على درجة حرارة جسم الإنسان (37°C).

وهناك آلاف الينابيع في العالم تتدفق في مناطق مختلفة، ما زالت درجة حرارة صخورها الجوفية مرتفعة بسبب قربها من النشاط الناري. أو بسبب المال الحراري الجوفي في المناطق البركانية. ومن هذه ما يطلق عليه **الينابيع الفوارة Geysers**. انظر **الشكل 6–4**، وهي عبارة عن نوافير ساخنة. ويعتقد أن مياه هذه الينابيع قد سخنت في باطن الأرض إلى درجة الغليان، مما أدى إلى تبخرها، فينشأ عن ذلك ضغط كبير لبخار الماء يسبب حدوث الفورانات المتعاقبة.

ومن الينابيع الحارة في المملكة العين الحارة في منطقة جيزان؛ والتي تبلغ درجة حرارتها حوالي 50°C وعين الخوبة وتبلغ درجة حرارتها 57°C.



الشكل 6–4 الينابيع الفوارة نوع من الينابيع الساخنة، تخرج منها مياه حارة وبخار ماء إلى سطح الأرض.

عرف ما أصل العيون الفوارة؟

التقويم 1–4

الخلاصة

- ترشح بعض مياه الهطول إلى جوف الأرض فتصبح مياهًا جوفية.
- تخزن المياه الجوفية في مسامات الصخور والرسوبيات وتوجد أسفل منسوب الماء.
- تتحرك المياه خلال طبقات منفذة تسمى الخزان المائي الجوفي، ويتم احتجازها بطبقات غير منفذة تدعى الطبقات العازلة.
- تنبع المياه الجوفية حيثما يتقاطع منسوبها مع سطح الأرض.

فهم الأفكار الرئيسة

1. **الفكرة الرئيسة** **وضح** كيف ترتبط حركة المياه الجوفية مع دورة الماء في الطبيعة؟
2. **وضح** بالرسم كيف تؤدي المواقع النسبية لكل من الخزان المائي الجوفي والطبقة العازلة إلى وجود الينابيع؟
3. **صف** كيف تصبح مياه الينابيع ساخنة؟
4. **حلل** العوامل التي تحدد سرعة التدفق.

التفكير الناقد

5. **قارن** بين المسامية والنفاذية للمواد تحت السطحية.
6. **استدل** لماذا يعد وجود الطبقة العازلة أسفل الخزان المائي الجوفي ذات فائدة كبيرة للمجتمع؟

الكتابة في الجيولوجيا

7. **طور** مجموعة من الإشارات تصف فيها أفضل الأماكن للبحث عن المياه الجوفية.

SA.GEO.SE.CH04.indd 98 4/8/19 4:42 PM

رابط الدرس الرقمي

www.ien.edu.sa

4-2

موارد المياه الجوفية
Groundwater Supply

الأهداف

- توضح كيف يتم سحب المياه الجوفية من خزاناتها عن طريق الآبار.
- تصف المشكلات الرئيسة التي تهدد موارد المياه الجوفية.

مراجعة المفردات

الجريان السطحي: انسياب المياه من أعلى إلى أسفل على طول سطح الأرض.

المفردات الجديدة

الآبار

الضخ الجائر

الهبوط في منسوب المياه الجوفية

تغذية المياه الجوفية

البئر الارتوازية

الفكرة الرئيسة لا تتوافر المياه الجوفية دائمًا بالكميات والمواقع المطلوبة حيثما نحتاجها، وإن وجدت فأحيانًا ما تكون ملوثة.

الربط مع الحياة من لديه حساب في البنك، فهل يمكنه سحب نقود كما يشاء؟ بالطبع لا. وكذلك يمكن سحب المياه الجوفية ولكن حسب الكميات المختزنة في الطبقات المائية.

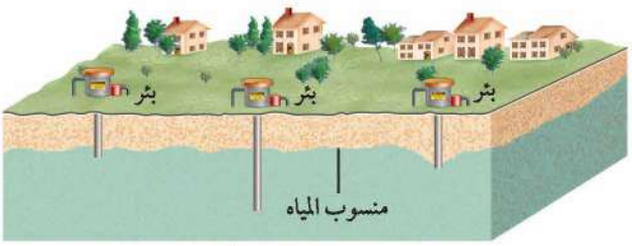
الآبار Wells

الآبار Wells ثقوب تُحفر في الأرض للوصول إلى الخزان المائي الجوفي. وهناك نوعان رئيسان من الآبار، هما الآبار العادية، والآبار الارتوازية.

الآبار العادية Ordinary wells أبسط الآبار هي تلك المحفورة أسفل منسوب الماء داخل ما يسمى الخزان المائي الجوفي غير المحصور، كما في **الشكل 7–4**. في هذا النوع من الخزانات المائية الجوفية يكون منسوب المياه داخل البئر هو نفسه منسوب الماء المحيط به، فعندما يتم سحب المياه من البئر يتم تعويضها من المياه المحيطة في الخزان المائي الجوفي.

يحدث **الضخ الجائر Overpumping** عندما يفوق معدل سحب المياه من البئر معدل تعويض المياه فيه، فيؤدي ذلك إلى خفض منسوب المياه المحلي، منتجًا مخروط الانخفاض حول البئر، كما في **الشكل 7–4**. ويسمى الفرق بين منسوب المياه الجوفية الأصلي ومنسوب المياه في أثناء عملية الضخ **الهبوط في منسوب المياه الجوفية Drawdown**. وإذا حدث هبوط في منسوب المياه في مجموعة آبار متجاورة في الخزان غير المحصور فإن مجموعة مخاريط الانخفاض المتجاورة يتحد بعضها مع بعض، مسببة بذلك هبوطًا عامًّا في منسوب المياه، مما يؤدي إلى جفاف الآبار الضحلة.

وتزوّد مياه الأمطار الخزانَ المائي الجوفي بمحتواه المائي في عملية تسمى **تغذية المياه الجوفية Recharge**. وتؤدي أحيانًا تغذية المياه الجوفية بمياه الأمطار أو بالمياه الجارية إلى تعويضها عن المياه التي سُحبت من الآبار. فإذا تجاوز سحب المياه الجوفية معدل تغذية الخزان الجوفي ازداد الهبوط في منسوب المياه إلى أن تصبح جميع الآبار جافة.

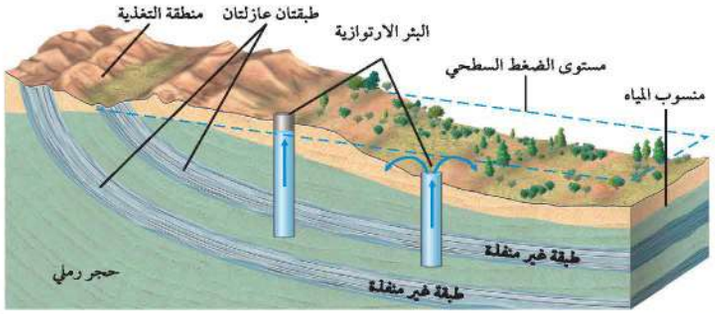


قبل الضخ الجائر

بعد الضخ الجائر

الشكل 7–4 يؤدي الضخ الجائر من البئر أو عدة آبار إلى تكوين مخروط الانخفاض وهبوط عام في منسوب المياه.

SA.GEO.SE.CH04.indd 99 4/8/19 4:42 PM



الشكل 8—4 يحتوي الخزان المائي الارتوازي على ماء مضغوط.

تعرف السبب الرئيس الذي جعل البئر الارتوازية تختلف عن البئر العادية.

الآبـار الارتوازيـة Artesian wells غالبـا ما تكون منطقة تغذيـة الخزان أعلى من الخزان المائي الجوفي نفسـه. ويسـمى الخزان المائي الجوفي الواقع بين طبقتين عازلتين خزانًا جوفيًّا محصورًا، ويقع الماء الذي يحتويه تحت تأثير الضغط. والسبب في ذلك أن قمة منحدر منسوب الماء يقع تحت تأثير الجاذبية الأرضية، لذلك تتجه المياه إلى أسفل. ويسمى الخزان في هـذه الحالة الخزانَ المائـيَّ الجوفيَّ الارتوازيَّ. وعندما يكون معـدل التغذية كبيرًا وكافيًا فإن ضغط الماء في بئر محفورة في خزان ارتوازي يجعل الماء يتدفق فوق سـطح الأرض على شكل نافورة تسمَّى **البئر الارتوازية Artesian well**. ويسمى المستوى الذي يرتفع منسوب المياه إليه في الآبار المحفورة مستوى الضغط السطحي، كما في **الشكل 8—4**. وتسمى أيضًا الينابيـع التي يجري تصريفها بضغط الماء الينابيـعَ الارتوازيةَ. وتعود كلمة artesian إلى مقاطعة فرنسية اسمها Artois، حفرت فيها أول بئر ارتوازية، وذلك قبل 900 عام.

مختبر حل المشكلات

اعمل مقطعًا تضاريسيًّا

كيف يختلف منسوب المياه في الآبار الارتوازية؟

تحتـوي خزانات الميـاه الجوفيـة الارتوازية على مـاء يقع تحت ضغـط عـالٍ. ويوضح الجـدول المجـاور بيانات عـن الخزان المائي الجوفي الارتوازي لثلاثة مواقع يبتعد بعضها عن بعض مسـافة 100 m عـلى امتـداد خـط المسـح. وهـذه البيانـات لارتفاعـات سـطح الأرض، وارتفاعـات منسـوب الميـاه، وارتفاعـات السـطح العلوي للطبقـة العازلة للخـزان المائي الارتوازي، ومستوى الضغط السطحي.

بيانات الخزان الجوفي المائي

الموقع	ارتفاع السطح (m)	ارتفاع منسوب الماء (m)	ارتفاع السطح العلوي للطبقة العازلة (m)	مستوى الضغط السطحي (m)
1	396	392	388	394
2	394	390	386	393
3	390	388	381	392

التحليل

1. أسقط بيانات الارتفاع على رسم بياني، بحيث تكون المواقع على محور السينات، والارتفاعات على محور الصادات.
2. اعمل مقطعا تضاريسـيًّا لخط المسح من الموقع الأول حتى الموقع الثالث مستعملًا خطًّا عريضًا لتمثيل سطح الأرض.

التفكير الناقد

3. **حلل.** ما عمق الماء في الآبار الثلاثة قبل عملية الضخ؟
4. **قـوّم** مـاذا يحـدث لـو حفرنـا بئـرًا في الخـزان المائـي المحصور عند الموقع 3؟
5. **توقـع** كيف يؤثر حفر بئر ارتوازيـة في موقع واحد في بقية الآبار؟

SA.GEO.SE.CH04.indd 100 4/8/19 4:42 PM

ما يهدد موارد مياهنا Threats to our Water Supply

تعد المياه العذبة موارد طبيعية نفيسة؛ إذ يعتمد الإنسان عليها بصورة كبيرة، لأنها عنصر أساسي في الحياة. كما أنها تستعمل بصورة مكثفة في الزراعة والصناعة. ويوضح **الشكل 9–4** استخدامات المياه العذبة في المملكة العربية السعودية لعام 2015م.

ماذا قرأت؟ لخص لماذا تعد المياه العذبة أثمن الموارد الطبيعية؟

يتم تقدير موارد المياه اعتمادًا على مجموعة من العوامل. من هذه العوامل كميات الهطول والرشح والتصريف السطحي ومسامية الصخور ونفاذيتها والرسوبيات تحت السطح وحجم المياه الجوفية التي تصرف طبيعيًّا إلى السطح. وتتغير بعض هذه العوامل طبيعيًّا مع الزمن، ويتأثر البعض الآخر بالأنشطة البشرية. وتؤدي التغيرات التي تحدث لموارد المياه الجوفية إلى ظهور قضايا بيئية، منها انخفاض مستوى المياه والخسف والتلوث والتملح.

الشكل 9–4 استخدامات المياه العذبة في المملكة العربية السعودية لعام 2015م.

المصدر: وزارة البيئة والمياه والزراعة.

تجربة

نموذج البئر الارتوازية

كيف تتكون البئر الارتوازية؟ ما الأسباب التي تؤدي إلى ارتفاع المياه فوق سطح الأرض؟

خطوات العمل

1. اقرأ نموذج السلامة في المختبر.
2. املأ **صندوقًا بلاستيكيًّا** أو أي وعاء آخر إلى منتصفه **بالرمل**، وأضف كميات كافية من **الماء** لإشباع الرمل به، ثم غطِّ الرمل تمامًا بطبقة من الطين أو أي طبقة غير منفذة بسمك 1–2 cm.
3. ضع الصندوق مائلًا بزاوية 10°، مستعملًا **كتابًا** لإسناده.
4. اعمل ثلاثة ثقوب في الطبقة الطينية، بحيث يكون الثقب الأول في النهاية السفلية، والثاني في الوسط، والثالث في النهاية العلوية للصندوق، ثم أدخل أنبوبًا بلاستيكيًّا شفافًا لكل ثقب، بحيث يتخلل طبقة الرمل السفلية، وسدّ الثقوب بإحكام حول **الأنابيب البلاستيكية**.

التحليل

1. **لاحظ** منسوب المياه في الأنابيب. أي الأنابيب يكون ارتفاع الماء فيها أعلى ما يمكن، وأيها يكون فيها أخفض ما يمكن؟
2. **حدد** منسوب المياه في الصندوق.
3. **حلل** حدد المكان الذي يكون عنده ضغط المياه أكبر ما يمكن. وضح إجابتك.
4. **توقع** ما يحدث لمنسوب المياه وللضغط السطحي إذا تدفقت المياه من إحدى الأنابيب.

SA.GEO.SE.CH04.indd 101 4/8/19 4:42 PM

الاستعمال الجائر Overuse يستنزف الاستعمال الجائر موارد المياه. فإذا كان معدل الضخ يفوق معدل التغذية فعندئذ ينخفض مستوى التزويد بالمياه الجوفية، ويهبط منسوب المياه. ويحدث الضخ الجائر بسبب زيادة الطلب على المياه العذبة للاستعمالات الزراعية والمنزلية والصناعية حيث يؤدي إلى هبوط مستوى المياه العذبة في خزانات المياه الجوفية، كما في خزان الساق، وخصوصًا في منطقة القصيم. كما يؤدي الضخ الجائر مع الزمن إلى ارتفاع ملوحة المياه الجوفية؛ فتصبح غير قابلة للاستعمال.

الخسف Subsidence ينتج عن الضخ الجائر للمياه الجوفية حدوث مشكلة أخرى هي هبوط اليابسة؛ إذ يدعم حجم المياه الجوفية وزنَ التربة والرسوبيات والصخور التي تعلوها، وعندما يقل ارتفاع منسوب الماء ينتقل وزن المواد التي تعلوه بالتدريج إلى حبيبات الخزان، مما يؤدي إلى تراصها، وخسف سطح اليابسة فوق الخزان.

تلوث المياه الجوفية Poullution in groundwater إن أكثر خزانات المياه الجوفية عرضة للتلوث هي الخزانات غير المحصورة. أما الخزانات الجوفية المحصورة فلا تتأثر كثيرًا بالتلوث المحلي؛ لأنها محمية بالطبقة العازلة التي تحتجز الملوثات، وتحميها من التلوث. ولكن إذا تلوثت مناطق تغذية الخزانات الجوفية المحصورة فعندئذ تصاب مياهها بالتلوث.

ماذا قرأت؟ تعرَّف أي الخزانين أكثر عرضة للتلوث؟

تتضمن مصادر تلوث المياه الجوفية مياه الصرف الصحي والحفر الامتصاصية (غير المبطنة) والمزارع ومكابّ النفايات الأخرى؛ إذ تدخل الملوثات جوف الأرض وتكون في البداية فوق منسوب المياه، ولكنها، في النهاية، ترشح حتى تصل إلى منسوب المياه. وتنتشر الملوثات بسرعة في الطبقات المنفذة للخزانات الجوفية وفي اتجاهات محددة، كأن تتجه نحو الآبار، كما في **الشكل 10–4**.

المهن في علم الأرض

الهيدرولوجي جيولوجي مختص في مجال تمثيل المياه في خرائط التضاريس الهيدرولوجية؛ إذ يستعمل الطرائق الميدانية والخرائط والصور الجوية لتحديد مكان المياه الجوفية.

المطويات

ضَمّن معلومات هذا الدرس في المطوية الخاصة بك.

الربط مع رؤية ٢٠٣٠

● من أهداف الرؤية: الحد من التلوث بمختلف أنواعه (مثل التلوث الهوائي، الصوتي، المائي، والترابي).

الشكل 10–4 يمكن أن تنتشر الملوثات بسرعة خلال الخزان المائي. لاحظ كيف سحب البئر التلوث نحوه مع سحب الماء من الخزان المائي الجوفي.

المواد الكيميائية Chemicals بسبب صغر حجم المواد الكيميائية الذائبة والمنقولة مع المياه إلى جوف الأرض فإنه يمكنها أن تتخلل المسامات الدقيقة الموجودة بين الحبيبات الصغيرة جدًّا. لهذا السبب فإن المواد الكيميائية يمكنها أن تلوث أي نوع من الخزانات الجوفية. وبمجرد دخول الملوثات الكيميائية إلى المياه الجوفية يصعب إزالتها.

ماذا قرأت؟ وضح لماذا قد تلوث المواد الكيميائية – ومنها عنصر الزرنيخ – أي نوع من الخزانات الجوفية المائية؟

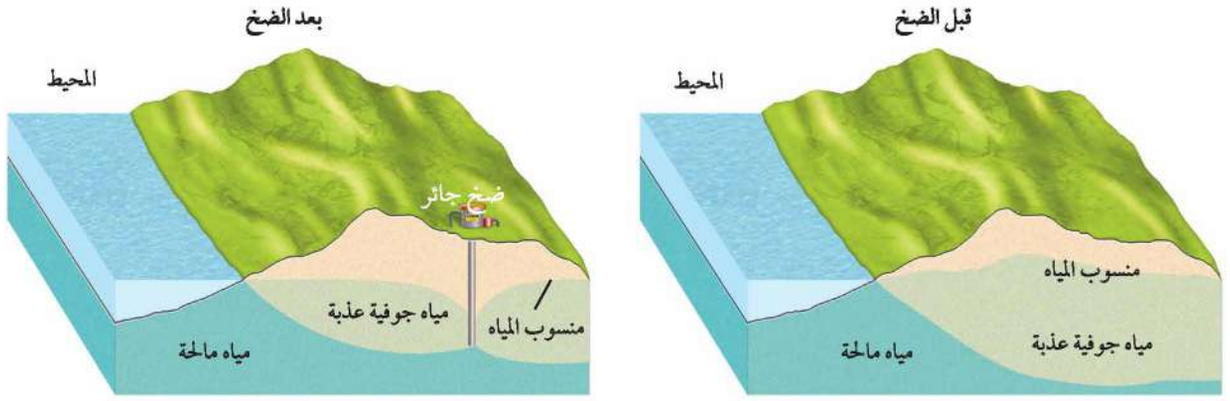
تضم مياه الصرف الصحي ومكابّ النفايات وغيرها من مواقع المخلفات عددًا من الملوثات؛ وقد تذوب هذه المواد في المياه المتسربة إلى الخزان المائي الجوفي، وتنتشر في جميع أجزاء الخزان، ومع الزمن يصبح الخزان ملوثًا وسامًّا.

الأملاح Salt ليست جميع الملوثات مواد سامة أو ضارة بالصحة؛ فعلى سبيل المثال يُستخدم ملح الطعام في المائدة، إلا أن وجوده في الماء بتراكيز عالية يجعل الماء غير صالح للشرب. وبالطريقة نفسها تصبح المياه الجوفية غير صالحة للاستعمال بعد اختلاطها مع مياه مالحة. لذا يعد التلوث بالأملاح أحد المخاطر الرئيسة التي تواجه موارد المياه الجوفية، وخصوصًا في المناطق الشاطئية، حيث تشكل مسألة تداخل المياه الجوفية بمياه مالحة مشكلة رئيسة؛ فالمياه المالحة الأكثر كثافة تقع أسفل المياه العذبة، كما في **الشكل 11–4**، وفي حالة حدوث ضخ جائر من الآبار تصعد مياه البحر المالحة من خلال الآبار، وتلوث المياه الجوفية.

المفردات
مفردات أكاديمية

النقل
وتعني التحريك من مكان إلى آخر. فالطائرات تنقل البضائع من مكان إلى آخر عبر البلاد

الشكل 11–4 يمكن أن تتلوث الخزانات الجوفية العذبة بالماء المالح.
تعرف كيف يمكن أن يتسبب الضخ الجائر في ارتفاع الماء المالح من الأسفل إلى الآبار؟



SA.GEO.SE.CH04.indd 103 4/8/19 4:42 PM

حماية مواردنا المائية

Protecting our Water Supply

هنـاك عدة طرائق لحماية مـوارد المياه، وتخليصها من الملوثات؛ لذا علينا أن نتعرف مصـادر تلـوث المياه الجوفيـة الرئيسـة، والـواردة في **الجـدول 2–4**، أما علامات التلوث فيمكن مراقبتها من خلال آبار المراقبة، وباستخدام تقنيات أخرى. وتنتشر معظـم مصادر التلوث ببطء شـديد، ممـا يتيح وقتًا كافيًا للبحث عـن مصادر مياه بديلـة، وفي بعـض الحالات يمكن إيقـاف حركة الملوثات من خـلال بناء طبقات عازلة تحت الأرض تحيط بالمنطقة الملوثة. وأحيانا يتم ضخ المياه الجوفية الملوثة إلى السـطح لمعالجتها كيميائيًـا. ومما يجدر ذكـره أن العمل بهذه الإجراءات يُسـهم في تحقيق نجاح محـدود. لذا لا يمكن حماية موارد المياه بالاعتماد على هذه الإجراءات فقط؛ إذ لا بد أن يعي الإنسـان أن النشـاطات التي يمارسها تؤثر سلبًا في نظام المياه الجوفية؛ حتى يتمكن من حمايتها.

وتعمـل المملكة العربية السـعودية على حمايـة مواردها المائية بطـرق مختلفة، منها: تقليـل عمليـات الضخّ الجائر للمياه الجوفية المسـتخدمة في الـري، وإيجاد مصادر بديلة عنها باستخدام مياه الصرف الصحي بعد معالجتها، وإقامة السدود لاستخدام مياهها في الري، وفي الوقت نفسـه لرفد المياه الجوفية بالمياه المترشـحة منها. كذلك تقليـل كميـات الملوثـات الواصلة إلى الميـاه الجوفيـة ومنها المخلفـات الصناعية، والأسمدة الكيميائية والمبيدات الحشرية المستخدمة في الزراعة.

الجدول 2–4 مصادر تلوث المياه الجوفية

الرشح من الأسمدة
التسرب من أماكن التخزين في محطات الوقود
رشح مياه حمضية من المناجم
التسرب من بيارة الصرف الصحي غير المبطنة
تداخل الميـاه المالحة بالمياه العذبة في الخزانات المائية القريبة من الشواطئ
التسرب من مكابّ النفايات
الإشعاعات ومنها تسرب عنصر الرادون

الربط مع رؤية ٢٠٣٠

رؤيـة VISION 2030

المملكة العربية السعودية KINGDOM OF SAUDI ARABIA

وطن طموح

• من أهداف الرؤية: ضمان استفادة مستدامة من الموارد المائية.

التقويم 2–4

الخلاصة

- تحفر الآبار وصولًا إلى نطاق الإشباع للحصول على المياه.
- يـؤدي الضـخ الجائـر من الآبـار إلى تكوين مخروط الانخفاض.
- الآبـار الارتوازية مخـرج لمياه الخزان المائـي الجـوفي المحصور الـذي تقع مياهه تحت الضغط.
- يؤدي سـحب الميـاه بكميات تفوق كميـات تغذيـة الخـزان إلى هبـوط منسوب الماء فيه.
- أكثـر مصـادر تلـوث الميـاه الجوفية شـيوعًا هي: مياه الصرف الصحي، ومـكابّ النفايـات الصلبـة وغيرها من مواقع التخلص من النفايات.

فهم الأفكار الرئيسة

1. **الفكرة الرئيسة** قوّم المشكلة المصاحبة للضخ الجائر في الآبار.
2. فسر لماذا تخضع المياه في الآبار الارتوازية إلى ضغط؟
3. وضح بالرسم الفرق بين البئر العادية والبئر الارتوازية.
4. وضّح كيف تعمل المملكة العربية السعودية على حماية مواردها المائية؟

التفكير الناقد

5. صمـم تجربة تختبر فيها وجود حواجز غير منفذة (عازلة) تحيط بالمنطقة الملوثة.
6. حلل أفضل طريقة لمنع تلوث المياه الجوفية في المناطق السكنية.

الكتابة في الجيولوجيا

7. توقع كيف تؤثر نفاذية الخزان المائي الجوفي في انتشار الملوثات.

الجيولوجيا والبيئة
Geology and the Environment

مراقبو المياه Watcher of the water

أن يكـون ماء الشرب نقيًّا أمر مُسَـلَّم به عنـد معظم الناس. ومعظـم المـاء المستعمل في الـشرب وفي الأعـمال المنزليـة مصـدره المياه الجوفية. لذا مـن يضمن أن تبقى هذه المصادر صالحة للشرب وللاستعمالات المنزلية؟

الهيدروجيولوجيـون (اختصاصيو المياه) يسـمى عالِم المياه الجوفية هيدروجيولوجيا، وهو مسـؤول عـن إيجاد مصادر للمياه الجوفية، وعن مراقبتها، وضمان التزود بها نقية وخالية مـن التلوث، وضمان اسـتعمالها بمعدلات أقل من معدلات تعويضها بمياه جديدة. فكيف يبدو يوم عمل مثالي من أيام عمـل الهيدروجيولوجي؟ يمكن تمضية هذا اليوم في الميدان في إجـراء اختبـارات على مناسـيب الميـاه، واليـوم التالي في تقويـم البيانـات في المكتـب، ثـم الـذي يليـه في البحـث في مشكلة تزويد أحد المواقع أو المدن بالمياه.

دراسـة حالـة للخـزان المائـي افـترض أن أحـد المزارعين يرغب في إقامة نظام ري يتطلب حفر بئر، فكيف تتم دراسة ذلـك؟ لا بـد أولًا من اختبار منسـوب الماء لضـمان أن البئر الجديـدة لـن تسـبب نقصًـا في إمـدادات الميـاه. لـذا يقـوم الهيدرولوجـي بالبحـث عن بئـر عاملة (غـير مقفلة أو غير جافة) في المنطقة المجاورة، ويقوم بتشغيلها باستعمال مضخة مدة 24 سـاعة. ويحـدد الاختبار الدوري للآبـار العاملة في منطقةٍ ما التغيراتِ التي تطرأ على منسوب الماء وعلى نوعيته. ومـن البيانـات التـي يتـم جمعهـا يقـوم الهيدروجيولوجـي بحسـاب كميـة الميـاه الموجـودة في الخـزان المائـي الجـوفي وحساب ما هو متوافر منها للبئر الجديدة.

افـترض أنـه بعـد أن بـدأت المزرعـة اسـتعمال نظـام الـري انقطعـت الميـاه عـن أحـد المنـازل أسـفل الطريق. سـيقوم الهيدروجيولوجـي بالذهـاب إلى ذلك المنزل لكي يتفحص وجود مشـكلات تقنية كثقـب في الجـدران الداخلية للبئر، فـإذا لم يكن السـبب تقنيًّا فسـوف يقوم بإعـادة تقويم نظام الري بتفحص نظام الخزان المائي الجوفي.

يجمع هذان الهيدروجيولوجيان عينات مائية لتحديد ما إذا كانت المياه ملوثة أم لا.

ضمان الجودة الهيدروجيولوجي مسؤول أيضًا عن فحص نوعية المياه. فمثلاً لو أصبح لمياه أحد الخزانات المائية الجوفية طعم ورائحة مختلفان فعندئذ سيسـعى سكان المنطقة للتأكد من صلاحية هذه المياه للشرب. لذا يقوم الهيدروجيولوجي بجمـع عينـات، وإرسـالها إلى المختـبرات لفحـص مـدى إصابتهـا بالملوثات المختلفـة، ومنها ميـاه الصرف الصحي والمبيـدات الحشريـة والفطريـة والفلـزات الذائبـة والمـواد العضويـة. فـإذا عُـرف مصـدر الملوثـات فسـوف يطلـب الهيدروجيولوجي من السـكان عدم استعمال المياه حتى يتم تحديد مصدر التلوث وحل المشكلة. وبعدها سيقوم بدراسة المشكلة والبحث عن حلول لها لكي يوقف ذلك التلوث.

الكتابة في الجيولوجيا

المجـلات العلميـة. ابحـث أكثـر فيـما يمارسـه الهيدروجيولوجيـون مـن عـمـل في الكتـب العلميـة والإنترنت. ثـم تخيل أنـك ترافق أحدهم في يوم عمل أو قـم بزيـارة أو مرافقـة الهيدروجيولوجي في يـوم عمل. صف ما شاهدت وما فعلت وما تعلمت حول خزانات المياه الجوفية.

SA.GEO.SE.CH04.indd 105 4/8/19 4:42 PM

مختبر الجيولوجيا

نموذج محاكاة تلوث المياه الجوفية

خلفية علمية: تتميز المياه بخصائص فيزيائية وكيميائية وحيوية محددة لاستعمالها في أغراض المختلفة. ونتيجة النشاط البشري تتعرض هذه الخصائص للتغير بسبب وصول الملوثات إليها.

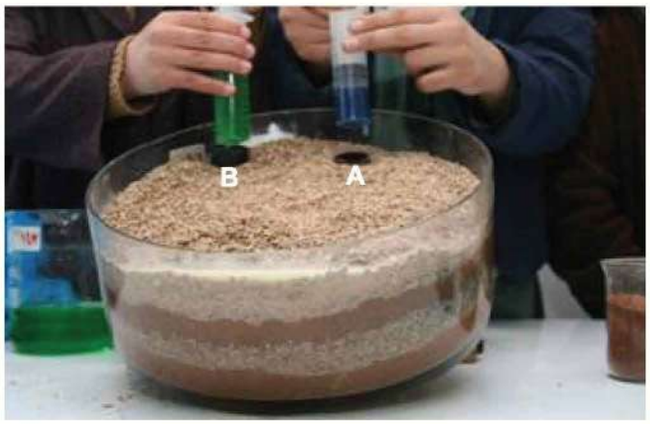
سؤال: كيف تصل الملوثات إلى المياه في باطن الأرض؟

الأدوات

حوض زجاجي عمقه تقريبا 20 cm، صبغتا طعام بلونين مختلفين (أخضر وبنفسجي)، ماء، تربة طينية، رمل خشن، محقنان طبيان، رشاش ماء، قطعتان من خرطوم ماء طولاهما على الترتيب 3 cm و 6 cm.

خطوات العمل

1. اقرأ نموذج السلامة في المختبر
2. ضع طبقة من التربة الطينية في قاع الحوض الزجاجي، واضغطها، ثم رشها بالماء.
3. ضع طبقة من الرمل فوق الطبقة الطينية، ثم رشها بالماء.
4. ضع قطعة الخرطوم 6 cm على سطح الطبقة الرملية، مشكلًا الفوهة A، وقم بتثبيتها بوضع طبقة ثانية من التربة الطينية سمكها 3 cm فوق طبقة الرمل السابقة، ثم رشها بالماء.
5. ضع طبقة ثانية من الرمل فوق الطبقة الطينية، ثم اغرس قطعة الخرطوم 3 cm، وفرغها من الرمل الذي علق بها في أثناء الغرس، مشكلًا الفوهة B.
6. تأكد أن سطح الفوهتين العلويتين على مستوى سطح طبقة الرمل العلوية نفسها، ثم رش طبقة الرمل بالماء.
7. ارفع طرف الحوض بمقدار 10 cm من ناحية الفوهتين كما في الشكل.



8. حضّر ماء مصبوغًا بالصبغة الخضراء، وآخر بالصبغة البنفسجية، واحقن كلًّا منهما في فوهة، كما في الشكل.
9. رش السطح العلوي للطبقة الرملية الثانية بالماء، ثم راقب انتشار الألوان في الطبقات مدة 10 دقائق.

التحليل والاستنتاج

1. **استنتج** إلام ترمز الصبغات؟
2. **لاحظ** أي الطبقات وصل إليها ماء ملون، وأيها لم يصل إليه؟ ولماذا؟
3. **حدد** الطبقة التي تلوثت أسرع. وبين سبب ذلك.
4. **استنتج** ما الطبقة الأصعب معالجة إذا تلوثت؟ ولماذا؟
5. **قارن** بين الطبقات في النموذج وبين الخزان المائي الجوفي.
6. **لخص** أوجه الشبه والاختلاف بين ما شاهدته والواقع في الطبيعة.
7. **قوّم** كيف نحمي مصادر المياه من التلوث؟

الكتابة في الجيولوجيا

ابحث مستعينًا بمصادر المعلومات المختلفة، اكتب تقريرًا عن مصادر تلوث المياه الجوفية وكيفية حمايتها. شارك أقرانك في الصف بما توصلت إليه من المعلومات حول الموضوع.

SA.GEO.SE.CH04.indd 106 4/8/19 4:42 PM

الفصل 4

دليل مراجعة الفصل

الفكرة العامة يسهم الهطول والرشح في تكوين المياه الجوفية وخزنها في خزانات في باطن الأرض إلى أن تعود إلى السطح على شكل ينابيع، أو من خلال سحبها من الآبار الارتوازية.

المفردات	المفاهيم الرئيسة
4–1 حركة المياه الجوفية وتخزينها	
رشح نطاق الإشباع منسوب الماء نطاق التهوية النفاذية الخزان المائي الجوفي الطبقة العازلة الينبوع (العين) ينبوع ساخن ينبوع فوار	**الفكرة الرئيسة** تزود خزاناتُ المياه الجوفية الجداولَ والينابيع الطبيعية والمناطق بالمياه حيثما يتقاطع منسوبها مع سطح الأرض. • ترشح مياه الأمطار بعد سقوطها على اليابسة إلى جوف الأرض، وتصبح مياهًا جوفية. • تخزن المياه الجوفية تحت منسوب المياه في مسامات الصخور والرسوبيات. • تتحرك المياه الجوفية خلال طبقة منفذة تسمى الخزان المائي الجوفي، وتحصر بطبقة غير منفذة تسمى الطبقة العازلة. • تتدفق المياه الجوفية إلى السطح، عندما يتقاطع منسوب المياه الجوفية مع سطح الأرض.
4–2 موارد المياه الجوفية	
الآبار الضخ الجائر الهبوط في منسوب المياه الجوفية تغذية المياه الجوفية البئر الارتوازية	**الفكرة الرئيسة** لا تتوافر المياه الجوفية دائمًا بالكميات والمواقع المطلوبة حيثما نحتاجها، وإن وجدت فأحيانًا ما تكون ملوثة. • تحفر الآبار في نطاق الإشباع للحصول على الماء. • الضخ الجائر من الآبار يسبب مخاريط الانخفاض. • تقتصر الاستفادة من الآبار الارتوازية على المياه الجوفية المحصورة. • ينخفض منسوب الماء في الخزان المائي الجوفي إذا كانت كمية الضخ أكبر من التغذية. • المصادر الأكثر شيوعًا لتلوث المياه الجوفية هي مياه الصرف الصحي، ومكاب النفايات.

SA.GEO.SE.CH04.indd 107 4/8/19 4:42 PM

4 تقويم الفصل

مراجعة المفردات

ما المصطلحات التي تصف العبارات الآتية:

1. منطقة تحت سطح الأرض تحوي مياه جوفية.
2. قابلية الصخور المكونة لطبقات الأرض لإمرار الماء من خلالها.
3. جميع الطبقات المنفذة للماء الراشح في موقع ما.
4. طبقات غير منفذة تحجز الماء وتمنعه من التدفق.

استعمل المفردات التي تعلمتها في هذا الفصل للإجابة عن الأسئلة الآتية:

5. ما الفرق بين الينابيع العادية والينابيع الارتوازية؟
6. ماذا تسمى الينابيع الساخنة التي تتكون في المناطق البركانية؟

تثبيت المفاهيم الرئيسة

7. ما المصدر الذي يمثل أكبر تجمع للمياه العذبة المتوافرة للاستعمال البشري؟

a- الجليديات والأغطية الثلجية.

b- بحيرات الماء العذب.

c- الأنهار والجداول المائية.

d- المياه الجوفية.

8. ما اسم الطبقة الرسوبية أو الصخرية التي لا تسمح بمرور الماء خلالها؟

a- الطبقة المنفذة. c- الخزان المائي.

b- الطبقة العازلة. d- الطبقة غير المائية.

استعن بالرسم البياني الآتي الذي يمثل المياه الجوفية لبئر في منطقة ما، للإجابة عن السؤالين 9 و 10.

9. أي الجمل الآتية تمثل استنتاجًا منطقيًّا يمكن استخلاصه من الرسم البياني؟

a- زادت كمية المياه الجوفية في الفترة بين 1993 و2003 م.

b- انخفض منسوب الماء في الفترة بين 2002 و 2003 م بسرعة أكبر من انخفاضه في الفترة بين 1993 و 1994 م.

c- انخفض منسوب الماء في الفترة 1993 و 1994م بسرعة أقل من انخفاضه في الفترة 2002 و 2003م.

d- قلت وفرة الماء في الفترة بين 1993 و 2003م.

10. في أي عام كان منسوب الماء أعلى ما يمكن؟

a- 2004م c- 1996م

b- 2003م d- 1993م

11. ما الخصائص التي يجب أن تكون للصخور المسامية لكي تصبح منفذة؟

a- يجب أن تكون فوق منسوب الماء.

b- يجب أن تكون المسامات كبيرة.

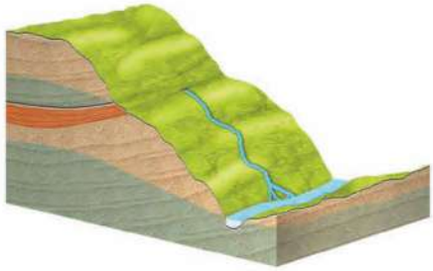
c- يجب أن تكون المسامات متصلة.

d- يجب أن تكون أسفل منسوب الماء.

SA.GEO.SE.CH04.indd 108 4/8/19 4:42 PM

4 تقويم الفصل

استعن بالشكل الآتي للإجابة عن السؤال 12.



12. ما الشروط الضرورية لتكوُّن الينابيع؟

a- توافر منطقة تغذية ونطاق التشبع والطبقة العازلة.

b- وجود طبقة عازلة تحصر المياه فوق نطاق التهوية والإشباع.

c- وجود منسوب ماء مرتفع فوق الطبقة العازلة يتقاطع مع سطح الأرض.

d- وجود طبقة عازلة أسفل منسوب المياه.

أسئلة بنائية

13. **صنف** أين يوجد منسوب الماء في بحيرة أو في منطقة رطبة مقارنة بمنطقة لا يوجد على سطحها ماء؟

14. **تعرَّف** المَعْلَمين اللذين يجب توافرهما في الخزان الجوفي المائي لكي يصبح مصدرًا ارتوازيًّا.

15. **قارن** بين منسوب الماء في المناطق الرطبة وفي المناطق الجافة.

16. **توقع** كيف يمكن أن يتأثر خزان جوفي صغير بالجفاف لسنوات عديدة.

17. **فسر**. لماذا يُعتقد أن طرح المخلفات السامة في حفرة خسفية قد يشكل مخاطر حقيقية على مياه الشرب؟

التفكير الناقد

18. **قوّم** العاقبة التي ستحل بموارد المياه الجوفية في المناطق الشاطئية بسبب ارتفاع منسوب ماء البحر.

استخدم الصورة أدناه للإجابة عن السؤال 19.

19. **فكر**. ارسم شكلًا يفسر دور المياه الجوفية في هذه الصورة، آخذًا بعين الاعتبار الماء المتدفق من سفح الجبل.

خريطة مفاهيمية

20. ارسم خريطة مفاهيمية باستعمال المصطلحات الآتية: بئر عادية، بئر ارتوازية، طبقة عازلة، محصور، غير محصور، منسوب ماء الخزان الجوفي.

سؤال تحفيز

21. **استدل** إذا زاد تركيز غاز ثاني أكسيد الكربون CO_2 في الغلاف الجوي، فما تأثير ذلك في المباني التي أنشئت من الأحجار الجيرية، وفي تكوين الينابيع الجيرية (Karst)؟

SA.GEO.SE.CH04.indd 109 4/8/19 4:43 PM

اختبار مقنن

اختيار من متعدد

1. أي المواد الآتية أنسب لتبطين بركة ماء؟

a- الحصى　　c- الطين

b- الحجر الجيري　　d- الرمل

2. أي المصادر المائية الآتية أسهل تلوثًا؟

a- خزان المياه الجوفية غير المحصورة.

c- الآبار الارتوازية.

b- خزان المياه الجوفية المحصورة.

d- الينابيع الساخنة.

3. ما الصفة التي تنطبق على درجة حرارة المياه الجوفية التي تتدفق من خلال العيون الطبيعية؟

a- أسخن من متوسط درجة حرارة المنطقة.

b- أبرد من متوسط درجة حرارة المنطقة.

c- لها درجة الحرارة نفسها في أي مكان توجد فيه العين.

d- تساوي متوسط درجة الحرارة السنوية في المنطقة.

أسئلة الإجابات القصيرة

استعن بالشكل الموجودة في الصفحة الآتية للإجابة عن الأسئلة 4 – 6.

4. وضح كيف تحدث العملية التي يشير إليها الحرف B؟

5. لماذا يوجد سهمان يشيران إلى العملية التي يرمز إليها الحرف A في الشكل؟

6. ما العمليات التي تحدث في الخطوتين C و D؟

7. ما خطورة الضخ الجائر من الآبار؟

8. ما الفرق بين البئر العادية والبئر الارتوازية من حيث نوع الخزان الجوفي؟

9. ناقش خسف سطح الأرض الناشئ عن الضخ الجائر وخطره على موارد المياه.

القراءة والاستيعاب

اقرأ النص الآتي ثم أجب عن السؤالين 10و11.

خزان الساق الجوفي

يقع خزان الساق الجوفي شمالي المملكة العربية السعودية، ويعد جزءٌ منه – وبخاصة الواقع في المناطق الشمالية الشرقية من المملكة – خزانًا جوفيًّا محصورًا. أما باقي الخزان الجوفي فهو غير محصور.

وتقدر كمية الماء المخزنة في الخزان الجوفي بحوالي 280000 مليون متر مكعب. ويتراوح عمر الماء فيه بين 10–30 ألف سنة، وهو من الخزانات الجوفية غير المتجددة. وتمتاز مياه الساق في معظمها بجودتها العالية؛ حيث يقدر متوسط كمية الأملاح الذائبة 500 mg /L. وفي الوقت الحاضر فإن كمية الماء التي تضخ من الحوض – وخصوصًا للزراعة – تفوق كثيرًا كميات المياه التي تضاف إليه، مما أدى إلى انخفاض مستوى الماء، وزيادة ملوحتها، وخصوصًا في منطقة القصيم.

10. من خصائص حوض الساق المائي:

a- مياهه ذات جودة منخفضة.

b- يعدّ حوضًا محصورًا.

c- ملوحة مياهه عالية.

d- مياهه غير متجددة.

11. من أكثر المشاكل التي يتعرض لها خزان الساق المائي:

a- الضخ الجائر للاستخدامات الزراعية.

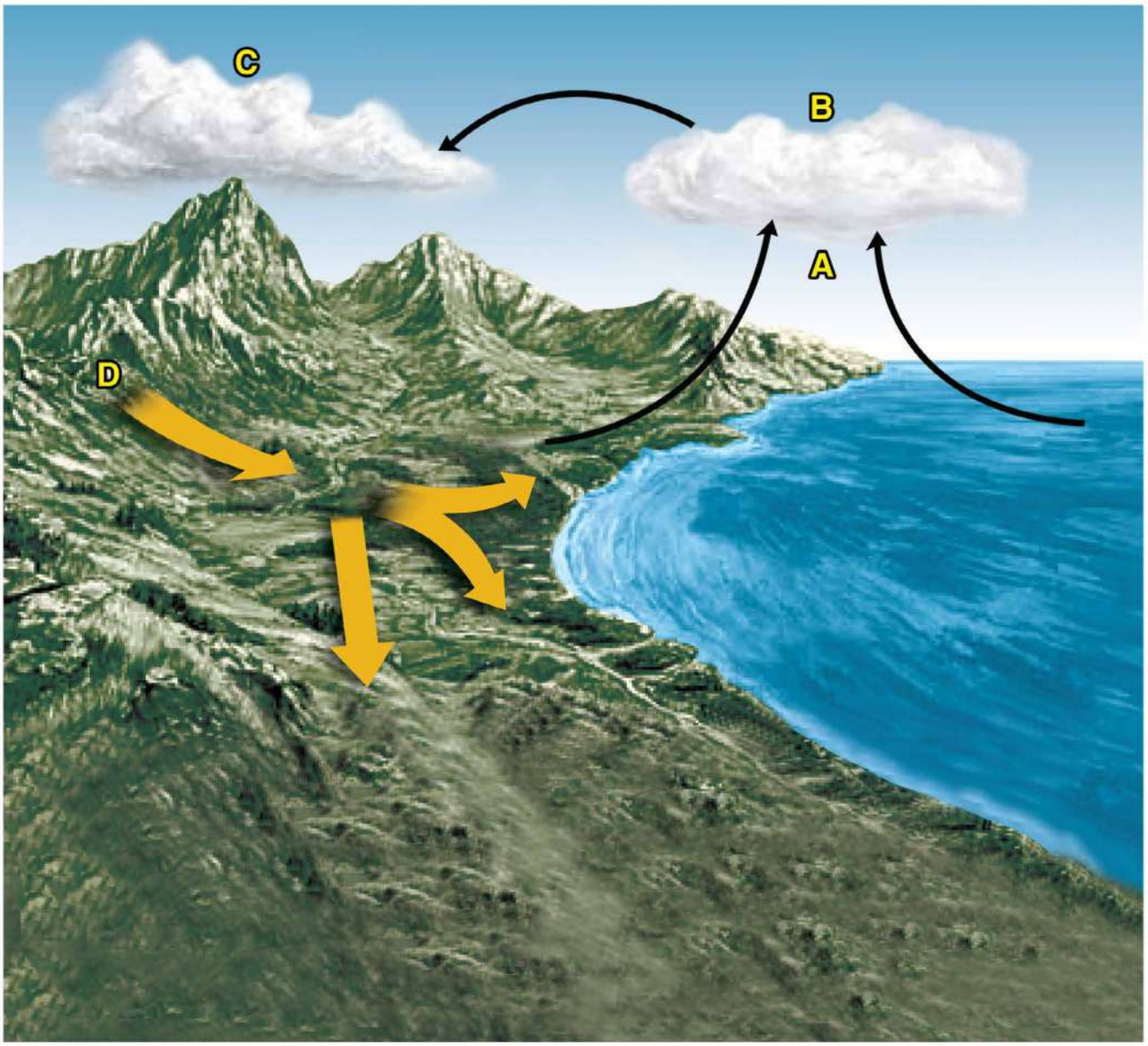
b- التلوث بفعل مياه الصرف الصحي.

c- الضخ الجائر للاستخدامات المنزلية.

d- التلوث بفعل الأسمدة.

SA.GEO.SE.CH04.indd 110　4/8/19 6:09 PM

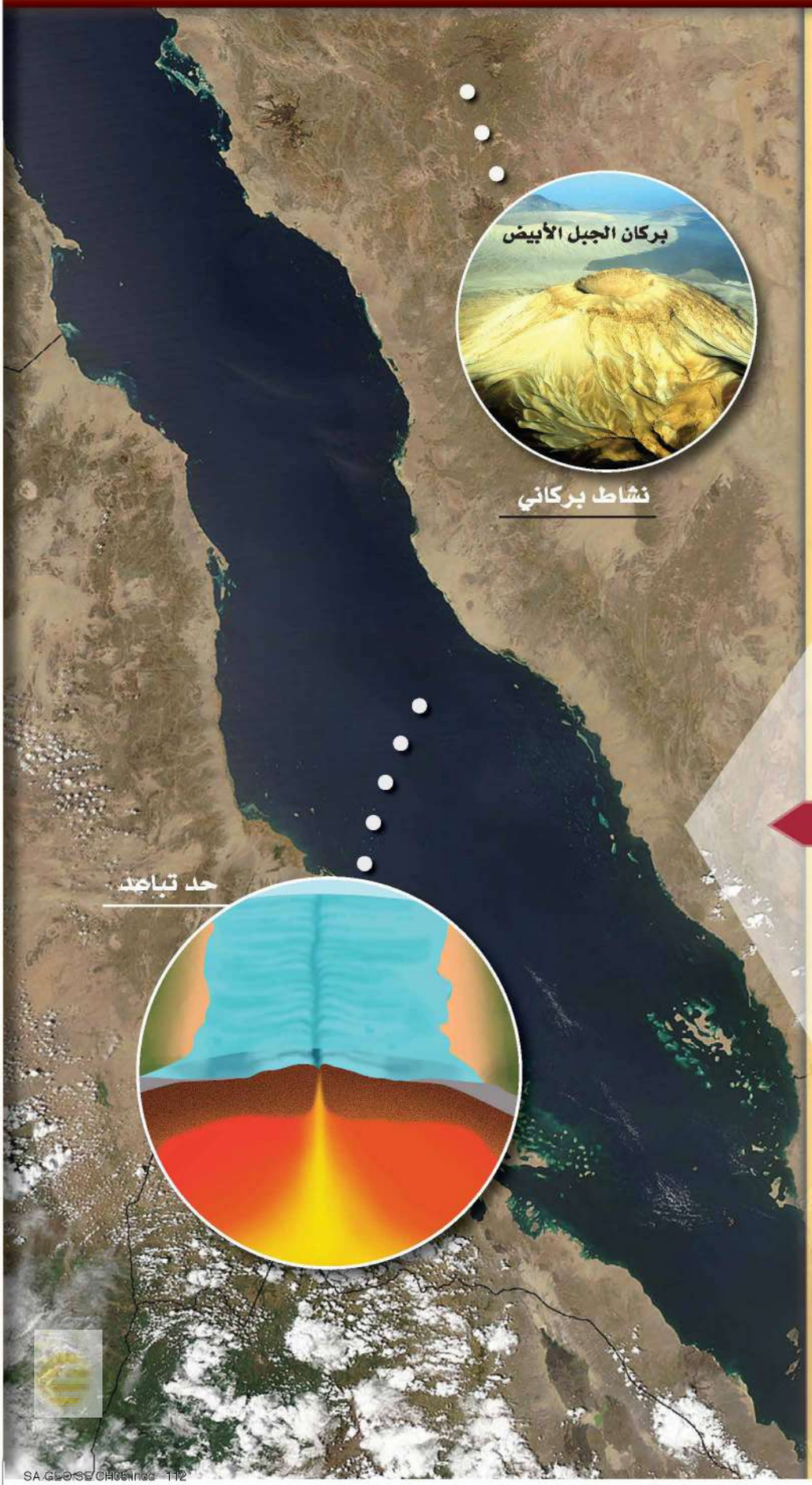
دورة الماء في الطبيعة



تمثل الأسهم الظاهرة في الشكل حركة المياه في أماكن تجمعها، بينما تشير الأحرف إلى العمليات التي تحدث لها.

SA.GEO.SE.CH04.indd 111 4/8/19 4:43 PM

الفصل 5 الصفائح الأرضية Earth Plates



الفكرة العامة تحدث معظم الأنشطة الجيولوجية عند حدود الصفائح.

5–1 انجراف القارات

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

5–2 توسع قاع المحيط

الفكرة الرئيسة تتكوّن القشرة المحيطية في مناطق التوسع (ظهور المحيطات) وتصبح جزءًا من قيعانها.

5–3 حدود الصفائح وأسباب حركتها

الفكرة الرئيسة تتكون كل من الجبال والبراكين والأخاديد البحرية بين حدود الصفائح، وتؤدي تيارات الحمل في الستار 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 تقريبًا، لذا يطلق الجيولوجيون عليه المحيط الصغير، ويتوقع أن يصبح قاعه محيطًا حقيقيًّا في المستقبل.
- توجد الصفيحة العربية – وتظهر جزء منها في هذه الصورة – عن يمين البحر الأحمر، وصفيحة إفريقيا على يساره.

SA GEOSE CH05.indd 112 4/8/19 4:45 PM

نشاطات تمهيدية

تجربة استهلالية

هل تتحرك مدينة جدة؟

كانت الجزيرة العربية جزءًا من قارة إفريقيا إلى أن حدث شق عظيم بينهما يُدعى حفرة الانهدام. وأخذ هذا الشق يتوسع ببطء، ثم اندفعت فيه المياه من خليج عدن حتى تكوّن البحر الأحمر وخليجَا العقبة والسويس، واستمر البحر في التوسع 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 في دليل التجارب العملية.
2. حدّد المسافة الفعلية بين مدينة جدة في المملكة العربية السعودية ومدينة بورسودان في جمهورية السودان، وكذلك بين 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

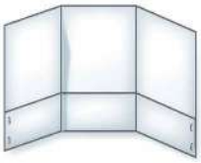
1. **استنتج** ما القوى التي أدت إلى ابتعاد شبه الجزيرة العربية عن قارة إفريقيا؟
2. **احسب** المدة الزمنية التي يستغرقها البحر الأحمر ليزداد عرضه 100 km عن عرضه الحالي، إذا كان معدل توسعه 2 cm في العام الواحد.

المطويات
منظمات الأفكار

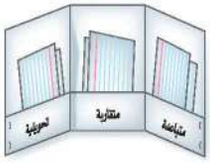
حدود الصفائح

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

الخطوة 1 اثن الطرف السفلي للورقة طوليًا بمقدار 3 cm، ثم اضغط 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.

استخدم هذه المطوية في أثناء دراسة القسم 3–5، لخص الخصائص الجيولوجية لأنواع حدود الصفائح الثلاث والعمليات المرافقة لها على بطاقات معنونة، وضعها في الجيوب المناسبة لها.

SA GEO SE CH05.indd 113 4/8/19 4:45 PM

رابط الدرس الرقمي

www.ien.edu.sa

5-1

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 في البداية.

مراجعة المفردات

الفرضية: تفسير لموقفٍ ما قابل للاختبار.

المفردات الجديدة

الانجراف القاري

بانجيا

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

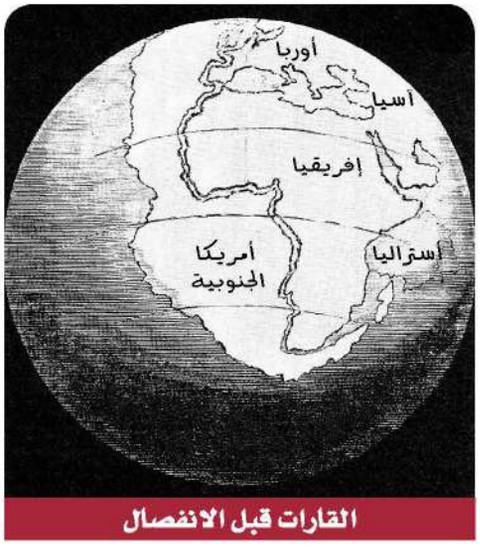
الربط مع الحياة ما خصائص القطع التي تستعملها في لعبة تركيب القطع (البازل)؟ يستعمل العلماء خصائص - منها الشكل والموقع - لكي تساعدهم على معرفة لماذا تتشابه حواف القارات وتتطابق على الرغم من تباعدها.

الملاحظات القديمة Early observation

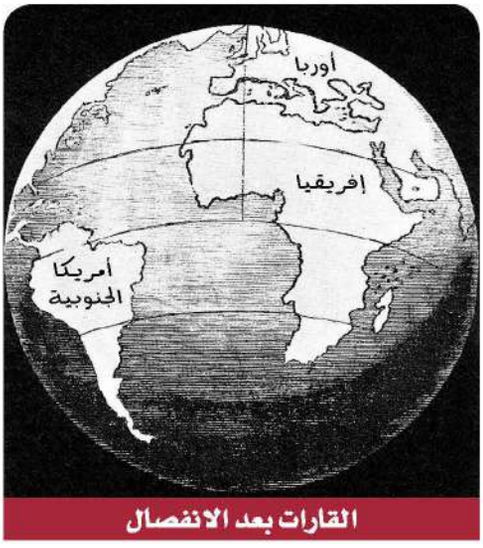
باستثناء الأحداث المفاجئة كالزلازل والبراكين والانزلاقات الأرضية، فإن معظم معالم سطح الأرض لا تظهر تغيرًا نسبيًّا في أثناء حياة الإنسان. ومع ذلك فإن الأرض مرت بتغيرات كثيرة عبر تاريخها الطويل الموثق في سلم الزمن الجيولوجي. وأول من اقترح فكرة تغير المعالم الرئيسة للأرض هم رسامو الخرائط. ففي نهاية القرن الخامس عشر لاحظ رسام الخرائط الهولندي إبراهام أورتيليوس تطابقًا بين حافات القارات على جانبي المحيط الأطلسي، فاقترح أن القارتين الأمريكيتين الشمالية والجنوبية قد انفصلتا عن قارتي أوربا وإفريقيا بسبب الزلازل والفيضانات. وقد لاحظ العديد من العلماء وجود تطابق بين الحوافّ القارية. ويوضح **الشكل 1-5** خريطة أعدّها رسامو الخرائط في القرن التاسع عشر.

وكان أول من اقترح فكرة حركة القارات العالم الألماني ألفريد فاجنر Alfred Wegener 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 متصلة معًا يومًا ما؟



القارات قبل الانفصال



القارات بعد الانفصال

الشكل 1-5 خريطتان تظهران التطابق الظاهري بين حوافّ القارات، أعدّهما رسامو الخرائط القدماء عام 1858م، بناءً على ملاحظاتهم.

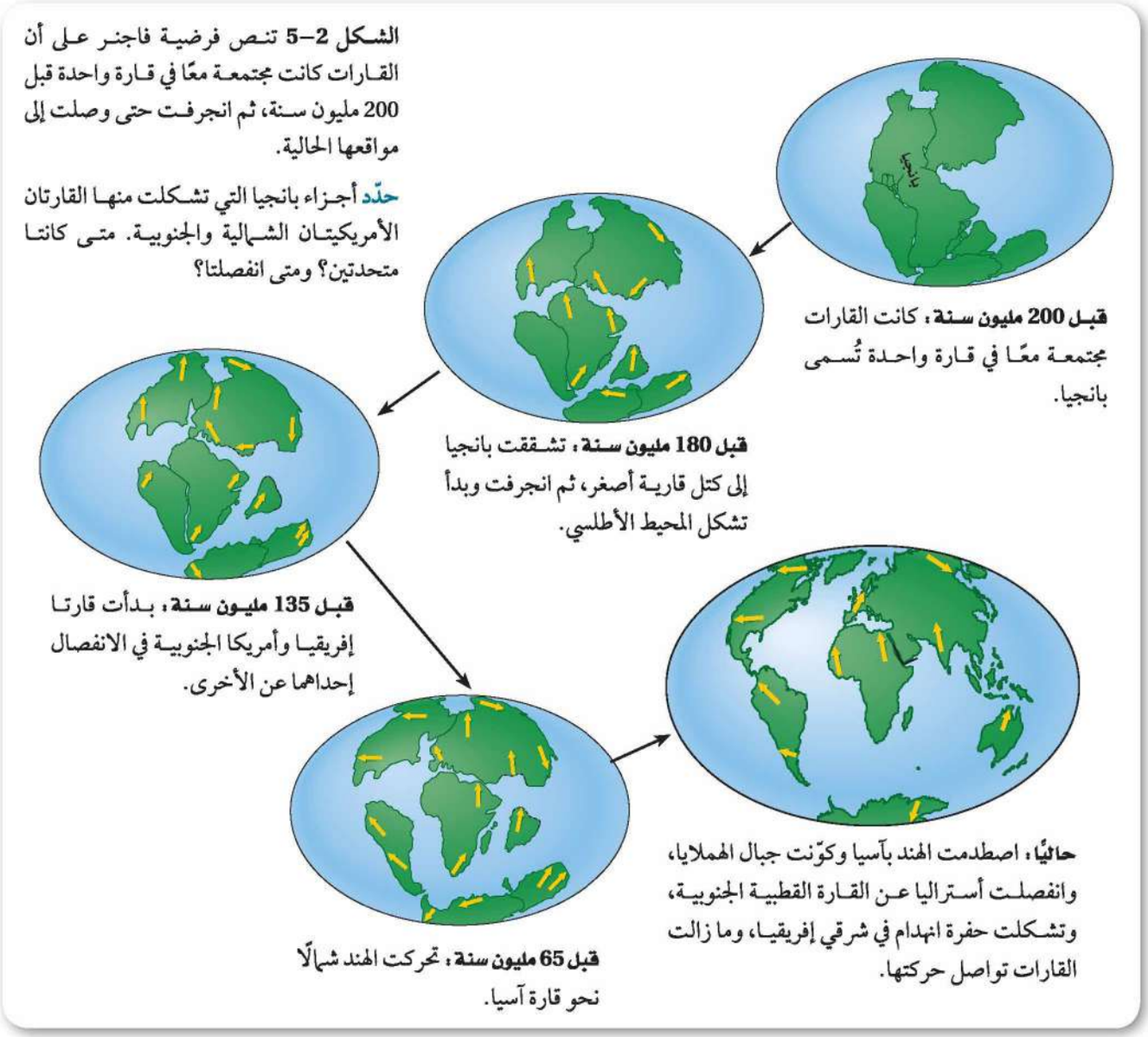
SA.GEO.SE.CH05.indd 114 4/8/19 4:45 PM

الانجراف القاري Continental Drift

طـوّر العـالم فاجنـر فكـرة تُسـمى **الانجـراف القـاري Continental drift**، وفيها أن القارات كانت مجتمعة معًا في قـارة واحدة ضخمة (القارة الأم أو الأصل) أُطلق عليها **بانجيـا Pangaea**. وهـي كلمة من أصل إغريقـي تعني جميع اليابسـة، واقترح أن هذه القارة بدأت في الانقسـام قبل 200 مليون سـنة، وانفصل بعضها عن بعض إلى أجزاء، ثم انجرفت هذه الأجزاء، واستمرت في الحركة ببطء حتى وصلت إلى مواقعها الحالية، كما في **الشكل 2–5**.

أدلـة فاجنر على الانجراف القاري Wegener Evidences for Continental Drift

يُعـد ألفريـد فاجنر أول عالم قـدَّم أكثر من دليل على تطابق شـواطئ القارات على جانبي المحيط الأطلسي. وقد جمع أدلة، صخرية ومناخية وأحفورية تدعم فكرته.



الشـكل 2–5 تنـص فرضيـة فاجنـر عـلى أن القـارات كانت مجتمعـة معًا في قـارة واحدة قبل 200 مليون سـنة، ثم انجرفـت حتى وصلت إلى مواقعها الحالية.

حدّد أجـزاء بانجيا التي تشـكلت منهـا القارتان الأمريكيتـان الشـمالية والجنوبيـة. متـى كانتـا متحدتين؟ ومتى انفصلتا؟

قبـل 200 مليون سـنة: كانت القارات مجتمعـة معًـا في قـارة واحـدة تُسـمى بانجيا.

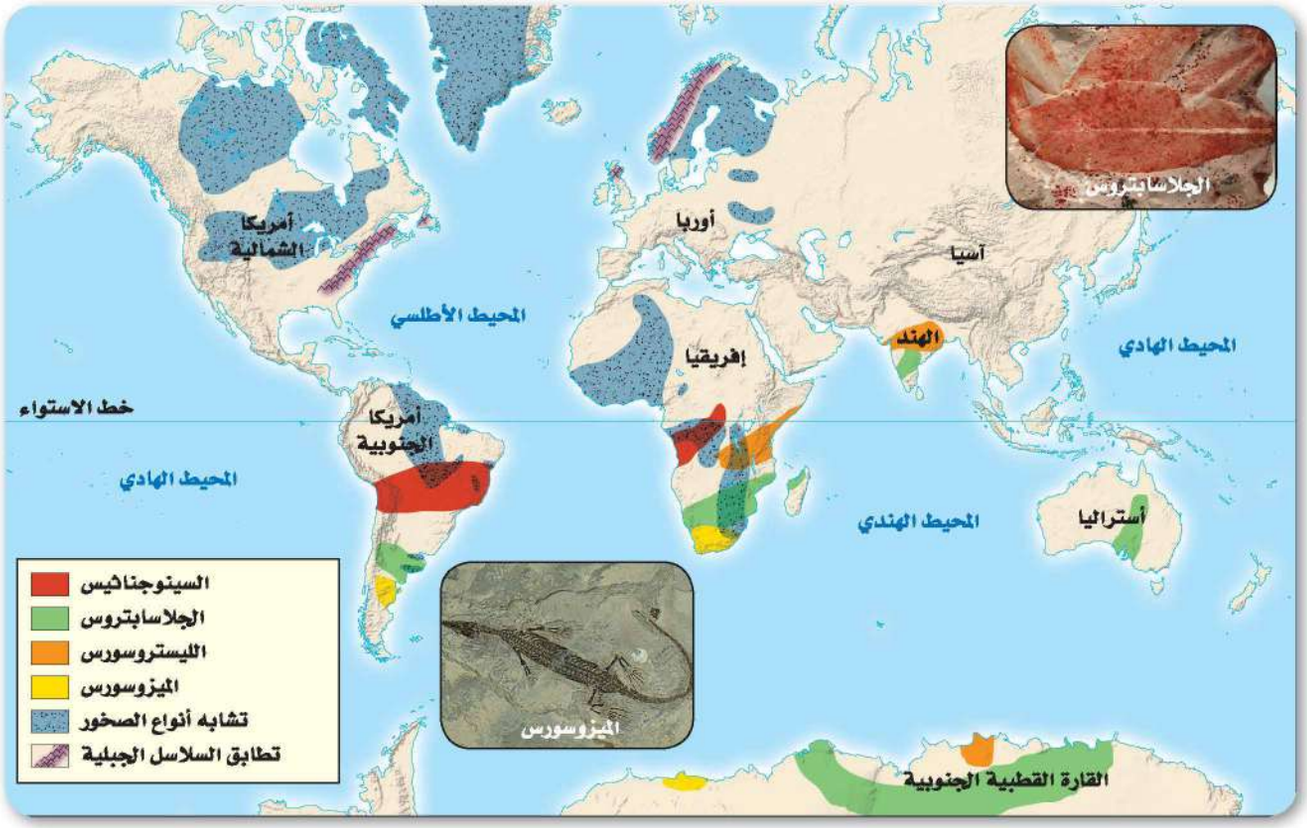
قبل 180 مليون سـنة: تشـققت بانجيا إلى كتل قاريـة أصغر، ثم انجرفت وبدأ تشكل المحيط الأطلسي.

قبـل 135 مليـون سـنة: بـدأت قارتـا إفريقيـا وأمريكا الجنوبيـة في الانفصال إحداهما عن الأخرى.

قبل 65 مليون سنة: تحركت الهند شمالًا نحو قارة آسيا.

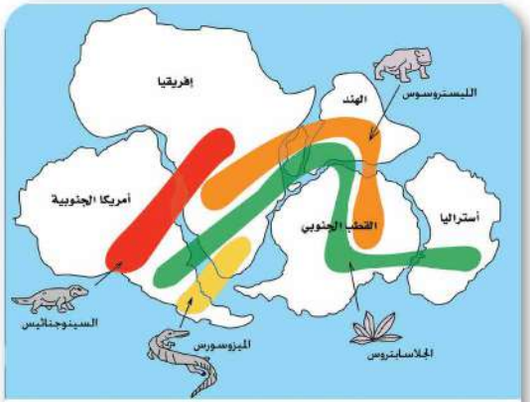
حاليًا: اصطدمت الهند بآسيا وكوّنت جبال الهملايا، وانفصلـت أسـتراليا عـن القـارة القطبيـة الجنوبيـة، وتشـكلت حفرة انهدام في شرقي إفريقيـا، وما زالت القارات تواصل حركتها.

SA.GEO.SE.CH05.indd 115 4/8/19 4:45 PM



الشكل 3–5 استعمل ألفريد فاجنر التشابه بين 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.



الشكل 4–5 كانت القارات متصلة مع بعضها البعض قبل 200 مليون سنة وقد سميت بانجيا.

التكوينات الصخرية Rock formations بيّن فاجنر أنه عندما بدأت بانجيا في الانقسام إلى أجزاء أصغر، تكسرت تراكيب جيولوجية ضخمة، منها السلاسل الجبلية؛ بسبب انفصال القارات وتباعدها. وبناءً على ذلك اعتقد فاجنر أنه لابد من وجود تشابه في أنواع الصخور على جانبي المحيط الأطلسي. وقد لاحظ تشابهًا بين العديد من الطبقات الصخرية التي يزيد عمرها على 200 مليون سنة في جبال الأبلاش في أمريكا الشمالية مع الطبقات الصخرية للجبال في جرينلاند وأوروبا، مما يدعم فكرته أن القارات كانت مجتمعة معًا قبل 200 مليون سنة. ويوضح **الشكل 3–5** المواقع التي تتشابه عندها مجموعات الصخور المشار إليها.

الأحافير Fossils جمع فاجنر أدلة أحفورية يثبت فيها وجود قارة بانجيا في وقت ما؛ حيث عثر على أحافير لأنواع مختلفة من الحيوانات والنباتات كانت تعيش على اليابسة، وتنتشر انتشارًا واسعًا في القارات، كما في **الشكل 3–5**، واستطاع أن يبرهن على صحة فرضيته من خلال مجموعة من هذه الأحافير، منها 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 هذه المخلوقات الحية التي عاشت على بانجيا قبل انقسامها انظر **الشكل 4–5**، ولذلك استطاع أن يبرهن على صحة فرضيته.

SA.GEO.SE.CH05.indd 116 4/8/19 4:45 PM

المناخ القديم Ancient climate استطاع 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 3–5**. وقد فسر فاجنر هذا الدليل على النحو الآتي: لأن هذه الأحفورة موجودة في الوقت الحاضر في أماكن منفصلة بعضها عن بعض ومتباعدة جدًّا يصعب أن يسود فيها مناخ واحد، ولأن نبات هذه الأحفورة يعيش 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، في مكان معتدل المناخ.

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 بعض الصخور تثبت بوضوح أن المناخ قد تغير في بعض القارات؛ فقد وُجدت توضعات من الفحم الحجري في القارة القطبية الجنوبية، انظر **الشكل 5–5**. ولمّا كان الفحم الحجري قد تكوَّن نتيجة تراكم نباتات ميتة قديمة في مستنقعات المناطق الاستوائية، لذا 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 البعيد.

الترسبات الجليدية Glacial deposits تُعدُّ الترسبات الجليدية التي وُجدت في أجزاء من إفريقيا والهند وأستراليا وأمريكا الجنوبية، التي يعود عمرها إلى 290 مليون سنة دليلاً مناخيًّا آخر على انجراف القارات، مما جعل فاجنر يقترح أن هذه المناطق كانت ذات يوم مغطاة بغطاء سميك من الجليد، كما هو الحال في القطب الجنوبي اليوم؛ إذ لا يمكن لمناطق دافئة جدًّا أن تتشكل فيها أغطية جليدية، مما يؤكد أنها كانت في موقع قريب من القطب الجنوبي في ذلك الوقت، انظر **الشكل 6–5**. وقد اقترح فاجنر احتمالين لتفسير الترسبات الجليدية؛ الأول: أن القطب الجنوبي قد غيّر موقعه، والثاني: أن هذه القارات كانت في موقع القطب الجنوبي وغيّرت مواقعها. وقد رجَّح فاجنر الاحتمال الثاني، وهو أن القارات هي التي جرفت بعيدًا، لا أن محور الأرض هو الذي غيّر موقعه.

الشكل 5–5 يدل وجود توضعات الفحم الحجري في القارة القطبية المتجمدة على أن نباتات المستنقعات قد ازدهرت في هذه المنطقة يومًا ما.

وضح كيف أن الفحم الحجري الذي تكوَّن في المستنقعات القديمة قد وجد في القارة القطبية الجنوبية؟

الشكل 6–5 إن وجود الترسبات الجليدية التي يعود عمرها إلى 290 مليون سنة في عدة قارات جعلت فاجنر يقترح أن هذه القارات كانت مجتمعة معًا ومغطاة بالجليد في ذلك الوقت. ويبين اللون الأبيض المنطقة المغطاة بالجليد.

SA.GEO.SE.CH05.indd 117 4/8/19 4:45 PM

قصور في فرضية الانجراف القاري
Failure Hypothesis of Continental Drift

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 التي تدعم فكرته. ويوضح **الشكل 7–5** 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.

وقد واجهت فرضية الانجراف القاري مشكلتين رئيستين منعتا 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 بحسب اعتقاده، غير أن الفيزيائيين بيّنوا أن هذه القوة لا تكفي لتحريك القارات.

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

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

الشكل 7–5 جمع فاجنر المزيد من الأدلة لدعم نظريته في رحلة استكشافية عام 1930م إلى جرينلاند، وتوفي في أثناء هذه الرحلة، غير أن هذه البيانات التي جمعها أصبحت تشكل أساسًا لنظرية الصفائح الأرضية بعد سنوات عديدة.

التقويم 1–5

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 فوق قيعان المحيطات.
- جمع فاجنر أدلة من الصخور والأحافير والمناخات القديمة لدعم فرضيته.
- لم تقبل فكرة الانجراف القاري لأنها لم تفسر كيفية حركة القارات، وما يسبب حركتها.

فهم الأفكار الرئيسة

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

التفكير الناقد

5. فسّر من خلال **الشكل 6–5**، 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 عن إحدى الرحلات الاستكشافية التي قام بها العالم فاجنر، مع توضيح رأيك العلمي حول ما توصل إليه خلالها.

SA.GEO.SE.CH05.indd 118 4/8/19 4:45 PM

رابط الدرس الرقمي

www.ien.edu.sa

5-2

توسع قاع المحيط

Seafloor Spreading

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
ظهر المحيط
الانقلاب المغناطيسي
المغناطيسية القديمة
تساوي العمر
توسع قاع المحيط
الأخاديد البحرية

الفكرة الرئيسة **تتشكل القشرة المحيطية عند ظهر المحيط وتصبح جزءًا من قاعه.**

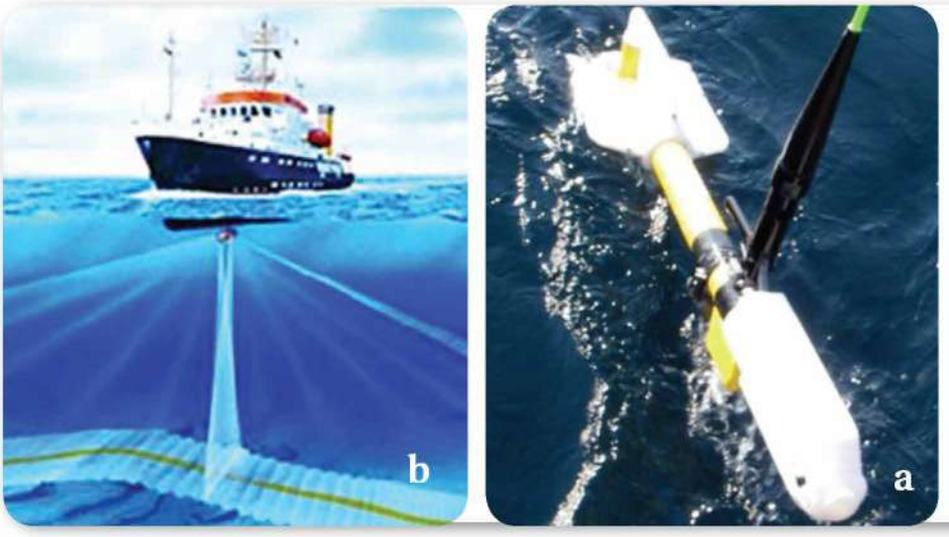
الربط مع الحياة هل قمت يومًا بعدّ الحلقات السنوية في جذع شجرة لمعرفة عمرها؟ يستطيع العلماء تقدير عمر قاع المحيط من خلال دراسة أنماط مشابهة.

رسم خرائط لقاع المحيط Mapping the Ocean Floor

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

ويعد **جهاز قياس المغناطيسية Magnetometer** إحدى التقنيات المتقدمة؛ فقد استُعمل لدراسة قاع المحيط، انظر **الشكل 5–8a**، وهو جهاز صغير يُستعمل للكشف عن التغيرات الطفيفة في المجالات المغناطيسية، ويوصل خلف السفينة لتسجيل المجالات المغناطيسية لصخور قاع المحيط.

وهناك تطور آخر أتاح للعلماء دراسة قاع المحيط بقدر كبير من التفصيل، وهو 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 حتى ارتدادها عنه وعودتها إلى السفينة انظر **الشكل 5–8b**، وقد مكّنت التطورات في مجال تقنية السونارِ العلماءَ من قياس عمق المياه، ثم رسم خريطة لتضاريس قاع المحيطات.



الشكل 5–8

a: يُستعمل جهاز قياس المغناطيسية للكشف عن التغيرات الطفيفة في المجالات المغناطيسية.

b: يستعمل جهاز السونار لتحديد عمق المياه وتضاريس قاع المحيط.

وقد عززت البيانات التي جُمعت بهذين الجهازين فهم العلماء للصخور والتضاريس الموجودة في قاع المحيط.

SA.GEO.SE.CH05.indd 119 4/8/19 4:45 PM

الشكل 9–5 كشفت البيانات المسجلة بالسونار وجود ظهور المحيطات والأخاديد البحرية العميقة. حيث يكثر على امتدادهما الزلازل والبراكين.

يوجد هذا الشكل مكبرًا في مرجعيات الطالب في نهاية الكتاب

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 9–5** الذي يبين تضاريس المحيطات الرئيسة. ومن أهم التضاريس التي أثارت فضول العلماء سلسلة جبلية ضخمة تحت الماء تمتد على طول قيعان المحيطات في جميع أنحاء الأرض؛ أطلقوا عليها اسم **ظهر المحيط Ocean ridge**، وهي أطول سلسلة جبلية على كوكب الأرض؛ إذ يصل طولها إلى 80000 km، وارتفاعها إلى 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 9–5**. 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 المملكة سبع مرات تقريبًا، فسوف نصل إلى مستوى سطح البحر.

بعد اكتشاف علماء الجيولوجيا هذين المعلمين من تضاريس المحيطات، وهما: ظهور المحيطات، والأخاديد البحرية تحيروا مدة تزيد على عقدين من الزمان، وبرزت 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 انزلاق صفيحة تحت صفيحة أخرى.

المعنى اللغوي: شق مستطيل في الأرض.

SA.GEO.SE.CH05.indd 120 4/8/19 4:45 PM

صخور ورسوبيات المحيطات
Ocean Rocks 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: أن 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 10–5**. 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؟ ولما كان الجيولوجيون يعرفون أن المحيطات كانت موجودة قبل 180 مليون سنة، فقد دفعهم هذا إلى التساؤل: لماذا لا يوجد أثر للقشرة المحيطية التي يزيد عمرها على 180 مليون سنة؟

أما الاكتشاف الثاني: فيتعلق برواسب قاع المحيط؛ إذ تشير القياسات إلى أن سُمك رسوبيات المحيطات يصل إلى بضع مئات من الأمتار عادة، بينما يصل سُمك الصخور الرسوبية التي تغطي مساحات واسعة من القارات 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، فافترضوا 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 10–5**.

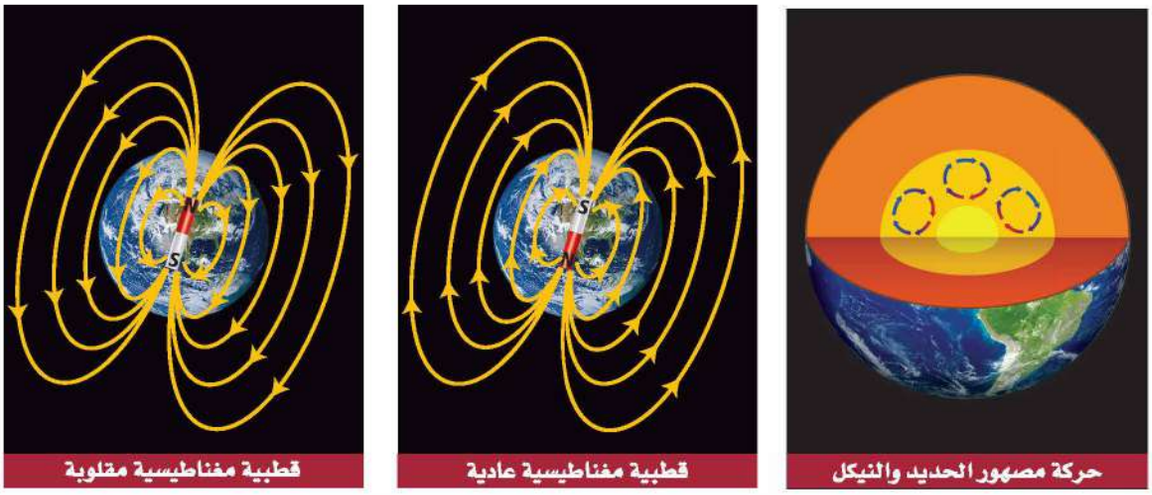
المهن في علم الأرض

الجيولوجي البحري

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

الشكل 10–5 كلما ابتعدنا عن ظهر المحيط ازداد كل من: عمر صخور قشرة المحيط، وسُمْك الرسوبيات.

SA.GEO.SE.CH05.indd 121 4/8/19 4:45 PM



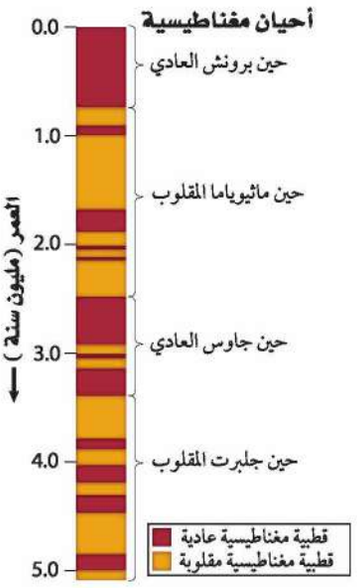
الشكل 11–5 يتولد المجال المغناطيسي للأرض بفعل جريان مصهور الحديد والنيكل في اللب الخارجي. وتتغير قطبية المجال المغناطيسي للأرض من قطبية مغناطيسية عادية إلى قطبية مغناطيسية مقلوبة نتيجة تغير اتجاه جريان المصهور.

المغناطيسية Magnetism

كما تعلم فإن الأرض تقسم إلى ثلاثة أجزاء رئيسة هي: القشرة والستار واللب. ويتكون اللب من جزأين: لب خارجي يوجد في الحالة السائلة، ويتكون معظمه من الحديد والنيكل. ولب داخلي يوجد في الحالة الصلبة. واللب الخارجي هو المسؤول عن المغناطيسية الأرضية. وتولد حركة مصهور الحديد والنيكل في اللب الخارجي للأرض تيارًا كهربائيًّا، ينشأ عنه مجال مغناطيسي للأرض، انظر **الشكل 11–5**. ويؤدي ذلك إلى تكون قطبين مغناطيسيين: شمالي وجنوبي. ويسمى اتجاه قطبي المجال المغناطيسي القطبيةَ المغناطيسيةَ العادية عندما يكون اتجاه القطبين في اتجاه قطبَي الأرض المغناطيسيين نفسه، كما هو في الوقت الحاضر.

وعندما يتغير اتجاه حركة مصهور الحديد والنيكل في اللب الخارجي يحدث تغير في اتجاه سريان التيار الكهربائي، ومن ثم التغير في اتجاه الأقطاب المغناطيسية الأرضية. ويطلق على هذا قطبيةً مغناطيسيةً مقلوبةً، انظر **الشكل 11–5**. ويسمى تغير قطبية المجال المغناطيسي للأرض من عادية إلى مقلوبة **الانقلاب المغناطيسي Magnetic reversal**. وقد حدث الانقلاب المغناطيسي عبر تاريخ الأرض مرات عديدة.

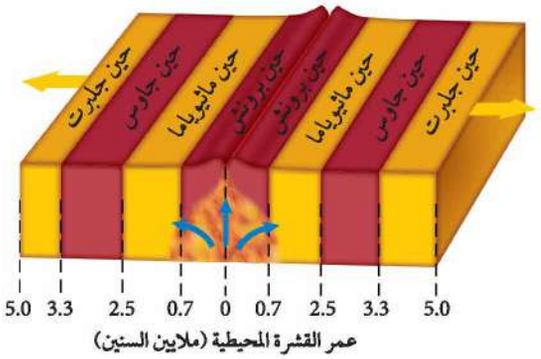
الشكل 12–5 تتعاقب فترات القطبية المغناطيسية العادية مع فترات القطبية المغناطيسية المقلوبة، وتسمى التغيرات الطويلة في المجال المغناطيسي الأرضي (أحيانًا)، ومفردها حين، والتغيرات القصيرة (أحداثًا).



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. ومن خلال بيانات المغناطيسية القديمة التي جمعت من دراسات اللابة القارية استطاع العلماء بناء السلم الزمني المغناطيسي، كما في **الشكل 12–5**.

التماثل المغناطيسي Magnetic symmetry لأن معظم القشرة المحيطية تتكون من صخور بازلتية وتحتوي على كميات كبيرة من المعادن البركانية المنشأ الحاملة للحديد، فقد افترض العلماء أن صخور قاع المحيط لا بد أنها تحتفظ بسجلات للانقلابات المغناطيسية. لذا بدؤوا اختبار فرضيتهم باستعمال جهاز قياس المغناطيسية؛ لقياس اتجاهات المجالات المغناطيسية لصخور قاع المحيط، وحصلوا

SA.GEO.SE.CH05.indd 122 4/8/19 4:45 PM



الشكل 13–5 سجلات القطبية العادية والمقلوبة للمجال المغناطيسي الأرضي في صخور قاع المحيط.

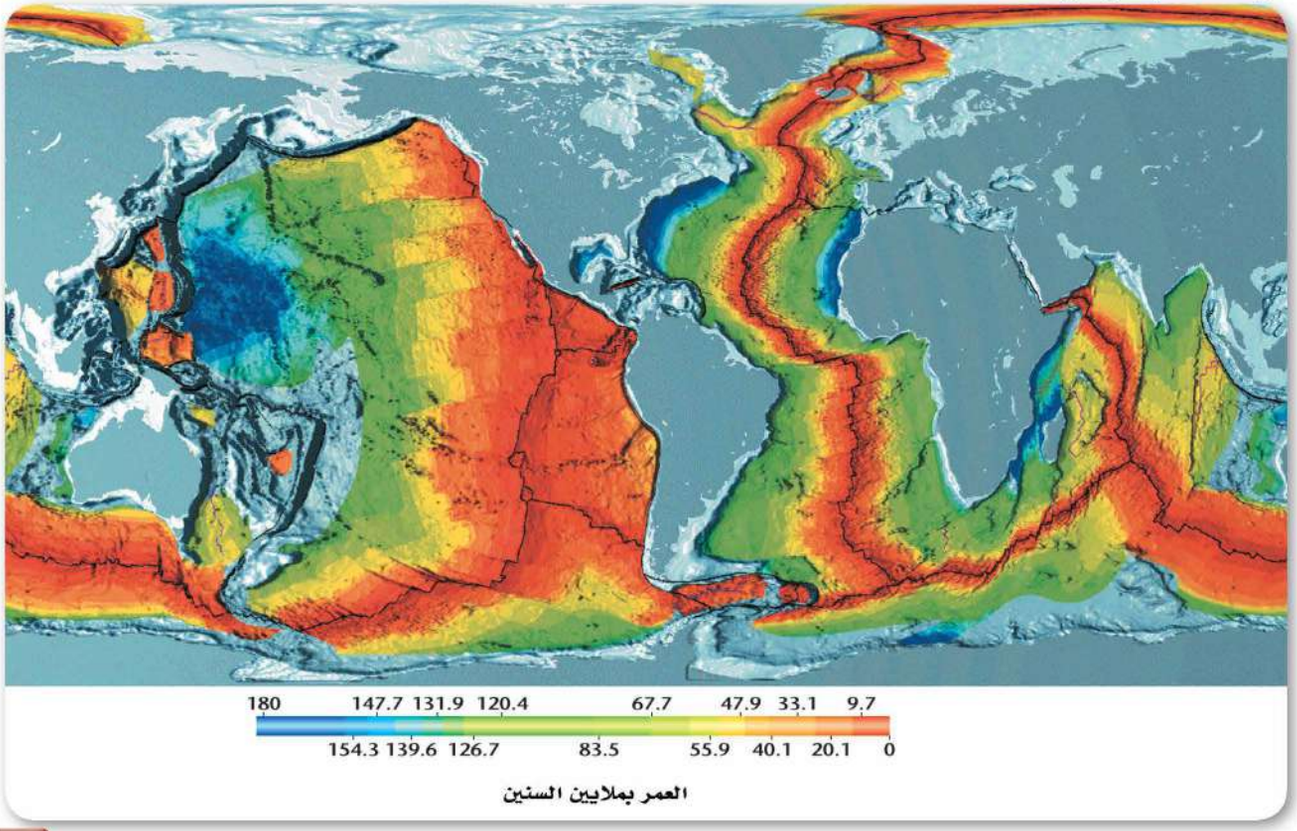
حدّد قطبية البازلت المتكون حديثًا في ظهر المحيط.

على نتائج مذهلة، منها وجود سلسلة من أشرطة مغناطيسية موازية لظهر المحيط ذات قطبية مغناطيسية عادية ومقلوبة بصورة متعاقبة ومتوازية، ولكنهم اندهشوا أكثر عندما اكتشفوا أن أعمار الأشرطة المغناطيسية وعرضها متماثلة على جانبي ظهر المحيط. قارن النمط المغناطيسي على جانبي ظهر المحيط في **الشكل 13–5**.

استطاع العلماء تحديد عمر قاع المحيط من خلال مقارنة الأنماط المغناطيسية المقلوبة في قاع المحيط بمثيلاتها المعروفة على اليابسة. وقد مكّنتهم هذه الطريقة من إعداد خرائط **تساوي العمر Isochron** لجميع قيعان المحيطات بسرعة، كما في **الشكل 14–5**. وخط تساوي العمر 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 14–5 تمثل كل حزمة لونية في خريطة تساوي أعمار قاع المحيط عمر قطاع من قشرة المحيط.

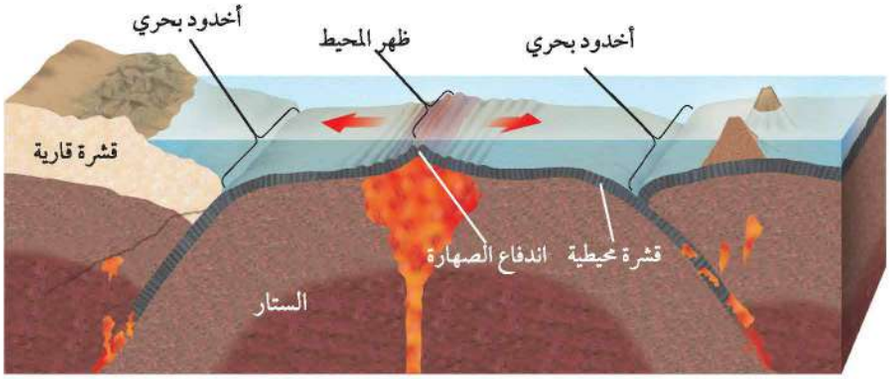
لاحظ. ما النمط الذي تلاحظه في خريطة تساوي العمر؟



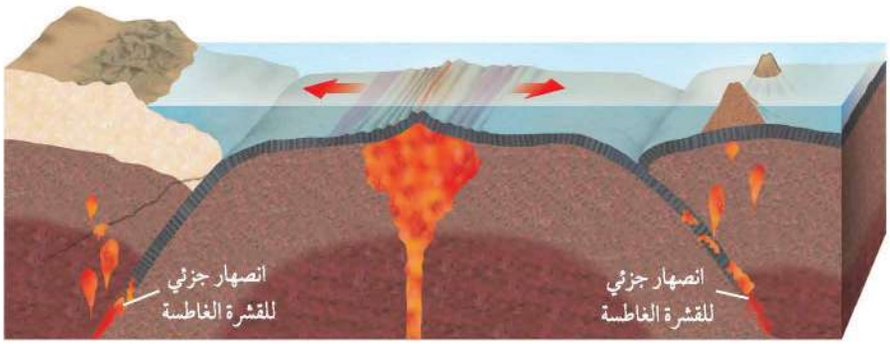
SA.GEO.SE.CH05.indd 123 4/8/19 4:46 PM

توسع قاع المحيط Seafloor Spreading

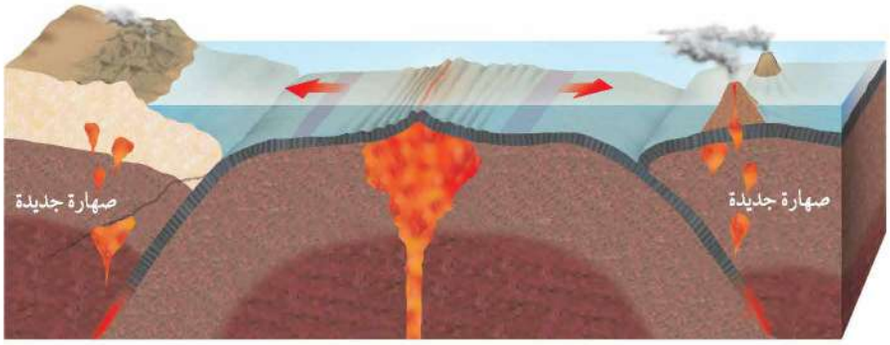
الشكل 15–5 بيانات تضاريس قاع المحيط ورسوبياته ومغناطيسيته القديمة قادت العلماء إلى اقتراح فرضية توسع قاع المحيط. وتوسُّع قاع المحيط عملية تتشكل من خلالها قشرة محيطية جديدة عند ظهور المحيطات، ثم تتحرك هذه القشرة ببطء بعيدًا عن مركز التوسع حتى تُطرح ويعاد تدويرها عند الأخاديد البحرية.



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



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



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

SA.GEO.SE.CH05.indd 124 4/8/19 4:46 PM

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، وتُستهلك عند **الأخاديد البحرية Ocean trenches**. ويوضح **الشكل 15–5** كيف تحدث عملية توسع قاع المحيط. حيث تندفع الصهارة 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 الصهارة تتشكل قشرة محيطية جديدة تُضاف إلى سطح الأرض. وباستمرار عملية التوسع على طول ظهر المحيط تندفع صهارة أخرى إلى أعلى وتتصلب. ويؤدي استمرار التوسع واندفاع الصهارة إلى استمرار تكوّن قشرة محيطية، تتحرك ببطء مبتعدة عن ظهر المحيط. وتحدث عملية التوسع غالبًا تحت سطح البحر. أما في جزيرة أيسلندا- وهي جزء من ظهر المحيط الأطلسي- فيحدث التوسع فوق مستوى سطح البحر. انظر **الشكل 16–5** الذي يبين تدفق اللابة على طول ظهر المحيط. وقد درست سابقًا أن 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 مبتعدًا 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 الستار الصلب بوصفه قطعة واحدة.

الشكل 16–5 تقع جزيرة أيسلندا بأكملها على مركز توسع ظهر المحيط الأطلسي؛ لذا يزداد حجمها باستمرار، فمثلاً تدفّق أكثر من $12\ km^3$ من اللابة البركانية عام 1783م. وفي عام 2011م حدث ثوران لبركان في جنوب شرق أيسلندا، كان سببًا في تعطيل الملاحة الجوية في أوربا.

التقويم 2–5

الخلاصة

- توفر الدراسات التي أجريت على قيعان 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 الصهارة وتتصلب.
- عندما تتشكل قشرة محيطية جديدة تتحرك القشرة المحيطية القديمة مبتعدةً عن ظهر المحيط.

فهم الأفكار الرئيسة

1. **الفكرة الرئيسة** صف لماذا تشبه عملية توسع قاع المحيط حركةَ 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 12–5**، ما نسبة فترات القطبية المغناطيسية المقلوبة في آخر خمسة ملايين سنة

SA.GEO.SE.CH05.indd 125 4/8/19 4:46 PM

رابط الدرس الرقمي

www.ien.edu.sa

5-3

الأهداف

- تصف كيف تتشكل معالم الأرض بفعل حركة الصفائح الأرضية.
- تقارن بين حدود أنواع الصفائح الأرضية الثلاث والمعالم المرتبطة مع كل منها.
- توضح العمليات الجيولوجية المصاحبة لنطاقات الطرح.
- تلخص كيف ترتبط حركة الصفائح مع تيارات الحمل.
- 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 المتباعدة
حفرة الانهدام
الحدود المتقاربة
الطرح
الحدود التحويلية
الدفع عند ظهر المحيط
سحب الصفيحة

حدود الصفائح وأسباب حركتها

Plate Boundaries and Causes For motion

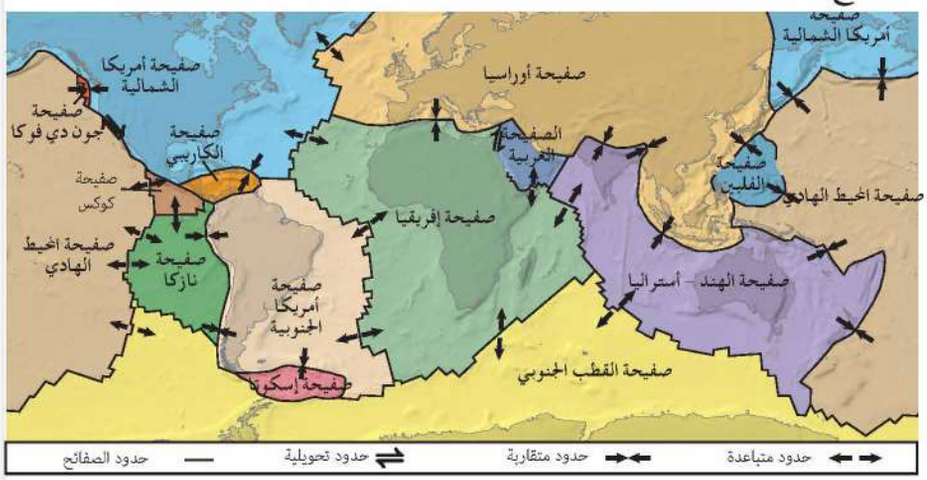
الفكرة الرئيسة **تتشكل كل من البراكين والجبال والأخاديد البحرية وتحدث الزلازل بين حدود الصفائح، وتؤدي تيارات الحمل في الستار إلى حركة الصفائح الأرضية.**

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 الصفائح الأرضية المختلفة.

نظرية حركية الصفائح Theory of Plate Tectonics

يشير الدليل على توسع قاع المحيط إلى أن القشرة القارية والقشرة المحيطية تتحركان بوصفها صفائح ضخمة، يطلق عليها الجيولوجيون **الصفائح الأرضية Tectonic Plates** وهي قطع ضخمة من الغلاف الصخري الذي يتكون من القشرة الأرضية وأعلى الستار الصلب، وتتطابق حواف بعضها مع بعض لتغطي سطح الأرض. ويوضح **الشكل 17–5** الصفائح الأرضية الرئيسة ومجموعة من الصفائح الصغيرة. وتتحرك الصفائح الأرضية حركة بطيئة جدًّا (بضعة سنتمترات في السنة). وتصف نظرية الصفائح الأرضية حركة الصفائح ومعالم سطح الأرض الناجمة عن هذه الحركة؛ حيث تتحرك الصفائح الأرضية في اتجاهات ومعدلات مختلفة بعضها بالنسبة إلى بعض، وتتفاعل معًا عند حدودها، مما يؤدي إلى تكوين معالم جيولوجية مختلفة بحسب نوع حدود الصفائح، فتقترب الصفائح الأرضية بعضها من بعض عند الحدود المتقاربة، ويبتعد بعضها عن بعض عند الحدود المتباعدة، وتتحرك أفقيًّا متحاذية عند الحدود التحويلية (الانزلاقية).

الشكل 17–5 تتكون الصفائح الأرضية من القشرة الأرضية وأعلى الستار الصلب، وتتفاعل هذه الصفائح معًا عند حدودهما.

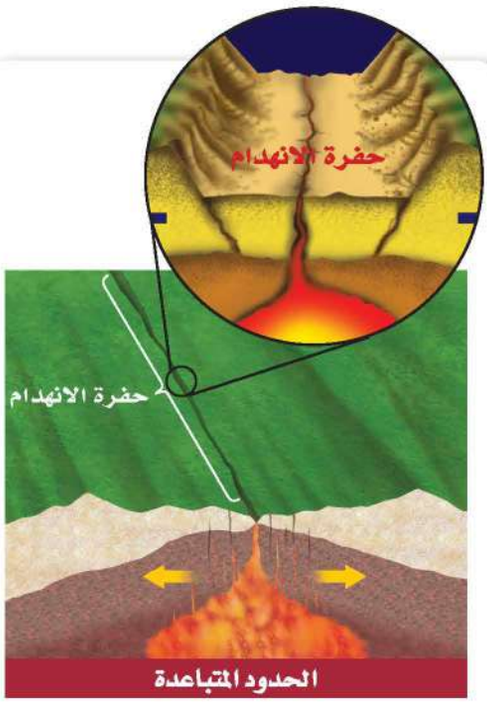


SA.GEO.SE.CH05.indd 126 4/8/19 4:46 PM

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 valleys** 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 زيادة عرض القاع 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 18–5** حفرة الانهدام العظيم التي تتشكل حاليًّا في شرق إفريقيا، وقد تتطور في النهاية إلى حوض محيطي جديد.



الشكل 18–5 الحدود المتباعدة هي الأماكن التي يحدث عندها انفصال الصفائح؛ ويعد ظهور المحيطات في قاع المحيط وحفر الانهدام في القارات — ومنها حفرة الانهدام العظيم في شرق إفريقيا — مثالاً على حدود التباعد.

تجربة

عمل نموذج لتشكُّل قاع المحيط

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

خطوات العمل

1. اقرأ نموذج السلامة في المختبر.
2. استعمل **خريطة العالم** لإنشاء **نموذجين ورقيين** لقارتي أمريكا الجنوبية وإفريقيا.
3. ضع نموذجي القارتين في وسط **ورقة كبيرة**، وطابقهما معًا على طول سواحلهما الأطلسية.
4. خطط بدقة حول النموذجين باستعمال **قلم الرصاص**، وارسم شكل القارتين، ثم أزل النموذجين واكتب تحتهما 150 مليون سنة.
5. ارسم خريطتين تبين إحداهما مرحلة تطور المحيط الأطلسي قبل 150 مليون سنة، والأخرى تمثله في الوقت الحالي. على أن يكون متوسط معدل التوسع 4 cm /y وبمقياس رسم 1 cm = 500 km.

التحليل

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

SA.GEO.SE.CH05.indd 127 4/8/19 4:46 PM

البازلت

الجرانيت

الشكل 19–5 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.

ومن الأمثلة على ذلك خطا سكة حديد.

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 والماغنسيوم تكوّن الصخور البازلتية، وهي صخور داكنة ذات كثافة كبيرة نسبيًّا، انظر **الشكل 19–5**. أما القشرة القارية فيتكون معظمها من الصخور الجرانيتية، وهي صخور فاتحة اللون وقليلة الكثافة نسبيًّا وتتكون من معادن الفلسبار، انظر **الشكل 19–5**. ويؤثر اختلاف كثافة القشرة في كيفية حدوث عملية التقارب. وبناءً على ذلك، توجد ثلاثة أنواع من الحدود المتقاربة، انظر **الجدول 1–5**، ولاحظ أيضًا التضاريس المصاحبة لكل نوع منها.

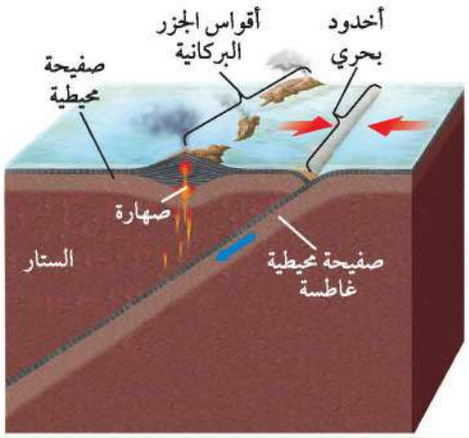
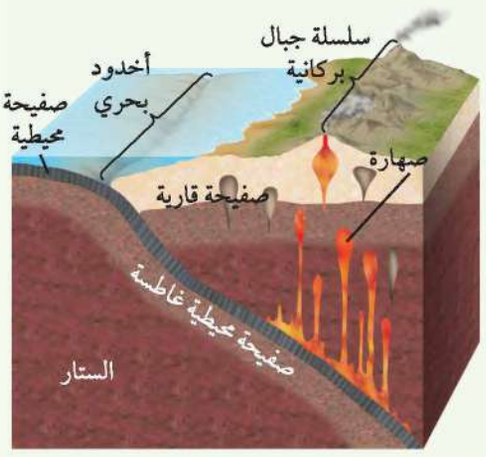
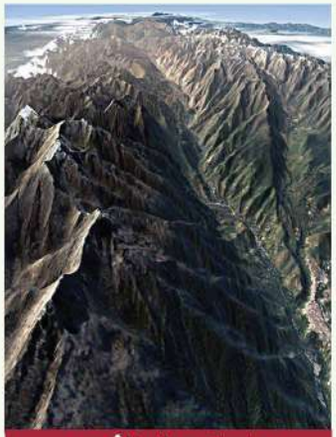
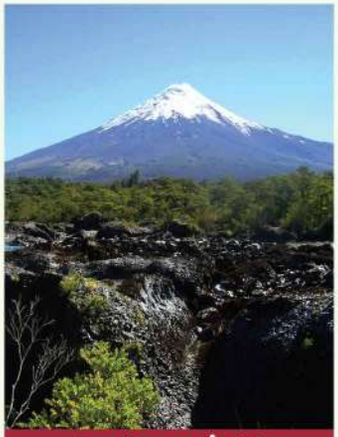
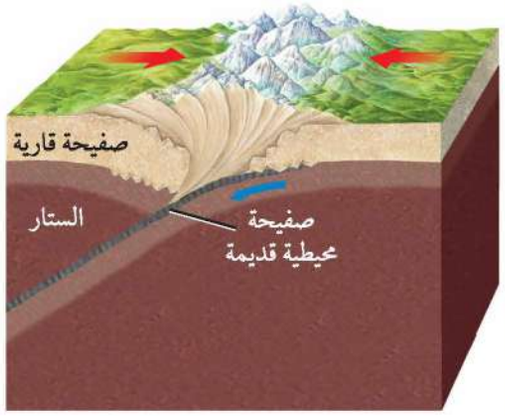
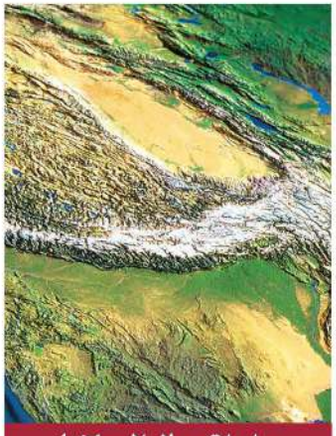
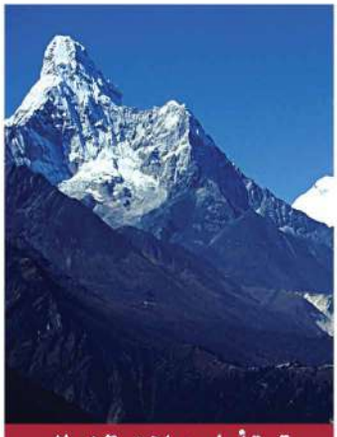
تقارب محيطي-محيطي Oceanic–oceanic تحدث عملية الطرح في التقارب المحيطي–المحيطي، وعندما تقترب صفيحة محيطية من صفيحة محيطية أخرى، تغوص الصفيحة الأكبر كثافة؛ نتيجة للتبريد، تحت الصفيحة الأخرى، وتؤدي هذه العملية إلى تشكيل الأخدود البحري، وعندما تهبط الصفيحة الغاطسة في الستار يحدث لها انصهار جزئي؛ حيث يعمل الماء الموجود في الصفيحة على خفض درجة الانصهار، فتنصهر الصفيحة انصهارًا جزئيًّا على أعماق قليلة، وتكون الصهارة 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 ألوشيان في شمال المحيط الهادي.

تقارب محيطي-قاري Oceanic–continental تحدث عملية الطرح أيضًا في حالة تقارب محيطي–قاري. حيث تُطرح القشرة المحيطية؛ 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. ومن المعالم المرتبطة مع هذا النوع من التقارب كل من سلسلة جبال الأنديز وأخدود بيرو–تشيلي اللذين يمتدان على جانبي ساحل أمريكا الجنوبية.

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 الستار، وبعد مرور فترة من الزمن، فإنه يجر وراءه القارة الملتصقة به إلى نطاق الطرح، فتصطدم الصفيحتان القاريتان معًا بدلاً من غوصهما في الستار بسبب انخفاض كثافتيهما، مما يؤدي إلى ارتفاع الصخور وطيها في منطقة التصادم، وتتشكل سلسلة جبلية ضخمة على طول منطقة التصادم، مثل جبال الهملايا.

SA.GEO.SE.CH05.indd 128 4/8/19 4:46 PM

الجدول 1–5 ملخص أنواع الحدود المتقاربة

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

SA.GEO.SE.CH05.indd 129 4/8/19 4:46 PM

حدود تحويلية (جانبية) Transform boundaries تسمى المنطقة التي تتحرك عندها صفيحتان أفقيًّا إحداهما بجانب الأخرى **الحدود التحويلية Transform boundaries**، كما في **الشكل 20–5**، وتمتاز بأنها تحدث على صدوع طويلة قد يمتد بعضها مئات الكيلومترات، كما تمتاز بحدوث زلازل ضحلة على طولها، وسميت هذه الحدود التحويلية؛ لأن اتجاه الحركة النسبي والسرعة يختلفان على طولها من جانب إلى آخر. تذكر أن القشرة الجديدة تتشكل عند الحدود المتباعدة وتستهلك عند الحدود المتقاربة، أما عند الحدود التحويلية فلا تتكون قشرة جديدة ولا تستهلك، بل تتشوه أو تتكسر على طولها إلى حد ما.

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

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

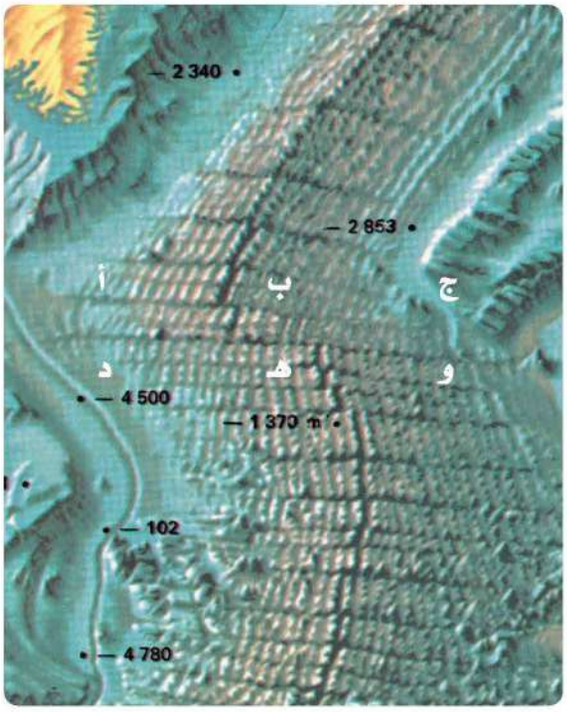
المطويات

ضَمّن معلومات هذا الدرس في المطوية الخاصة بك.

مختبر حل المشكلات

تفسير الرسم

كيف تتحوّل حركة الصفيحة الأرضية على طول الحدود التحويلية؟ يوضح الشكل المجاور الجزء الشمالي من ظهر المحيط الأطلسي الذي يفصل بين قارتي أمريكا الشمالية وأوربا. انسخ الشكل في 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 يقع على صفيحة أمريكا الشمالية؟
4. استنتج الحد الفاصل بين أمريكا الشمالية وأوربا الذي يقع في نطاق الكسر.
5. قوّم حدّد أقدم موقعين في القشرة المحيطية من النقاط الست.

SA.GEO.SE.CH05.indd 130 4/8/19 4:46 PM

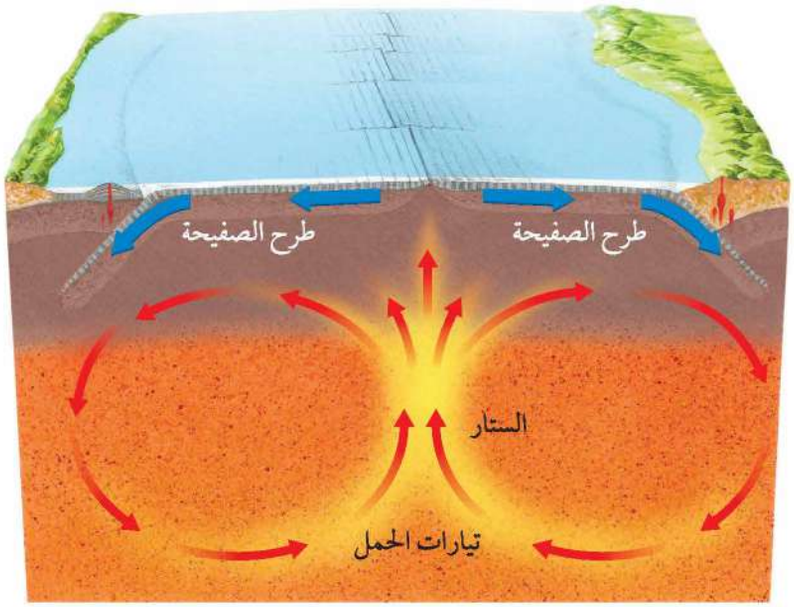
الشكل 20–5 تتحرك الصفيحتان أفقيًّا متحاذيتين على طول الحدود التحويلية. الانثناء في السكة الحديدية ناتج عن حركة الصدع التحويلي.

أسباب حركة الصفائح Causes of Plate Motions

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

تيارات الحمل Convection Currents يعتقد العلماء أن تيارات الحمل في الستار هي المسؤولة عن تحريك الصفائح. انظر **الشكل 21–5**، وتحدث تيارات الحمل على النحو الآتي: نتيجة لتسخين مناطق معينة في الستار تقل كثافة المواد المكونة لها فترتفع إلى أعلى وتحل محلها مواد من الستار باردة نسبيًّا وأكبر كثافة، وتأتي من أسفل الصفائح الأرضية، حيث تغوص ببطء إلى أسفل.

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



الشكل 21–5 تؤدي تيارات الحمل التي تنشأ في الستار إلى حركة الغلاف الصخري (القشرة الأرضية وأعلى الستار الصلب)، وتنقل الطاقة الحرارية من باطن الأرض إلى سطحها الخارجي.

SA.GEO.SE.CH05.indd 131 4/8/19 4:47 PM

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

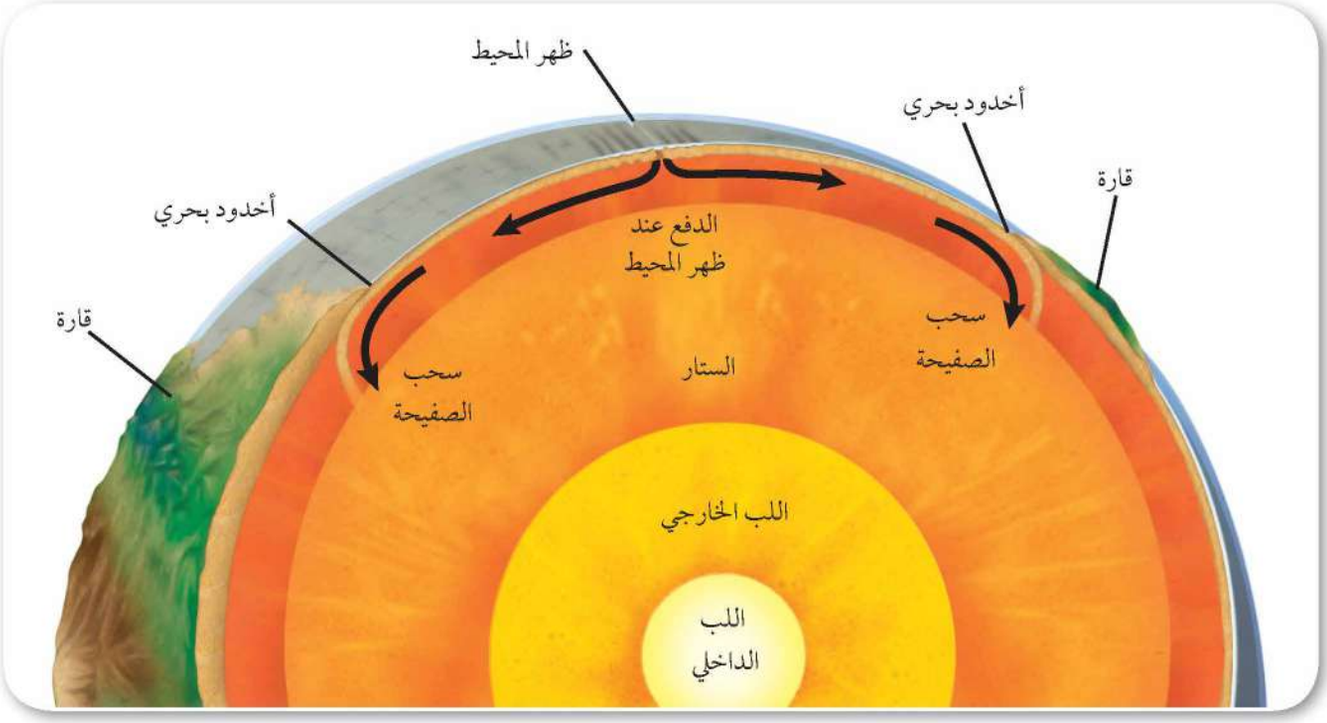
ماذا قرأت؟ ناقش ما الذي يؤدي إلى تدفق تيارات الحمل: ارتفاع المواد الساخنة إلى أعلى أم هبوط المواد الباردة إلى أسفل؟

كيف ترتبط حركات الصفائح الأرضية المتقاربة والمتباعدة مع تيارات الحمل في الستار؟ 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 من الستار 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 الستار.

الدفع والسحب Push and Pull يفترض العلماء وجود عمليات عدة تحدد كيف تؤثر تيارات الحمل في حركة الصفائح الأرضية. لاحظ **الشكل 22–5**، 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

الشكل 22–5 الدفع عند ظهر المحيط وسحب الصفيحة عمليتان تؤديان إلى تحريك الصفائح الأرضية.



SA.GEO.SE.CH05.indd 132 4/8/19 4:47 PM

لظهـر المحيـط تدفع الصفيحة المحيطية نحو الأخدود عند نطاق الطرح بعملية تُسـمى **الدفع عند ظهر المحيط Ridge push**.

أما العملية الثانية المهمة التي تسبب حركة الصفائح الأرضية فتسمى **سحب الصفيحة Slab pull**؛ إذ يـؤدي وزن الجـزء الغاطس من الصفيحة إلى سـحب الجزء المتبقي منها نحـو نطـاق الطرح. ومـن المرجح أن مجمـوع هذه الآليـات هي التي تـؤدي إلى حركة الصفائح عند نطاقات الطرح.

التقويم 3–5

الخلاصة

- تقسـم القشرة الأرضيـة والجـزء العلوي الصلـب مـن السـتار العلـوي إلى قطـع صخرية ضخمة تسمى الصفائح الأرضية.
- تتحرك الصفائـح الأرضية بسرعات بطيئة جدًا في اتجاهات مختلفة على سطح الأرض.
- تتباعـد الصفائـح الأرضية عنـد الحدود المتباعدة، وتتقارب عند الحدود المتقاربة، ويتحـرك بعضهـا بمحـاذاة بعـض عنـد الحدود التحويلية (الجانبية).
- يتميـز كل نوع من حدود الصفائح بمعالم جيولوجية محددة.
- تنتـج حركـة الصفائـح الأرضيـة بفعـل عمليتي: الدفع عند ظهر المحيط، وسحب الصفيحة.
- تيـارات الحمـل هـي المسـؤولة عـن نقل الطاقة عبر حركة المواد الساخنة.
- تيـارات الحمـل هـي المسـؤولة عـن حركـة الصفائح الأرضية.

فهم الأفكار الرئيسة

1. **الفكرة الرئيسة** صف كيف تتشكل معالم الأرض الرئيسة بفعل حركة الصفائح الأرضيةَ وعلاقتها بتيارات الحمل في الستار.
2. لخّص عمليات تقارب الصفائح الأرضية التي شكّلت جبال الهملايا.
3. اعمـل قائمة بالمعالم الجيولوجية المرافقة لكل نوع من حدود الصفائح المتقاربة.
4. حدّد المعلم الجيولوجي الذي يوجد به معظم الحدود التحويلية.
5. أكّـد عـلى العلاقـات بـين كل مـن تيـارات الحمـل ومناطـق ظهـور المحيطات ونطاقات الطرح.
6. صمـم نموذجـاً يوضح العمليـات الحركية لكل من الدفـع عند ظهر المحيط وسحب الصفيحة.

التفكير الناقد

7. اختر أنواع حدود الصفائح الثلاث التي في الشـكل 17–5، وتوقع ما يحدث عند كل حد منها بعد مرور فترة من الزمن.
8. صف كيف تتحرك قطعتان لقشرة محيطية جديدة بين جزأين من ظهر المَحيط تم إزاحتهما بصدوع التحويل؟
9. قوّم الجملة الآتية: تحرك تيارات الحمل القشرة المحيطية فقط.
10. لخّص كيـف تُعَد تيارات الحمل مسـؤولة عـن ترتيب القـارات على سطح الأرض؟

الكتابة في الجيولوجيا

11. اكتـب تقريـرًا إخباريًّـا حـول تأثـر البحـر الأحمـر بحركـة الصفائح الأرضية.

SA.GEO.SE.CH05.indd 133 4/8/19 4:47 PM

الجيولوجيا والبيئة
Geology and the Environment

البحر الأحمر

سـمي البحر الأحمر بهذا الاسـم لوفرة الطحالب الخضراء المزرقة التـي تطفـو على سـطحه، والتي تحتـوي على صبغة حمـراء يمكن مشـاهدتها مـن ارتفاعات عاليـة. وقد بدأ تكـون البحر الأحمر في حين الإيوسين بسبب تباعد الصفيحتين العربية والإفريقية، وهو محيط وليد يتميز بنشـاط زلزالي عند حوافه القارية ونشاط بركاني عنـد المرتفعـات المحيطيـة في وسـطه، مما ينتـج عنـه إضافة قشرة محيطية جديدة تقوم بزيادة مسـافة التباعد بين الصفيحتين بمقدار 2 cm سـنويًّا، كما يقدر طوله بحوالي 2000 km، وعرضه حوالي 300 km، وأعمـق نقطة فيه حوالي 2000 m، وأعلى مد قد يصل تقريبا إلى 1m فقط، والمتوسـط الإجمالي لدرجة حرارة مياه البحر الأحمر (22°C) والمتوسـط الإجمالي لدرجـة ملوحته 40 جزءًا في الألف.

ويتـم إجـراء العديـد من الدراسـات عـلى البيئة البحريـة للبحر الأحمـر، منها مـا يتعلق بدراسـة التغـيرات التي تنتـج على طول السـاحل، ودراسة كل من الخواص الفيزيائية ومنها: اتجاه حركة التيـارات وسرعتها، وحرارة ميـاه البحر وملوحتهـا، وخواصه الكيميائيـة ومنها: تحديـد العناصر المغذية ومسـتوى الأحماض؛ لمعرفـة جـودة المياه، وتحديد مسـتوى التلوث ومصـادره وتأثيره في صحة الشـعاب المرجانيـة، ومعالجة القضايـا البيئية والتلوث البحري، وتأثير الحياة البشرية والمنشآت في ظل النمو الاقتصادي والتجاري والسياحي على المدن الساحلية.

ونظـرًا لموقـع البجر الأحمر الاسـتراتيجي، ومقدراتـه الغنية فقد اختـير ليكون أحد مشـاريع رؤية (2030) وهـو مشروع «البحر الأحمر» الذي يسـتهدف الجزر الواقعة بين مدينتي الوجه وأملج، ويهتم هذا المشروع بسلامة النظام البيئي، وجماله في البحر الأحمر وعدم تأثره بأي شـكل من الأشـكال، وإحـدى توصيات ميثاق

مشروع «البحر الأحمر» هي «التخفيف من انبعاثات غاز أكسـيد الكربون، والتلوث الضوئي والنفايات حفاظاً على الموقع لجميع الأجيال، ليصبح مـشروع «البحر الأحمر» ضمن أفضل 10 مدن خضراء حول العالم»*.

الربط مع رؤية ٢٠٣٠
رؤيـة VISION 2030
المملكة العربية السعودية
KINGDOM OF SAUDI ARABIA
مجتمع حيوي
• من أهداف الرؤية: حماية وتهيئة المناطق الطبيعية (مثل الشواطئ والجزر والمحميات الطبيعية)

الكتابة في الجيولوجيا

ابحث في النشـاط الجيولوجي والتنوع الأحيائي الفريـد للبحر الأحمر، واكتـب مقالاً يصف تنوع المخلوقـات الحيـة، وطبيعة البيئـة البحرية للبحر الأحمر، وأصل نشأته.

* كتيب مشروع «البحر الأحمر»

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 لتُظهر 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، وتُستهلك 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 تلوين خشبية — مقص

آلة حاسبة — مسطرة مترية

إجراءات السلامة

خطوات العمل

1. اقرأ نموذج السلامة في المختبر.
2. يُظهر **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. يُظهر **الشكل 2** صفيحتين (A) و(B) مفصولتين إحداهما عن الأخرى بظهري محيط وصدع تحويلي. تتباعد 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 و40 مليون سنة.
7. لوِّن القشرة بناءً على عمرها على أن يكون اللون:

أحمر: 10–0 ملايين سنة

أصفر: 20–10 مليون سنة

أخضر: 30–20 مليون سنة

أزرق: 40–30 مليون سنة

التحليل والاستنتاج

1. حدّد حركة الصفيحة A (من جميع جوانبها) نسبة إلى حركة الصفيحة B.
2. طبّق ما أسهل الطرائق لتحديد موقع الحدود التحويلية باستعمال خريطة تساوي العمر؟
3. 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 ألفريد 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.

SA.GEO.SE.CH05.indd 135 4/8/19 4:47 PM

مفتاح

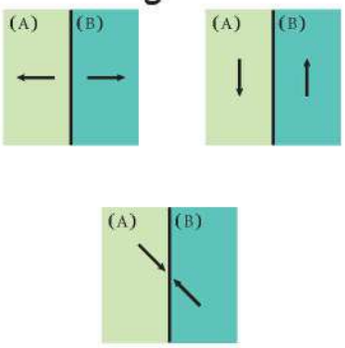
استعمل الرموز المجاورة لتحديد نوع حدود الصفائح التالية:

حدود متباعدة.

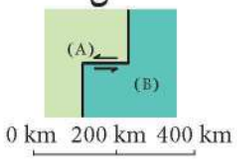
حدود متقاربة (تشير المثلثات إلى الصفيحة التي تبقى على السطح).

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

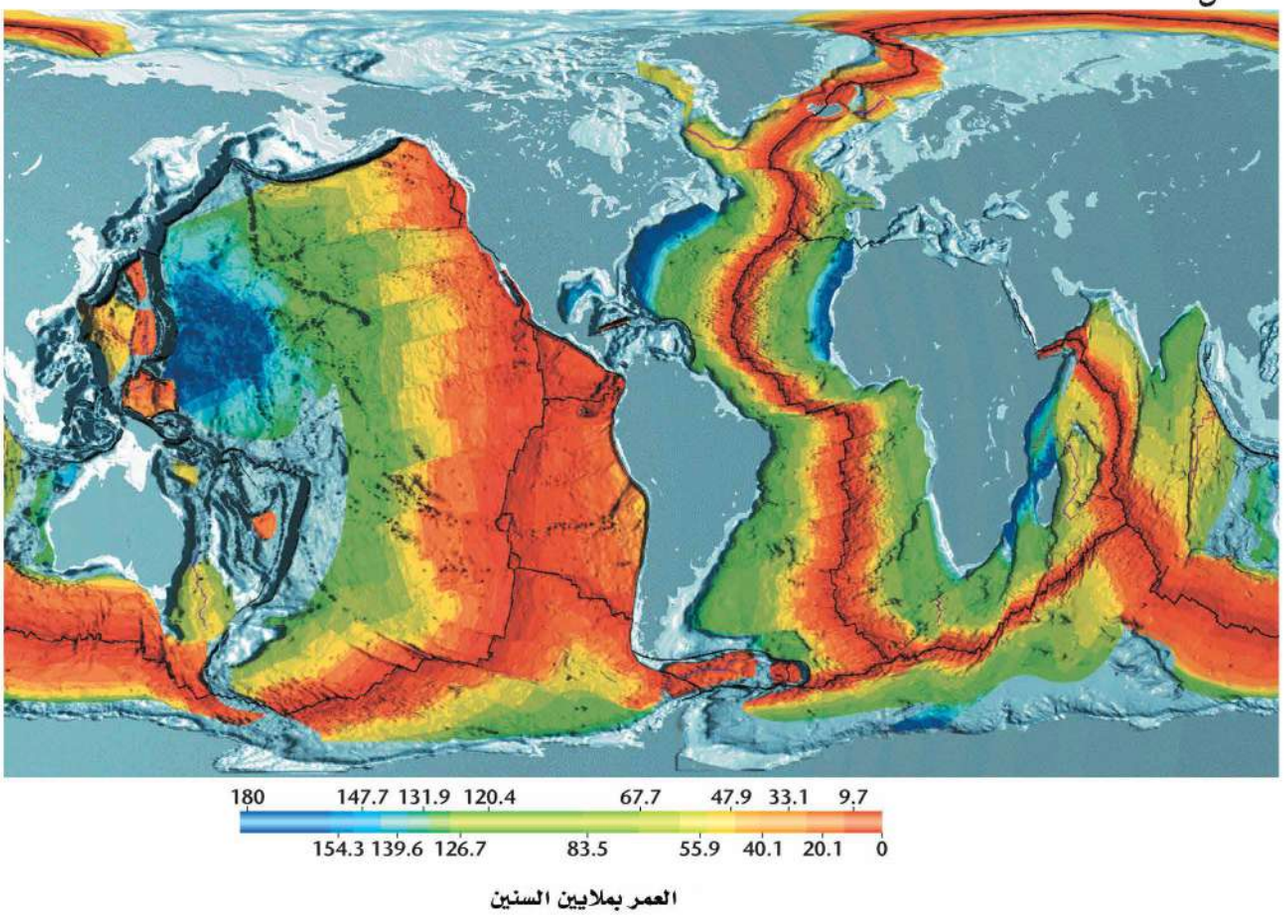
الشكل 1



الشكل 2



الشكل 3



SA.GEO.SE.CH05.indd 136 4/8/19 4:47 PM

الفصل 5 دليل مراجعة الفصل

الفكرة العامة تحدث معظم الأنشطة الجيولوجية عند حدود الصفائح.

المفردات	المفاهيم الرئيسة
5–1 انجراف القارات	
الانجراف القاري بانجيا	**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. • الانجراف القاري فكرة وضعت في بداية القرن الماضي، تنص على أن القارات تتحرك على قاع المحيط. • 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.
5–2 توسع قاع المحيط	
جهاز قياس المغناطيسية ظهر المحيط الانقلاب المغناطيسي المغناطيسية القديمة تساوي العمر توسع قاع المحيط الأخاديد البحرية	**الفكرة الرئيسة** تتكون القشرة المحيطية عند ظهور المحيطات، وتصبح جزءًا من القاع الجديد للمحيط. • 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 الصهارة وتتصلب. • عندما تتشكل قشرة محيطية جديدة تتحرك القشرة المحيطية القديمة مبتعدة عن ظهر المحيط.
5–3 حدود الصفائح وأسباب حركتها	
الصفيحة الأرضية الحدود التباعدية حفرة الانهدام الحدود المتقاربة الطرح الحدود التحويلية الدفع عند ظهر المحيط سحب الصفيحة	**الفكرة الرئيسة** تتشكل كل من البراكين والجبال والأخاديد البحرية عند حدود الصفائح، وتسبب تيارات الحمل المتكونة في الستار حركة الصفائح الأرضية. • تقسم القشرة الأرضية والجزء العلوي الصلب من الستار 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، ويتحرك بعضها بمحاذاة بعض 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 الستار من باطن الأرض الساخن إلى سطحها الخارجي البارد. • تنتج حركة الصفائح الأرضية بفعل عمليتي دفع ظهر المحيط وسحب الصفيحة.

SA.GEO.SE.CH05.indd 137 4/8/19 4:47 PM

الفصل 5 تقويم الفصل

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 إن القارات الحالية المفصولة بالمحيطات كانت متصلة معًا يومًا ما.
3. تُسمى عملية غطس الصفائح الأرضية في الستار التباعد.
4. تُسمى الحدود الناجمة عن تقارب صفيحتين إحداهما من الأخرى الحدود التحويلية.
5. يتشكّل الأخدود داخل القارات بفعل الحدود المتباعدة.

اختر المفردات المناسبة للتعبير عن الجمل الآتية:

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

عرّف المصطلحات الآتية بجمل تامة:

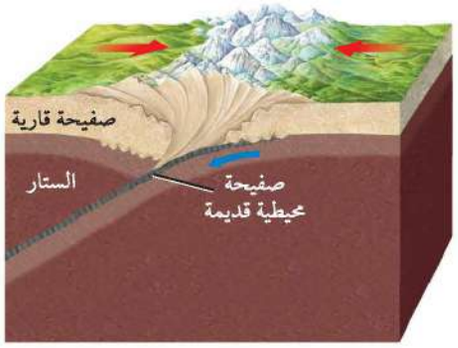
10. الصفيحة الأرضية.
11. الدفع عند ظهر المحيط.
12. سحب الصفيحة.

حدّد ما هو مشترك بين كل مصطلحين في الجمل الآتية:

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 عن السؤالين 17 و18.



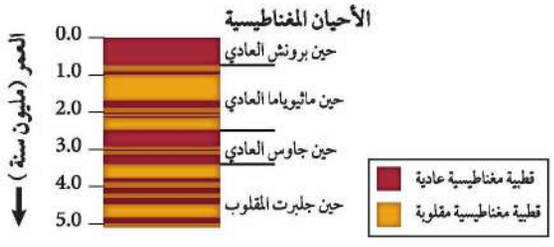
17. ما نوع حدود الصفائح في الشكل أعلاه؟

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. نطاقات الطرح. c. أقواس الجزر.
b. أخاديد بحرية. d. جبال مطوية.

استعمل الشكل الآتي في الإجابة عن السؤالين 19و20.



19. ما المدة الزمنية التي استغرقها حين جاوس تقريبًا؟

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

SA.GEO.SE.CH05.indd 138 4/8/19 6:12 PM

5 تقويم الفصل

20. مـا الحين الذي حدثت في أثنائـه معظم التذبذبات في القطبية المغناطيسية العادية والمقلوبة؟

a. جاوس. c. جلبرت.

b. ماثيوياما. d. برونش.

21. ما عمر القشرة المحيطية عمومًا؟

a. لها عمر القشرة القارية نفسه.

b. أحدث من القشرة القارية.

c. أقدم من القشرة القارية.

d. لم يحدد العلم عمرها.

أسئلة بنائية

22. **لخّص** الملاحظات التي أدّت إلى وضع فرضية الانجراف القاري.

23. فسّر ما وجده علماء المحيطات من ازدياد سُمك رسوبيات قاع المحيط بتزايد المسافة بعيدًا عن ظهر المحيط.

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

25. **حلّل** لماذا توجد فروق بين حدود التقارب القاري -القاري وحدود التقارب المحيطي- المحيطي؟

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

التفكير الناقد

استعمل الشكل الآتي للإجابة عن 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. **لخّص** كيف تسهّل أنظمة مراقبة الأقمار الاصطناعية - مثل نظام تحديد المواقع 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 تحفيز

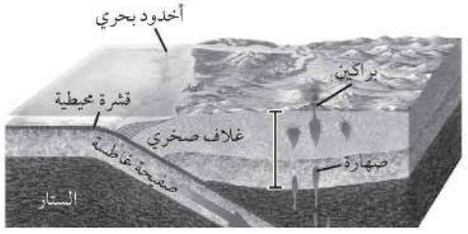
33. **تنبأ** ارسم المواقع النسبية للقارات في الكرة الأرضية بعد 60 مليون سنة، مع افتراض أن الصفائح الأرضية مستمرة في الحركة، وفي الاتجاهات نفسها، كما في الشكل (2-5).

SA.GEO.SE.CH05.indd 139 4/8/19 4:47 PM

اختبار مقنن

اختيار من متعدد

استعمل الشكل الآتي للإجابة عن السؤال 1.

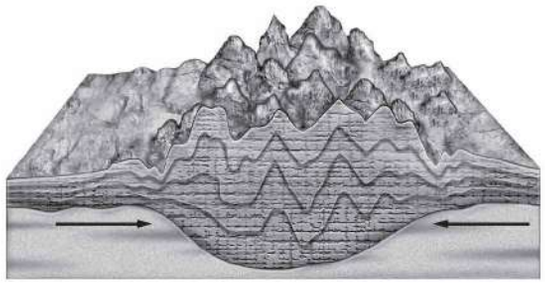


1. ما العملية التي يمثّلها الشكل أعلاه؟

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. نطق 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:

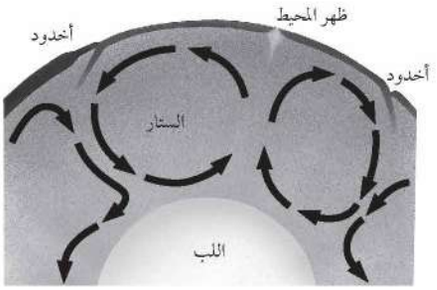
a. أخدود بحري عميق. c. حفرة انهدام.

b. انقلاب مغناطيسي. d. قشرة محيطية جديدة.

أسئلة الإجابات القصيرة

9. كيف تسبب تيارات الحمل حركة الصفائح؟

استعمل الشكل أدناه في الإجابة عن الأسئلة 12–10.



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

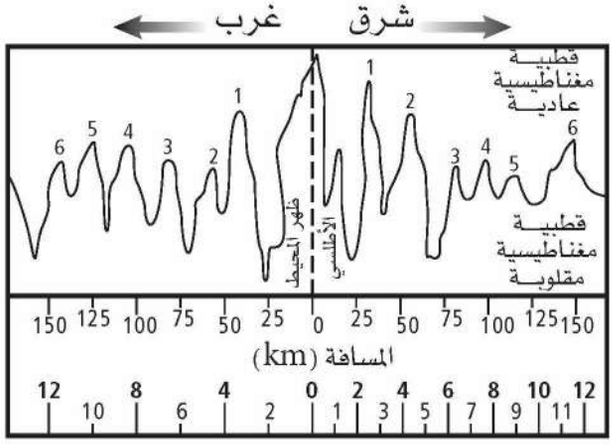
11. هل يمكن أن تحدث هذه العمليات في الجزء الصلب من ستار الأرض؟

SA.GEO.SE.CH05.indd 140 4/8/19 4:47 PM

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 وجزءًا كبيرًا 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 تكوّن 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 وضّح هذا الحادث أن معلومات الإنسان عن القمر مثلاً أكبر من معلوماته عن جغرافية قاع المحيط؛ إذ تتفاوت 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 الريالات. 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 مكلف وغير مهم 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 ستتأثر إذا استمر العلماء في رسم خرائط لقاع المحيط.

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

SA.GEO.SE.CH05.indd 141 4/8/19 4:47 PM

الفصل 6

البراكين Volcanoes

الفكرة العامة تتشكل البراكين من الصهارة القادمة من باطن الأرض.

6–1 ما البركان؟

الفكرة الرئيسة ترتبط مواقع البراكين عمومًا مع حركة الصفائح.

6–2 الثورانات البركانية

الفكرة الرئيسة تحدّد مكوّنات الصهارة خصائص الثوران البركاني.

حقائق جيولوجية

- يمكن رصف شارع ثلاث مرات حول الأرض من اللابة المتدفقة من أحد البراكين الكبيرة.
- يوجد حاليًّا 500 بركان نشط على الأرض.
- كلمة صهارة (ماجما) magma مأخوذة من كلمة إغريقية تعني عجينة.
- العديد من معالم الأرض التضاريسية تنتج بفعل البراكين.

تجربة استهلالية

ما الذي يجعل الصهارة ترتفع إلى أعلى؟

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

الخطوات

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

التحليل

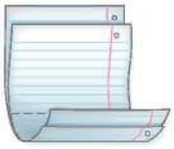
1. حدّد أي المكوّنين في نموذجك يمثل الصهارة؟
2. صف ماذا حدث للزيت قبل إضافة الملح وبعده؟
3. كوِّن فرضية ما الذي يسبب صعود الصهارة إلى أعلى؟

المطويات
منظمات الأفكار

تصنيف البراكين

اعمل المطوية الآتية لمساعدتك على تصنيف البراكين.

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



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

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

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

SA GEO SE CH06.indd 143 4/8/19 4:52 PM

رابط الدرس الرقمي

www.ien.edu.sa

6-1

الأهداف

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

مراجعة المفردات

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

المفردات الجديدة

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

What is a Volcano؟ ما البركان؟

الفكرة الرئيسة **ترتبط مواقع البراكين عمومًا مع حركة الصفائح.**

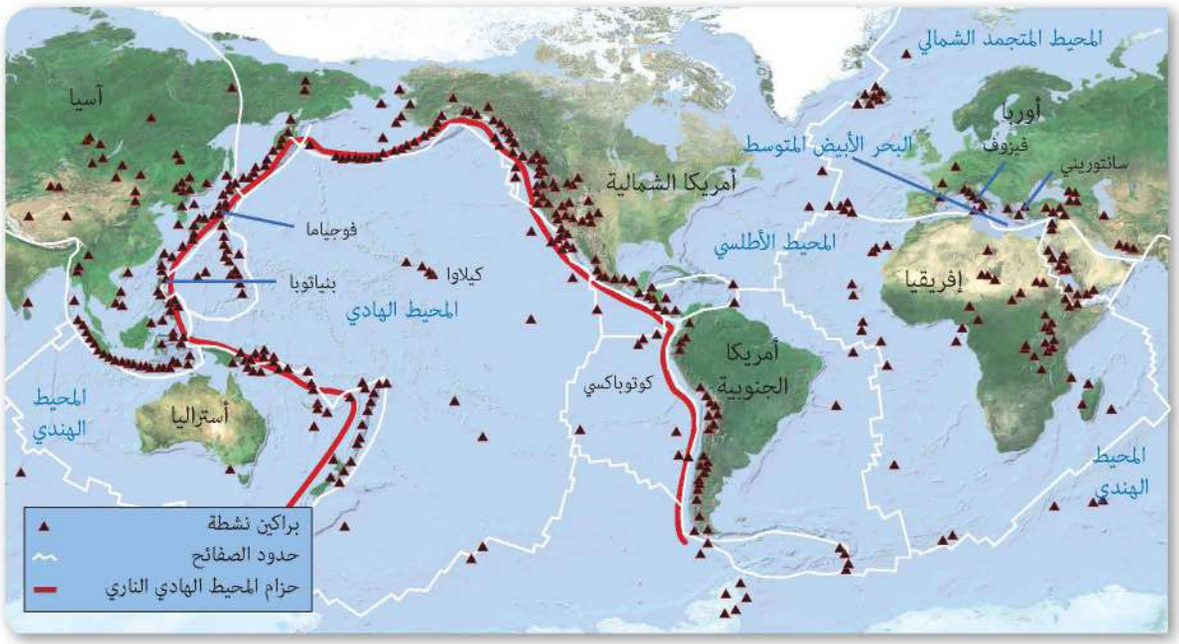
الربط مع الحياة في فصل الشتاء، يرش الملح على الشوارع المغطاة بالثلوج؛ إذ يعمل الملح على خفض درجة انصهار الثلج. كما يقلل الماء من درجة انصهار الصخور؛ فالصخور ذوات درجات الانصهار المرتفعة جداً في باطن الأرض تنصهر أسهل إذا اختلطت بالمياه.

مناطق النشاط البركاني Zone of Volcanism

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

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

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



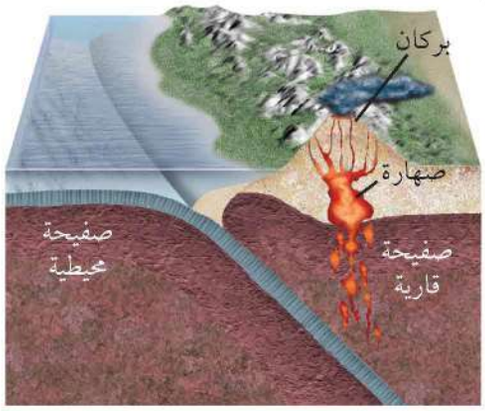
SA.GEO.SE.CH06.indd 144 4/8/19 4:52 PM

النشاط البركاني عند الحدود المتقاربة Convergent volcanism

تلتقي الصفائح الأرضية معًا عند الحدود المتقاربة، فتشكّل نطاقات طرح؛ وذلك عندما تغطس صفيحة محيطية أسفل الصفيحة الأخرى في الستار، كما في **الشكل 2–6**. ويلاحظ من الشكل أن الصهارة تتشكل بفعل الانصهار الجزئي 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 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 رئيسان Two major belts تشكّل البراكين المرافقة للحدود المتقاربة حزامين رئيسين هما: 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 الألوشيان، ومنها إلى سواحل شرق قارة آسيا. ومن أمثلة البراكين التابعة لهذا الحزام براكين سلاسل الجبال في غرب الولايات المتحدة الأمريكية، وبركان بيناتوبو في الفلبين. أما الحزام الآخر فيسمى حزام حوض البحر المتوسط. وأشهر البراكين التابعة له بركانا: إتنا، وفيزوف في إيطاليا، وتنطبق حدود هذا الحزام، عمومًا على الحدود التي تفصل بين صفائح أوراسيا وإفريقيا والصفيحة العربية. انظر **الشكل 1–6**.



الشكل 2–6 في نطاق طرح قاري – محيطي تنزلق الصفيحة المحيطية الأكبر كثافة في الستار أسفل الصفيحة القارية، فتنصهر أجزاء من هذه الصفيحة، مما يؤدي إلى صعود الصهارة إلى أعلى مشكِّلةً البراكين.

حدد البركان المصاحب لحدود التقارب القاري–المحيطي في **الشكل 1–6**.

مختبر تحليل البيانات

* بُني هذا النشاط على بيانات حقيقية

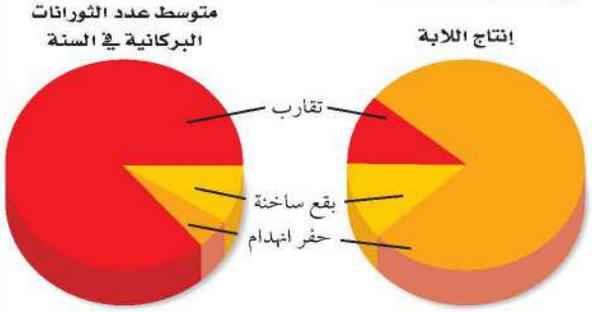
تفسير الرسم البياني

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

التفكير الناقد

1. **صِف** العلاقة بين نوع النشاط البركاني والإنتاج السنوي للابة.
2. **فكّر** ما أهمية أن يدرس العلماء هذه العلاقات؟
3. **قوّم** ما الخطوة اللاحقة لدراسات العلماء؟

البيانات والملاحظات



معدلات تدفقات الصهارة والمقذوفات البركانية

Source: Journal of Volcanology and Geothermal Reserarch 20: 177–211

SA.GEO.SE.CH06.indd 145 4/8/19 4:52 PM

الشكل 3–6 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

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

ماذا قرأت؟ وضح كيف تنشأ وسائد اللابة.

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

الربط مع الرياضيات

حوّل الكسور الاعتيادية لبراكين التباعد التي تشكّلت تحت الماء إلى نسبة مئوية.

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

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

6000 قبل الميلاد — 3000 قبل الميلاد

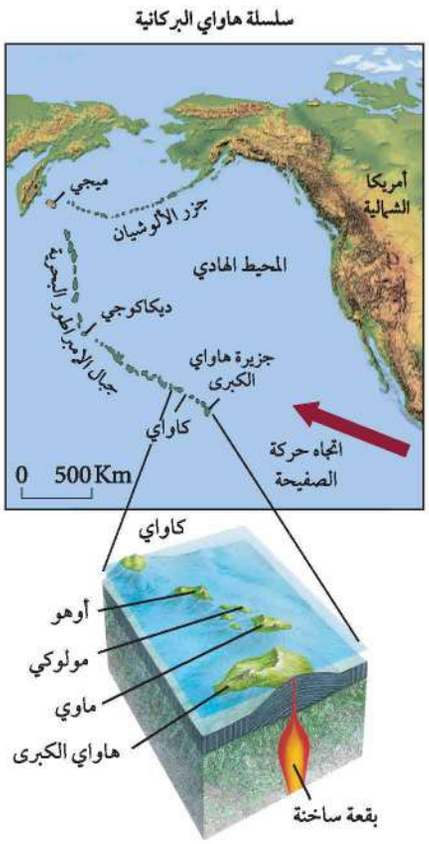
4845 قبل الميلاد خريطة تضاريسية لبركان جبل مازاما في ولاية أوريجون، حيث أدّى ثورانه إلى انهيار الجبل وأصبح منخفضًا عرضه 9 km، يُعرف حاليًا باسم بحيرة الفوهة البركانية.

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

SA.GEO.SE.CH06.indd 146 4/8/19 4:53 PM

براكين البقع الساخنة Hot spot volcanoes تشكّلت بعض البراكين الأكثر شهرة بفعل البقع الساخنة تحت المحيط. فمثلًا، تقع جزر هاواي التي تظهر في الخريطة المجاورة، في **الشكل 5–6**، على عمود من الصهارة، وهي جزر بركانية تكوّنت نتيجة ارتفاع الصهارة إلى أعلى من خلال القشرة الأرضية. وتبقى البقعةُ الساخنة المتكونة بفعل عمود من الصهارة 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 براكين غير نشطة (خامدة)؛ لأنها لا تقع حاليًّا فوق البقعة الساخنة الثابتة، وينطبق ذلك أيضًا على البراكين القديمة الواقعة إلى الشمال الغربي، التي أصبحت 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 جنوب شرق جزيرة هاواي الكبرى، وقد يرتفع عن مستوى سطح البحر، في نهاية المطاف، مشكّلاً جزيرة جديدة.

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



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

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

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

2000 — 1900 — 1800

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

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

SA.GEO.SE.CH06.indd 147 4/8/19 4:53 PM

الشكل 6–6 أدّى تراكم كميات هائلة من اللابة على السطح إلى تشكيل صخور بركانية بسماكات عالية، ثم تعرضت مع مرور الزمن إلى عمليات حتّ بفعل الأنهار والقوى الجيولوجية مكوّنةً الهضاب.

طفوح البازلت (الحرات) 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 هذه الشقوق إلى تكوين سهول منبسطة تُسمى الهضاب، كما في **الشكل 6–6**. وتفقد طفوح البازلت، كما هو الحال في البراكين الأخرى، بخار الماء وغيره من الغازات عندما تخرج إلى سطح الأرض.

المفردات

الاستعمال العلمي مقابل الاستعمال الشائع

العصر الحالي

الاستعمال العلمي: العصر الجيولوجي الأخير، وهو العصر الرباعي.

الاستعمال الشائع: الوقت الحاضر.

الربط مع رؤية ٢٠٣٠

رؤية VISION 2030 المملكة العربية السعودية KINGDOM OF SAUDI ARABIA

مجتمع حيوي

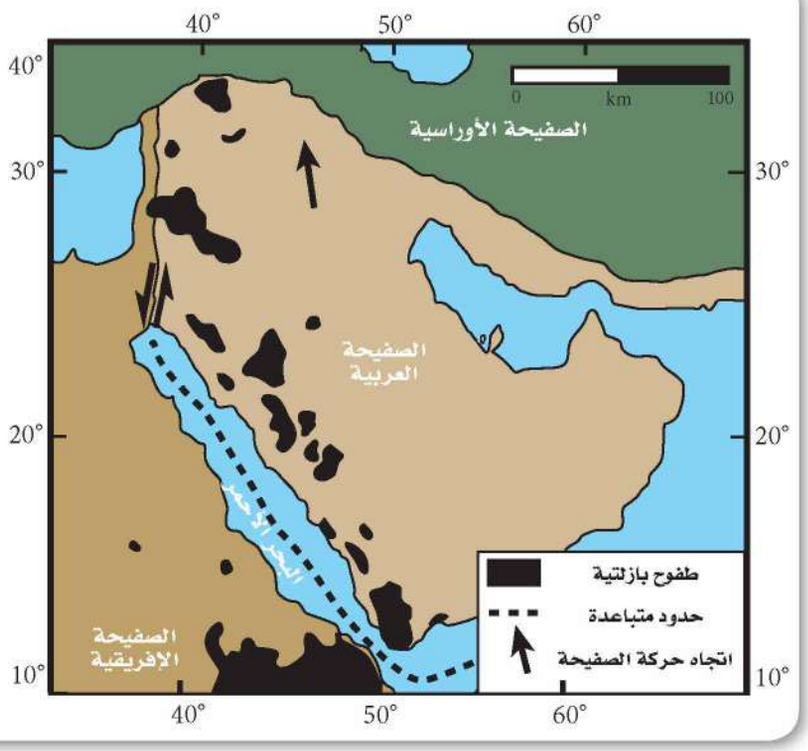
• من أهداف الرؤية: حماية البيئة من الأخطار الطبيعية.

طفوح البازلت في الجزيرة العربية Basalt flood in arabia peninsula

تغطي طفوح البازلت جزءًا كبيرًا من المنطقة الغربية للصفيحة العربية، تصل إل 180000 km2 على هيئة حزام واسع متقطع يمتد من الجمهورية اليمنية جنوبًا على طول ساحل البحر الأحمر إلى المملكة الأردنية الهاشمية، وحتى الجمهورية العربية السورية شمالاً، انظر **الشكل 7–6**. ويعود تشّكل هذا الحزام إلى الشقوق والصدوع المصاحبة لتكّون البحر الأحمر، التي بدأت قبل 25 مليون سنة، واستمرت إلى العصر الحالي؛ ويعتبر بركان حليات اللابة (البركان التاريخي) والذي يبعد عن المدينة المنورة بنحو 15كم باتجاه الجنوب الشرقي ويقع في الأطراف الشمالية الشرقية لحرة رهاط أحدث براكين المملكة العربية السعودية ثوراناً وتدفقاً. ويتشكل هذا البركان من أربعة مخاريط وفوهات بركانية، يطلق عليها حليات اللابة، خرجت منها الحمم البركانية عام 654هـ، وسبق ثورانه حركات زلزالية هزت المدينة المنورة، وتصف كتب التاريخ هذا الثوران وصفاً دقيقاً وموثقاً بشهادة أهل المدينة المعاصرين لهذا الحدث التاريخي.

تركيب البركان Volcano Structure

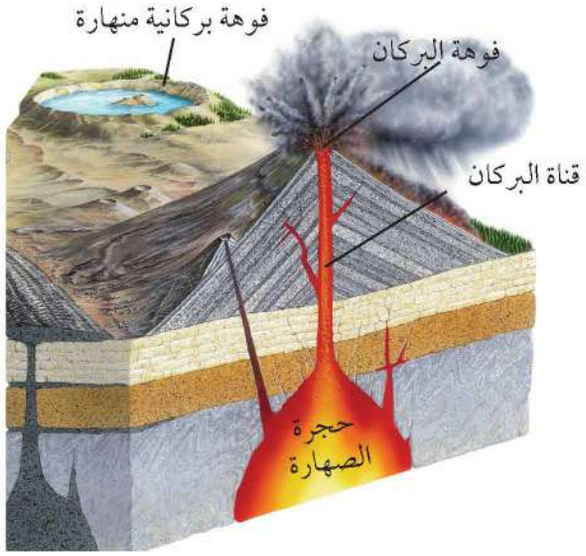
اللابة عبارة عن صهارة مرّت من خلال تركيب يشبه الأنبوب يسمى **قناة البركان conduit**، ثم خرجت إلى سطح الأرض من خلال **فوهة البركان Crater**؛ وهي المنخفض الذي يوجد في قمة البركان ويتصل مع حجرة الصهارة عبر القناة. وباستمرار انسياب اللابة وتراكمها مع الزمن يتكوّن جبل يسمى البركان.



الشكل 7–6 طفوح البازلت (الحرّات) التي تغطي أجزاء من 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 في **الشكل 8–6**.

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



الشكل 8–6 ترتفع الصهارة 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 الصهارة.

SA.GEO.SE.CH06.indd 149 4/8/19 4:53 PM

الشكل 9–6 تمثل فوهة الهتيمة في منطقة حائل 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 ما هي إلا فوهات بركانية توسعت وتعمقت نتيجة انهيار قمة البركان أو جوانبه في حجرة الصهارة 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. مرّر 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؟

SA.GEO.SE.CH06.indd 150 4/8/19 4:53 PM

أنواع البراكين Types of Volcanoes

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

البراكين الدرعية Shield volcanes: **البركان الدرعي Shield volcano** جبل عناز في حرة عويرض ذو انحدار قليل وقاعدة شبه دائرية، يتكون عندما تتراكم طبقات من اللابة في أثناء الثورانات البركانية الهادئة، وهو من أكبر أنواع البراكين، ويعد بركان حليات اللابة (البركان التاريخي) بحرة رهاط من البراكين الدرعية، انظرا لجدول 1–6.

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

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

المهن في علم الأرض

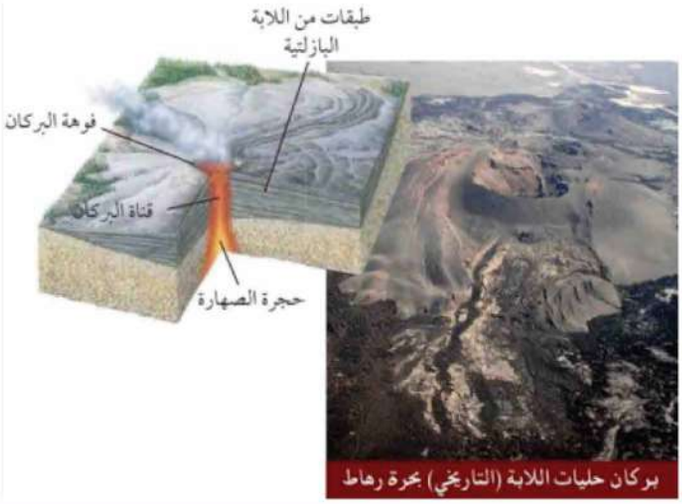
عالم البراكين.

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

المطويات

ضَمّن المعلومات في هذا الدرس في المطوية الخاصة بك.

أنواع البراكين — **الجدول 1 - 6**

الوصف	أمثلة على البراكين
البراكين الدرعية • أضخم أنواع البراكين الثلاثة. • قليلة الانحدار وتمتد مسافات طويلة. • تتكون من طبقات متعاقبة من اللابة البازلتية المتصلبة. • ثوراناتها هادئة.	 بركان حليات اللابة (التاريخي) بحرة رهاط

SA.GEO.SE.CH06.indd 151 4/8/19 4:53 PM

البراكين المخروطية

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

بركان في حرة الشاقة

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.

بركان جبل القدر

التقويم 1–6

الخلاصة

- تتضمن عملية النشاط البركاني جميع العمليات التي تصعد فيها الصهارة 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، والفوهة.
- توجد طفوح البازلت على هيئة سهول منبسطة أو هضاب، وتتكون نتيجة تدفق اللابة من شقوق القشرة الأرضية.
- هناك ثلاثة أنواع رئيسة للبراكين هي: الدرعية، والمخروطية، والمركبة.

فهم الأفكار الرئيسة

1. **الفكرة الرئيسة** وضح كيف ترتبط مواقع البراكين مع نظرية حركية الصفائح؟
2. **اذكر** بركانين في حزام البحر المتوسط.
3. **ارسم** بركانًا وحدّد أجزاءه على الرسم.
4. **اقترح** نوع (أو أنواع) العمليات الأرضية التي حدثت في منطقة نشاط بركاني سابق في المملكة العربية السعودية مستعينًا بالخريطة.

التفكير الناقد

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

الرياضيات في الجيولوجيا

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

SA.GEO.SE.CH06.indd 152 4/8/19 4:53 PM

رابط الدرس الرقمي

www.ien.edu.sa

6-2

الثورانات البركانية Volcanic Eruptions

الأهداف

- **توضح** كيف يؤثر نوع الصهارة 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 الغنية بالمعادن الداكنة التي تحتوي على الماغنسيوم والحديد.

المفردات الجديدة

اللزوجة

المقذوفات البركانية الصلبة

تدفق الفتات البركاني

الفكرة الرئيسة **تحدّد مكوّنات الصهارة خصائص الثوران البركاني.**

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

تشكُّل الصهارة Making Magma

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

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

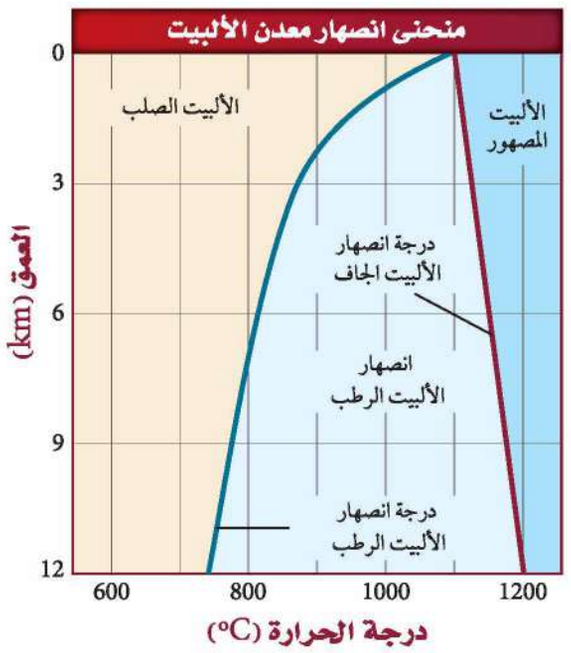
الضغط Pressure يزداد الضغط بزيادة العمق بسبب زيادة وزن الصخور، إلا أن زيادة الضغط تؤدي إلى رفع درجة الانصهار، انظر **الشكل 11–6**، الذي يبين منحنى انصهار معدن الفلسبار الصودي (الألبيت Albite). لاحظ أن درجة انصهار الألبيت على سطح الأرض في غياب الماء تساوي 1100 °C، وتزداد إلى 1150 °C على عمق 6 km، ثم إلى 1440 °C على عمق 100 km. ولاحظ أيضًا كيف يفسر عامل الضغط سبب انصهار معظم الصخور أسفل القشرة الأرضية وأعلى الستار.

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

جبل إتنا

جبل سانت هيلين

SA.GEO.SE.CH06.indd 153 4/8/19 4:53 PM



الشكل 11–6 يؤثر كل من المحتوى المائي والضغط في كيفية انصهار معدن الألبيت؛ حيث يزداد الضغط بزيادة العمق.

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

الشكل 12–6 بركان حَرّة كشب غربي المملكة العربية السعودية.

مكوّنات الصهارة Composition of Magma

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

الغازات الذائبة Dissolved gases تزداد شدة الانفجار البركاني للصهارة بزيادة كمية الغازات الذائبة فيها، مثلما يحدث في المشروب الغازي عندما يزداد فورانه بزيادة الغازات الذائبة فيه. ومن الغازات المهمة في الصهارة بخار الماء، وثاني أكسيد الكربون، وثاني أكسيد الكبريت، وكبريتيد الهيدروجين، ويُعد بخار الماء من أكثر الغازات الذائبة أهمية؛ لأنه يحدد أين يمكن أن تتكون الصهارة. ويوضح **الشكل 11–6** أن المعادن في الستار– ومنها معدن الألبيت– تنصهر عند درجات حرارة مرتفعة، ولكن وجود بخار الماء يقلل من درجة الانصهار، مما يساعد على انصهار مواد الستار وتكوُّن الصهارة، ثم ثورانها على هيئة براكين.

اللزوجة Viscosity تُسمى الخاصية الفيزيائية التي تصف مقاومة المواد للتدفق **اللزوجة Viscosity**. وتؤثر كل من درجة حرارة الصهارة ومحتواها من السليكا في لزوجتها. وعمومًا تزداد لزوجة الصهارة بانخفاض درجة حرارتها. أما زيادة محتوى الصهارة من السليكا فيجعلها كثيفة القوام ولزجة. وتؤدي زيادة لزوجة الصهارة إلى زيادة احتفاظها بالغازات الذائبة، فلا تسمح لها بالانفلات بسهولة، لذا تنتج ثورانات بركانية متفجرة. وعمومًا، إذا كان محتوى الصهارة من السليكا منخفضًا انخفضت لزوجتها، وكانت خفيفة القوام، وتتدفق بسرعة ويسر، كما في العسل الساخن، كما أنها تُنتج ثورانات هادئة غير مصحوبة بانفجارات. وتتكون البراكين الناتجة من صخور بازلتية كما في حَرّة كشب غربي المملكة. انظر **الشكل 12–6**.

ماذا قرأت؟ أيهما أكثر لزوجة: الماء أم العسل؟

SA.GEO.SE.CH06.indd 154 4/8/19 4:53 PM

أنواع الصهارة Types of Magma

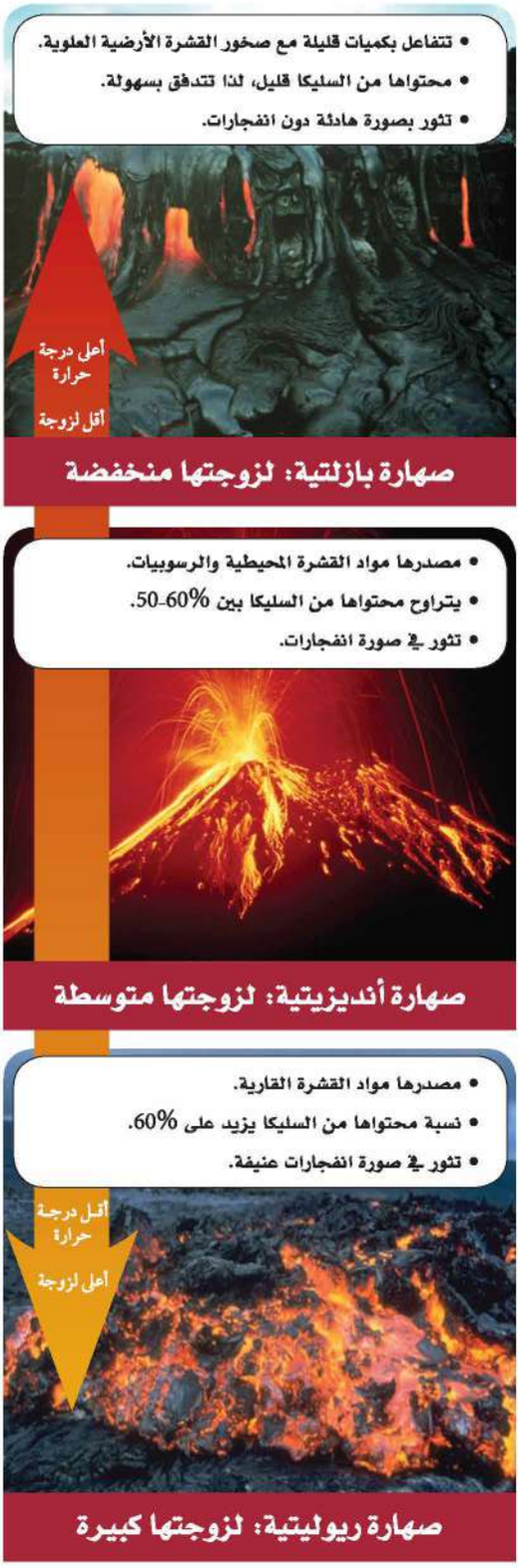
لا يحدد محتوى الصهارة من السليكا لزوجة الصهارة وشدة ثورانها فقط، بل يحدده أيضًا نوع الصخر البركاني الذي سيتشكل حينما تبرد الصهارة. ادرس **الشكل 13–6** لتلخيص أنواع الصهارة.

صهارة بازلتية Basaltic magma تتكوّن الصهارة البازلتية عندما تنصهر صخور الستار العلوي عادة، وتتكون من كمية السليكا نفسها التي يحتويها صخر البازلت، وهي أقل من 50%. وعندما تصعد الصهارة من الستار العلوي إلى سطح الأرض تتفاعل مع قليل من صخور القشرة الأرضية والرسوبيات التي تعلوها، وتكون لزوجتها منخفضة لانخفاض محتواها من السليكا، لذا تخرج الغازات منها بسهولة، وتكون ثوراناتها هادئة. ويوضح **الشكل 14–6** كيف تحدد خصائص الصهارة نوع الثوران البركاني الذي سيحدث. ومن البراكين التي تكوّنت بفعل نشاط صهارة بازلتية حَرّة كشب غربي المملكة.

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

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

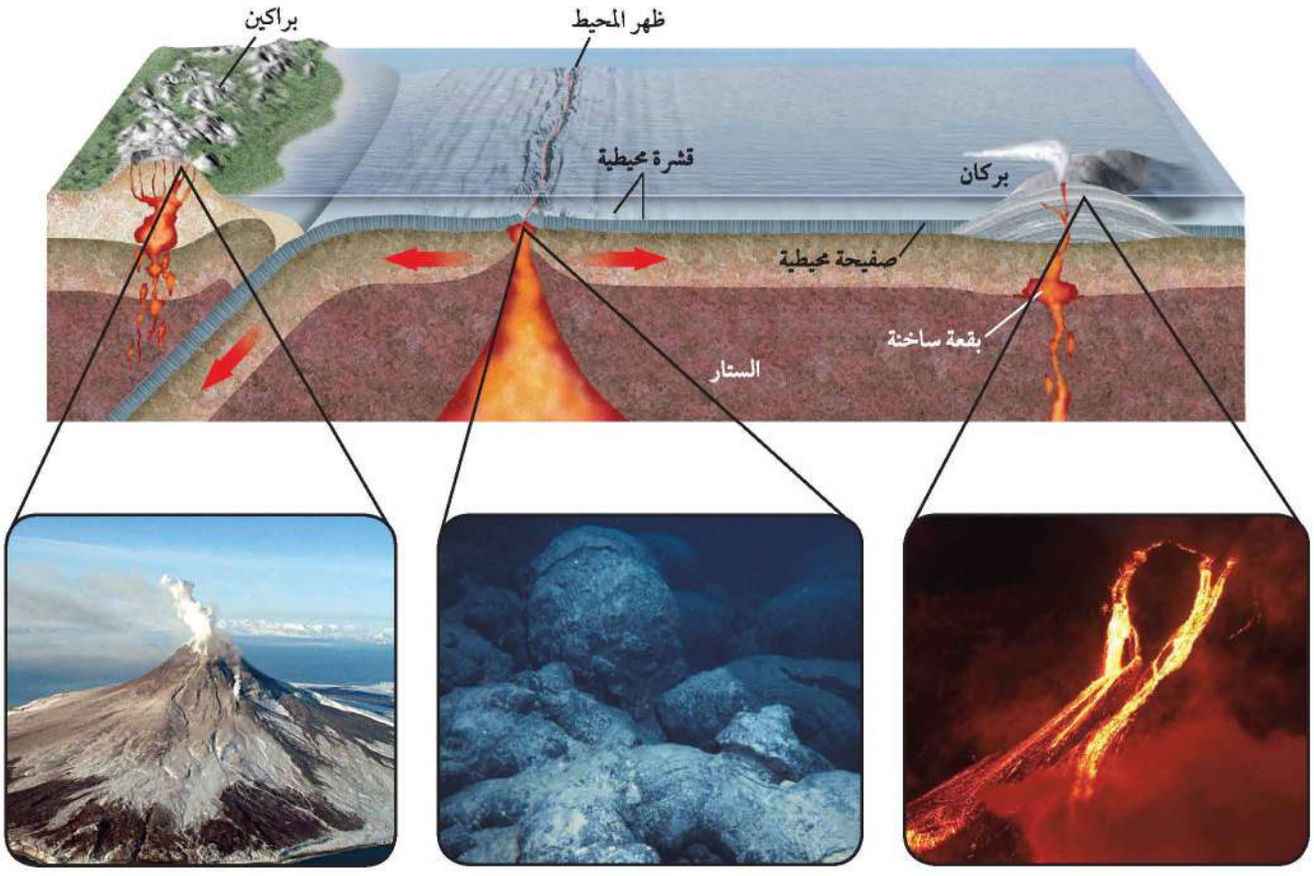
الشكل 13–6 إذا كانت الصهارة أو اللابة فقيرة إلى السليكا كانت لزوجتها منخفضة، وإذا كانتا غنيتين بالسليكا كانت لزوجتها مرتفعة.



SA.GEO.SE.CH06.indd 155 4/8/19 4:54 PM

الثورانات البركانية Volcanic Eruptions

الشكل 14–6 عندما تصعد الصهارة إلى أعلى بفعل حركات الصفائح الأرضية والبقع الساخنة، تختلط مع قشرة الأرض، ويؤدي هذا إلى الاختلاف في درجة حرارة الصهارة ومحتواها من السليكا والغازات. وتحدد خصائص الصهارة هذه كيفية ثوران البراكين.



ثورانات بركانية هادئة

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

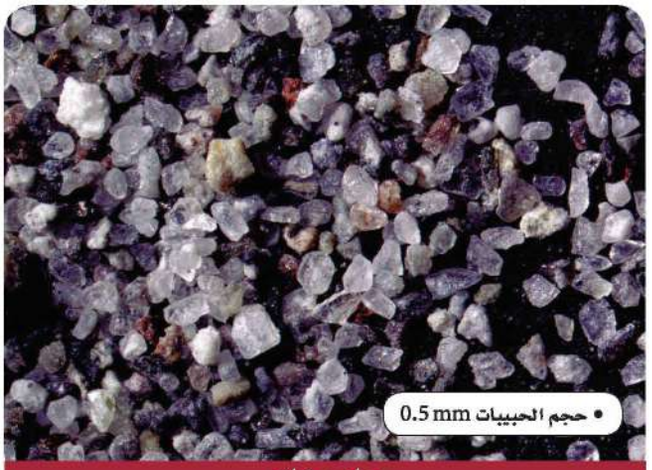
ثورانات بركانية تحت الماء

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

ثورانات بركانية متفجرة

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

SA.GEO.SE.CH06.indd 156 4/8/19 4:54 PM



رماد بركاني

كتلة بركانية

الثورانات البركانية المتفجرةُ Explosive Eruptions

عندما تكون اللابة في القناة لزجة جدًّا فإنها لا تتدفق من فوهة البركان بحُرّية، بل تتراكم فيها الغازات إلى أن تخرج في صورة انفجارات عنيفة، حيث تُقذف اللابة مع الصخور في الهواء. وتسمى المواد التي تقذفها البراكين **المقذوفات البركانية الصلبة tephra**. وربما تكون المقذوفات البركانية الصلبة قطعًا من اللابة تصلّبت في أثناء وجودها في الهواء، أو قطعًا من قشرة أرضية حملتها الصهارة معها قبل ثورانها. وتصنف المقذوفات البركانية الصلبة بحسب حجمها؛ فالقطع الصغيرة التي يقل قطرها عن 2 mm تُسمى رمادًا بركانيًّا، وتُسمى المقذوفات البركانية الأكبر من ذلك كتلاً بركانية. انظر **الشكل 15–6**، وقد يبلغ ارتفاع بعض الكتل البركانية مترًا، وقد يصل حجم بعضها إلى حجم سيارة. وتنثر الثورانات البركانية المتفجرة الضخمة كميات هائلة من المقذوفات البركانية فوق معظم الأرض، وقد يصل الرماد البركاني إلى ارتفاع 40 km في الغلاف الجوي في أثناء الثوران البركاني، ويشكل خطرًا على الطائرات، كما يمكن أن يُغير حالة الطقس. ويوضح **الشكل 16–6** بركان جبل بيناتيوبو في الفلبين الذي ثار عام 1991م، وشكّل 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 15–6 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 16–6 ثار بركان جبل بيناتيوبو في الفلبين عام 1991م فأطلق كميات هائلة من الرماد البركاني تراكمت في طبقة الستراتوسفير، مما أدى إلى انخفاض درجة حرارة الأرض لمدة سنتين.

SA.GEO.SE.CH06.indd 157 4/8/19 4:54 PM

بركان بيلي عام 1902م

تدفق الفتات البركاني

الشكل 17–6 أدى إلى التدفق الشديد للفتات البركاني من جبل بيلي إلى تدمير بلدة سانت بيير في جزر المارتينك في البحر الكاريبي 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 الفتات البركاني pyroclastic flow**، وقد تزيد درجة حرارتها الداخلية على 700 °C. ويوضح **الشكل 17–6** آثار الدمار التي خلفها بركان بيلي في جزيرة مارتينيك في البحر الكاريبي عام 1902م، وتدفق فتات بركاني يتصاعد إلى أعلى عند ثوران بركان مايون في المكسيك في عام 2000 م.

التقويم 2–6

الخلاصة

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

فهم الأفكار الرئيسة

1. الفكرة الرئيسة **ناقش** كيف تحدد مكونات الصهارة خصائص ثورانها؟
2. **أعد صياغة** كيف ترتبط لزوجة الصهارة بشدة انفجارها؟
3. **توقع** شدة انفجار بركان ناتج عن صهارة غنية بالسليكا والغازات.
4. **ميز** بين المقذوفات البركانية الصلبة من حيث أحجامها.

التفكير الناقد

5. **استنتج** التركيب الكيميائي للصهارة الذي أدى إلى ثوران بركان جبل فيزوف عام 79 قبل الميلاد بهذه الطريقة.

الكتابة في الجيولوجيا

6. اكتب نشرة إخبارية تتناول فيها أحداث بركان ما.

SA.GEO.SE.CH06.indd 158 4/8/19 4:54 PM

علم الأرض والتقنية

مرصد هاواي البركاني

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

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

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

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

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

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

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

الكتابة في الجيولوجيا

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

SA.GEO.SE.CH06.indd 159 4/8/19 4:54 PM

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.

سؤال: ما العوامل التي يجب مراعاتها عند تقويم البركان؟

تنقل الطائرات المروحية العلماء إلى أماكن البراكين البعيدة. حيث يحللون 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 تقييم عدة براكين حول العالم، لتحديد هل هي براكين آمنة للسكان المجاورين أم لا، وفي حال كونها 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 تقييم البراكين، ثم دوّن أفكارك في أثناء ذلك. ويمكنك تضمين عوامل، منها: فترات الانفجار، ومكوّنات اللابة، والعدد التقريبي للأشخاص الذين يعيشون بالقرب من البركان، وتاريخ آخر انفجار للبركان.
4. **حدّد** مع فريقك 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 الإنترنت أو المعلومات التي يزودك بها المعلم، واختر بلدًا في العالم يوجد فيه 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 السالفة الذكر آمنًا؟ ولماذا؟
2. **فسّر البيانات** هل يشكّل أي من البراكين تهديدًا مباشرًا للأشخاص الذين يعيشون بالقرب منه؟ ولماذا؟
3. **استنتج** حضّر عرضًا تقدم فيه نتائجك لمجموعة من علماء العالم، وضمّنه توقعاتك وتوصياتك، وكن مستعدًّا لتلقي الأسئلة والإجابة عنها. ثم اعرض جدول البيانات على زملائك للاطلاع على نتائجك.

شارك ببياناتك

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

SA.GEO.SE.CH06.indd 160 4/8/19 4:54 PM

الفصل 6

دليل مراجعة الفصل

الفكرة العامة تتشكل البراكين من الصهارة القادمة من باطن الأرض.

المفردات	المفاهيم الرئيسة
6–1 ما البركان؟	
النشاط البركاني وسائد اللابة البقعة الساخنة طفوح البازلت الشقوق قناة البركان فوهة البركان الفوهة البركانية المنهارة البركان الدرعي البركان المخروطي البركان المركب	**الفكرة الرئيسة** ترتبط مواقع البراكين بحركة الصفائح. • تتضمن عملية النشاط البركاني جميع العمليات التي تصعد فيها الصهارة 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، والفوهة. • توجد طفوح البازلت على هيئة سهول منبسطة أو هضاب، وتتكون نتيجة تدفق اللابة من شقوق القشرة الأرضية. • هناك ثلاثة أنواع رئيسة للبراكين هي: الدرعية، والمخروطية، والمركّبة.
6–2 الثورانات البركانية	
اللزوجة المقذوفات البركانية الصلبة تدفق الفتات البركاني	**الفكرة الرئيسة** تحدّد مكوّنات الصهارة خصائص الثوران البركاني. • هناك ثلاثة أنواع من الصهارة، هي: البازلتية، والأنديزيتية، والريوليتية. • اعتمادًا على نسبة محتوى الصهارة من السليكا تكون الصهارة البازلتية أضعف أنواع الصهارة في شدة الثوران، في حين أن الصهارة الريوليتية أشدها. • درجة الحرارة والضغط ووجود الماء عوامل تؤثر في تشكّل الصهارة. • تُسمى اللابة المتصلبة والقطع الصخرية التي تطلقها البراكين في أثناء ثورانها المقذوفات البركانية الصلبة.

SA.GEO.SE.CH06.indd 161 4/8/19 4:54 PM

الفصل 6 تقويم الفصل

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 الصهارة إلى أعلى عبر القناة وتثور على سطح الأرض من خلال الشقوق الموجودة في قمة البركان.
3. يشير مصطلح البقع الساخنة إلى جميع العمليات المرافقة لخروج الصهارة 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 صهارة فارغة.
7. يُسمى أصغر أنواع البراكين وأشدها انحدارًا .....

اختر المصطلح المناسب لكل من الجمل الآتية:

8. تجمُّع من الصهارة يقع أسفل الصفيحة، ولا يقع عند حدودها، ويتكوَّن بسبب اندفاع عمود من الصهارة في الستار 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.

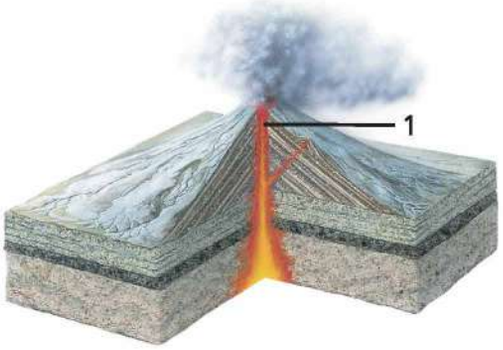
حدّد المشترك بين كل مصطلحين مما يأتي:

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

تثبيت المفاهيم الرئيسة

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 16 و17.



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 الصهارة.
18. أي الجمل الآتية غير صحيحة؟
    a. تزداد لزوجة الصهارة بازدياد محتواها من السليكا.
    b. المحتوى الغازي وشدة ثوران الصهارة الأنديزيتية متوسطان.
    c. تزداد لزوجة الصهارة بازدياد درجة الحرارة.
    d. الصهارة البازلتية لزوجتها منخفضة وتحتفظ بكمية قليلة من الغازات.

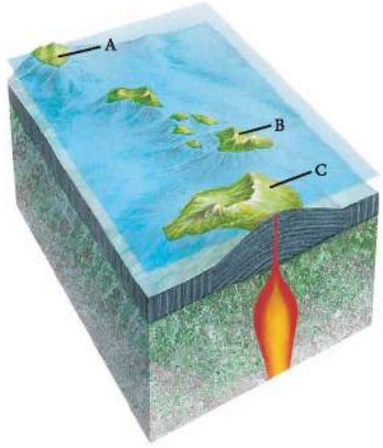
SA.GEO.SE.CH06.indd 162 4/8/19 4:54 PM

6 تقويم الفصل

أسئلة بنائية

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

استعمل الشكل الآتي للإجابة عن السؤال 22.



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

التفكير الناقد

استعمل الجدول الآتي للإجابة عن السؤالين 25 و 26.

مكونات الصهارة وخصائصها

	صهارة بازلتية	صهارة أنديزيتية	صهارة ريوليتية
مصدر المادة	أعلى الستار	قشرة محيطية ورسوبيات	قشرة قارية
اللزوجة	منخفضة	متوسطة	مرتفعة
نسبة الغازات	1-2 %	3-4 %	4-6 %
نسبة السليكا	50 % تقريبًا	60 % تقريبًا	70 % تقريبًا
موقع الصهارة	كلتا القشرتين القارية والمحيطية	حواف قارية مرافقة لنطق الطرح	قشرة قارية

25. **حلّل** أنواع الصهارة، ورتبها بحسب شدة انفجارها بناءً على البيانات في الجدول أعلاه، وفسر إجابتك.
26. **صنّف** البراكين إلى ثلاثة أنواع، وصِفْها بحسب خصائص الصهارة الواردة في الجدول أعلاه.
27. **توقّع**. 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 تحفيز

29. **فسّر** لماذا تتشكل البراكين الدرعية بفعل البقع الساخنة من صهارة بازلتية وليست ريوليتية؟

SA.GEO.SE.CH06.indd 163 4/8/19 6:15 PM

اختبار مقنن

اختيار من متعدد

1. ما نـوع البركان الـذي يمثل أكبر خطر على الإنسـان والبيئة؟
   a. الدرعي.
   b. المركب.
   c. المخروطي.
   d. الطفوح.
2. كيـف يؤثر زيادة الضغـط 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. عندمـا تتعاقـب طبقات صخرية صلبـة ناتجة عن ثورانـات بركانيـة عنيفة مـع طبقـات تكونت من ثورانات بركانية هادئة.
   c. عندمـا تعـود المـواد البركانيـة الصغـيرة الحجـم المقذوفة في الهواء إلى الأرض، وتتراكم حول فوهة البركان.
   d. عندما يكوّن عمود من الصهارة في السـتار بقعة ساخنة.
4. ما العامل الذي لا يؤثر في تشكل الصهارة؟
   a. الزمن.
   b. درجة الحرارة.
   c. الضغط.
   d. المياه.

استعمل الشكل أدناه للإجابة عن السؤالين 5 و 6.

5. ما نوع البركان في الشكل أعلاه؟
   a. مخروطي.
   b. درعي.
   c. مركب.
   d. فتات بركاني.
6. ما مسـتوى التهديد الذي يحتمل أن يسـببه تطور هذا البركان للإنسان؟
   a. منخفض؛ لأنـه بركان تكوّن من تراكم طبقة فوق أخرى، في أثناء ثورانات هادئة غير متفجرة.
   b. منخفـض؛ لأنـه بركان تكوّن مـن تعاقب طبقات من اللابة مع طبقات من الرماد البركاني.
   c. متوسـط؛ لأنه بركان صغير تكوّن من ثوران جزء مـن الصهـارة، ومـن ثـم تراكـم هذا الجـزء حول الفوهة.
   d. مرتفع؛ لأنه بركان ذو ثوران متفجر.

SA.GEO.SE.CH06.indd 164 4/8/19 4:54 PM

اختبار مقنن

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
فيزوف	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 بيناتيوبو	1991 م	5 Km^3	40 Km

7. رتّب الثورانات البركانية وفق كميات الفتات البركاني الناجمة عنها.
8. كوِّن فرضية تتناول لماذا يُعد ثوران بركان فيزوف في عام 79 قبل الميلاد أكثر فتكًا من ثوران بركان جبل بيناتوبو في عام 1991م، على الرغم من أن حجمي البركانين متساويان تقريبًا.
9. احسب فرق ارتفاع الغيمة البركانية لبركان تامبورا 1815م مقارنة بارتفاعها في بركان جبل سانت هيلين 1980م.
10. حجر الخفاف صخر ناري فقاعي يطفو على الماء. ما الذي تستنتجه عن حجم الغازات الموجودة في اللابة التي شكّلت هذا الحجر؟
11. لماذا ينتج عن اللابة التي تحتوي على كميات كبيرة من الغازات المذابة، عمومًا، انفجارات عنيفة أكبر من اللابة التي تحتوي على كمية أقل من الغازات؟

القراءة والاستيعاب

ثوران بركان جبل بيناتوبو

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

12. ماذا تستنتج من النص أعلاه؟
    a. لا يمكن توقع حدوث البراكين في أي وقت.
    b. تثور البراكين في صورة انفجارات دائمًا.
    c. يمكن أن تغير البراكين من معالم سطح الأرض بطرائق مختلفة.
    d. يرافق حدوث البراكين دائمًا حدوث الزلازل.
13. أي الجمل الآتية غير صحيحة بناءً على النص أعلاه؟
    a. يمكن أن تطلق البراكين غازات في طبقة الستراتوسفير.
    b. حدث ثوران جبل بيناتوبو بسبب انهيار كهف تحت الأرض.
    c. الغاز والرماد البركاني اللذان انبعثا من بركان جبل بيناتوبو 1991م ساخنان بلغت درجة حرارتهما 816°C.
    d. يمكن أن تُغير الثورانات البركانية شكل الجبل.
14. لقد أُخليت المناطق المحيطة بجبل بيناتوبو، في الأيام التي سبقت اندلاع بركان 15 من يونيو 1991م. بناءً على النص أعلاه، وضّح لماذا يُعد إخلاء هذه المناطق ضروريًّا.

SA.GEO.SE.CH06.indd 165 4/8/19 4:54 PM

الفصل 7 الزلازل Earthquakes

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

7–1 الأمواج الزلزالية وبنية الأرض

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

7–2 قياس الزلازل وتحديد أماكنها

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

7–3 الزلازل والمجتمع

الفكرة الرئيسة يمكن معرفة احتمال حدوث الزلزال من خلال التاريخ الزلزالي للمنطقة، ومعرفة أين وكيف تتراكم الإجهادات بسرعة.

حقائق جيولوجية

- تتعرض الأرض لأكثر من مليون زلزال في العام الواحد.
- معظم الزلازل ضعيفة جدًّا حيث لا نشعر بها.
- حدث في منطقة مكة المكرمة منذ عام 183هـ حتى الآن 12 زلزالاً مدمرًا بسبب قربها من البحر الأحمر، ومنها ما حدث عامي 1382و 1414هـ.

SAGE 0-3E CH07.indd 166 4/8/19 4:57 PM

تجربة استهلالية

ما سبب حدوث الزلزال؟

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

الخطوات

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

التحليل

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

المطويات
منظمات الأفكار

الأمواج الزلزالية

اعمل المطوية الآتية لتعرف أنواع الأمواج الزلزالية.

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

الخطوة 2 اثن الورقة عموديًّا إلى ثلاثة أجزاء متساوية.

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

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

استخدم هذه المطوية في أثناء دراسة القسم 1–7، لتتعرّف مميزات الحركة في الأمواج الزلزالية.

SA GEO SE CH07.indd 167 4/8/19 4:57 PM

رابط الدرس الرقمي
www.ien.edu.sa

7-1

الأمواج الزلزالية وبنية الأرض

Seismic Waves and Earth's Interior

الأهداف

- **تقارن** بين أنواع الأمواج الزلزالية الثلاثة.
- **تصف** كيف يعمل مقياس الزلازل (السيزمومتر).
- **تفسر** كيف استعملت الأمواج الزلزالية في معرفة مكونات باطن الأرض وتركيبها.

مراجعة المفردات

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

مفردات جديدة

الأمواج الزلزالية

الأمواج الأولية

الأمواج الثانوية

الأمواج الجسمية

الأمواج السطحية

بؤرة الزلزال

المركز السطحي للزلزال

مقياس الزلزال

مخطط الزلزال

الفكرة الرئيسة **يتم استعمال الأمواج الزلزالية في تصوّر بنية الأرض الداخلية.**

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

الأمواج الزلزالية Earthquake Waves

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

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

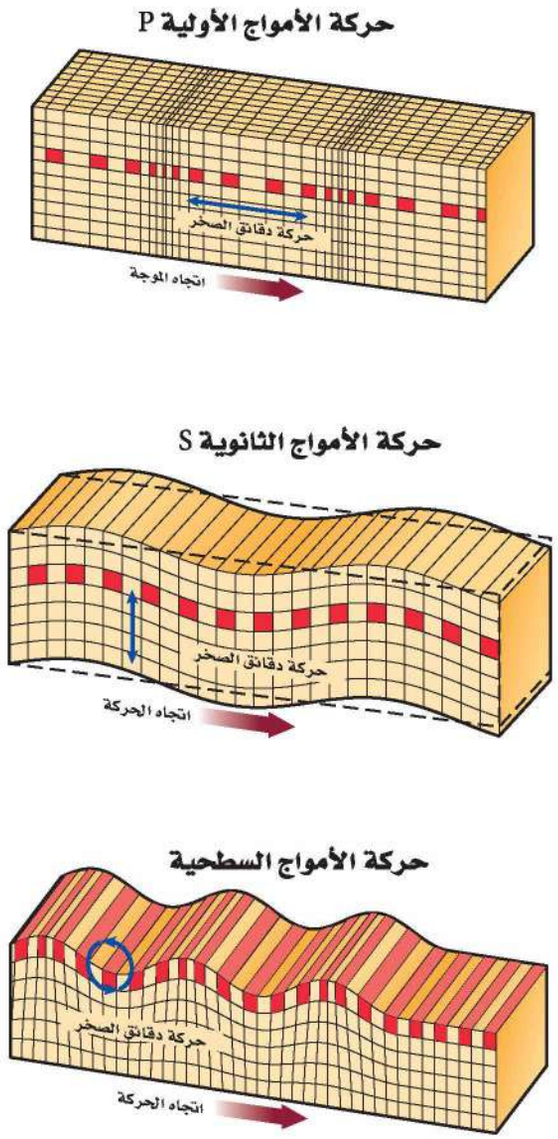
الأمواج الأولية Primary waves يطلق عليها أيضًا أمواج P. تعمل **الأمواج الأولية Primary Waves** على تضاغط الصخور وتخلخلها في نفس اتجاه حركتها، انظر **الشكل 1–7**. لاحظ من الشكل أن حجم الصخر المشار إليه بالمربعات الحمراء الصغيرة يتغير مع مرور الأمواج الأولية فيه. وتشبه الحركة التضاغطية للأمواج الأولية الحركة التي تحدث على طول نابض رخو؛ إذ تنتقل الحركة الموجية على طوله في اتجاه موازٍ لاتجاه شدِّه في البداية.

SA.GEO.SE.CH07.indd 168 4/8/19 4:57 PM

الأمواج الثانوية Secondary waves يطلق عليها أيضًا أمواج S. وسميت **الأمواج الثانوية Secondary Waves** لأنها أبطأ من الأمواج الأولية، وهي ثاني الأمواج الزلزالية وصولاً إلى محطة الرصد. وتُسبب الأمواج الثانوية في أثناء حركتها حركة جسيمات الصخر عموديًّا على اتجاه حركتها، كما في **الشكل 1–7**، 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 Body waves**؛ لأنها تنتقل داخل الأرض.

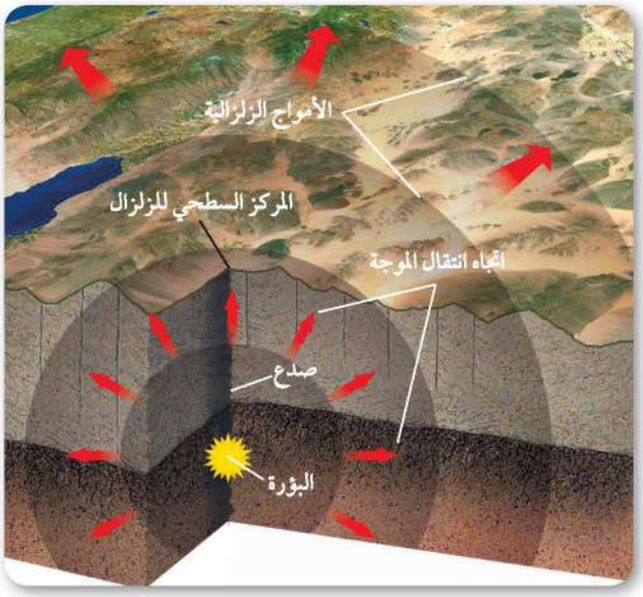
الأمواج السطحية Surface waves تنتقل **الموجات السطحية Surface waves** على سطح الأرض فقط، وهي أبطأ الأمواج الزلزالية، لذلك فهي ثالث الأمواج وصولًا إلى محطة الرصد وتتسبب في حركة جسيمات سطح الأرض حركة جانبية إلى أعلى وإلى أسفل كحركة الأمواج البحرية، كما في **الشكل 1–7**. وتعد من أكثر الأمواج الزلزالية تدميرًا؛ 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 الشكل 2–7**، وتنشأ الأمواج الزلزالية السطحية عن المركز السطحي للزلزال، وتنتشر منها على سطح الأرض.



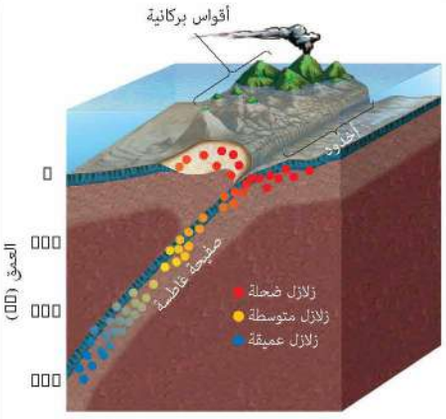
الشكل 1–7 تمتاز الأمواج الزلزالية بنوع الحركة التي تسببها للصخور التي تمر فيها؛ حيث تكون حركة جسيمات الصخر إلى الأمام وإلى الخلف وفي نفس اتجاه حركة أمواج – P بينما تكون حركة الأمواج –S عمودية على خط انتشار الموجة، وإلى أعلى وإلى أسفل، ومن جانب إلى آخر في الأمواج السطحية.

SA.GEO.SE.CH07.indd 169 4/8/19 4:57 PM



الشكل 2–7 بؤرة الزلزال هي النقطة التي ابتدأ عندها تشكُّل الكسر في الصدع. وتسمى النقطة التي تقع على سطح الأرض مباشرة فوق البؤرة المركَزَ السطحيَّ للزلزال.

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



الشكل 3–7 تصنف الزلازل بناء على عمق البؤرة إلى زلازل ضحلة ومتوسطة وعميقة. وتعد الزلازل الضحلة أكثرها تدميرًا.

الشكل 4–7 أحد أجهزة مقياس الزلازل (السيزمومتر) الحديثة.

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 قلّت قوة الموجات الزلزالية وخفتت بسبب المقاومة التي تواجهها في أثناء مرورها في صخور القشرة الأرضية. وتصنف الزلازل بحسب عمق البؤرة، كما في **الشكل 3–7**، إلى ثلاثة أنواع: الزلازل الضحلة التي تنشأ على عمق أقل من 70 km، والزلازل المتوسطة التي تنشأ على عمق 70–300 km، والزلازل العميقة التي تنشأ على عمق 300–700 km.

ويوضح **الشكل 3–7** العلاقة بين نطاق الطرح – الناتج عن غطس صفيحة أرضية أسفل صفيحة أخرى – وحدوث الزلازل. ولا تحدث الزلازل العميقة إلا في هذا النوع من الحدود. والمسؤول عن حدوث الزلازل في هذا النطاق – وبخاصة العميقة منها – هو الصفيحة الغاطسة الصلبة؛ حيث يسبب غطس الصفيحة إلى أسفل تراكم الجهود فيها، مما يؤدّي إلى تكسرها وتحرير طاقة على شكل أمواج زلزالية ذات بؤر مختلفة الأعماق.

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 (السيزمومتر) Seismometer**، انظر **الشكل 4–7**.

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

SA.GEO.SE.CH07.indd 170 4/8/19 4:57 PM

جميعًا تتضمن إطارًا مثبتًا في الأرض، وكتلة معلقة على نابض أو سلك، كما في **الشكل 5–7**.

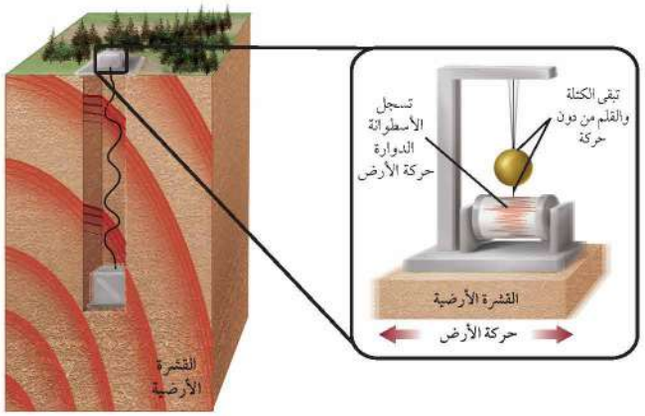
عندما يحدث الزلزال تبقى الكتلة والقلم في أثناء حدوث الاهتزاز من دون حركة بسبب القصور الذاتي، فيتم تسجيل حركة الكتلة بالنسبة إلى الإطار على أداة للتسجيل كالورقة، أو تُسجل مباشرة على أقراص حاسوبية. ويسمى السجل الذي يتم الحصول عليه من السيزمومتر **مُخَطّط الزلزال (السيزموجرام) seismogram**، ويوضح **الشكل 6–7** جزءًا من السيزموجرام.

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

منحنيات المسافة-زمن الوصول للأمواج الزلزالية Travel–time curves

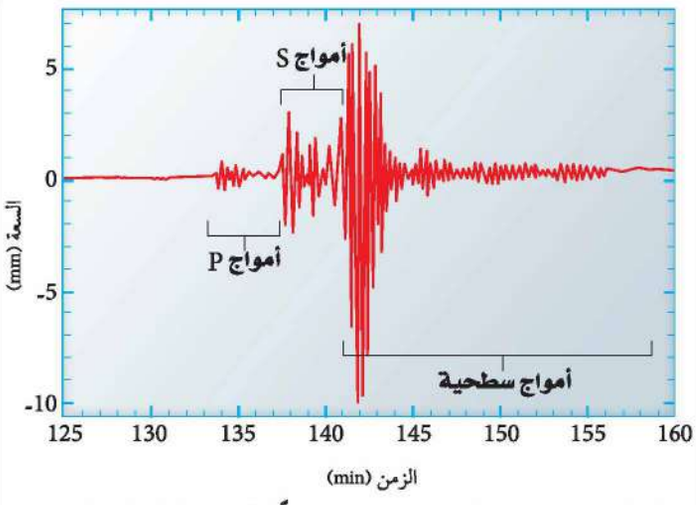
تنتقل الأمواج الزلزالية من بؤرة الزلزال، وتُسجل بأجهزة السيزمومتر؛ حيث يتم زراعة هذه الأجهزة على مسافات بعيدة. وقد استطاع علماء الزلازل من خلال بيانات أزمنة وصول الأمواج الزلزالية التي جمعوها عبر سنوات عديدة في مناطق متعددة من العالم أن يعدّوا منحنيات معيارية عالمية للعلاقة بين المسافة و زمن الوصول للأمواج الزلزالية P و S، كما في **الشكل 7–7**، وتزودنا هذه المنحنيات بمتوسط أزمنة وصول جميع أمواج P و S من أي مكان على الأرض يحدث فيه الزلزال.

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



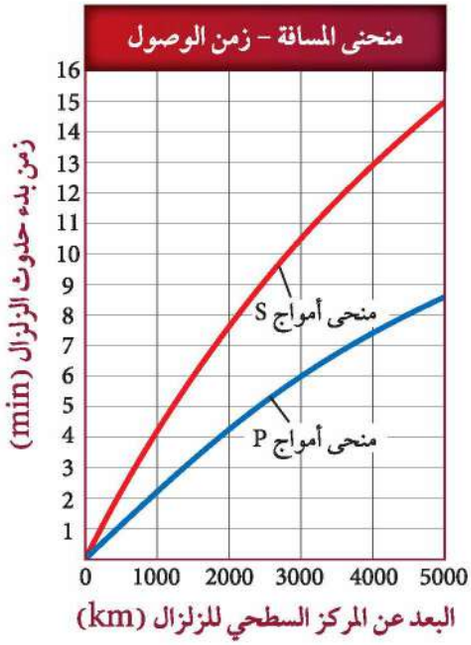
الشكل 5–7 في الإطار جهاز سيزمومتر قديم مثبت في الأرض. عندما يحدث الزلزال يتحرك الإطار بينما تبقى الكتلة المعلقة وملحقاتها دون حركة، فيُسجل الكتلة والقلم الحركة النسبية للإطار.

قارن ذلك بأجهزة الاستقبال والإرسال الحديثة.



الشكل 6–7 يوفر السيزموجرام سجلاً للأمواج الزلزالية التي عبرت نقطة معينة.

SA.GEO.SE.CH07.indd 171 4/8/19 4:58 PM



الشكل 7–7 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 6–7 و 7–7** 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 7–7** يزداد كلما زاد البُعد عن المركز السطحي للزلزال، أي أن فرق زمنَي الوصول بين أمواج P و S في السيزموجرام يكون أكبر في المحطات البعيدة عن المركز السطحي للزلزال مقارنة بالمحطات القريبة. ويُستعمل هذا الفرق الزمني في حساب بُعد المركز السطحي للزلزال عن محطة الرصد التي سجلت الزلزال.

أدلة على بنية الأرض الداخلية
Clues to Earth's Interior

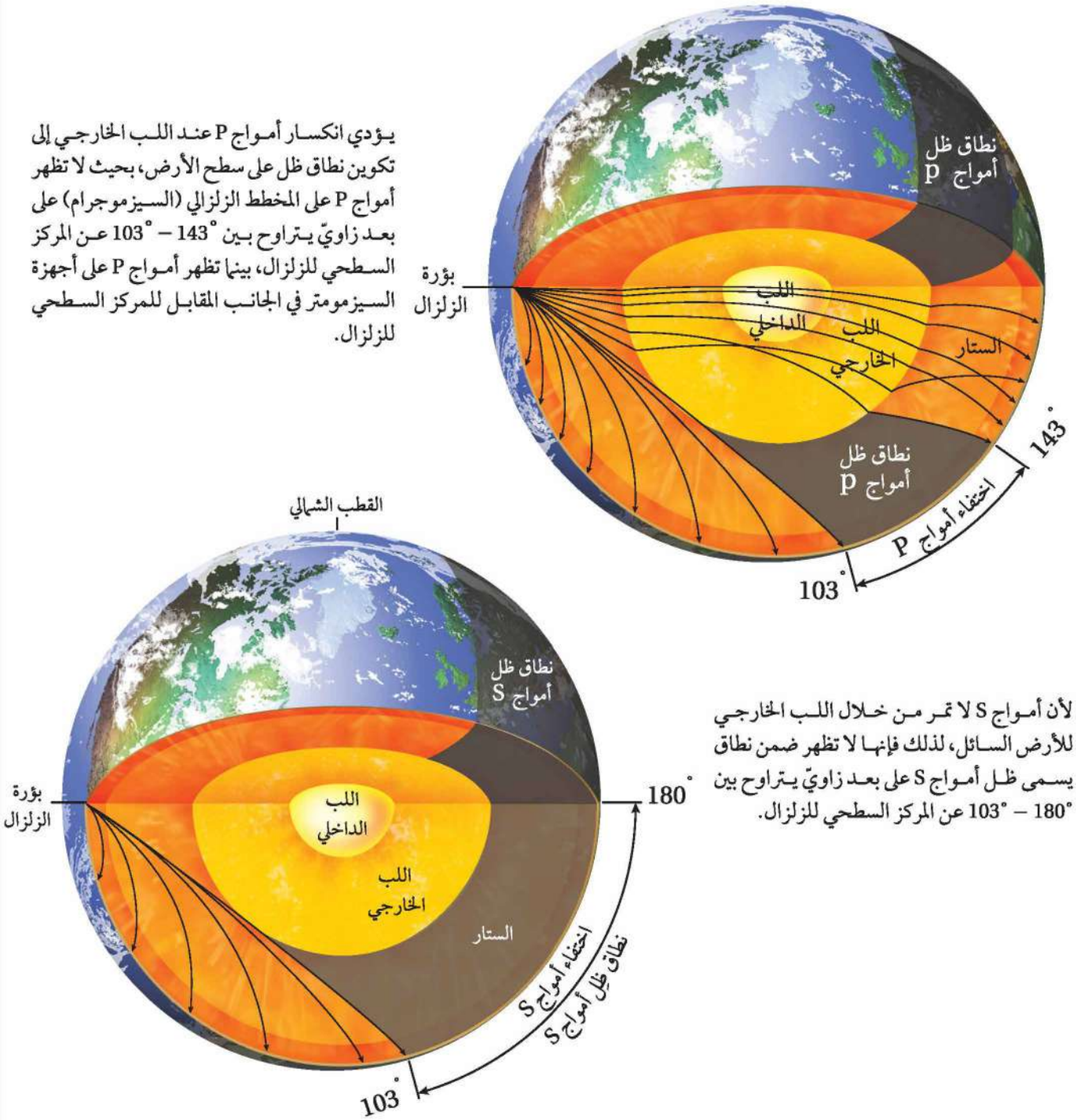
لا تعمل الأمواج الزلزالية على اهتزاز سطح الأرض فقط وما تُحدثه من دمار، بل تنتقل أيضًا إلى داخلها، لذلك فهي توفر معلومات قيّمة للعلماء تمكنهم من بناء نموذج عن بنية الأرض الداخلية.

مكونات الأرض Earth's composition يوضح **الشكل 8–7** أن الأمواج الزلزالية يتغير مسارها وسرعتها عندما تواجه حدودًا فاصلة بين طبقتين مختلفتين في مكوناتهما، وبذلك استطاع العلماء أن يحددوا سُمك طبقات الأرض ومكوناتها بمقارنة سرعة الأمواج الزلزالية مع القياسات التي حصلوا عليها في المختبرات لأنواع مختلفة من الصخور. وتوصلوا نتيجة لذلك إلى أن الستار العلوي يتكون من صخر البيرودوتيت (يتكون معظمه من معدن الأوليفين)، وأن اللب الخارجي يتكون معظمه من مصهور الحديد والنيكل، أما اللب الداخلي فهو في حالة صلبة ويتكون معظمه من الحديد والنيكل.

SA.GEO.SE.CH07.indd 172 4/8/19 4:58 PM

الأمواج الزلزالية Seismic Waves

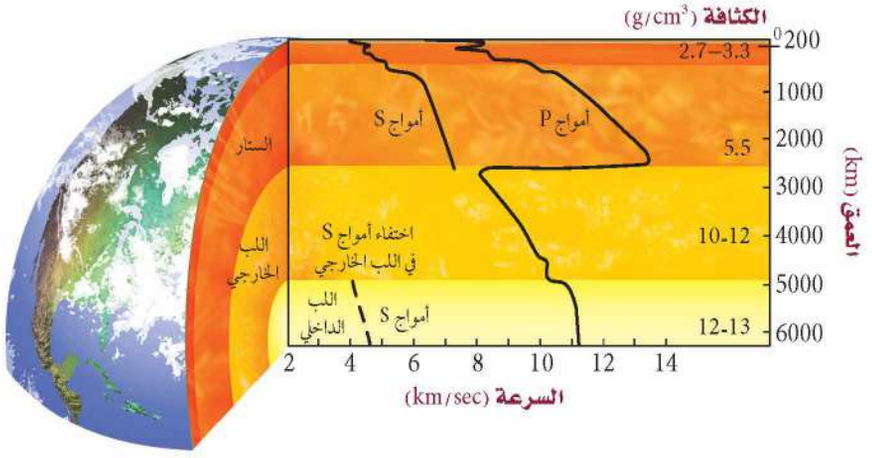
الشكل 8–7 يزودنا كل من زمن الوصول وسلوك الموجات الزلزالية بصورة تفصيلية لبنية الأرض الداخلية. كذلك تزودنا هذه الأمواج بأدلة على مكونات أجزاء الأرض المختلفة.



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 زاويّ يتراوح بين $103^\circ - 143^\circ$ عن المركز السطحي للزلزال، بينما تظهر أمواج P على أجهزة السيزمومتر في الجانب المقابل للمركز السطحي للزلزال.

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

SA.GEO.SE.CH07.indd 173 4/8/19 4:58 PM



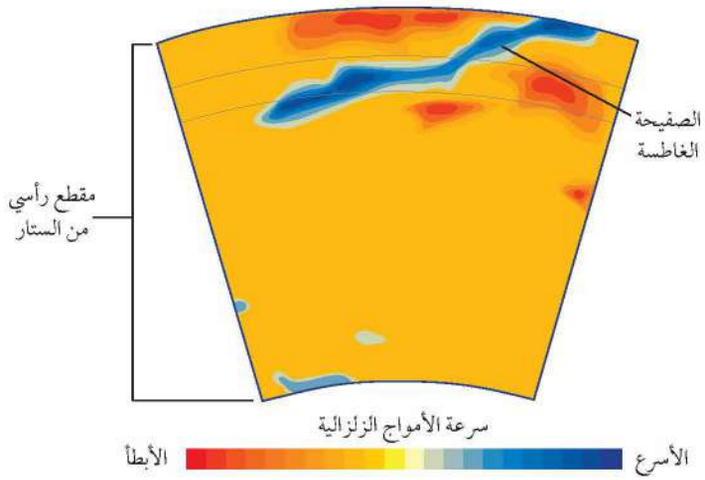
الشكل 9–7 تختلف طبقات الأرض الداخلية في مكوناتها؛ وقد استطاع العلماء تحديد مكوناتها من خلال معرفة سلوك الأمواج الزلزالية عبر أنواع مختلفة من الصخور.

بنية الأرض الداخلية Earth's internal structure تتغير سرعة الأمواج الزلزالية واتجاهها عندما تواجه موادّ مختلفة في باطن الأرض. لاحظ من **الشكل 9–7** كيف تتّبع أمواج P و S في البداية مساراتٍ مباشرةً إلى حد ما في أثناء عبورها الستار، ولكنها تعاني من انكسار وانعكاس عندما تعبر الحدود الرئيسة بين طبقات الأرض. لذلك استطاع علماء الزلازل من خلال رصد زمن ومسافة الأمواج الزلزالية ومسار كل موجة وتمثيلها بيانيًّا في منحنيات المسافة – زمن الوصول، معرفة أن مكونات الأرض والكثافات تختلف من الداخل.

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 جزءًا من باطن الأرض يوجد في الحالة السائلة القليلة اللزوجة. وقد أيّدت البيانات التي جُمعت حول مسار الأمواج الزلزالية وزمن وصولها في باطن الأرض إلى أن لب الأرض الخارجي سائل ولبها الداخلي صلب.

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 من قبل أن الصفيحة المحيطية الباردة تغوص في الستار في أثناء عملية الطرح، وأن اندفاعات الصهارة الساخنة (أعمدة الصهارة) ترتفع إلى أعلى في الستار. ولأن سرعة الأمواج الزلزالية تعتمد على درجة الحرارة والمكونات، لذلك فمن الممكن استعمالها في تصور تراكيب الأرض الداخلية، مثل الصفائح وأعمدة الصهارة الساخنة، وتقل سرعة الأمواج الزلزالية عمومًا مع تزايد درجات الحرارة، لذلك تنتقل ببطء في المناطق الساخنة، وبسرعة أكبر في المناطق الباردة. وباستعمال قياسات الأمواج الزلزالية الملتقطة بأجهزة قياس الزلازل (السيزمومترات) في مختلف أنحاء العالم، وسجلات الأمواج الزلزالية لعدة آلاف من الزلازل، يمكن الحصول على صور لبنية الأرض الداخلية تتضمن بعض التراكيب، ومنها الصفيحة الغاطسة التي تتضح في **الشكل 10–7**. ويمكن تشبيه هذه الصور بالصور الملتقطة بالأشعة السينية.

SA.GEO.SE.CH07.indd 174 4/8/19 4:58 PM



الشكل 10–7 تم التقاط هذه الصورة في اليابان من خلال تتبع مسارات الأمواج الزلزالية في باطن الأرض؛ حيث تشير المناطق الحمراء إلى سرعات الأمواج الزلزالية الأبطأ من القيمة المتوسطة، و تشير المناطق الزرقاء إلى سرعات الأمواج الأسرع من القيمة المتوسطة. كذلك تمثل المنطقة الزرقاء في الصورة الصفيحة الغاطسة.

التقويم 1–7

الخلاصة

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

فهم الأفكار الرئيسة

1. **الفكرة الرئيسة** وضح كيف تستعمل كل من أمواج P وأمواج S في تحديد خواص لب الأرض؟
2. **ارسم** مخططًا لسيزمومتر يوضح كيف تُقاس اهتزازات الأرض وتسجَّل 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 6–7** الذي يمثل مخططًا زلزاليًّا، فسّر لماذا تعد الأمواج السطحية أكثر الأمواج الزلزالية تدميرًا، على الرغم من أنها آخر الموجات وصولاً إلى محطات الرصد؟

الكتابة في الجيولوجيا

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

SA.GEO.SE.CH07.indd 175 4/8/19 4:58 PM

رابط الدرس الرقمي
www.ien.edu.sa

7-2

قياس الزلازل وتحديد أماكنها
Measuring and Locating Earthquakes

الأهداف

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

مراجعة المفردات

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

مفردات جديدة

مقياس رختر

قوة الزلزال

سعة الموجة الزلزالية

مقياس العزم الزلزالي

مقياس ميركالي المعدَّل

أحزمة الزلازل

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 قوة الزلزال.

مقياس رختر Richter scale ابتكر **مقياس رختر Richter scale** الجيولوجي تشارلز رختر Charles Richter، وهو مقياس عددي يقيس طاقة أكبر الأمواج الزلزالية المنبعثة من الزلزال، ويسمى مقدار الطاقة هذا **قوة الزلزال Magnitude**. وتقاس قوة الزلزال بإيجاد **سعة الموجة الزلزالية Amplitude**. وهي ارتفاع الموجة الزلزالية الأكبر، حيث تشير كل درجة على مقياس رختر إلى زيادة في سعة الزلزال قدرها 10 أضعاف الدرجة التي قبلها، فمثلاً، سعة الأمواج الزلزالية لزلزال قوته 8 بحسب مقياس رختر أكبر عشر مرات، من سعة الأمواج الزلزالية لزلزال قوته 7. لكن الفرق في كمية الطاقة الصادرة عن الزلازل أكبر 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 11–7** دمارًا سببه زلزال قوته 7.6 درجة على مقياس رختر.

الشكل 11–7 دمار ناجم عن زلزال قوته 7.6 درجة على مقياس رختر، وهو زلزال قوي ضرب الباكستان في شهر يناير من عام 2005 م.

SA.GEO.SE.CH07.indd 176 4/8/19 4:58 PM

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

مقياس ميركالي المعدل Modified Mercalli scale هناك طريقة أخرى لوصف حجم الزلازل تعتمد على مقدار الضرر الذي تحدثه، ومدى إحساس الناس بها ولا يعبر عن قوة الزلزال، ويسمى هذا المقياس شدة الزلزال، ويتم تحديده باستعمال **مقياس ميركالي المعدل Modified Mercalli scale** . وتقسم شدة الزلازل بحسب هذا المقياس إلى 12 درجة؛ باستعمال الأرقام الرومانية للدلالة على درجة شدة الزلزال؛ حيث تصف كل درجة آثارًا معينة، وكلما زادت الدرجة كانت الأضرار الناجمة عن الزلزال أسوأ. ويبين **الجدول 1—7** مقياس ميركالي المعدل. ويمكنك استعمال المعلومات الواردة في هذا الجدول لتقدير شدة الزلازل الذي في **الشكل 12—7**.

الشكل 12—7 يمكن أن يقيس مقياس ميركالي الأضرار التي يحدثها الزلزال، كالتي في الشكل، وهو زلزال قوي قادر على إيقاع المواد الموجودة على الرفوف.

الجدول 1—7	مقياس ميركالي المعدل
I	لا يمكن الإحساس به إلا تحت ظروف غير عادية.
II	يشعر به عدد قليل من الأشخاص، يمكن أن تهتز بعض الأجسام المعلقة.
III	يشعر به الناس داخل البيوت، ينتج عنه اهتزازات كالتي تنتج عن حركة شاحنة ضخمة قريبة.
IV	يشعر به كثير من الناس داخل البيوت وقليل من خارجها، ويهتز زجاج النوافذ والأواني والسيارات الواقفة بصورة ملحوظة.
V	يشعر به معظم الناس، يتكسر بعض الزجاج والأواني.
VI	يشعر به جميع الناس، يتحرك الأثاث، قد تتضرر بعض المآذن.
VII	يهرب جميع الناس من المباني، وقد تتضرر المباني الضعيفة بصورة كبيرة ولكن المباني القوية قد تصاب بأضرار خفيفة.
VIII	تسقط المآذن، ينقلب الأثاث الثقيل داخل البيوت، قد تتهدم المباني العادية بصورة جزئية.
IX	تدمير عام للمباني، تتحرك المباني عن أساساتها، تتشقق الأرض، تتكسر أنابيب المياه.
X	تدمير معظم المباني العادية، والطرق المعبدة، تحدث انزلاقات أرضية، تنحني السكك الحديدية والأسوار.
XI	قلة من المباني تبقى قائمة، تتهدم الجسور، تتقطع السكك الحديدية والأسوار، وتتشكل شقوق كبيرة في الأرض.
XII	دمار شامل، تقذف الأجسام في الهواء.

SA.GEO.SE.CH07.indd 177 4/8/19 4:58 PM

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، وتقل شدة الزلزال كلما زاد البعد عن المركز السطحي للزلزال. إن أعلى شدة للزلزال نجدها بالقرب من المركز السطحي، وتقل قيم ميركالي إلى الدرجة I على مسافات بعيدة عن المركز السطحي.

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

ينتج عن الزلازل العميقة اهتزازات أصغر من تلك التي تنتجها الزلازل الضحلة عادة، على سبيل المثال، يمكن لزلزال ضحل ومتوسط قوته 6 درجات على مقياس 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.

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.

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 الخريطة التي رسمتها المواقعَ المشار إليها بالأحرف.
3. أسقط بيانات الشدة لمقياس ميركالي على الخريطة التي رسمتها، بحيث تضع بجانب كل حرف الشدة الزلزالية الخاصة به.

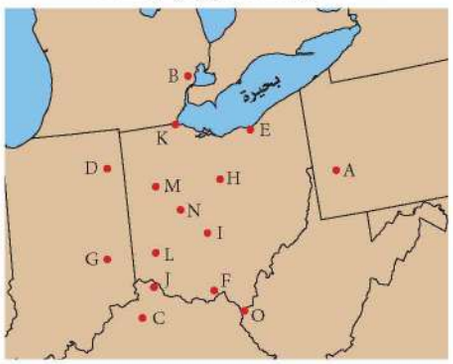
A: I، B: III، C: II، D: III، E: IV، F: IV، G: IV، H: V، I: V، J: V، K: VI، L: VIII، M: VII، N: VIII، O: III

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

التحليل

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

قيم الشدة الزلزالية لمنطقة ما

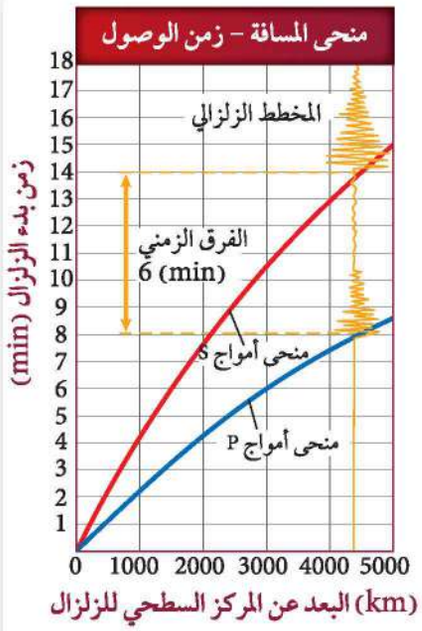


SA.GEO.SE.CH07.indd 178 4/8/19 4:58 PM

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 13–7** منحنى المسافة–زمن الوصول؛ حيث يُسجل السيزموجرام الزمن المستغرق بين وصول أول أمواج P وأول أمواج S، ويستطيع علماء الزلازل معرفة بُعد المركز السطحي للزلزال بقياس الفرق بين زمني وصول الموجتين في المخطط الزلزالي (السيزموجرام)، ثم تحديد الفرق الزمني نفسه على منحنى المسافة – زمن الوصول، ومن ثم استخراج بعد الزلازل.



الشكل 13–7 يبين منحنى المسافة—زمن الوصول هذا بيانات زلزالية لزلزال ما.

ويوضح **الشكل 13–7** أن الفرق الزمني يساوي 6 دقائق، لذا فإن المسافة بين المركز السطحي للزلزال ومحطة رصد الزلازل تساوي 4300 km بحسب منحنى المسافة – زمن الوصول؛ حيث يتضح من المنحنى أن أمواج P استغرقت 8 دقائق حتى وصلت محطة الرصد، بينما أمواج S استغرقت 14 دقيقة، فكلما زاد بُعد الزلزال زاد الفرق الزمني بين وصول أمواج P وأمواج S.

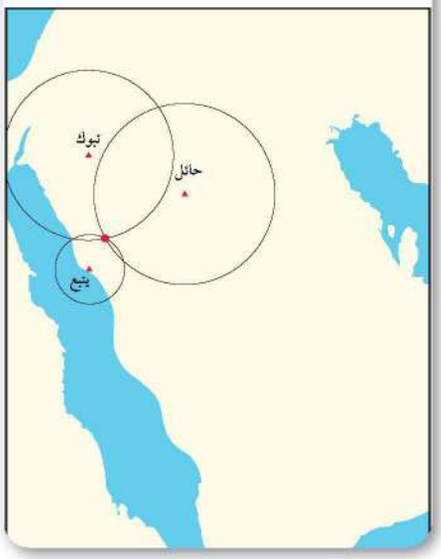
ماذا قرأت؟ طبق إذا علمت أن الفرق الزمني بين وصول أمواج P وأمواج S دقيقتان، فما بُعد المركز السطحي للزلزال عن موقع محطة الزلزال؟

يحلل علماء الزلازل بيانات مخططات زلزالية عديدة لتحديد موقع المركز السطحي للزلزال، فبحساب المسافة بين المركز السطحي للزلزال وبين محطة الرصد يحدد العلماء بُعد المركز السطحي بدقة، ولكن هذا لا يُحدد الاتجاه الذي يقع المركز السطحي فيه بالنسبة إلى محطة الرصد. ويمكن التعبير عن ذلك بدائرة مركزها محطة الرصد ونصف قطرها بُعد المركز السطحي عن المحطة. ولو مثّلنا بُعد المركز عن محطة أخرى بدائرة ثانية، فسوف تتقاطع الدائرتان في نقطتين، ولا نعرف أيهما يقع المركز السطحي فيه. ولو مثّلنا بُعد محطة ثالثة بدائرة ثالثة، فعندئذ تتقاطع الدوائر الثلاث في نقطة، وتمثل هذه النقطة المركز السطحي، انظر **الشكل 14–7**.

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

الشكل 14–7 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.



SA.GEO.SE.CH07.indd 179 4/8/19 4:58 PM

الزلزال في البؤرة بدقة. ويتم تحديد الزمن باستعمال جدول، كما هو الحال في منحنى المسافة–زمن الوصول في **الشكل 7–7**. 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 7–7**. فعلى سبيل المثال، افترض أن السيزموجرام سجل زمن وصول أمواج P في تمام الساعة 10:00 صباحًا باستعمال منحنى المسافة–زمن الوصول، ويمكن استخراج قيمة المسافة التي قطعتها أمواج P في 8 دقائق، وهي 4500 km، فهذا يعني أن الزلزال قد حدث عند البؤرة في الساعة 09:52 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 سميت **أحزمة الزلازل seismic belts**.

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 للمملكة العربية السعودية من معلمك، وعيّن مواقع محطات الرصد الزلزالي في الجدول عليها. يمكن الاستعانة بتوزيع محطات الرصد الزلزالية في المملكة العربية السعودية في مرجعيات الطالب.
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 7–7**) وسجلها في الجدول.
4. ارسم دائرة حول كل محطة، نصف قطرها يساوي المسافة بين المركز السطحي والمحطة.
5. حدد المركز السطحي للزلزال.

البيانات والملاحظات

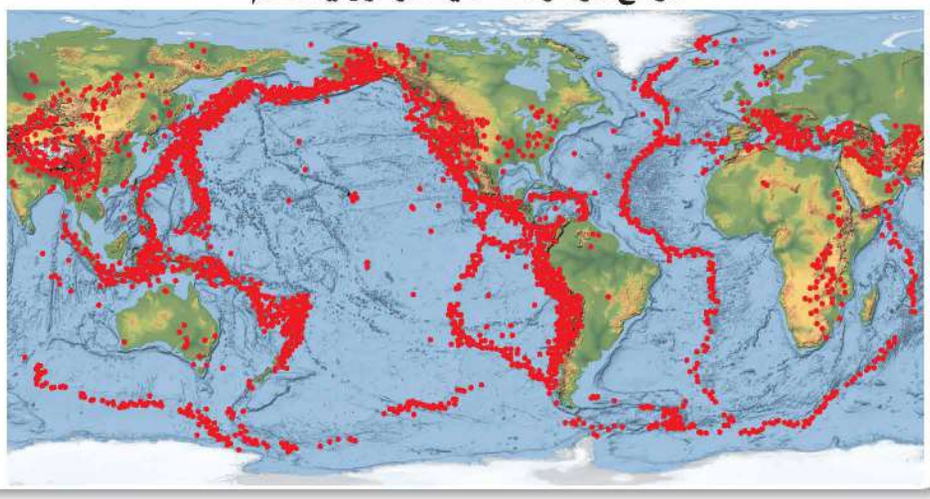
محطة الرصد	زمن وصول أمواج P	زمن وصول أمواج S	الفرق الزمني (دقائق)	بُعد المركز السطحي (km)
بيشة (BISH)	8:39:02	8:44:02		
عقلة الصقور (UQSK)	8:35:22	8:37:57		
عفيف (AFIF)	8:35:38	8:38:17		

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.

SA.GEO.SE.CH07.indd 180 4/8/19 4:58 PM

مواقع المراكز السطحية للزلازل في العالم



الشكل 15–7 لاحظ النمط الذي تظهر به مواقع المراكز السطحية للزلازل على خريطة العالم.

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

يُلاحظ من **الشكل 15–7** أن الزلازل تحدث في أحزمة ضيقة، وتنطبق معظم الزلازل مع حدود الصفائح الأرضية. هناك 80 % من زلازل الأرض ضمن حزام المحيط الهادي، و 15% ضمن حزام البحر الأبيض المتوسط، وهذان الحزامان هما نطاقا طرح؛ حيث تلتقي صفيحتان معًا، وتغوص 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 2–7

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 بموقع معظم الزلازل على خريطة العالم، كما في **الشكل 15–7**؟

التفكير الناقد

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

الرياضيات في الجيولوجيا

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

SA.GEO.SE.CH07.indd 181 4/8/19 4:58 PM

رابط الدرس الرقمي
www.ien.edu.sa

7-3

الزلازل والمجتمع

Earthquakes and Society

الأهداف

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

مراجعة المفردات

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

مفردات جديدة

تسييل التربة
تسونامي
فجوة زلزالية
تراكم الجهد

الفكرة الرئيسة **يمكن معرفة احتمال حدوث الزلزال من خلال دراسة تاريخ المنطقة زلزاليًّا، 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 سيئة التصميم بالزلزال أكثر من غيرها؛ فالمبنى المصنوع من الخرسانة وأساساته غير مدعومة قد يتضرر أكثر من المبنى المصنوع من الخشب، انظر **الشكل 16–7**؛ لأن الخرسانة مادة هشة قليلة المرونة بينما الهياكل الخشبية أكثر مرونة.

الشكل 16–7 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.

SA.GEO.SE.CH07.indd 182 4/8/19 4:58 PM

الشكل 17–7 يوضح الشكل أحد أنواع الدمار الناجمة عن الزلازل، حيث تتسبب الاهتزازات في انهيار الجدران الداعمة للمبنى وسقوط الطوابق العليا واحدة فوق الأخرى، فتظهر الطوابق متراصة بعضها فوق بعض.

انهيار المنشآت Structural failure يحدث في كثير من المناطق المعرضة للزلازل انهيار للمباني عندما تهتز الأرض من تحتها؛ وفي بعض الحالات، قد تنهار الجدران الداعمة في الطابق الأرضي فتتسبب في انهيار الطوابق العليا، وسقوطها فوق الطوابق السفلية، فيتشكل حطام يشبه مجموعة من الألواح، لذا تسمى هذه العملية تراصّ الألواح ويوضح **الشكل 17–7** دماراً مأساوياً ناتجاً عن هذا النوع من انهيار المنشآت، والذي وقع في جمهورية هايتي، في عام ٢٠١٠م.

ماذا قرأت؟ وضح كيف يتشكل «تراصّ الألواح» 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 18–7**، 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 18–7 تدمرت المباني المتوسطة الارتفاع في أثناء حدوث الزلزال؛ لأن تردد اهتزازات هذه المباني يساوي تردد اهتزازات الأمواج الزلزالية.

SA.GEO.SE.CH07.indd 183 4/8/19 4:58 PM

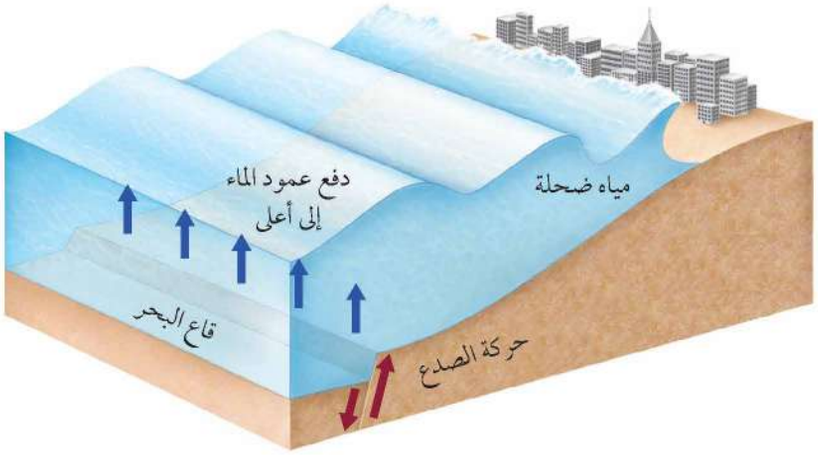
الشكل 19–7 يحدث تسييل في التربة الضعيفة التماسك عندما تنتشر اهتزازات زلزالية فيها، فتسلك سلوك الرمال المتحركة.

انهيار اليابسة والتربة Land and soil failure بالإضافة إلى تأثير الزلازل في المنشآت التي شيّدها الإنسان، يمكن للزلازل أن تشوه المناظر الطبيعية في الأرض. ففي المناطق المنحدرة، يمكن أن تؤدي الزلازل إلى انهيارات أرضية ضخمة. وقد تسبّب الانهيارات الأرضية الناجمة عن الزلازل دفن العديد من القرى والبلدات الصغيرة؛ فالاهتزازات الزلزالية تجعل المناطق الرملية المشبعة بالماء، تسلك سلوك السائل عندما تسير فيها. تسمى هذه الظاهرة **تسييل التربة Soil liquefacation**. ويمكن أن تولد الاهتزازات الزلزالية انهيارات أرضية حتى في المناطق قليلة الانحدار، كما يمكن أن تتسبب في سقوط الأشجار والمنازل أو غوصها في الأرض، ورفع الأنابيب والخزانات الموجودة تحت الأرض لتصبح فوق السطح. ويبين **الشكل 19–7** مباني مائلة بسبب تسييل التربة تحتها في أثناء الزلزال.

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

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

SA.GEO.SE.CH07.indd 184 4/8/19 4:58 PM

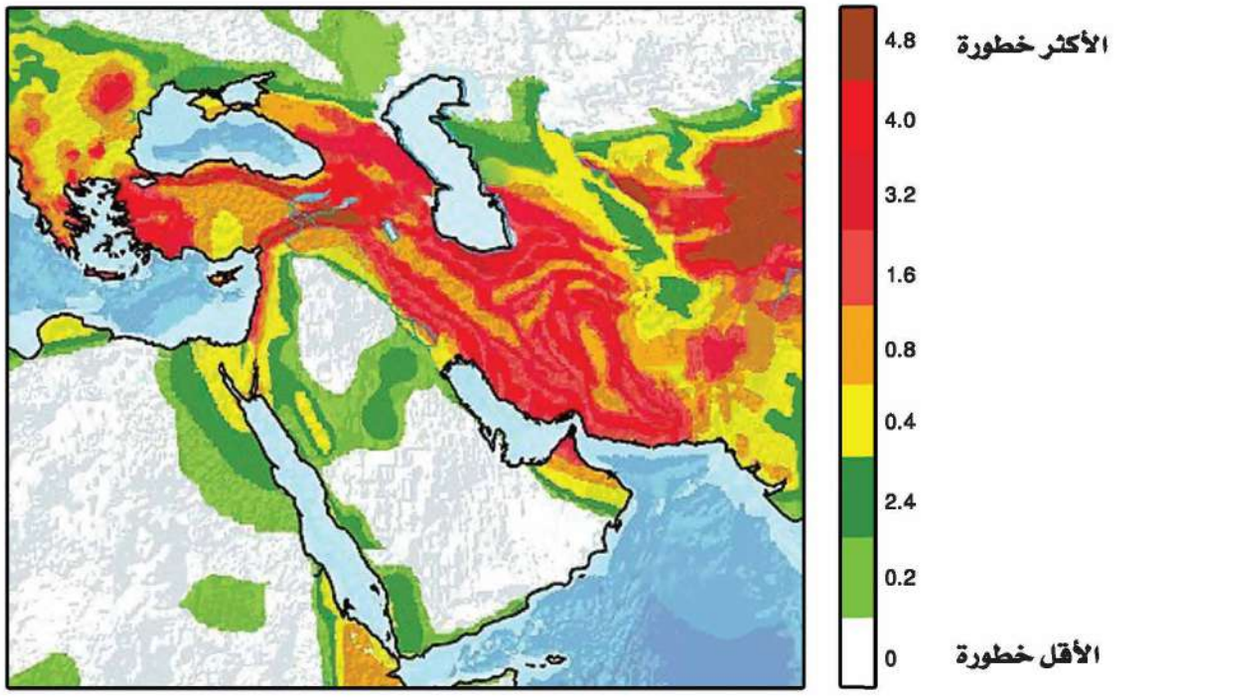


الشكل 20–7 يتكون التسونامي عندما يسبب الصدع تحت الماء إزاحة عمود الماء فوق قاع المحيط إلى أعلى.

تسونامي Tsunami نوع آخر من مخاطر الزلازل. **وتسونامي Tsunami** موجة محيطية كبيرة تتولد بفعل حركات رأسية لقاع البحر في أثناء حدوث زلزال، وتسبب هذه الحركة إزاحة المياه الواقعة فوق منطقة الصدع المسبب للزلزال إلى أعلى، فينتج عنها قمم ومنخفضات على سطح الماء، كما في **الشكل 20–7**، 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 نتج 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 21–7** أثر ذلك الحدث الكارثي. ومن الآثار السلبية لتسونامي – بالإضافة إلى تدمير المباني والمنشآت – تلويث المياه السطحية كالأنهار والبحيرات وآبار المياه العذبة، كذلك قد تعمل على تقليل مستوى المياه الجوفية وجفاف الآبار.

الشكل 21–7 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.

SA.GEO.SE.CH07.indd 185 4/8/19 4:58 PM



الشكل 22–7 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 العلماء عن طرائق لتوقع حدوث الزلازل. ولا يوجد حاليًّا أي طريقة يمكن الاعتماد عليها تمامًا لتوقع وقت حدوث الزلزال القادم ومكانه. وبدلاً من ذلك يعتمد التوقع على حساب احتمال وقوع الزلزال، الذي يعتمد على عاملين، هما تاريخ الزلازل في المنطقة، ومعدل تراكم الجهود في صخورها.

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

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 فيه لتوقع حدوث الزلازل في المستقبل في منطقة معينة؛ حيث تستعمل السيزمومترات لتحديد تكرار الزلازل الكبيرة. ويمكن استعمال تاريخ النشاط الزلزالي للمنطقة لإعداد خرائط الخطر الزلزالي. تشهد كثير من الدول – ومنها اليابان وتركيا وإيران – خطرًا زلزاليًّا مرتفعًا نسبيًّا. وقد عانت هذه المناطق من بعض الزلازل القوية في الماضي، وربما ستشهد نشاطًا زلزاليًّا كبيرًا في المستقبل. ويوضح **الشكل 22–7** الخطر الزلزالي لشبه الجزيرة العربية وما حولها؛ حيث تزداد الخطورة الزلزالية في الدول الواقعة إلى الشمال والشمال الشرقي من شبه الجزيرة العربية.

الربط مع رؤية ٢٠٣٠
رؤية VISION 2030
المملكة العربية السعودية
KINGDOM OF SAUDI ARABIA
مجتمع حيوي
● من أهداف الرؤية: حماية البيئة من الأخطار الطبيعية.

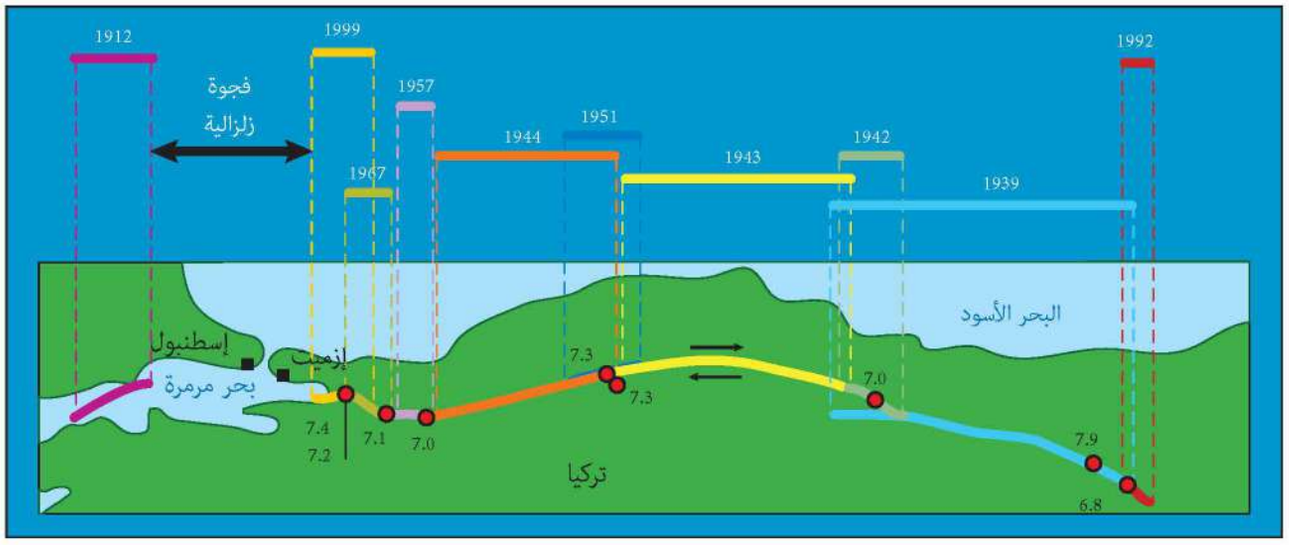
معدلات التكرار Recurrence rate يمكن أن تشير معدلات تكرار الزلازل التي تحدث على طول الصدع إلى ما إذا كان الصدع يولد زلازل مماثلة على فترات منتظمة أم لا. فلو أخذنا على سبيل المثال معدلات تكرار الزلازل على طول صدع سان أندرياس في ولاية كاليفورنيا بالولايات المتحدة الأمريكية فسنجد أن سلسلة من الزلازل بقوة 6 تقريبًا على مقياس رختر قد 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 23–7**، لقياس الزلازل في حالة وقوعها. وفي سبتمبر 2004 م، وقع زلزال قوته 6 على مقياس رختر. وقد جمعت بيانات هائلة عن هذا الزلزال قبل وبعد وقوعه، ووجد أن هذه المعلومات التي تم الحصول عليها ذات قيمة في توقع حدوث الزلازل المتكررة في المستقبل والاستعداد لها في جميع أنحاء العالم.

ماذا قرأت؟ استنتج أهمية دراسة معدلات تكرار الزلازل.

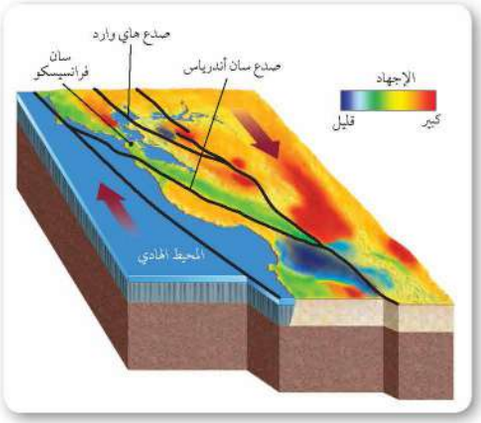
الفجوات الزلزالية Seismic gaps يعتمد توقع احتمال وقوع الزلزال أيضًا على موقع **الفجوات الزلزالية Seismic gaps** وهي أجزاء نشطة تقع على امتداد صدع، لم تتعرض لزلازل كبيرة في فترة طويلة من الزمن. ويبين **الشكل 24–7** خريطة الفجوات الزلزالية الصدع يعبر شمال تركيا؛ حيث التاريخ الطويل للزلازل التي تقع على طول الصدع الكبير الموضح أدناه.

الشكل 23–7 استعملت هذه المنصة لحفر بئر بعمق 2.3 km في المنطقة. وبعد الانتهاء من حفر البئر، تم توصيلها بالأجهزة لتسجيل البيانات في أثناء الهزات الكبرى والصغرى. ويهدف هذا المشروع إلى فهم آلية حدوث الزلازل، وسبب حدوثها. وتساعد هذه المعلومات العلماء على توقع متى تحدث الزلازل.

الشكل 24–7 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.



SA.GEO.SE.CH07.indd 187 4/8/19 4:59 PM



الشكل 25–7 تساعد خرائط تراكم الجهود في الصخور العلماءَ على توقع احتمال وقوع زلزال في مكان ما.

وضح. لماذا يعد تراكم الجهود في المناطق مهمًّا؟

تراكم الجهد Stress accumulation يستعمل علماء الزلازل معدل تراكم الجهد Stress accumulation في الصخور بوصفه عاملاً آخر لتحديد احتمال وقوع زلزال على طول مقطع من الصدع؛ حيث تزول هذه الجهود في نهاية المطاف، مسببةً حدوث زلزال.

يستعمل العلماء تقنيات الأقمار الاصطناعية، ومنها نظام تحديد المواقع (GPS) لتحديد مواقع تراكم الجهود وتوزيعها على طول الصدع. ويستعمل العلماء الجهودَ المتراكمة والمتحررة في أجزاء الصدع وترصد في أثناء حدوث الزلزال لتطوير خرائط كالتي تظهر في **الشكل 25–7**، آخذين في حسبانهم الفترة الزمنية بين زلزال وآخر لنفس الصدع.

التقويم 3–7

الخلاصة

- يعتمد توقع الزلازل على التاريخ الزلزالي وقياسات الجهود المتراكمة في الصخور.
- تسبب الزلازل الدمار من خلال توليد موجات زلزالية يمكنها إحداث اهتزازات 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 أكثر 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 علمية، واكتب تقريرًا تتناول فيه طرائق مقترحة لتعرُّف المناطق الأكثر عرضة لوقوع الزلازل.

SA.GEO.SE.CH07.indd 188 4/8/19 4:59 PM

الجيولوجيا والمجتمع

دروس من الماضي

زلـزال بومرداس مايو 2003م الساعة 7:44 مساءً يوم الأربعاء. خرج سكان الجزائر العاصمة والمدن المحيطة بها – وخصوصًا ولاية بومرداس، التي تقع على بعد 50 km تقريبًا شرقي العاصمة – من منازلهم في حالة فزع شديد وقد انهارت مبانٍ عديدة على من فيها، بعد أن 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 الزلزال في مدينة الثنية في ولاية بومرداس، وكان هذا أقوى زلزال وقع في الجزائر منذ زلزال عام 1980م، الذي بلغت قوته 7.3 درجة، وهو ما استدعى عدة سنوات لتتمكن البلدات 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 المحرّرة في أثناء تحركها، باستخدام نظرية الارتداد المرن (نظرية ريد Reid). وقد افترضوا أن الإجهادات الصخرية تكونت تدريجيًّا؛ حيث وقعت صخور المنطقة تحت تأثير قوى، حتى وصلت حدًّا يفوق قدرتها على التحمل، مما أدى إلى تكسُّرها وتحرك أجزائها. وقد تعرضت المنطقة

زلزال بومرداس2003م

للعديد من الزلازل نتيجة وقوعها بين هاتين الصفيحتين.

أما زلزال بومرداس 2003 فسببه حركة الكتل الصخرية عند صدع زموري إلى الشمال الشرقي، وقد تم تعرُّفه أول مرة بعد هذا الزلزال، بحسب 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 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 باستخدام الإنترنت اكتب بحثًا أو أنشئ عرضًا تقديميًّا عن زلزال مدينة العيص التي تقع على بعد 240 كم شمال غرب المدينة المنورة الذي حدث عام 2009م، ووضح مدى تأثيراته في السكان والبيئة المحلية.

SA.GEO.SE.CH07.indd 189 4/8/19 4:59 PM

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

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 6–7** 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 المملكة العربية السعودية 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	رنية (RANI)	السودة (SODA)	عقلة الصقور (UQSK)
الفرق الزمني بين وصول أمواج P و S (دقيقة)	1.2	1.5	1
بُعد المركز السطحي (km)			
المسافة على الخريطة (cm)			

5. استعمل قيمة المسافة على الخريطة التي حسبتها 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 خريطة الصفائح الأرضية لتحديد الصفائح التي سببت حدوث هذا الزلزال.
4. **استنتج** صف كيف تؤدّي 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.

SA.GEO.SE.CH07.indd 190 4/8/19 4:59 PM

الفصل 7

دليل مراجعة الفصل

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

المفردات	المفاهيم الرئيسة
7–1 الأمواج الزلزالية وبنية الأرض	
الأمواج الزلزالية الأمواج الأولية الأمواج الثانوية الأمواج الجسمية بؤرة الزلزال المركز السطحي للزلزال مقياس الزلزال مخطط الزلزال	**الفكرة الرئيسة** يتم استعمال الأمواج الزلزالية في تصور بنية الأرض الداخلية. • أنواع الأمواج الزلزالية ثلاثة: أولية وثانوية وسطحية. • مقيـاس الـزلازل (السـيزمومتر) جهاز يسـتقبل الأمـواج الزلزالية، ويسـجلها على المخطط الزلزالي (السيزموجرام). • اسـتطاع العلـماء أن يحـددوا المركز السـطحي للزلازل مـن الفرق الزمني بـين زمني وصول أمواج P وأمواج S. • تتغير سرعة واتجاه كل من أمواج P وأمواج S عندما تواجه حدودًا فاصلة بين مواد مختلفة. • يمكـن الحصول على صورة مفصّلة عن مكونات الأرض الداخلية من خلال تحليل الأمواج الزلزالية التي تعبرُ باطن الأرض.
7–2 قياس الزلازل وتحديد أماكنها	
مقياس رختر قوة الزلزال سعة الموجة الزلزالية مقياس العزم الزلزالي مقياس ميركالي المعدَّل أحزمة الزلازل	**الفكرة الرئيسة** يقيـس العلماء قوة الزلازل ويحـددون مكانها على الخريطة باسـتعمال الأمواج الزلزالية. • قوة الزلزال هي مقياس للطاقة التي تتحرر في أثناء حدوث الزلزال، ويمكن قياسها بمقياس رختر. • شدة الزلزال هي مقياس للدمار الذي يُحدثه الزلزال. • لتحديد موقع المركز السطحي للزلازل نحتاج على الأقل إلى ثلاث محطات رصد للزلازل. • تحدث معظم الزلازل في أحزمة ضيقة تسمى أحزمة الزلازل؛ حيث تنطبق مع حدود الصفائح.
7–3 الزلازل والمجتمع	
تسييل التربة تسونامي فجوة زلزالية تراكم الجهد	**الفكرة الرئيسة** يمكـن معرفـة احتـمال حـدوث الزلزال مـن خلال دراسـة التاريـخ الزلازلي للمنطقة، 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.

SA.GEO.SE.CH07.indd 191 4/8/19 4:59 PM

الفصل 7

تقويم الفصل

مراجعة المفردات

أكمل الجمل الآتية بالمفردات المناسبة.

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

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

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

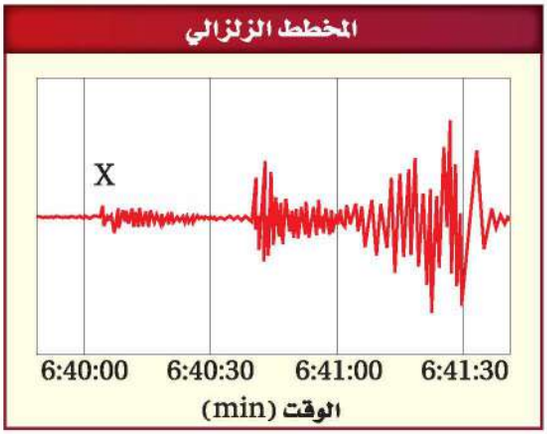
وضح العلاقة بين المصطلحات الآتية في كل زوج مما يأتي:

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

تثبيت المفاهيم الرئيسة

15. أي المواد الجيولوجية الآتية لها قابلية للتسييل أكبر ما يمكن عند مرور أمواج زلزالية فيها؟
    a. الجرانيت. c. التربة والرسوبيات المفككة.
    b. الصخر المتحول. d. اللابة.

أجب عن الأسئلة 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
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 اسم العملية التي تنتج عن انهيار المنشآت بسبب

SA.GEO.SE.CH07.indd 192 4/8/19 4:59 PM

7 تقويم الفصل

سقوط جدران الطوابق السفلية ومن ثم انهيار الطوابق العليا؟

a. تسونامي.
c. تسييل التربة.
b. تراصّ الألواح.
d. فجوة زلزالية.

أسئلة بنائية

استعن بالجدول أدناه للإجابة عن الأسئلة 22–20.

بعض الزلازل الحديثة		
الموقع	السنة	مقياس رختر
تشيلي	1960	8.5
العيص	2009	5.7
ألاسكا	1964	8.6
تايوان	1999	7.6
اليابان	2011	9

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

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

22. **صنف** الزلازل بحسب مواقعها بالنسبة إلى أنواع 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 رسمًا مماثلًا **للشكل 13–3** لدعم إجابتك.

التفكير الناقد

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

26. **ارسم** المكونات الرئيسة للسيزمومتر.

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

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

خريطة مفاهيمية

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

سؤال تحفيز

30. **فسّر** لماذا تكون معظم الزلازل ضحلة وقريبة من سطح الأرض؟ استعن بمعلوماتك حول درجة حرارة الأرض الداخلية وبالجمل الآتية: "تحدث الزلازل في الصخور الهشة ولا تحدث في الصخور اللدنة"، "تتأثر لدونة الصخور بدرجة الحرارة؛ إذ تزداد بزيادة درجة الحرارة"، "الصخور اللدنة صخور تأثرت بحيث أصبحت قابلة للتشوهات ومنها الطي دون حدوث كسر فيها".

SA.GEO.SE.CH07.indd 193 4/8/19 4:59 PM

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
إندونيسيا	2005	7.6
جنوب سومطرة	2007	8.5
تشيلي	2010	7.0
اليابان	2011	9.0
شمال سومطرة	2012	8.6

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

3. قدّر كم مرة تزيد سعة الموجة الزلزالية المتولّدة عن زلزال اليابان على تلك المتولّدة عن زلزال تشيلي؟
   a. مرتين. c. 100 مرة.
   b. 10 مرات. d. 1000 مرة.

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

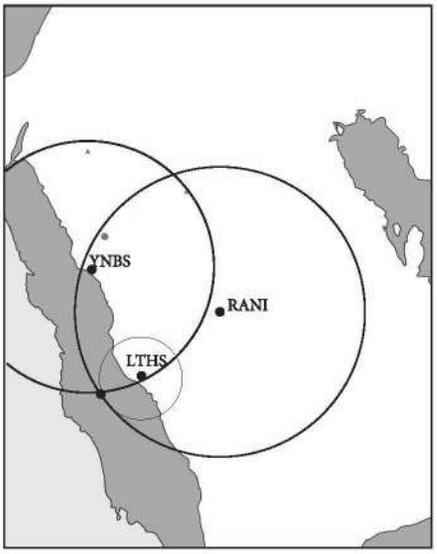
5. ماذا تسمى أجزاء الصدع النشط التي لم تتعرض لزلازل كبيرة منذ فترة طويلة من الزمن؟
   a. الفجوات الزلزالية. c. تسييل التربة.
   b. الزلازل الكامنة. d. التسونامي.

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

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

أسئلة الإجابات القصيرة

استعن بالخريطة الآتية للإجابة عن الأسئلة 10 – 8.



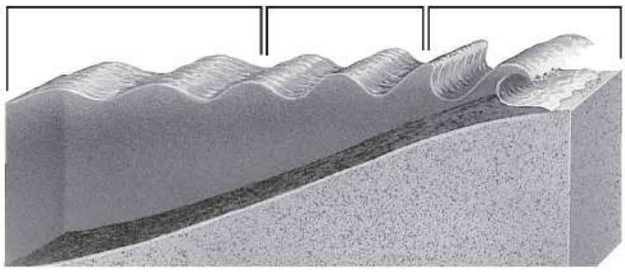
8. طبقًا للخريطة أعلاه، أين يقع المركز السطحي للزلزال؟ وكيف يمكن تحديده؟
9. ما أهمية استعمال ثلاث محطات رصد لتحديد المركز السطحي للزلزال؟

SA.GEO.SE.CH07.indd 194 4/8/19 4:59 PM

اختبار مقنن

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 طرح البيض، وهجرة النحل خلاياه. ولكن بقي السؤال: كيف تحس الحيوانات بالزلزال؟. ومن الفرضيات التي وضعت لتفسير ذلك أن الحيوانات البرية والأليفة تشعر بالاهتزازات الأرضية قبل الإنسان. وبعض الأفكار تفترض أن الحيوانات تستطيع اكتشاف تغيرات كهربائية في الهواء أو الغاز المتحرر من الأرض.

والزلازل ظاهرة فجائية لا يستطيع الجيوفيزيائيون معرفة متى وأين تحدث بالضبط. وتقدر الزلازل التي تسجل في محطات الرصد الزلزالي في العام الواحد بأكثر من مليون زلزال. يوجد منها 100000 زلزال فقط 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. واستعمال هذا الإحساس أداة للتنبؤ بالزلازل. وقد شكك العلماء في إمكانية تنبؤ الحيوانات بالزلازل، على الرغم من توثيق حالات لتصرفات غريبة لبعض الحيوانات قبل حدوث الزلازل؛ وذلك لعدم وجود صلة بين تكرار حدوث سلوك معين وحدوث الزلزال.

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. أيّ التصرفات الآتية لا تدل على تنبؤ الحيوانات بالزلازل؟

a. الحركة العنيفة للأسماك.

b. هجرة النحل لخلاياه.

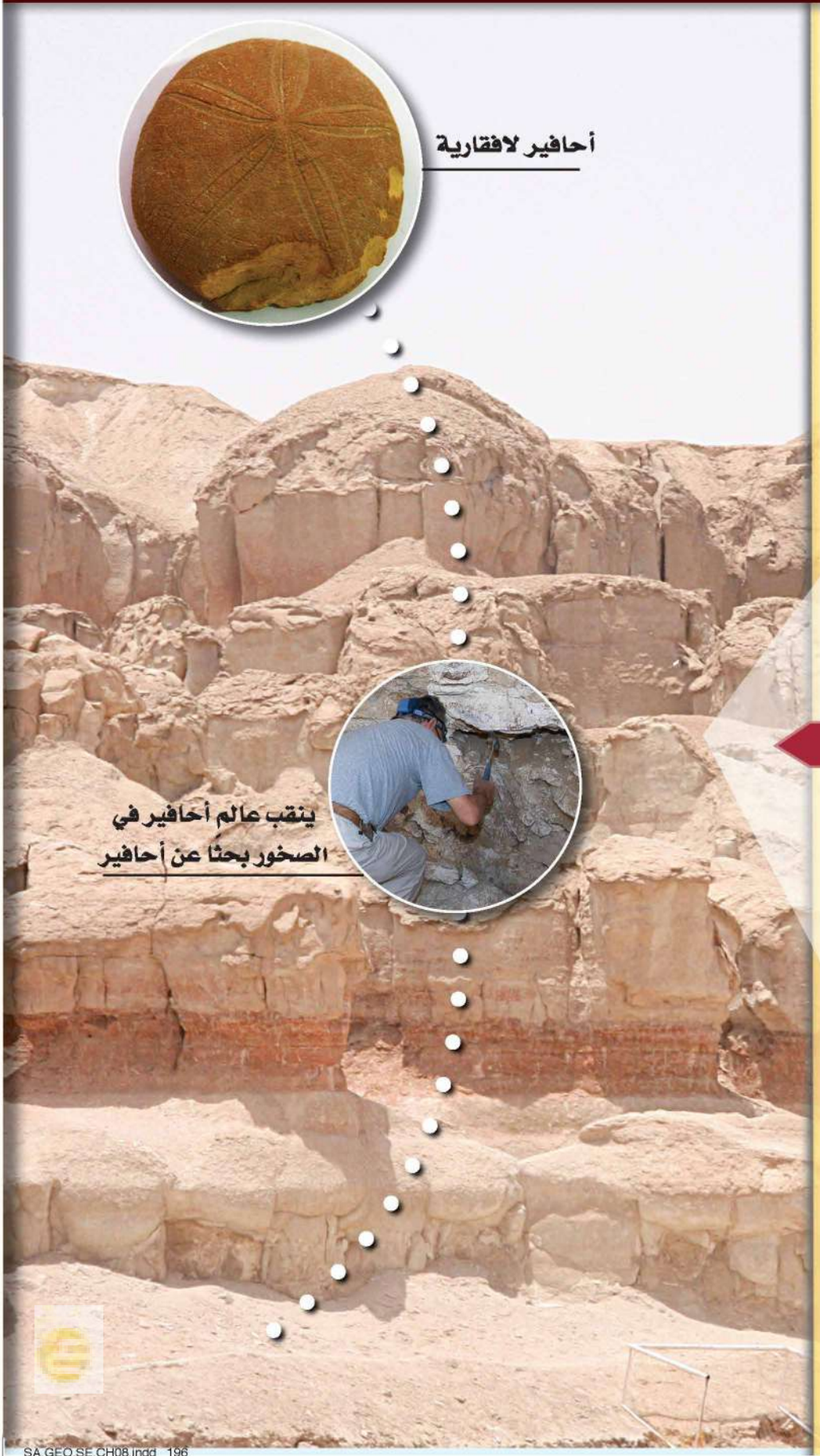
c. وضع الدجاج للبيض.

d. هجرة الثعابين لجحورها.

SA.GEO.SE.CH07.indd 195 4/8/19 4:59 PM

الفصل 8

الأحافير والسجل الصخري
Fossils and the Rock Record



الفكرة العامة يستعمل العلماء طرائق متعددة لدراسة تاريخ الأرض الطويل.

8–1 السجل الصخري

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

8–2 التأريخ الجيولوجي

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

حقائق جيولوجية

- تخفي رمال الصحاري العربية مجاري أودية وأنهارًا قديمة وبقايا آثار مدن، منها: مدينة عبار، ووادي الباطن، وجبال الأحقاف، وكما تخفي مواطنًا لكثير من اللافقاريات.
- تحوي السجلات الصخرية دلائل تشير إلى وجود فترات جليدية سادت شبه الجزيرة العربية.

SA.GEO.SE.CH08.indd 196 4/8/19 5:01 PM

تجربة استهلالية

كيف تتكون الأحافير؟

لعلك زرت أحد المتاحف، ووقفت أمام عظام متحجرة لأحد الديناصورات. تقدم العظام المتحجرة دليلاً على وجود الديناصورات وبقايا المخلوقات الأخرى في الزمن الماضي. وتتكون الأحفورة عند دفن عظام المخلوق 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 500mL من الرمل في علبة اللبن الكرتونية البلاستيكية 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 مدة 7–5 أيام دون تحريك.
7. احفر في الرمل لتحصل على "أحفورة إسفنجية".

التحليل

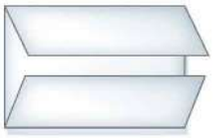
1. صف في دفتر علم الأرض ما حدث للقطعة الإسفنجية.
2. فسّر كيف ينمذج هذا النشاط عملية تكون الأحافير؟

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 اللسانين: التأريخ النسبي، التأريخ المطلق.

استخدم هذه المطوية في القسم

2–8 في أثناء دراستك التأريخ النسبي والتأريخ المطلق، و لخص المعلومات عليها، واكتب فيها أمثلة على إيجابيات وسلبيات كل منها.

SA GEO SE CH08.indd 197 4/8/19 5:01 PM

رابط الدرس الرقمي
www.ien.edu.sa

8-1

الأهداف

- توضح لماذا يحتاج العلماء إلى سلم الزمن الجيولوجي.
- تميز بين الدهور والحقب والعصور والأحيان.
- 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 منذ أكثر من 10 آلاف سنة.

المفردات الجديدة

سلم الزمن الجيولوجي
الدهور
ما قبل الكامبري
الحقب
العصور
أحافير مرشدة
الأحيان
الانقراض الجماعي

السجل الصخري The Rock Record

الفكرة الرئيسة **يرتب العلماء الزمن الجيولوجي لمساعدتهم على فهم وترتيب تاريخ الأرض.**

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

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 1–8**. بعض هذه الطبقات تحتوي على أحافير تمثل بقايا أو آثارًا أو طبعات لمخلوقات 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، وتفسير ذلك.

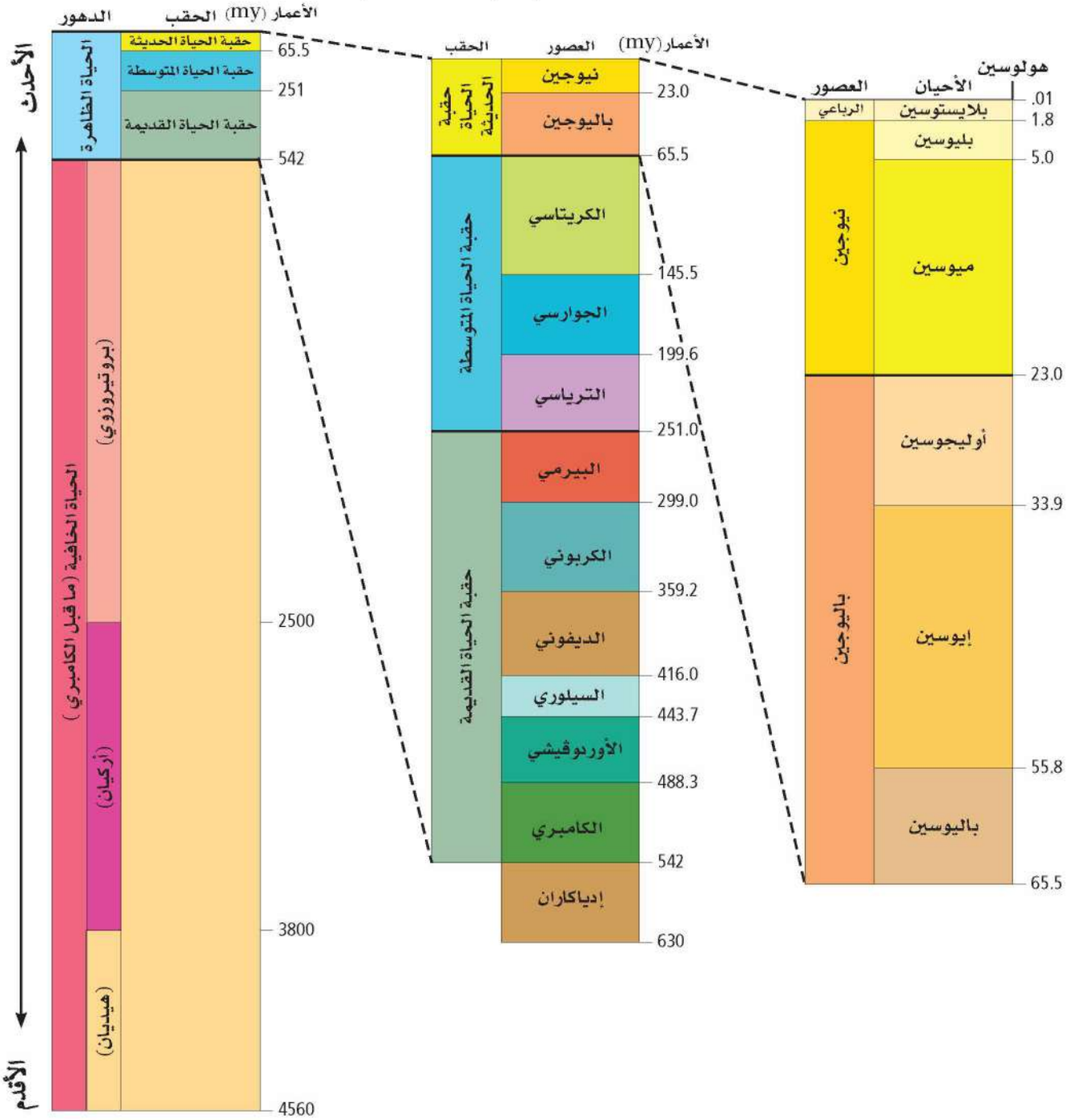
ولفهم صخور الأرض وتفسير نشأتها، قسّم الجيولوجيون تاريخ الأرض إلى وحدات زمنية بناء على الأحافير التي تحتويها، وهذه الوحدات جزء من **سلم الزمن الجيولوجي Geologic time scale** الذي يؤرخ تاريخ الأرض منذ 4.6 بلايين عام وحتى أيامنا الحالية. ومنذ تسمية أول وحدة زمنية في سلم الزمن الجيولوجي- وهي العصر الجوراسي في عام 1795م - استمر تطوير سلم الزمن الجيولوجي إلى يومنا هذا. بعض الوحدات الزمنية بقي دون تغيير لقرون خلت، بينما البعض الآخر أعاد العلماء ترتيبها لأنهم حصلوا على معلومات جديدة. ويوضح **الشكل 2–8** سلم الزمن الجيولوجي.

الشكل 1–8 تمثل الطبقات أحداثًا جيولوجية تقدر أعمارها بمئات الملايين من السنين. ويدرس الجيولوجيون الصخور والأحافير في كل طبقة لمعرفة تاريخ الأرض باستعمال وحدات زمنية مختلفة.

سلم الزمن الجيولوجي Geologic Time Scale

الشكل 2–8 يبدأ سلم الزمن الجيولوجي قبل 4.6 بلايين عام. ويقسِّم الجيولوجيون تاريخ الأرض إلى مجموعات، أكبرها الدهور؛ حيث يحتوي كل منها 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 الأحيان والعصور والحقب والدهور في سلم الزمن الجيولوجي.



SA.GEO.SE.CH08.indd 199 4/8/19 5:01 PM

سلم الزمن الجيولوجي The Geologic Time Scale

يساعد سلم الزمن الجيولوجي العلماء على إيجاد العلاقات بين الأحداث الجيولوجية والظروف البيئية وأشكال الحياة الممثلة بالأحافير المحفوظة في السجل الصخري، وتترتب الوحدات الزمنية في سلم الزمن الجيولوجي من الأقدم إلى الأحدث كما في **الشكل 2–8**، حيث تكون الأقدم في الأسفل، وكلما انتقلنا الى أعلى السلم كانت كل وحدة أحدث من سابقتها، كما هو موجود في تتابع الطبقات الصخرية.

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

الدهور Eons قُسّم سُلّم الزمن الجيولوجي إلى وحدات زمنية، هي: الدهور والحقب والعصور والأحيان. و **الدهور Eons** أكبر هذه الوحدات، وتشمل الوحدات الأخرى، ومنها: الهيديان والأركيان والبروتيروزوي والحياة الظاهرة. وتشكل الدهور الثلاثة الأولى 90% تقريبًا من سلم الزمن الجيولوجي، وتُسمى مجتمعة **ما قبل الكامبري Precambrian**، حيث تكونت الأرض، وأصبحت مؤهلة لاستقبال حياة حديثة؛ إذ تشير الأدلة الأحفورية إلى أن أشكال الحياة البسيطة بدأت في التشكل في دهر الأركيان، وتنوعت مع نهاية دهر البروتيروزوي، حتى أصبحت بعض المخلوقات قادرة على الحركة بطريقة معقدة. ومعظم أجسام هذه الأحافير كالتي في **الشكل 3–8** -كانت رخوة ودون أصداف وهياكل رخوة تشبه المخلوقات الحية الحديثة.

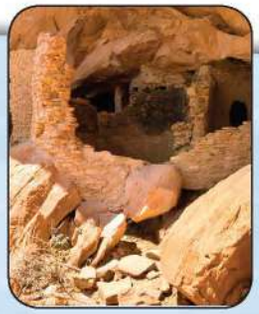
أما أحافير دهر الحياة الظاهرة فهي أحسن حفظًا؛ ليس لأنها أحدث عمرًا، بل لاحتوائها على أجزاء صلبة لمخلوقاتها يسهل حفظها. ويمثل خط الزمن في **الشكل 4–8** بعض الأحافير المهمة والاكتشافات المتعلقة بتقنيات التأريخ.

ماذا قرأت؟ **وضح** ما الذي ميز دهر ما قبل الكامبري عن دهر الحياة الظاهرة؟

الشكل 3–8 أحفورة محفوظة بصورة جيدة لمخلوق عاش من قبل وُجدت في صخور رسوبية، وتمثل أحد أشكال الحياة المعقدة الأولى على الأرض.

استنتج كيف كان هذا المخلوق يتحرك؟

الشكل 4–8 اكتشاف الأحافير والتقنية غيّرت اكتشافات الأحافير وتقنيات التأريخ فهمنا للحياة على الأرض.



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

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

1840

1857 اكتشف عمّال المقالع هيكلاً عظميًّا يسمى نيندرتال.

1880

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

1920

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

1800

SA.GEO.SE.CH08.indd 200 4/8/19 5:01 PM

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 **أحافير مرشدة Index fossils** لأول مرة؛ وهي أحافير لها عمر محدد وامتداد جغرافي واسع ومنها أحفورة الأمونيت، انظر **الشكل 5–8**. فمثلاً، سُمّي عصر الإدياكاران باسم تلال الإديكارا في أستراليا، وأضيف إلى سلم الزمن الجيولوجي 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 2–8** لم يُظهر تقسيم العصور إلى أحيان إلا في حقبة الحياة الحديثة؛ وذلك لأن صخور ورسوبيات حقبة الحياة الحديثة أكثر اكتمالاً مقارنة بالصخور الأقدم منها؛ لأنها لم تتعرض لعمليات التجوية والتعرية إلا فترات زمنية قصيرة، ولم تفقد الأدلة على الحياة من تاريخ الأرض إلا لجزء بسيط، ولهذا السبب فإن أحيان هذه الحقبة قصيرة زمنيًّا، فعلى سبيل المثال حين الهولوسين الذي يتضمن الزمن الحديث بدأ منذ 11,000 عام فقط.

الشكل 5–8 أحفورة الأمونيت إحدى الأحافير المرشدة البحرية التي ميزت الحقبة المتوسطة.

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

1993 تُعد الأحافير التي وجدت في غرب أستراليا دليلاً على وجود البكتيريا قبل 3.5 بليون عام.

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

2000 — 1970 — 1940

1987 قادت جيني كلاك حملة استكشافية إلى جرينلاند، اكتشفت خلالها أحافير لحيوانات عاشت قبل 360 مليون سنة.

SA.GEO.SE.CH08.indd 201 4/8/19 5:01 PM

تعاقب أشكال الحياة Succession of Life-Form

بـدأت المخلوقـات الحيـة العديدة الخلايا في التنـوع في دهر الحياة الظاهـرة. لذلك فإن أحافيرها أكثر شـيوعًا من أحافير ما قبل الكامبري القليلة نوعًا ما. وفي أثناء أول حقبة مـن دهر الحياة الظاهـرة – وهي حقبة الحياة القديمة– امتلأت المحيطات بأنواع مختلفة مـن الحياة، ومن بينهـا الترايلوبيت (ثلاثية الفصوص) ، وهـي حيوانات صغيرة ذات أصداف صلبة مقسمة إلى ثلاثة أجزاء، انظر **الشكل 6–8**، وتعد من أشكال المخلوقات الحيـة الأولى ذوات الأصـداف، وقد سـادت هذه المخلوقـات في المحيطات في بدايات حقبـة الحيـاة القديمـة. أما نباتـات الأرض فظهـرت لاحقًـا وتبعها ظهـور حيوانات اليابسـة، كـما وفرت مسـتنقعات العصر الكربـوني بيئة مناسـبة لنمو النباتـات، والتي تحولـت لاحقًا إلى فحم حجري. وقد شـهدت نهاية حقبة الحيـاة القديمة أكبر أحداث الانقـراض الجماعي في تاريخ الأرض؛ إذ اختفت ٪90 مـن المخلوقات الحية البحرية.

والانقـراض الجماعي Mass extinction هو اختفـاء مجموعات من المخلوقات الحية في السجل الصخري في فترة زمنية محددة.

عصر الديناصور The age of dinosaurs اشتهرت حقبة الحياة المتوسطة بظهور الديناصورات، التي سـادت على اليابسة، كما ظهرت مخلوقات حية أخرى كالزواحف المفترسـة الكبـيرة، التي عاشـت في المحيطات، والمرجانيـات التي بنت أنظمة شـعابية ضخمـة. أمـا البرمائيات التي قطنت الماء فقد بدأت التكيـف مع البيئات الأرضية، كما عاشـت حـشرات بحجم الطيور، وظهرت أيضـا الثدييات البدائيـة والنباتات المزهرة والأشـجار. وتميزت نهاية حقبة الحياة المتوسـطة بحادث انقراض ضخم؛ إذ انقرضت مجموعـات كبيرة مـن المخلوقات الحية ومنهـا الديناصورات غير الطائـرة والزواحف البحرية الضخمة. وفي حقبة الحياة الحديثة ظهرت الثدييات وتنوعت وزادت أعدادها.

الشـكل 6–8 الترايلوبيـت أحافير مـن حقبة الحيـاة القديمـة توجد في بقـاع مختلفـة مـن العالم. وقـد أدى الانقـراض الجماعـي الـذي حدث في نهايـة هذه الحقبة إلى اختفاء ٪90 تقريبًا من أشكال الحياة.

اسـتنتج مـا علاقـة انقـراض المخلوقات الحية بتسمية العصر الكربوني؟

التقويم 1–8

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 بتاريخ الأرض.

فهم الأفكار الرئيسة

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

التفكير الناقد

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

الرياضيات في الجيولوجيا

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

SA.GEO.SE.CH08.indd 202 4/8/19 5:01 PM

رابط الدرس الرقمي
www.ien.edu.sa

8-2

التأريخ الجيولوجي

Geolgical Dating

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

النظائر: ذرات للعنصر نفسه تتشابه في عدد بروتوناتها، وتختلف في عدد نيوتروناتها.

المفردات الجديدة

مبدأ النسقية
التأريخ النسبي
مبدأ الترسيب الأفقي
مبدأ تعاقب الطبقات
مبدأ القاطع والمقطوع
مبدأ الاحتواء
عدم التوافق
المضاهاة
الطبقة المرشدة
التأريخ المطلق
الانحلال 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 الانحلال 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، مثل 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 7–8** أخذت حديثًا لأحد الشواطئ، وهي تشبه إلى حد كبير الشواطئ التي كانت موجودة قبل ملايين السنين.

SA.GEO.SE.CH08.indd 203 4/8/19 5:01 PM

الشكل 7–8 ربما كانت شواطئ جدة 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

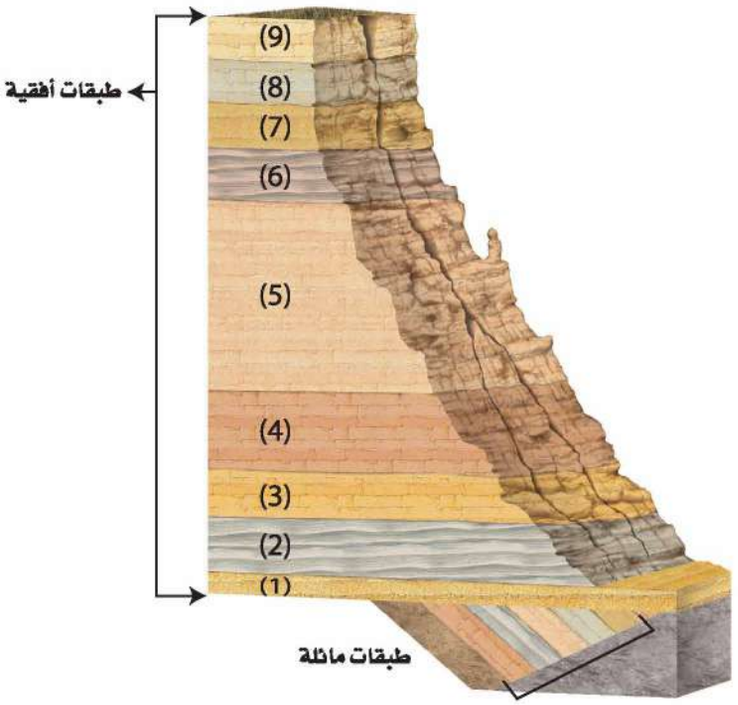
المبدأ

هو فرضية عامة تختبر بصورة متكررة وتسمى أحيانًا قانونًا.

من أمثلتها المبادئ الجيولوجية.

بناء على مبدأ النسقية يستطيع العلماء أن يعرفوا الكثير عن الماضي بدراستهم للحاضر، متبعين في ذلك طرائق عدة، منها **التأريخ النسبي Relative-age dating**، وهو 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 التأريخ النسبي. وتتضمن هذه المبادئ مبدأ الترسيب الأفقي، ومبدأ تعاقب الطبقات، مبدأ القاطع والمقطوع، وعدم التوافق، ومبدأ الاحتواء، والمضاهاة.

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



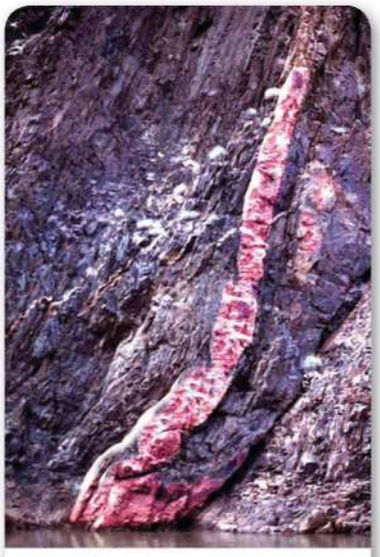
الشكل 8–8 تكونت الطبقات الأفقية في الشكل من خلال ترسيب الرسوبيات عبر ملايين السنين. وينص مبدأ الترسيب الأفقي على أن الطبقات المائلة في أسفل التتابع تكونت في البداية في وضع أفقي.

SA.GEO.SE.CH08.indd 204 4/8/19 5:01 PM

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

مبدأ تعاقب الطبقات superposition لا يستطيع الجيولوجيون تقدير أعمار الطبقات الصخرية الموضحة في **الشكل 8–8** 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 **لمبدأ تعاقب الطبقات Superposition** الذي ينص على أنه في أي تعاقب طبقي تكون أقدم الطبقات الصخرية في الأسفل، والأحدث في الأعلى، وكل طبقة في التعاقب تكون أحدث من الطبقة التي تحتها، ما لم تتعرض الطبقات في التعاقب الطبقي إلى تغيير عن وضعها الأفقي الأصلي.

مبدأ القاطع والمقطوع Cross-cutting relationship تتميز صخور الدرع العربي – الذي يشكل الجزء الغربي من المملكة العربية السعودية – بوجود الكثير من القواطع المكونة من الصخور النارية التي تقطع الصخور الأقدم منها. ويوضح **الشكل 9–8** أحد الصخور مقطوعة بقواطع رأسية جرانيتية. والقواطع صخور تتكون بفعل تصلُّب الصهارة داخل صخور موجودة أصلًا.



الشكل 9–8 بحسب 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.

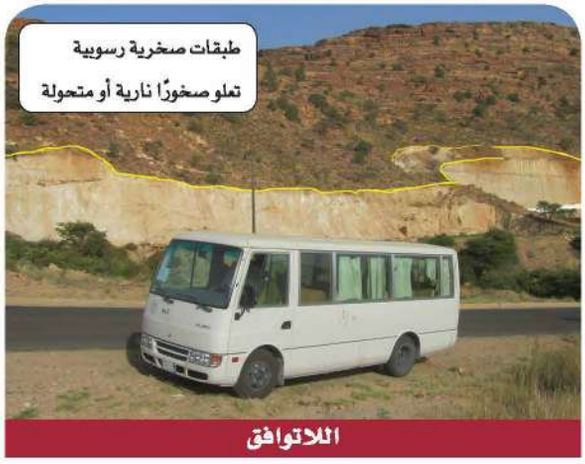
التحليل

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؟

SA.GEO.SE.CH08.indd 205 4/8/19 5:02 PM

الشكل 10–8 عدم التوافق هو سطح تعرية يفصل بين طبقتين صخريتين ترسّبتا في أوقات مختلفة. ويوضح الشكل أدناه الأنواع الثلاثة لعدم التوافق.

عدم توافق انقطاعي



اللاتوافق

عدم توافق زاوي

وينص **مبدأ القاطع والمقطوع Cross–cutting relationship** على أن القاطع أحدث من المقطوع. لذلك فإن قواطع الجرانيت في **الشكل 9–8** 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.

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 تُفقَد أحداث زمنية ماضية كليًّا من تاريخ الأرض. فعلى سبيل المثال لو أن صخورًا رسوبية تكشفت على السطح وتعرضت لعمليات حت وتعرية ففقدت جزءًا منها، ثم حدث ترسب جديد وغطيت 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 10–8**.

عدم التوافق الانقطاعي Disconformity عندما تعلو طبقة رسوبية أفقية طبقة رسوبية أفقية أخرى، يسمى سطح التعرية بين هاتين الطبقتين عدم التوافق الانقطاعي. ويمكن تمييز سطح عدم التوافق الانقطاعي عندما يكون سطح التعرية متعرجًا، ولكن تصعب رؤيته عندما يكون مستويًا.

اللاتوافق Nonconformity هو سطح يتكون عندما تعلو طبقة رسوبية صخورًا نارية أو متحولة كالجرانيت أو الرخام، وسطح اللاتوافق سطح تعرية يسهل تعرُّفه. ولأن الجرانيت والرخام يتكوّنان في الأعماق فإن سطح اللاتوافق سوف يشير إلى فترة زمنية ضائعة في السجل الصخري، وهي الفترة التي انقضت في أثناء رفع هذه الصخور من باطن الأرض إلى أعلى وتعريتها على سطح الأرض وترسّب طبقة صخرية جديدة فوقها.

ماذا قرأت؟ ميِّز بين عدم التوافق الانقطاعي واللاتوافق.

SA.GEO.SE.CH08.indd 206 4/8/19 5:02 PM

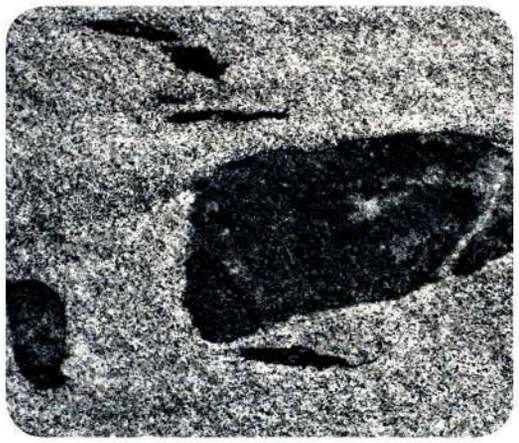
عدم التوافق الزاوي Angular unconformity تتعرض الطبقات الصخرية الرسوبية الأفقية إلى تشوه بسبب حركة الصفائح؛ حيث تتعرض للرفع والميلان، كما تتعرض خلال هذه العمليات للتجوية والتعرية، ثم إذا ترسّبت فوق هذه الطبقات المائلة بعد تعريتها طبقة أفقية من صخور رسوبية فسيتكون سطح عدم توافق يسمى عدم التوافق الزاوي. ويبين **الشكل 10–8** كيف يُسجل عدم التوافق الزاوي تأريخًا معقدًا لعمليات تكوّن الجبال والتعرية.

مبدأ الاحتواء Inclusions ينص **مبدأ الاحتواء Principle of inclusion** على أن القطع الصخرية (المحتبسة) أقدم من الصخور التي تحتويها. ويحدث احتواء للقطع الصخرية في الصخور الرسوبية عندما تتعرض طبقة صخرية منكشفة لعمليات تجوية ثم حت وتعرية. وإذا حدث نقل للفتات الصخري الناتج ثم إعادة ترسيبه فإنه من المتوقع احتواء الطبقات الناتجة على قطع صخرية من الصخر القديم وتصبح جزءًا منها.

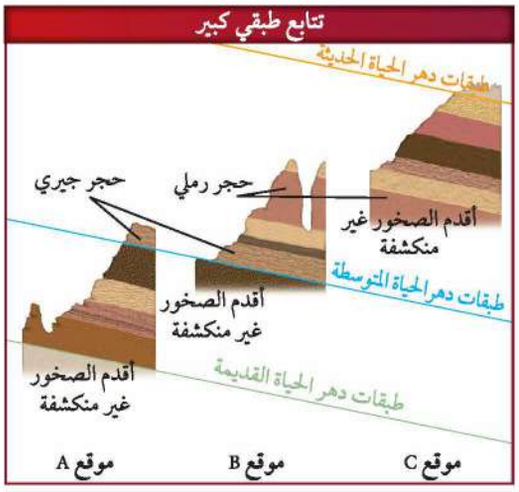
كما يمكن أن تحتوي الصخور النارية على صخور أخرى؛ فعندما تتدفق اللابة إلى السطح وتنخفض درجة حرارتها نسبيًّا فإنها تحمل معها صخورًا أخرى. انظر **الشكل 11–8**.

المضاهاة Correlation يوضح **الشكل 12–8** أن الحجر الجيري يمثل أعلى الطبقات الصخرية في الموقع A، ولكنه في أسفلها في الموقع B الذي يبعد 100 km عن الموقع A. كيف يعرف الجيولوجيون أن هذه الطبقات الصخرية البعيدة بعضها عن بعض قد تكوّنت في الفترة الزمنية نفسها؟ والجواب عن ذلك هو اتباع طريقة واحدة تسمى **المضاهاة Correlation**، وهي مطابقة بين منكشفات صخرية محددة في منطقة ما، مع منكشفات مماثلة لها في منطقة جغرافية أخرى اعتمادًا على المكونات المعدنية والخصائص الفيزيائية أو على المحتوى الأحفوري. ومن خلال مضاهاة الطبقات الصخرية المختلفة في **الشكل 12–8** قد توصل الجيولوجيون إلى أن التعاقبات الصخرية كلها في المواقع A و B و C هي جزء من تعاقب طبقي كبير.

الطبقات المرشدة (الدّالة) key beds تتكون أحيانًا طبقات صخرية مميزة تمتد فوق منطقة جغرافية واسعة، نتيجة سقوط نيزك أو ثوران بركان أو أي حدث آخر، ولأنها طبقات يسهل تعرفها وتمييزها، فإنها تساعد الجيولوجيين على مضاهاة ومقارنة المتكونات الصخرية المنكشفة في مناطق مختلفة. 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.



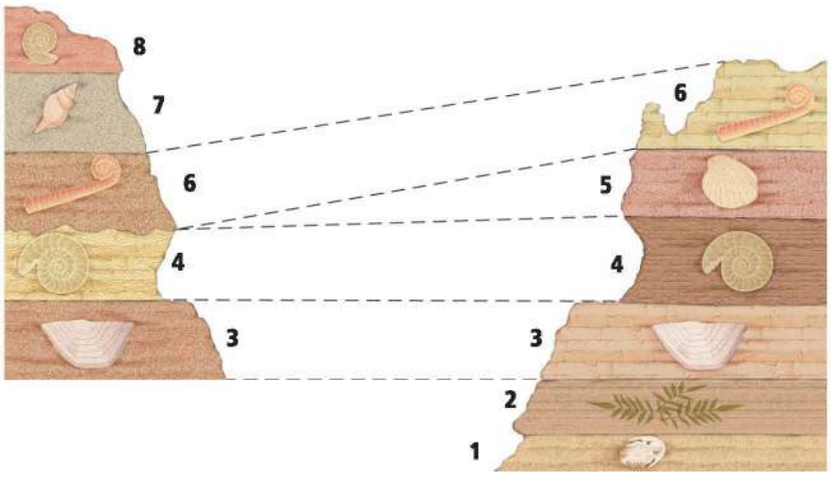
الشكل 11–8 تحتوي الصخور الحديثة على قطع صخرية من صخر قديم.



الشكل 12–8 يمثل الحجر الجيري أحدث الطبقات الصخرية في الموقع A وأقدمها في الموقع B، وطبقة الحجر الرملي تمثل أحدث الطبقات الصخرية في الموقع B ولكنها تعد صخورًا غير منكشفة في الموقع C.

استنتج تركيب الطبقة المدفونة أسفل طبقة الحجر الجيري عند الموقع B.

SA.GEO.SE.CH08.indd 207 4/8/19 5:02 PM



الشكل 13–8 المضاهاة بالأحافير بين طبقات صخرية في موقع ما، مع طبقات صخرية تحتوي على الأحافير نفسها في موقع آخر، مما يدل على أن هذه الطبقات ترسّبت في الفترة الزمنية نفسها على الرغم من اختلافها في المكونات.

المضاهاة بالأحافير Fossil correlation يستعمل الجيولوجيون الأحافير أيضًا لمضاهاة التكوينات الصخرية بين أماكن متباعدة. ويوضح **الشكل 13–8** أن الطبقات الصخرية ترسبت في زمن واحد؛ لاحتوائها على أحافير متشابهة على الرغم من اختلافها كليًّا في المكونات.

تساعد المضاهاة بالأحافير على معرفة التأريخ النسبي للتعاقبات الصخرية، كما تساعد الجيولوجيين على فهم التأريخ الجيولوجي لمناطق جغرافية واسعة. كما يستعمل جيولوجيو البترول المضاهاة في تحديد مواقع خزانات النفط

المهن في علم الأرض

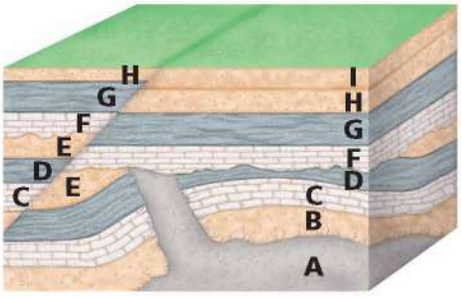
جيولوجي البترول

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

مختبر تحليل البيانات

تفسير الرسم

كيف تفسر الأعمار النسبية للطبقات الصخرية؟ يوضح الشكل تعاقبًا صخريًّا. ويستعمل الجيولوجيون مبادئ التأريخ النسبي لترتيب الطبقات الصخرية بحسب 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 الصخور المحتبسة؟ وضح إجابتك.
4. **قارن** بين الطبقات الصخرية عن يمين الشكل وتلك 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. **وضح** لماذا لا توجد الطبقة I عن يسار الشكل؟

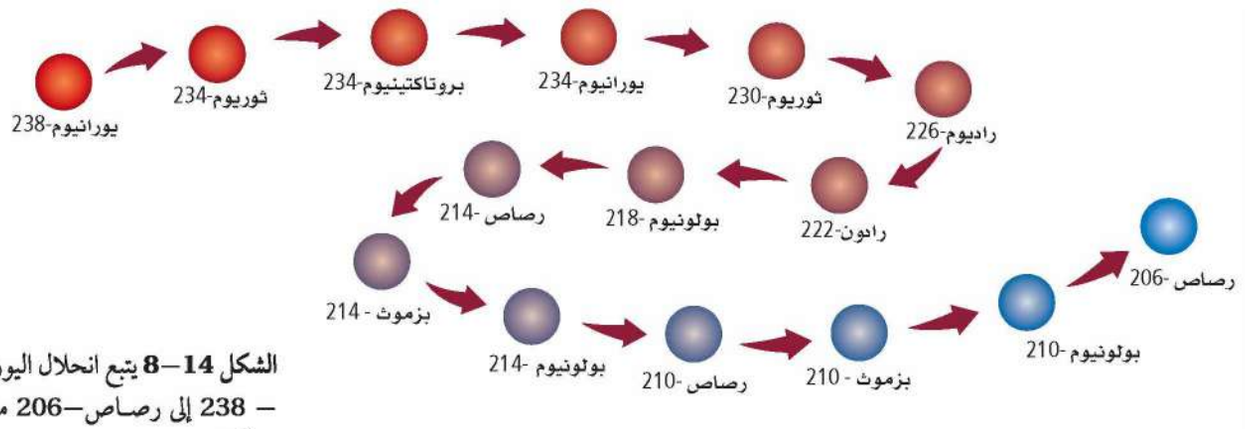
SA.GEO.SE.CH08.indd 208 4/8/19 5:02 PM

والغـاز الطبيعي، فعلى سـبيل المثال لو أن طبقة من الحجـر الرملي في مكان ما تحتوي على النفط فمن الممكن أن تحتوي الطبقة نفسـها في أماكن أخـرى على النفط. وعمومًا اعتمد الجيولوجيون على المضاهاة بصورة كبيرة في بناء سلم الزمن الجيولوجي.

التأريخ المطلق Absolute-Age Dating

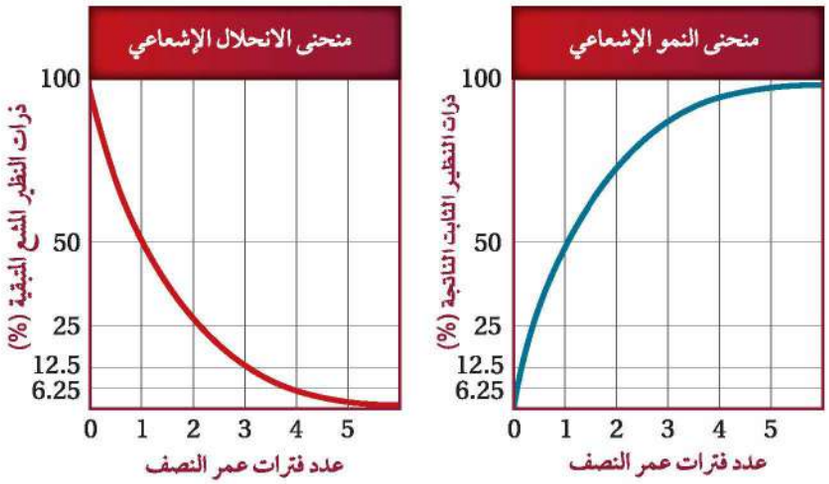
إن التأريخ النسـبي طريقة لمقارنة الأحداث الجيولوجية السابقة بناء على ترتيب الطبقات في السجل الصخري، في المقابل فإن **التأريخ المطلق absolute age dating** يُمَكّنُ العلماء من تحديد عمر الصخور والأجسام الأخرى بدقة (بالأرقام). وباستعمال طرائق التأريخ المطلق يقيس العلماء انحلال النظائر المشعة في الصخور النارية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

الانحلال الإشـعاعي Radioactive decay تنبعث جسيمات نووية من النظائر المشـعّة بمعدل ثابت. إن العنصر يتميز بعدد محدد من البروتونات. ولأن عدد البروتونات يتغير مع كل انبعاث، لذا فإن النظير المشـع الأصلي الذي نسـميه النظير المشع يتغير تدريجيًّا إلى عنـصر مختلف نسـميه النظير الثابت. فمثـلًا، يتحلل نظير اليورانيوم المشـع U–238 إلى عنـصر مسـتقر ثابت، هو الرصـاص – 206 (Pb—206) في فـترة زمنية محددة، كما في **الشـكل 14—8**. وفي النهايـة يتحلـل قـدر كبـير من النظير المشـع بحيـث لا يبقى منه كميـة قابلـة للقياس، بينما يصبح النظـير الثابت الناتج هو القابل للقياس. وتسـمى عملية انبعاث الجسـيمات المشـعة وما ينتـج عن ذلك من نظائـر عبر الزمن **الانحلال الإشـعاعي Radioactive decay**. ولأن معـدل الانحلال الإشـعاعي ثابت بغـض النظر عن الضغط والحرارة أو أي متغيرات فيزيائية أخرى، لذا فإن العلماء يسـتعملونه لتحديد العمر المطلق للصخر أو الأجسام الأخرى التي تحوي هذه النظائر.



الشكل 14—8 يتبع انحلال اليورانيوم – 238 إلى رصـاص—206 مسـارًا معينًا لا يتغير.

SA.GEO.SE.CH08.indd 209 4/8/19 5:02 PM



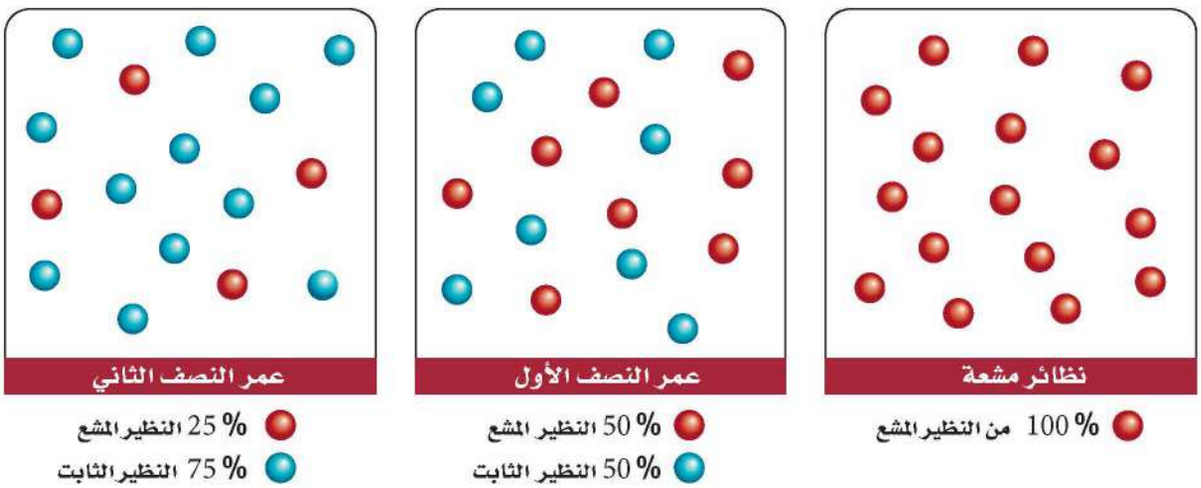
الشكل 15–8 ينقص عدد ذرات نظير المشع بينما يزداد عدد ذرات النظير الثابت بالقدر نفسه في أثناء عمليتي الانحلال والنمو الإشعاعي.

فسّر ما النسبة المئوية للنظير الثابت في عينة تحوي 12.5% من النظير المشع؟

التأريخ الإشعاعي Radiometric Dating يوضح **الشكل 15–8** كيف ينقص عدد ذرات النظير المشع بالقدر نفسه الذي يزداد به عدد ذرات النظير الثابت في أثناء عملية الانحلال الإشعاعي؛ حيث إن نسبة النظير المشع إلى النظير الثابت الناتج في معدن ما تشير 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 الصهارة. 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 المشع، ويسمى هذا **عمر النصف Half-life**؛ إذ يبقى 50% من النظير المشع بعد مضي عمر نصف واحد، وتكون النسبة بين نظيري المشع والثابت هي 1:1، وبعد مرور عمريْ نصف، يتحلل نصف الـ 50% الباقية من النظير المشع، وتصبح النسبة المئوية بين نظيري المشع والثابت هي 75:25 أو نسبة 3:1، انظر **الشكل 16–8** الذي يوضح هذه العملية.

الشكل 16–8 تحوي العينة بعد مرور عمر النصف الأول 50% من النظير المشع و 50% من النظير الثابت. وبعد مضي عمرَيْ نصف تحوي العينة 25% من النظير المشع و75% من النظير الثابت.



SA.GEO.SE.CH08.indd 210 4/8/19 5:02 PM

الجدول 1–8 عمر النصف لنظائر مشعة مختارة

النظير المشع	عمر النصف التقريبي	الناتج الثابت
روبيديوم-87 (Rb–87)	48.6 بليون سنة	إسترانشيوم-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 إلى الثابتة في المعادن المكونة للصخر. يوضح **الجدول 1–8** 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 النصف له أطول؛ إذ لو استعملنا نظيرًا ذا عمر نصف قصير في تحديد عمر صخر قديم فقد نصل إلى نقطة تكون فيها نسبة النظير المشع إلى الثابت 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 17–8** كيف يحدد الجيولوجيون العمر التقريبي للصخور الرسوبية الفتاتية من خلال تحديد أعمار الصخور النارية الموجودة بين طبقات الصخور الرسوبية.

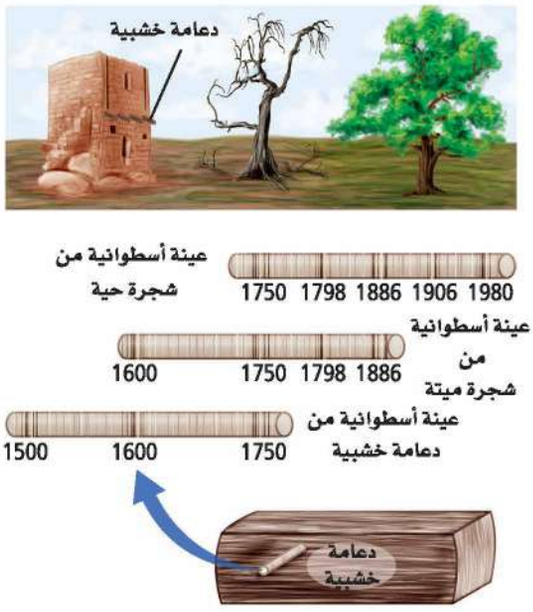
ماذا قرأت؟ فسّر لماذا لا تصلح طريقة التأريخ الإشعاعي في تحديد أعمار الصخور الرسوبية الفتاتية؟

التأريخ بالكربون المشع Radiocarbon dating لاحظ أن عمر النصف للكربون-14 (C–14) في **الجدول 1–8**، أقصر كثيرًا 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، ومنها العظام والفحم النباتي والعنبر.

الشكل 17–8 لمساعدة العلماء على تحديد أعمار الصخور الرسوبية الفتاتية فإنهم يؤرخون طبقات الصخور النارية أو الرماد البركاني الموجودة بين الطبقات الرسوبية.

تأريخ الرماد البركاني إشعاعيًا

SA.GEO.SE.CH08.indd 211 4/8/19 5:02 PM



الشكل 18–8 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 19–8 يستعمل العلماء عينات الجليد الأسطوانية لتأريخ الرسوبيات الجليدية ولمعرفة المزيد عن مناخ الأرض القديم.

تحتوي أنسجة المخلوقات الحية جميعها -ومنها الإنسان- على كمية قليلة من الكربون-14. وينحل الكربون-14 في أثناء حياة المخلوق الحي ولكنه يتجدد باستمرار بعملية البناء الضوئي أو التغذي. وعندما يموت المخلوق الحي فإنه يتوقف عن الحصول على الكربون-14، 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 موته. وتعد هذه الطريقة مفيدة عمليًّا في تحديد أعمار الأحداث الجيولوجية الحديثة التي تحوي بقايا المادة العضوية.

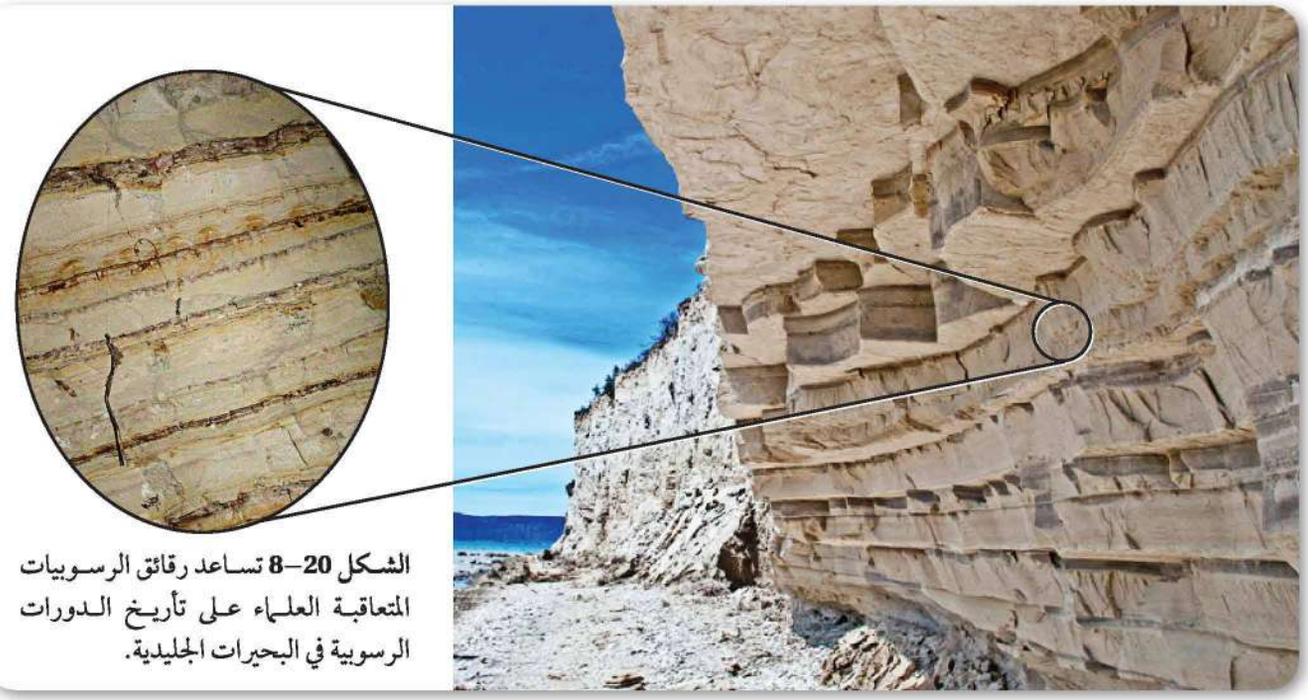
طرائق أخرى لتحديد العمر المطلق
Other Ways to Determine Absolute Age

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

حلقات الأشجار Tree rings يحوي الكثير من الأشجار سجلًّا زمنيًّا في حلقات جذوعها. تسمى 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 فيها هو نفسه، انظر **الشكل 18–8**. وقد استطاع العلماء من خلال المقارنة بين حلقات الأشجار التأريخ لفترات حتى قبل 10,000 سنة.

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

SA.GEO.SE.CH08.indd 212 4/8/19 5:02 PM



الشكل 20–8 تساعد رقائق الرسوبيات المتعاقبة العلماء على تأريخ الدورات الرسوبية في البحيرات الجليدية.

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 19–8**. 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 فاتحة اللون والقاتمة من رسوبيات الرمل والصلصال والغرين رقائق varves. وتمثل الرقائق ترسبات موسمية تتكون عادة في البحيرات، وتتكون ترسبات الصيف من حبيبات رملية مع قليل من بقايا المخلوقات الحية، بينما تكون رقائق الشتاء أقل سمكًا وحبيباتها أنعم. توجد الرقائق بصورة مثالية في تُرسبات البحيرات القريبة من الجليديات، حيث تحمل المياه المنصهرة الرمل إلى البحيرة وتُرسِّبها، بينما يكون الترسيب قليلاً أو منعدمًا في الشتاء، كما في **الشكل 20–8**. يستطيع العلماء باستعمال عينات أسطوانية من الرقائق أن يؤرّخوا دورات الرسوبيات الجليدية حتى 120,000 سنة الماضية.

SA.GEO.SE.CH08.indd 213 4/8/19 5:02 PM

التقويم 2-8

الخلاصة

- ينص مبدأ النسقية على أن العمليات الجيولوجية التي تحدث حاليًا كانت تحدث منذ أن خلق الله الأرض.
- يستعمل الجيولوجيون المبادئ الجيولوجية لتحديد العمر النسبي للتعاقبات الصخرية.
- يمثل عدم التوافق انقطاعًا زمنيًا في السجل الصخري.
- يستعمل الجيولوجيون المضاهاة لمقارنة الطبقات الصخرية في مواقع جغرافية مختلفة.
- تمكن طرق التأريخ المطلق من تحديد عمر الأحداث الجيولوجية بدقة.
- يمكن استعمال معدل انحلال عناصر مشعة معينة كساعة جيولوجية.
- يمكن استعمال حلقات الأشجار السنوية وعينات الجليد الأسطوانية والرقائق في تأريخ الأحداث الجيولوجية الحديثة.

فهم الأفكار الرئيسة

1. **الفكرة الرئيسة** لخص المبادئ التي يستعملها الجيولوجيون في تحديد الأعمار النسبية للصخور.
2. **ارسم** رسومًا توضيحية للمقارنة بين أنواع عدم التوافق الثلاثة.
3. **فسر** كيف يستعمل الجيولوجيون الأحافير لفهم التاريخ 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 تعرُّف كيفية نشأة الصخور النارية وتكونها؟
6. **وضح** لماذا نحصل على أعمار دقيقة باستخدام عمليات الانحلال الاشعاعي أكثر من استخدام مبادئ التأريخ النسبي؟
7. **قارن** بين اليورانيوم-238 والكربون-14 من حيث استعمالها في تحديد العمر المطلق.
8. **صف** أهمية الرقائق لجيولوجي يدرس رسوبيات بحيرات جليدية.
9. **ناقش** العلاقة بين مبدأ النسقية والتأريخ المطلق.

التفكير الناقد

10. **اقترح** كيف يستطيع عالم أن يدعم فرضيته إذا كانت تنص على أن صخرًا في محجر ما تكوّن في الفترة الزمنية نفسها التي تكوّن فيها صخر آخر من محجر 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.

الرياضيات في الجيولوجيا

13. تحوي عينة معدنية 25% بوتاسيوم -40 و75% نظير ثابت من الأرجون-40. فإذا كان عمر النصف للبوتاسيوم- 40 هو 1.3 بليون سنة، فما عمر هذا المعدن؟

SA.GEO.SE.CH08.indd 214 4/8/19 5:02 PM

علم الأرض والتقنية

اكتشاف أنسجة لديناصور

من الأدوات التي يستعملها علماء الأحافير للتنقيب عن أحفورة ديناصور كبير ونقلها، الطائرات العمودية والجرافات وتستخدم بعض التقنيات الحديثة مثل الصور الطبقية والمجاهر والنمذجة الحاسوبية لتحليل أنسجة أحافير الديناصورات المكتشفة.

أنسجة رخوية خلال صيف عام 2000 م اكتشف علماء الأحافير أنسجة محفوظة جيدًا تعود إلى الهادراصور (hadrosaur)، وهو نوع من الديناصورات الآكلة 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 العظامُ الأنسجةَ الرخوة، ومنها الأنسجة الضامة التي تكوّن 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 والتقنية الجديدة تمكّن العلماء من تكوين رؤى جديدة سمحت لهم بالإجابة عن 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 حفظها 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 (hadrosaur) أكثر من 36 نوعًا من حبوب اللقاح، و تم العثورعلى عينات نباتية لا يمكن 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

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

SA.GLO.SE.CH08.indd 215 4/8/19 5:02 PM

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 مر بها تاريخ الأرض؟

تشكلت سلسلة جبال السروات التي تمتد غرب الجزيرة العربية 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 ببياناتك

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 معهد بحوث الفضاء في مدينة الملك عبدالعزيز للعلوم والتقنية يخطط لإطلاق مسبار فضائي إلى مجرة بعيدة، وكنت أحد أفراد الفريق المكلف بعمل قائمة بأهم الأحداث الجيولوجية التي شكلت تاريخ الأرض؛ لتأخذها المركبة الفضائية معها؛ لكي تساعد أي سكان يُحتمل وجودهم في المجرة على وصف الأرض.

1. اقرأ نموذج السلامة في المختبر.
2. شكِّل مجموعات، على أن تتألف كل مجموعة من ثلاث إلى أربع طلاب.
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 تغير الحياة على الأرض؟

SA.GEO.SE.CH08.indd 216 4/8/19 5:02 PM

الفصل 8

دليل مراجعة الفصل

الفكرة العامة يستعمل العلماء طرائق متعددة لدراسة تاريخ الأرض الطويل.

المفردات	المفاهيم الرئيسة
8–1 السجل الصخري	
سلم الزمن الجيولوجي الدهور ما قبل الكامبري الحقب العصور أحافير مرشدة الأحيان الانقراض الجماعي	**الفكرة الرئيسة** يرتب العلماء الزمن الجيولوجي لمساعدتهم على التواصل حول تاريخ الأرض. • يرتب العلماء سلم الزمن الجيولوجي في دهور وحقب وعصور وأحيان. • يقسم العلماء الزمن إلى وحدات اعتمادًا على أحافير النباتات والحيوانات. • يُشكّل دهر ما قبل الكامبري 90% من سلّم الزمن الجيولوجي. • يتغيَّر سلّم الزمن الجيولوجي مع زيادة المعرفة العلمية عن تاريخ الأرض.
8–2 التأريخ الجيولوجي	
مبدأ النسقية التأريخ النسبي مبدأ الترسيب الأفقي مبدأ تعاقب الطبقات مبدأ القاطع والمقطوع مبدأ الاحتواء عدم التوافق المضاهاة الطبقة المرشدة التأريخ المطلق الانحلال 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 الانحلال 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 وطبقات الصخور. • يمكن استعمال معدل انحلال عناصر مشعة معينة كساعة جيولوجية. • يمكن استعمال حلقات الأشجار السنوية وعينات الجليد الأسطوانية والرقائق في تأريخ الأحداث الجيولوجية الحديثة.

SA.GEO.SE.CH08.indd 217 4/8/19 5:02 PM

الفصل 8 تقويم الفصل

مراجعة المفردات

اختر المفردة المناسبة لكل من الجمل الآتية:

1. سجل لتاريخ الأرض يمتد منذ 4.6 بلايين من السنين 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 مكاشف 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.

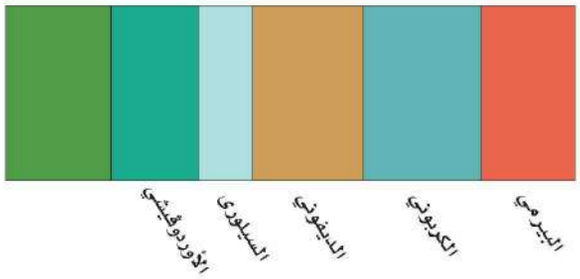
ضع المصطلح الصحيح بدلًا من الكلمة التي تحتها خط:

10. وفق مبدأ <u>الترسيب الأفقي</u> يكون الصدع أو القاطع أحدث من الصخر المقطوع.
11. ينص <u>التأريخ النسبي</u> على أن العمليات التي تحدث حاليًّا كانت تحدث منذ نشأة الأرض.
12. <u>الطبقة الرقيقة</u> طبقة رسوبية تُستعمل لمضاهاة الطبقات الصخرية عبر مناطق شاسعة.
13. <u>المضاهاة</u> 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. 5,730 سنة. c. 11,460 سنة.
    b. 17,190 سنة. d. 22,920 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.

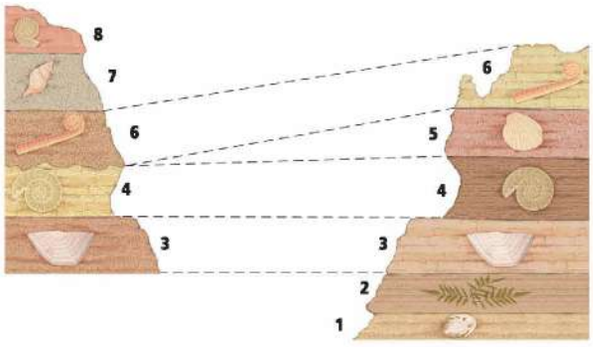


17. ما العصر المفقود في الشكل أعلاه؟
    a. الكامبري. c. إدياكاران.
    b. الترياسي. d. باليوجين.
18. ما أقصر وحدة زمنية في سلم الزمن الجيولوجي؟
    a. العصر. c. الحقبة.
    b. الدهر. d. الحين.
19. ما المبدأ الذي يستعمله الجيولوجي عندما يُعاين منكشفًا صخريًّا، ويحدد بناء عليه أن الطبقة السفلى هي الأقدم؟
    a. النسقية. c. الترسيب الأفقي.
    b. تعاقب الطبقات. d. الاحتواء.
20. أيّ الخصائص الآتية لا تميز الأحافير المرشدة؟
    a. لها عمر محدد قصير. c. لها امتداد جغرافي واسع.
    b. من السهل تمييزها. d. عاشت في فترات زمنية طويلة.

SA.GEO.SE.CH08.indd 218 4/8/19 5:02 PM

8 تقويم الفصل

استعمل الشكل الآتي للإجابة عن السؤال 21.



21. ما الذي يوضحه الشكل أعلاه؟

a. مبدأ النسقية. c. الاحتواء.

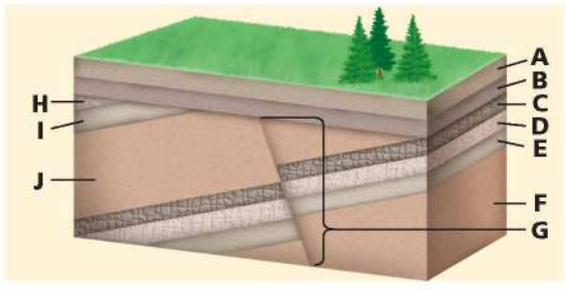
b. مبدأ القاطع والمقطوع. d. المضاهاة.

أسئلة بنائية

22. رتب الوحدات الجيولوجية الزمنية المستعملة في سلم الزمن الجيولوجي من الأكبر إلى الأصغر.
23. وضح أهمية الانقراض الجماعي لدى الجيولوجيين.
24. قارن بين التأريخ النسبي والتأريخ المطلق.
25. قيّم فائدة وجود سلّم زمن جيولوجي متفق عليه عالميًّا.
26. وضح بعباراتك، لماذا تعد أي فجوة زمنية في السجل الصخري عدم توافق؟
27. ناقش الأدلة الداعمة والمخالفة لجعل وحدات الزمن في سلم الزمن الجيولوجي متساوية.

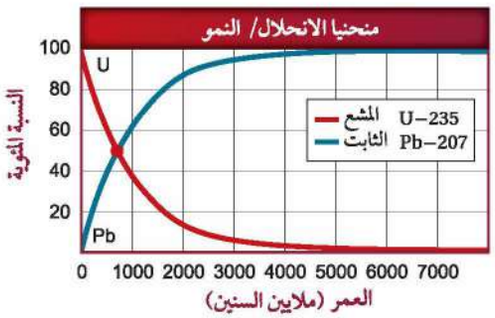
التفكير الناقد

استعمل الشكل الآتي للإجابة عن الأسئلة 30–28.



28. حدد أقدم طبقة صخرية في الشكل السابق.
29. أوجد عدم التوافق الزاوي في الشكل السابق.
30. 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 الحس المنطقي.
32. احسب عمر صخر ناري قديم يحوي معدنًا فيه 12.5% بوتاسيوم - 40 و87.5% أرجون -40، إذا علمت أن عمر النصف للبوتاسيوم - 40 هو 1.3 بليون سنة.

استعمل الشكل الآتي للإجابة عن السؤال 33.



33. حلل علام تدل النقطة الحمراء في الشكل أعلاه؟
34. اكتشف جيولوجي خشبًا مدفونًا في رسوبيات ناتجة عن انزلاق أرضي يعتقد أنه ناتج عن وقوع زلزال قديم. اشرح طريقتين يمكن أن يستعملهما 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 تحفيز

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

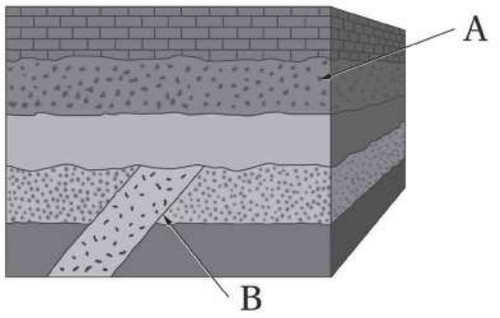
SA.GEO.SE.CH08.indd 219 4/8/19 5:03 PM

اختبار مقنن

اختيار من متعدد

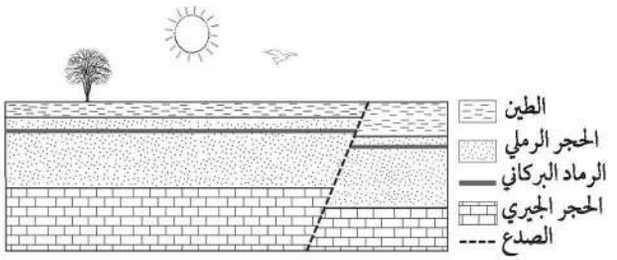
1. ما الوحدة الزمنية الصغرى في الوحدات الزمنية الآتية؟
   a. الدهر.
   b. العصر.
   c. الحقبة.
   d. الحين.

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 B؟
   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 ترسبها. فما أقدم طبقة فيه؟
   a. الطين. c. الحجر الرملي.
   b. الرماد البركاني. d. الحجر الجيري.
5. ما الطبقة الأكثر فائدة في تحديد العمر المطلق لهذه الصخور؟
   a. الطين 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.

SA.GEO.SE.CH08.indd 220 4/8/19 5:03 PM

8. لماذا يعد استخدام الانحلال 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 الانحلال ثابت بغض النظر عن الخصائص الفيزيائية للصخر، ومنها درجة الحرارة والضغط والبيئة المحيطة.

d. لأن معدل الانحلال يتأثر بالخصائص الفيزيائية للصخر، ومنها درجة الحرارة والضغط 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 النموذج الحراري المائي إلى أن ينابيع المياه الساخنة رسّبت الذهب داخل الصخور. لذا لتحديد منشأ الذهب علينا أن نحدد عمره؛ فإذا كان الذهب أقدم من الصخور الموجود فيها فإنه ينبغي 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 الحراري المائي. هناك عنصران داخل الذهب هما: الرينيوم والأوزميوم، وهما نظيران مشعان يعملان بمثابة ساعة إشعاعية؛ إذ يتحلل الرينيوم إلى الأوزميوم بعمر نصف طويل جدًّا 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 مليون سنة.

c. 42.3 ألف سنة.

d. 42.3 بليون سنة.

13. لماذا أجريت هذه الدراسة؟

a. لتحديد منشأ ترسبات الذهب.

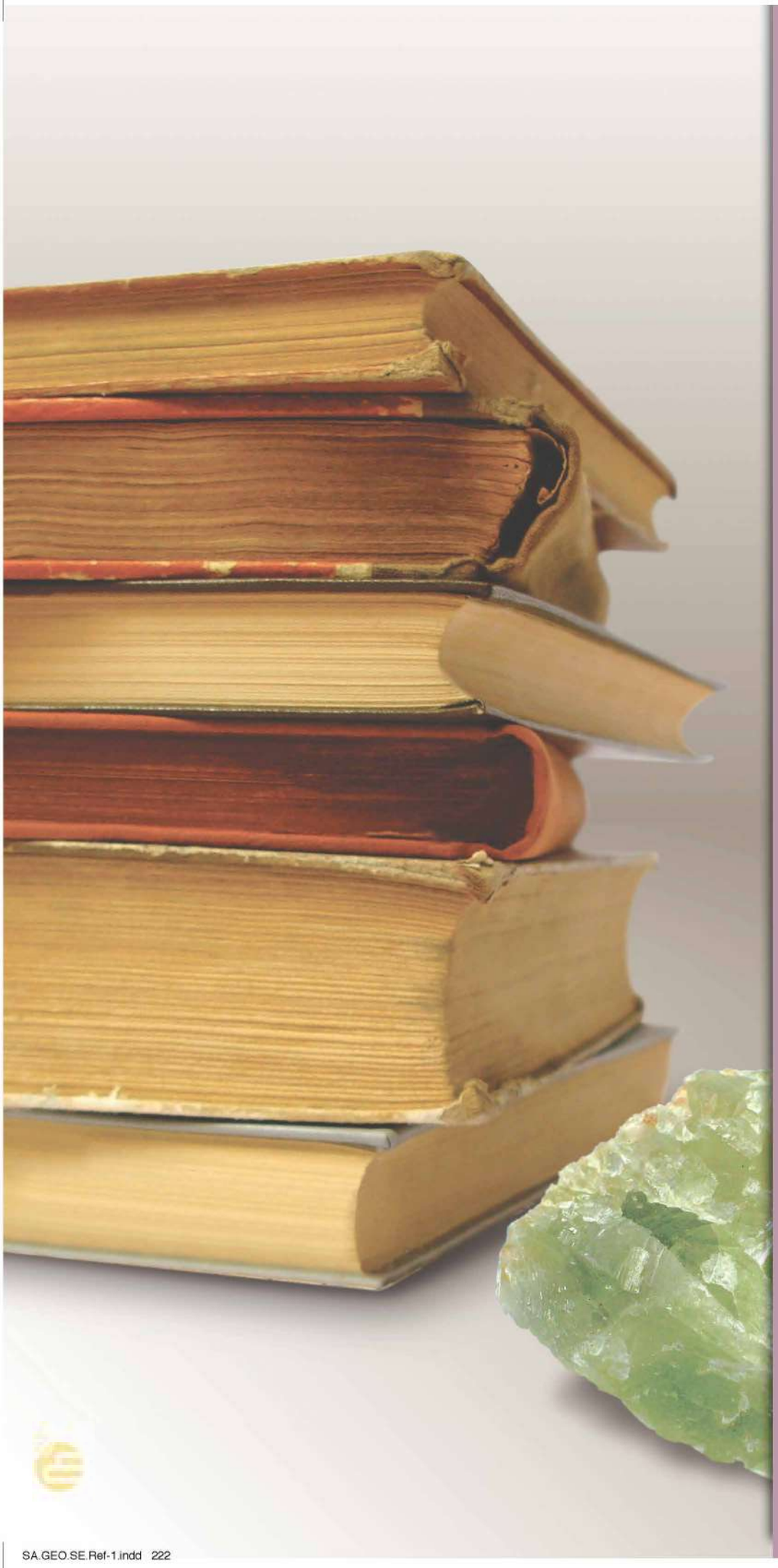
b. لدحض النموذج الحراري المائي.

c. لدعم نموذج المتابر.

d. لتوضيح التحلل الإشعاعي.

SA.GEO.SE.CH08.indd 221 4/8/19 5:03 PM

مرجعيات الطالب



SA.GEO.SE.Ref-1.indd 222 4/8/19 5:04 PM

قائمة المحتويات

الجداول المرجعية : Reference Tables

- صفات المعادن ذات البريق الفلزي - Minerals with Metallic Luster
- صفات المعادن ذات البريق اللافلزي -Minerals with Nonmetallic Luster
- خواص الصخور - Properties of Rocks
- سلم الزمن الجيولوجي - Geological Time Scale
- الجدول الدوري للعناصر - Periodic Table of the Elements

الخرائط المرجعية : Reference Maps

- المعادن الفلزية في المملكة العربية السعودية
- Metallic Minerals in the Kingdom of Saudi Arabia
- خريطة ظهور المحيطات - Oceanic Ridge Map
- حدود الصفائح - Plate Boundaries
- جيولوجية شبه الجزيرة العربية - Geology of the Arabian Peninsula
- مواقع محطات الرصد الزلزالي - Seismic Station Locations
- مواقع المراكز السطحية للزلازل في العالم -Global Earthqake Epicenter Locations

المعالم الجيولوجية المرجعية Reference Geological Features

- الحرات في المملكة العربية السعودية -Harrats in Kingdom of Saudi Arabia

المصطلحات Glossary

SA GEO SE Ref-1.indd 223 4/8/19 5:04 PM

الجدول -1 صفات المعادن ذات البريق الفلزي

اسم المعدن وصيغته الكيميائية	اللون	المخدش	القساوة	الوزن النوعي	النظام البلوري	الانفصام والمسكر	الاستعمالات وخصائص اخرى
البورنيت Bornite Cu_5FeS_4	برونزي باهت إلى أزرق غامق أرجواني	رمادي-أسود	3	4.9–5.4	هرم رباعي الأوجه	مكسر غير مستو (حواف مسننة)	مصدر للنحاس ويسمى خام الطاووس بسبب اللون الأرجواني اللامع.
الكالكوبيريت Chalcopyrite $CuFeS_2$	أصفر إلى أصفر ذهبي	أسود مخضر	3.5–4	4.2	رباعي الأوجه	مكسر غير مستو (حواف مسننة)	الخام الرئيس للنحاس.
الكرومايت Chromite $FeCr_2O_4$	أسود أو بني	بني إلى أسود	5.5	4.6	مكعب	مكسر غير منتظم	خام الكروم ، غير القابل للصدأ، صلب يستعمل لصناعة السبائك.
النحاس Copper Cu	نحاسي أحمر	نحاسي أحمر	3	8.5–9	مكعب	مكسر متفتت	يستعمل في صناعة العملات المعدنية والأنابيب والمزاريب، والأسلاك، أواني الطبخ، والمجوهرات، طباعة لوحات الديكور.
الجالينا Galena PbS	رمادي	رمادي إلى أسود	2.5	7.5	مكعب	الانفصام مكعبات واضحة	مصدر الرصاص الذي يستعمل في صناعة الأنابيب، الدروع لأشعة إكس، وصيد الأسماك ومعدات الغطاسين.
الذهب Gold Au	أصفر ذهبي	أصفر	2.5–3	19.3	مكعب	مكسر متفتت	يستعمل في المجوهرات والنقود، رقائق الذهب، حشوات للأسنان، والأدوية؛ لا يصدأ.
الجرافيت Graphite C	أسود إلى رمادي	أسود إلى رمادي	1–2	2.3	سداسي	سطح انفصام واحد	يستعمل في أقلام الرصاص ومواد التشحيم، قضبان للسيطرة على بعض المفاعلات النووية الصغيرة، أقطاب البطارية.
الهيماتيت Hematite Fe_2O_3	أسود أو بني محمر	أحمر أو بني محمر	6	5.3	سداسي	مكسر غير منتظم	خام الحديد ، يصهر في الأفران مع الفحم لإنتاج الفولاذ الصلب.
الماجنتيت Magnetite Fe_3O_4	أسود	أسود	6	5.2	مكعب	مكسر محاري	خام الحديد، مغناطيس طبيعي. ويسمى حجر المغناطيس.
البيريت Pyrite FeS_2	أصفر نحاسي فاتح	أسود مخضر	6.5	5.0	مكعب	مكسر غير مستو (حواف مسننة)	غني بالحديد، يسمى ذهب المجانين لأن مظهره يشبه الذهب، ويتأكسد إلى معدن الليمونايت.
البيروتيت Pyrrhotite $Fe_{1-x}S$ * يزيد الكبريت على الحديد بذرّة واحدة	برونزي	رمادي-أسود	4	4.6	سداسي	مكسر غير مستو (حواف مسننة)	خام للحديد والكبريت، وقد يكون ممغنطا.
الفضة Silver Ag	أبيض فضي بدون بريق إلى أسود	رمادي فاتح إلى فضي	2.5	10–12	مكعب	مكسر متفتت	يستعمل في صك النقود، حشوات الأسنان، ورقائق الفضة ، الأسلاك، الموصلات.

SA.GEO.SE.Ref-1.indd 224 4/8/19 5:04 PM

الجدول -2 صفات المعادن ذات البريق اللاّفلزي

اسم المعدن وصيغته الكيميائية	اللون	المخدش	القساوة	الوزن النوعي	النظام البلوري	الانفصام والمسكر	الاستعمالات وخصائص اخرى
الأوجيت Augite $(Ca, Na)(Mg, Fe, Al)(Al, Si)_2O_6$	أسود	شفاف	6	3.3	أحادي الميل	الانفصام في اتجاهين	المقطع العرضي للبلورة على شكل مربع أو مضلع ثماني.
الكورونـدم Corundum Al_2O_3	شفاف، أزرق، بني، أخضر، أبيض، وردي، أحمر	شفاف	9	4.0	سداسي	مكسر غير مستوٍ	يستعمل لشحذ القطع أكثر حدة؛ والملون منه الكورونـدم الأحمـر حجـر كـريم (الياقوت) والأزرق الحجر الكريم الزفير.
الفلسبار البوتاسي Feldspar (orthoclase) $KAlSi_3O_8$	شفاف، أبيض إلى رمادي، أخضر، أصفر	شفاف	6	2.5	أحادي الميل	مستويان من الانفصام متعامدين	لا يذوب في الأحماض ويستعمل في صناعة البورسلان.
الفلسبار البلاجيوكليزي Feldspar (plagioclase) $NaAlSi_3O_8$ $CaAl_2Si_3O_8$	رمادي، أخضر، أبيض	شفاف	6	2.5	ثلاثي الميل	مستويان من الانفصام يميلان ويتقابلان بزاوية 86^o	يستعمل في صناعة الخزف.
الفلورايت Fluorite CaF_2	شفاف، أبيض، أزرق، أخضر، أحمر، أصفر، أرجواني	شفاف	4	3–3.2	مكعب	تظهر مستويات انفصام	يستعمـل في صناعـة الأجهـزة البصرية، يتوهج تحت الأشعة فوق البنفسجية.
الجارنت Garnet $(Mg, Fe, Ca, Mn)_3(Al, Fe, Cr)_2, (SiO_4)_3$	أصفر غامق، أحمر، أخضر، أسود	شفاف	7.5	3.5	مكعب	مكسر محاري	يستعمل كمادة صاقلة، ويستعمل في صناعة المجوهرات.
الهورنبلند Hornblende $Ca_2Na(Mg, Fe^2)_4(Al, Fe_3, Ti)_3, Si_8O_{22}(O, OH)_2$	أخضر إلى أسود	رمادي إلى أبيض	5–6	3.4	أحادي الميل	انفصام في اتجاهين	ينكسر الضوء عن حوافه الرقيقة، مقطع بلوراته من 6 أضلاع.
الليمونايت Limonite (أكسيد الحديد المائي)	أصفر، بني، أسود	أصفر، بني	5.5	2.7 –4.3	غير محدد	مكسر محاري	مصدر للحديد، سهل التجوية والتفتت، مادة ملونة للتربة.
الأوليفين Olivine $(Mg, Fe)_2SiO_4$	أخضر زيتوني	شفاف	6.5	3.5	معيني	مكسر محاري	حجر كريم، رمل مقاوم للانصهار. يستعمل في تبطين أفران الصهر.
الكوارتز Quartz SiO_2	شفاف، ألوان مختلفة.	شفاف	7	2.6	سداسي	مكسر محاري	يستعمـل في صناعـة: الزجاج، الأجهـزة الإلكترونية، المذياع، الحواسيب، الساعـات، بعض أنواعه معادن نفيسة.
التوباز Topaz $Al_2SiO_4(F, OH)_2$	شفاف، أبيض، أصفر، وردي، أزرق باهت	شفاف	8	3.5	معيني	مستوى انفصام أساسي	حجر ثمين.

SA.GEO.SE.Ref-1.indd 225 4/8/19 5:04 PM

الجدول -3 خواص الصخور

نوع الصخر	اسم الصخر	صفات الصخر
نارية جوفية Igneous (intrusive)	الجرانيت granite	بلورات معدنية كبيرة من الكوارتز والفلسبار والهورنبلند والمايكا. لون الصخر فاتح عادة.
	الديوريت diorite	بلورات كبيرة من الفلسبار والهورنبلند والمايكا وكميات من الكوارتز أقل من الجرانيت، لونها متوسط.
	الجابرو gabbro	بلورات معدنية كبيرة من الفلسبار والهورنبلند والأوجيت والأوليفين والمايكا ولا يوجد كوارتز، لونها غامق.
نارية سطحية Igneous (extrusive)	الريوليت rhyolite	بلورات معدنية صغيرة من الكوارتز والفلسبار والهورنبلند والمايكا. لون الصخر عادة فاتح.
	الأنديزيت andesite	بلورات صغيرة من معادن الفلسبار والهورنبلند والمايكا وكميات قليلة من الكوارتز أقل من الريولايت، لونها متوسط.
	البازلت basalt	بلورات معدنية صغيرة من الفلسبار والهورنبلند والأوجيت والأوليفين والمايكا ولا يوجد كوارتز، لونها غامق. مع احتمال وجود فقاعات.
	الأوبسيديان obsidian	نسيج زجاجي ، لا يمكن رؤية الحبيبات، زجاج بركاني، مكسر محاري، اللون عادة أسود، ويمكن رؤيته باللون الأحمر –بني محمر أو أسود مع بقع بيضاء.
	الخفاف pumice	نسيج رغوي، يطفو على الماء، عادة لونه فاتح.
رسوبية فتاتية Sedimentary (clastic)	الكونجلوميرات conglomerate	حبيباته كبيرة مستديرة، بحجم الحصى أو الجلاميد.
	الحجر الرملي sandstone	يتراوح حجم حبيباته مابين $\frac{1}{16}$ – 2mm ، ألوانه متعددة.
	حجر الطمي siltstone	حجم حبيباته أقل من الرمل لكن أكبر من الطين.
	الطَّفل shale	أصغر حبيبات ولونه غامق عادة.
رسوبية كيميائية وبيوكيميائية Sedimentary chemical) (or biochemical	الحجر الجيري limestone	يتكون بشكل رئيس من معدن الكالسيت، وعادة يتكون في البحار والبحيرات والأنهار والكهوف، وغالبًا يحتوي على أحافير. ويتفاعل بسهولة مع حامض HCl المخفف.
	الفحم coal	يتكون في المستنقعات والبيئات المائية الضحلة، طبقات متماسكة من المواد العضوية، ويشكل رئيس من بقايا النباتات.
رسوبية كيميائية Sedimentary (chemical)	الملح الصخري rock salt	يتكون عادة من تبخر مياه البحر.
متحولة متورقة (صفائحية) Metamorphic	النايس gneiss	تظهر فيه طبقات واضحة بسبب وجود أشرطة متبادلة من معادن مختلفة الألوان، عادة ينتج عن تحول الجرانيت.
	الشيست schist	ترتيب واضح للمعادن الصفائحية (رقائق) مثل المايكا. وينتج بشكل رئيس عن تحول الطَّفل والفيليت.
	الفيليت phyllite	مظهر لامع أو حريري، يبدو سطح الصخر مجعدًا. وينتج عن تحول الطَّفل والإردواز.
	الإردواز slate	ينتج عن تحول الطَّفل وهو صلب وأثقل وأكثر تماسكًا من الصخر الأصلي.
متحولة غير متورقة (غير صفائحية) Metamorphic (nonfoliated)	الرخام marble	تظهر فيه بلورات الكالسيت أو الدلومايت، وينتج عن تحول الصخور الجيرية.
	الحجر الصابوني soapstone	يتكون بشكل رئيس من معدن التلك، طري، وملمسه دهني أو صابوني.
	الكوارتزيت quartzite	صلب جدًا، حبيباته متماسكة ومتلاحمة ببلورات كوارتز، يتحول عن الحجر الرملي.

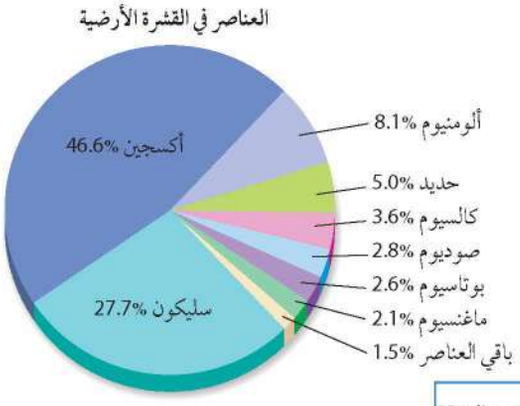
SA.GEO.SE.Ref-1.indd 226 4/8/19 5:04 PM

سلم الزمن الجيولوجي

الدهر	الحقبة	العصر		الحين	الفترة الزمنية (my)	التنوع الجيولوجي والحيوي	الحركات الأرضية والسلاسل الجبلية
دهر الحياة الظاهرة	حقبة الحياة الحديثة	الرباعي		هولوسين بلايستوسين	1.8	الإنسان. ازدهار معظم الثدييات العملاقة ثم انقراضها.	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	نيوجين	بليوسين ميوسين		عائلات الثدييات الحديثة والطيور والخيول والفيلة. ظهور الحشائش على نحو واضح.	
			باليوجين	أوليجوسين ايوسين باليوسين	65.5	الماموث الصوفي، أسلاف الكلاب والدببة. نمو سريع، وتنوع الثدييات والنباتات الزهرية. تنوع الثدييات (آكلات اللحوم، عجول البحر، ذوات الحوافر، ذوات القرون، والثدييات الكبيرة بحجم الدب وفرس النهر). النباتات.	
	حقبة الحياة المتوسطة	الكريتاسي		علوي سفلي	145.5	انقراض الديناصورات والأمونيت ظهور الطيور الحديثة بداية ظهور النباتات الزهرية المغطات البذور.	استمرار تكون جبال الأنديز بداية تكون جبال الأنديز بداية الحركة الأنديزية.
		الجوراسي		علوي متوسط سفلي	199.6	بداية ظهور الثدييات والقنافذ الأرضية. ظهور الطيور الأولى سيطرة الديناصورات على القارات وسمائها.	
		الترياسي		علوي متوسط سفلي	251	ظهور الرأسقدميات ذات الأصداف الملتفة المعروفة باسم الأمونيت. انقسام بانجيا إلى كتلتين قاريتين، هما: غوندوانا، ولوراسيا ظهور العديد من البرمائيات الضخمة. انتشار النباتات المعراة البذور.	
	حقبة الحياة القديمة	البيرمي		علوي متوسط سفلي	299	تكون قارة بانجيا انتشار الزواحف الشراعية الظهر.	الحركة الهرسينية أدت إلى تكوّن الجبال الهرسينية والفارسكية والإبلاشية.
		الكربوني		بنسلفينين مسيسيبين	359,2	انتشار النباتات البذرية المعراة البذور، انتشار النباتات. انتشار النباتات الوعائية اللازهرية (السرخسيات) المسؤولة عن تكون الفحم الحجري. تطور الأسماك	
		الديفوني		علوي متوسط سفلي	416		
		السيلوري		علوي متوسط سفلي	443.7	العقارب المائية. بداية ظهور الأسماك.	الحركة الكاليدونية
		الأردوفيتشي		علوي متوسط سفلي	488.3	الجرابتوليت. تنوع اللافقاريات. تشكل قارة غوندوانا.	
		الكامبري		فرونجيان سلسلة 3 سلسلة 2 ترينيوفيان	542	انتشار واسع للحياة البحرية. الترايلوبيت.	
دهر الحياة الخافية (ما قبل الكامبري)					4560	طحالب خضراء وحيوانات ذوات هياكل طرية. تكون أساس القارات (الدروع القارية). بكتيريا لاهوائية. تشكل كوكب الأرض البدائي، تكون أغلفة الأرض الرئيسة، سقوط النيازك، النشاط البركاني.	الحركة الهورانية

SA.GEO.SE.Ref-1.indd 227 4/8/19 5:04 PM

الجدول الدوري للعناصر



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

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

تفاعل الكربون يجعل منه عنصرًا طبيعيًّا يتوافر في عدة أشكال وعدة مواد. ويدخل في تكوين كل من الجرافيت والفحم والألماس، بينما يكوّن مركبه الحجر الجيري.

يعدّ الهيليوم من العناصر الأكثر شيوعًا في الكون. وينتج 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.

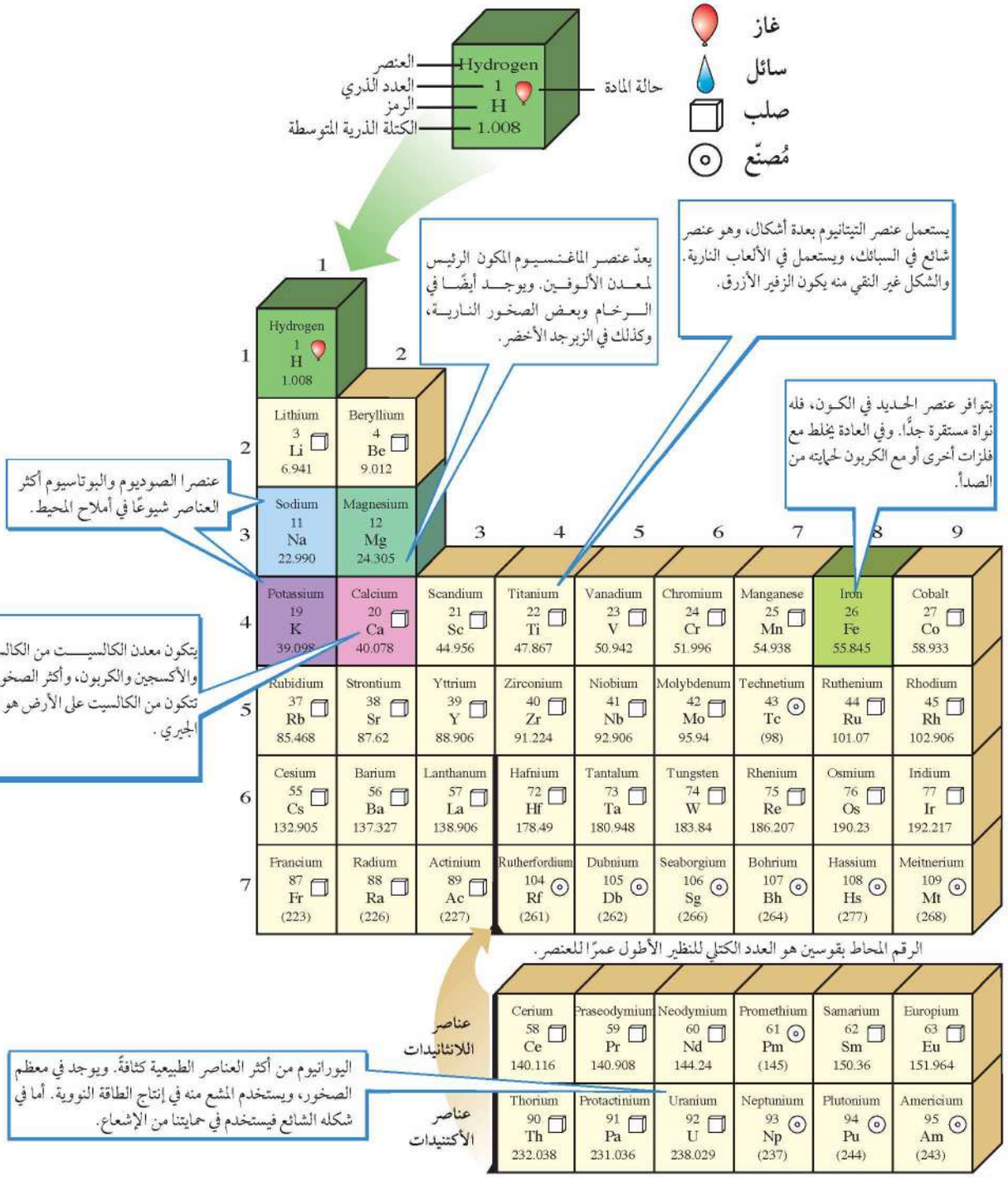
10	11	12	13	14	15	16	17	18
			Boron 5 B 10.811	Carbon 6 C 12.011	Nitrogen 7 N 14.007	Oxygen 8 O 15.999	Fluorine 9 F 18.998	Neon 10 Ne 20.180
			Aluminum 13 Al 26.982	Silicon 14 Si 28.086	Phosphorus 15 P 30.974	Sulfur 16 S 32.065	Chlorine 17 Cl 35.453	Argon 18 Ar 39.948
Nickel 28 Ni 58.693	Copper 29 Cu 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 (269)	Roentgenium 111 Rg (272)	Ununbium 112 Cn (277)	Ununtrium * 113 Uut (Unknown)	Flerovium 114 Fl (289)	Ununpentium * 115 Uup (Unknown)	Livermorium 116 Lv (298)	Ununseptium * 117 Uup (Unknown)	Ununoctium * 118 Uuo (Unknown)

أسماء ورموز العناصر 113، 115، 117، 118 مؤقتة، وسيتم اختيار رموز وأسماء نهائية لها فيما بعد من الاتحاد الدولي للكيمياء البحتة والتطبيقية (CAPUI).

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)

SA.GEO.SE.Ref-1.indd 228 4/8/19 5:04 PM

PERIODIC TABLE OF THE ELEMENTS



SA.GEO.SE.Ref-1.indd 229 4/8/19 5:04 PM

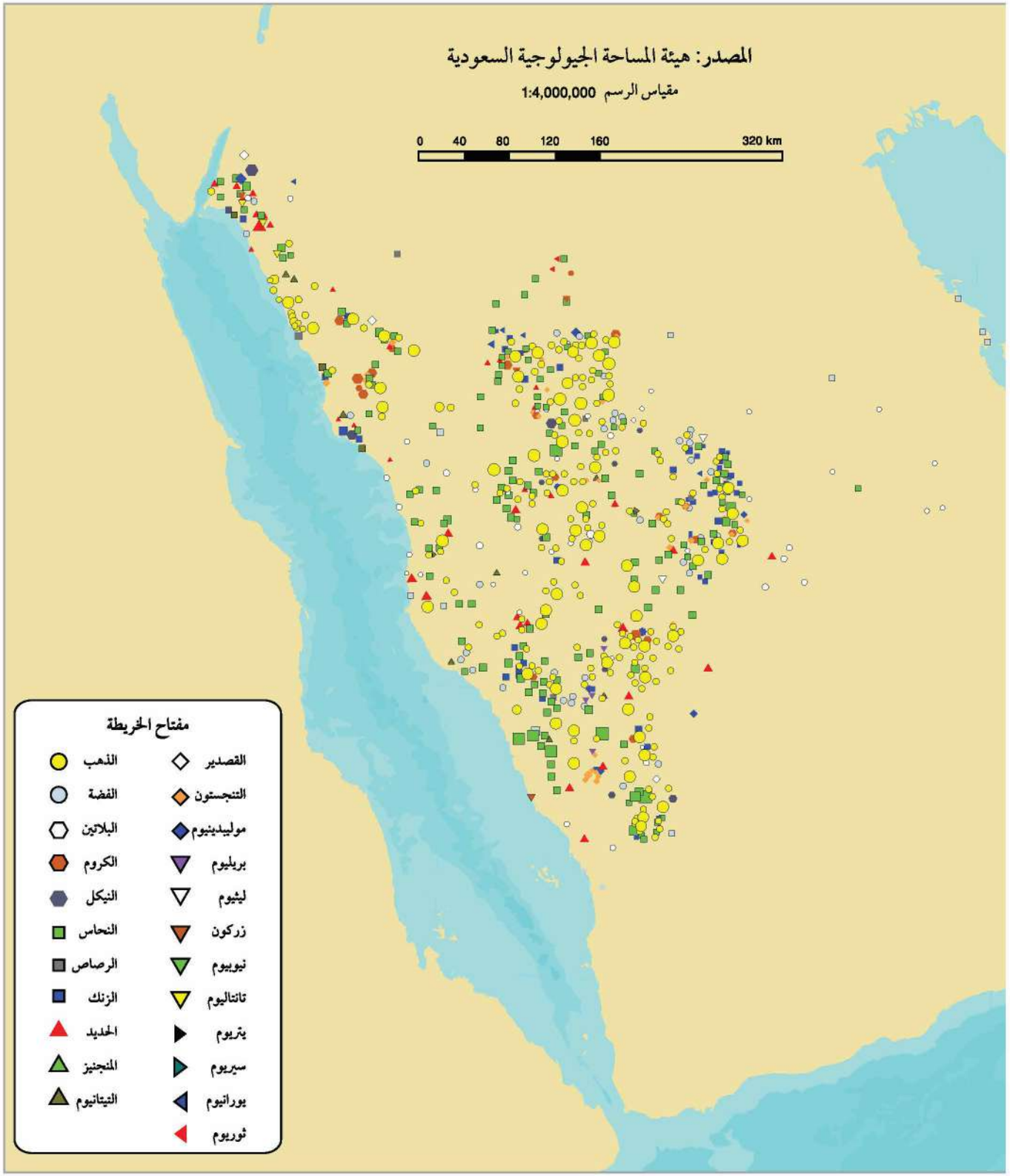
المعادن الفلزية في المملكة العربية السعودية

تصاحب العديدُ من المعادن الفلزية والخامات الاقتصادية أنواعًا محددة من الصخور. فالذهب مثلًا يتواجد عادةً في عروق الكوارتز المصاحبة لصخور الجرانيت أو لصخور الديورايت والجرانوديورايت، ويوجد كذلك في الصخور البركانية الغنية بالسيليكا. بينما تصاحب خامات الكوبالت والنيكل والتيتانيوم الصخورَ النارية القاعدية وفوق القاعدية، ومنها البيردوتيت والسربنتينيت.

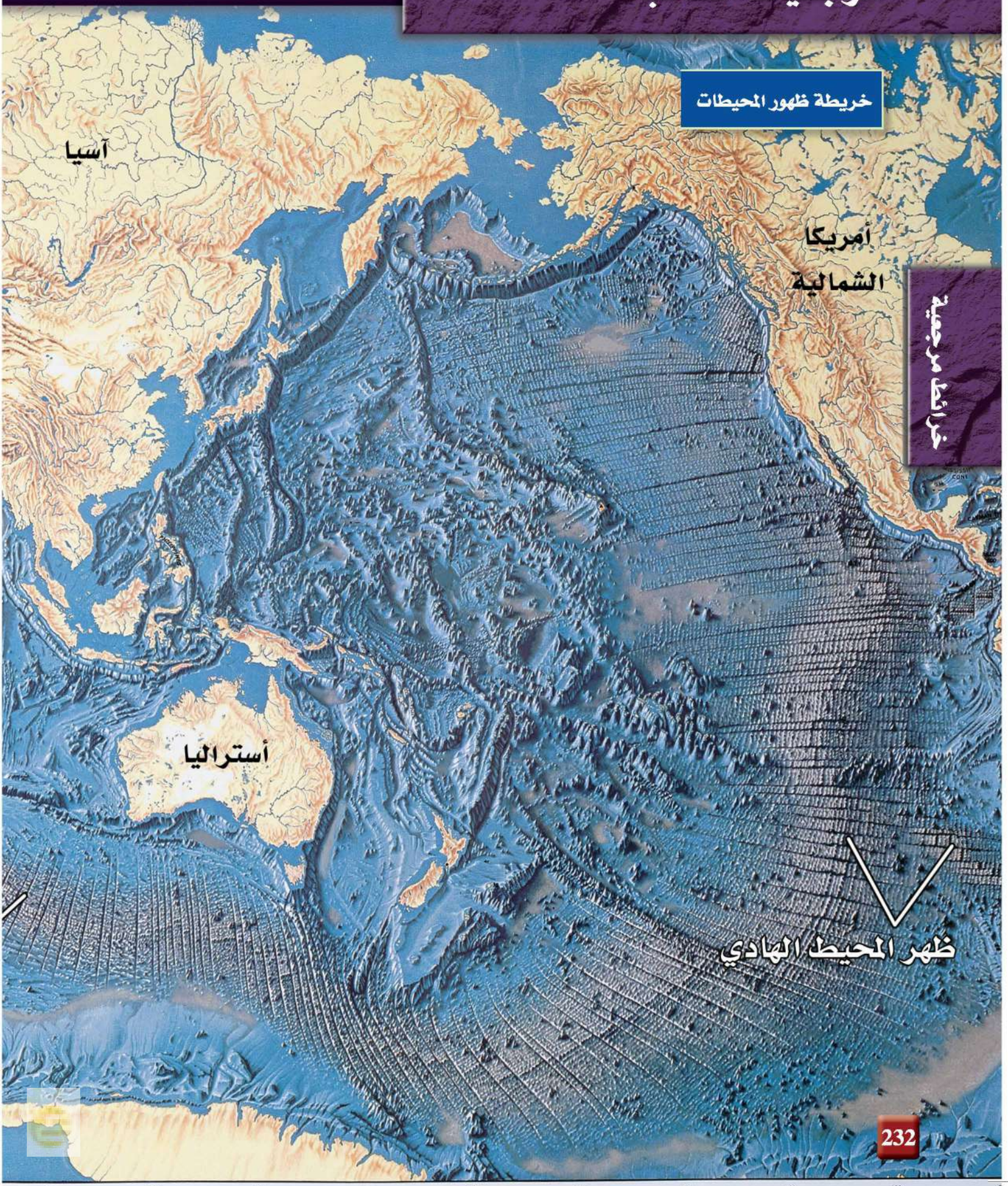
وتنتشر المعادن الفلزية في مواقع عديدة من المملكة العربية السعودية، ولكنها تتركز في صخور منطقة الدرع العربي، التي تقع في المنطقة الغربية من المملكة على امتداد ساحل البحر الأحمر، ومن أهم المعادن الفلزية التي تتواجد فيها: الذهب، والفضة، والنحاس. ومن المناجم التي يُستخلص منها الذهب: مهد الذهب، والأمار، والصخيبرات، ومن المناجم التي تُظهر الدراسات الجدوى الاقتصادية من استغلال الذهب منها: حجر حمضة، وظلم، والدويحي.

وكانت بداية التنقيب عن المعادن الاقتصادية في المملكة عام 1930م، عندما طلب المغفور له الملك عبد العزيز آل سعود من الجيولوجي الأمريكي توثيشل التنقيب عن النفط والمعادن الاقتصادية في أراضي المملكة، وقد أكد هذا الجيولوجي تواجد الذهب في منطقة الحجاز. ومن ثم بدأ التنقيب عن الذهب واستغلاله من منجم مهد الذهب منذ عام 1939م بإشراف نقابة التعدين العربية السعودية. وفي عام 1960م تم إنشاء المديرية العامة للثروة المعدنية، ثم تغيّر اسمها في عام 1993م إلى وكالة الوزارة للثروة المعدنية؛ وكانت الجهة المنوط بها البحث والتنقيب واستغلال الثروات المعدنية الاقتصادية في المملكة. وفي عام 1999م تم تأسيس هيئة المساحة الجيولوجية السعودية التي أصبحت مسؤولة عن عمليات البحث والتنقيب عن المعادن في المملكة. وتتبنى الهيئة سياسات تعتمد على إجراء العديد من الدراسات الجيوفيزيائية والجيوكيميائية، واستخدام تقنيات الاستشعار عن بُعد، آخذين في الاعتبار النظريات الحديثة حول نشأة المعادن الاقتصادية وتكوّنها؛ من أجل تحديد أماكن المعادن الفلزية وكمياتها، ودراسة الجدوى الاقتصادية من استغلالها.

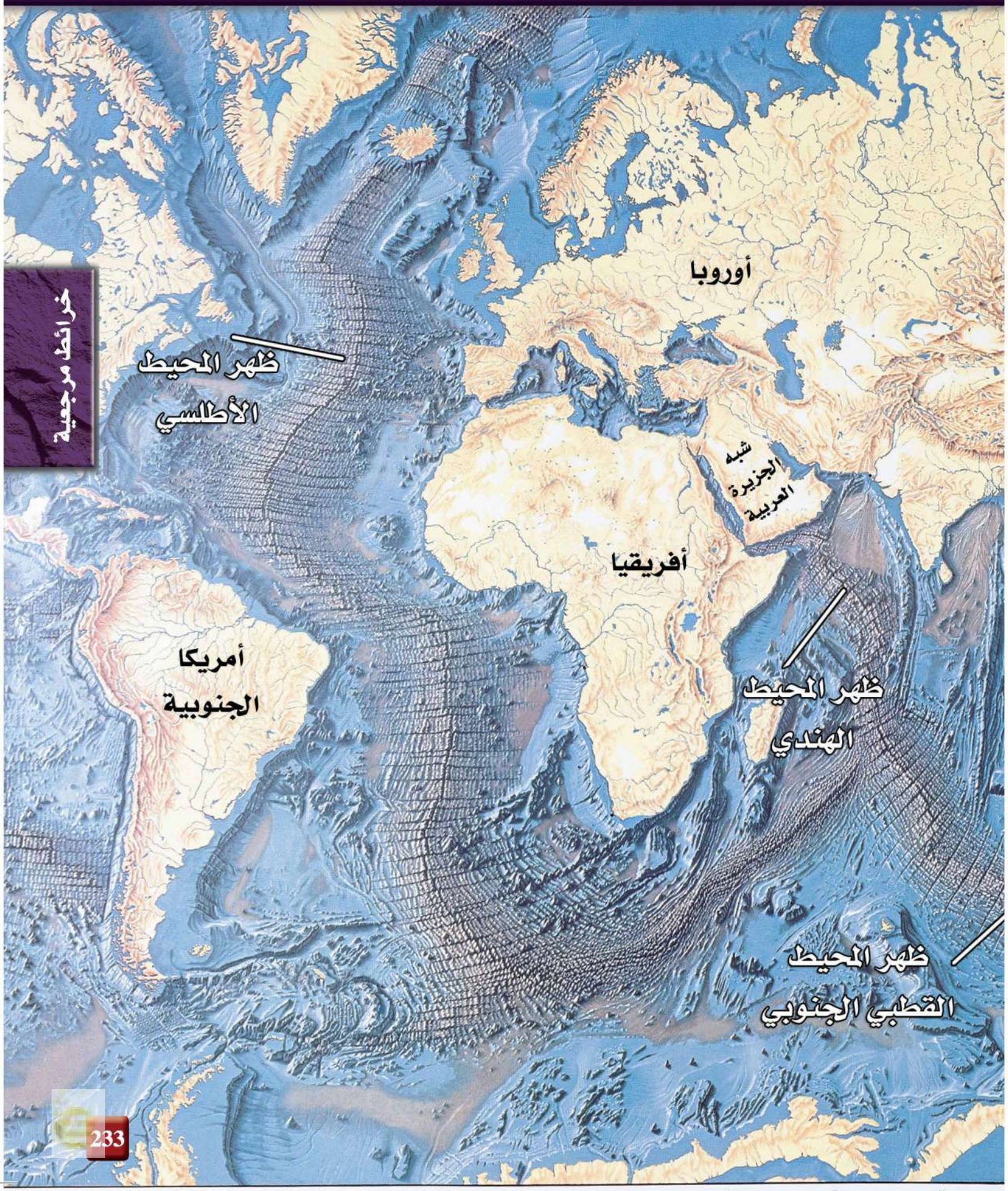
SA.GEO.SE.Ref-1.indd 230 4/8/19 5:04 PM



SA.GEO.SE.Ref-1.indd 231 4/8/19 5:04 PM



SA.GEO.SE.Ref.1.indd 232 4/8/19 5:04 PM

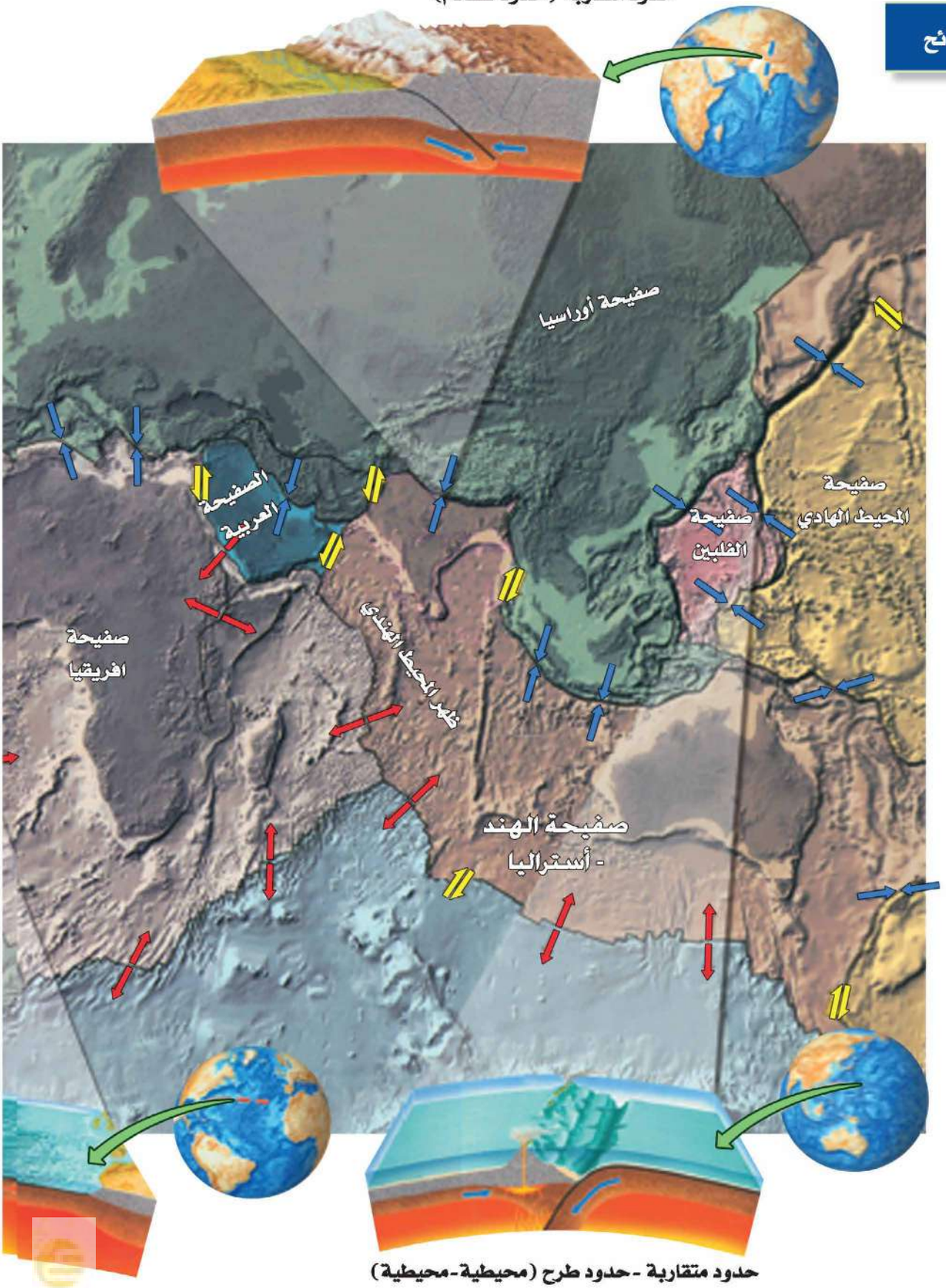


خرائط مرجعية

SA GEO SE Ref-1.indd 233 4/8/19 5:04 PM

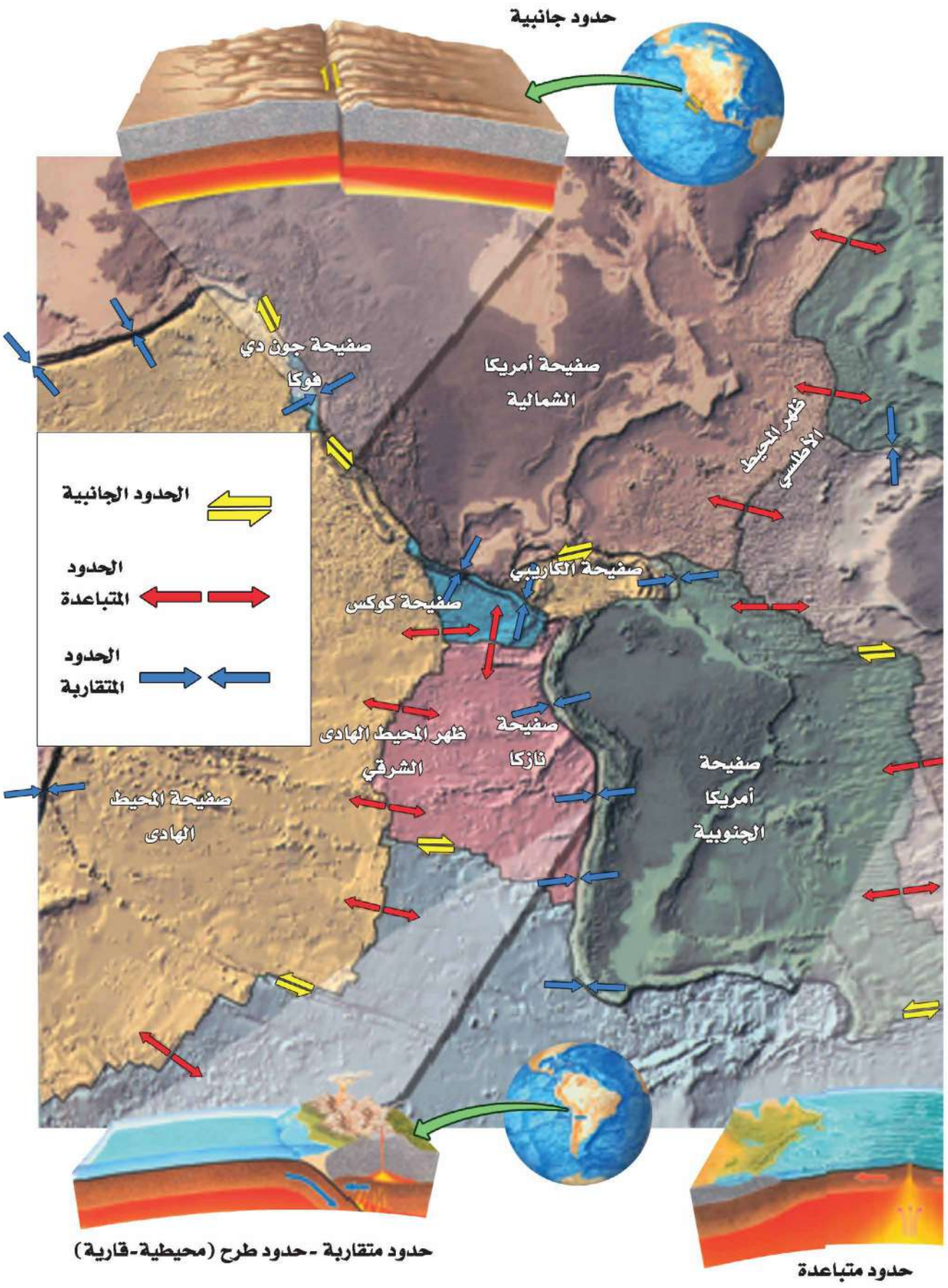
حدود الصفائح

حدود متقاربة (حدود تصادم)



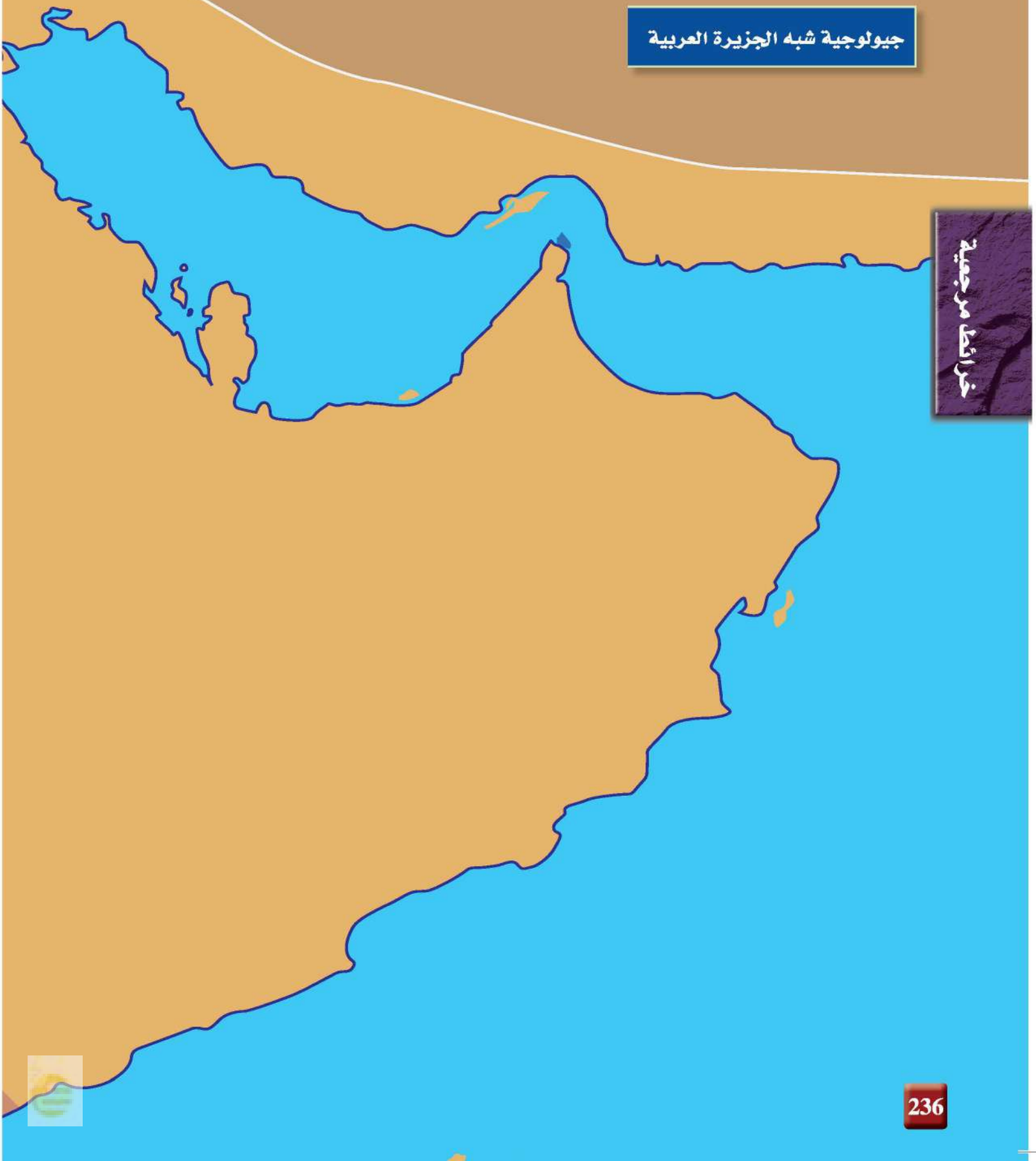
حدود متقاربة - حدود طرح (محيطية-محيطية)

SA.GEO.SE.Ref-1.indd 234 4/8/19 5:04 PM



SA.GEO.SE.Ref-1.indd 235 4/8/19 5:05 PM

جيولوجية شبه الجزيرة العربية



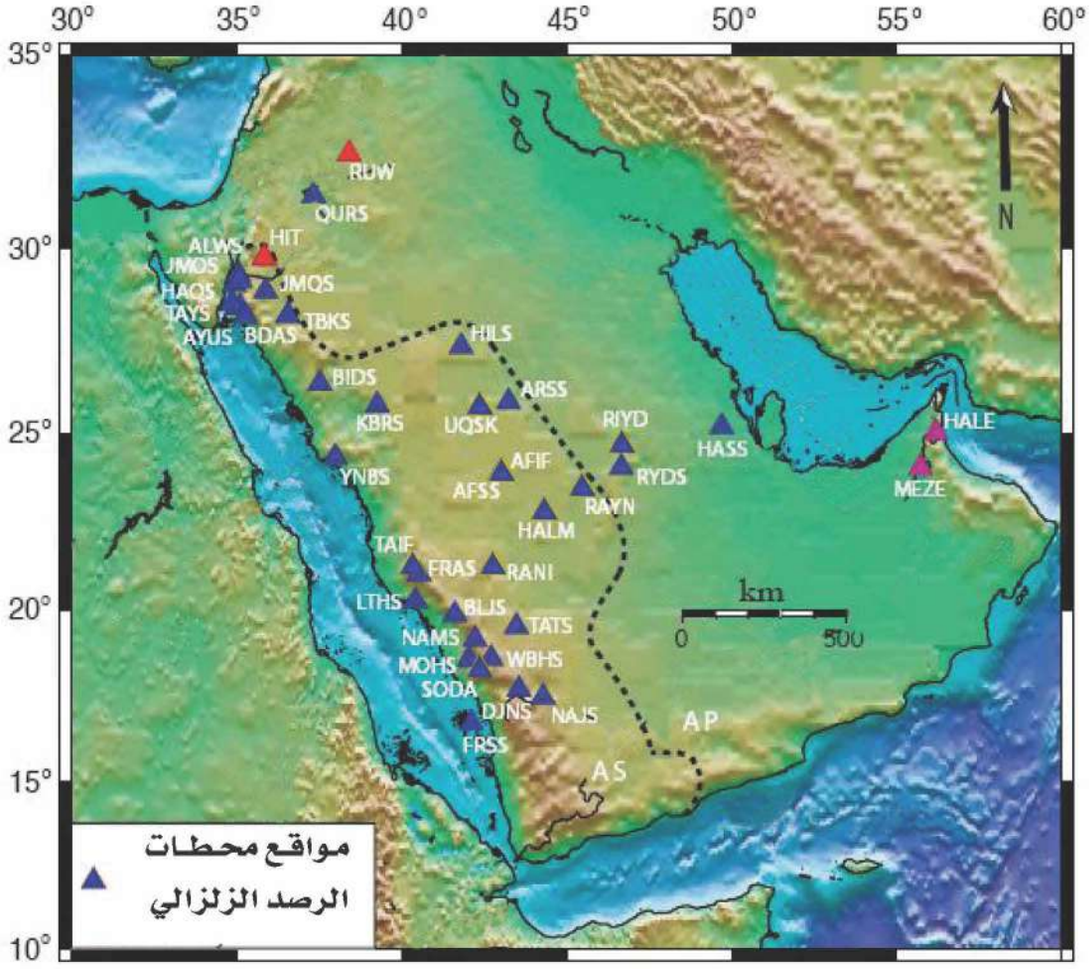
SA GEO SE Ref 1.indd 236 4/8/19 5:05 PM

خرائط مرجعية

خرائط مرجعية

SA.GEO.SE.Ref-1.indd 237 4/8/19 5:05 PM

مواقع محطات الرصد الزلزالي في المملكة العربية السعودية

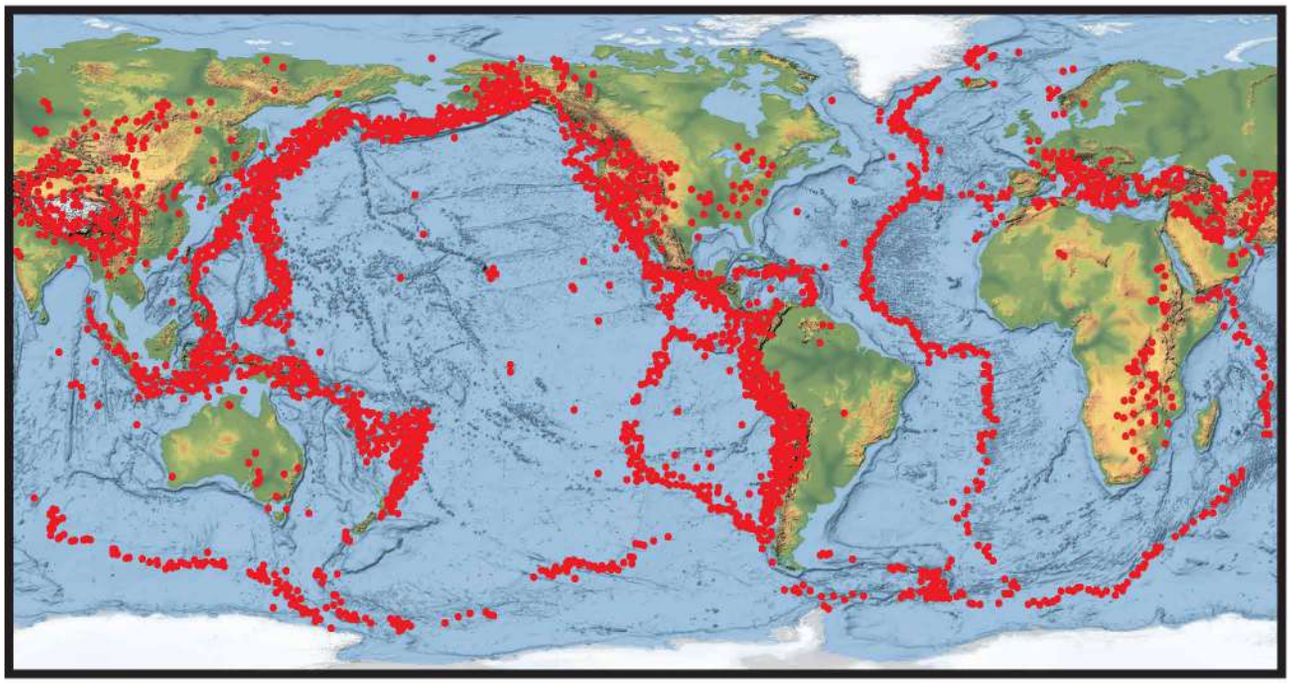


عدد الهزات الزلزالية التي تم رصدها بواسطة أجهزة الرصد الزلزالي في المملكة العربية السعودية لعام 2016 م

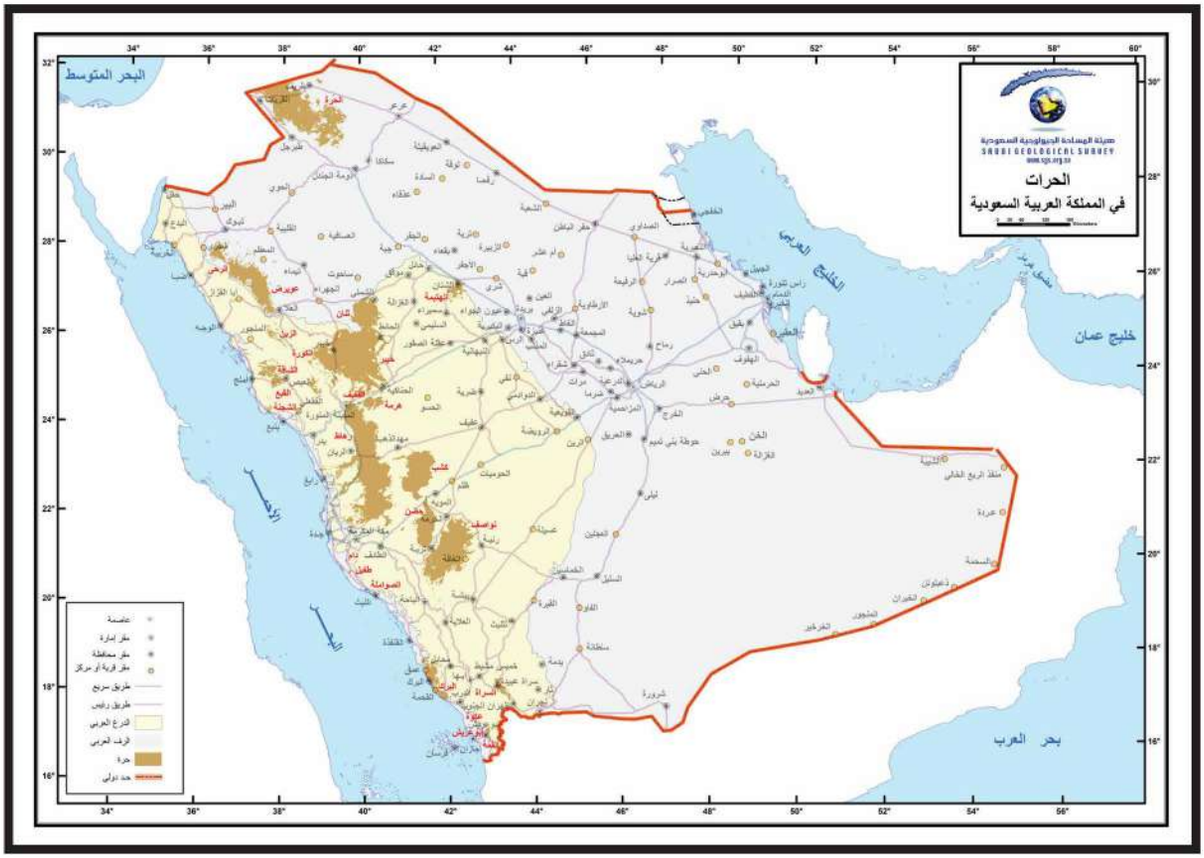
مقاس الهزات	يناير	فبراير	مارس	أبريل	مايو	يونيو	يوليو	أغسطس	سبتمبر	أكتوبر	نوفمبر	ديسمبر	المجموع
أقل من 1	426	409	415	348	499	424	442	526	457	503	361	276	5086
1-2	589	362	397	273	327	272	248	216	194	197	177	153	3405
2-3	68	44	88	38	66	23	27	27	23	23	23	27	477
3-4	2	3	11	2	5	2	2	2	0	4	2	1	36
4-5	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	2
5-6	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
6-7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
أكثر من 7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
المجموع	1085	818	912	661	898	721	719	771	674	727	564	457	9007

* المصدر : هيئة المساحة الجيولوجية السعودية

مواقع المراكز السطحية للزلازل في العالم



توزيع الحرّات في المملكة العربية السعودية



*المصدر: هيئة المساحة الجيولوجية السعودية

SA.GEO.SE.Ref-1.indd 239 4/8/19 5:05 PM

الحرات في المملكة العربية السعودية

الحرّات طفوح بازلتية خرجت إلى سطح الأرض عبر الشقوق، وغطت مساحات واسعة منها. وتوجد الحرات في الجزء الغربي من الجزيرة العربية على شكل حزام متقطع يمتدّ من الشمال إلى الجنوب، ويتكون معظمها من صخور البازلت القلوي الألوفيني. ودلّت الدراسات الجيولوجية على أن تكوُّن الحرات وتوزعها تم عبر مرحلتين: الأولى مع انفتاح البحر الأحمر الذي بدأ في نهاية عهد الأوليجوسين وبداية الميوسين قبل نحو 25 مليون سنة، والثانية بدأت منذ عشرة ملايين سنة حتى حدوث آخر ثوران بركاني في الجزيرة العربية في حرة رهاط في عام 1256م (654هـ).

وقد صنّف العلماء الحرات الموجودة في الجزيرة العربية إلى نوعين: طفوح من الداسايت والريولايت الشديدة التحوّل وما يصاحبها من الفتات والرماد البركاني المتساقط، وطفوح بازلتية على شكل براكين ومخاريط بازلتية، تنتشر على خط محوري واحد. ومن الحرات المشهورة في الجزيرة العربية: الرحا، الحَرّة، ثِنان، هتيمة، خيبر، رهاط، كشب، نواصف، الشامة.

حرة رهاط

تمتدّ حرة رهاط من وادي فاطمة شمال مكة حتى جنوب المدينة المنورة، وتغطي مساحة $20000km^2$ تقريبًا، وهي أكبر الحرات في المملكة. وتحتوي هذه الحرة على الكثير من البراكين المخروطية المكونة من السكوريا، والبراكين الدرعية والقبب البركانية. ويعد جزؤها الشمالي أكثر أجزائها نشاطًا؛ حيث يقع إلى الجنوب من المدينة المنورة. ومن أشهر براكين هذه الحرة بركان جبل الملسا ذو الشكل المخروطي.

حرة خيبر

تبعد حرة خيبر حوالي 65km شمال شرق المدينة المنورة، وهي من أكبر الحرات البركانية في المملكة، تغطي حرة خيبر مساحة تقدر بأكثر من $14000km^2$. وتحتوي الحرة على الكثير من البراكين المخروطية، والبراكين الدرعية، والعديد من القباب البركانية. وتتكون معظم صخورها من البازلت. ومن أشهر جبالها البركانية جبل القدر والجبل الأبيض.

SA.GEO.SE.Ref-1.indd 240 4/8/19 5:05 PM

حرة ثِنان

بـدأ الثـوران الـبركاني في حـرة ثِنان قبـل حوالي 3 ملايـين سـنة، وتبلـغ مسـاحتها $4000km^2$ تقريبًـا، وتحتـوي عـلى العديـد مـن البراكـين الدرعيـة والبراكـين المخروطيـة التـي تتكـوّن معظم صخورها مـن البازلت. وتقع هذه الحرة إلى الشـمال من حرة خيبر. وتتميز الحرة بالعديد من الكهوف ومنها كهف الشويمس.

حرة الهُتيمة

تعـد حـرة الهُتيمـة مـن أحدث الحـرات؛ حيث لا يتعـدى عمـر صخورهـا مليـونيْ سـنة. وتبلـغ مساحتها حوالي $900km^2$، لذلك تعد من الحرات الصغـيرة بالنسـبة إلى باقـي الحـرات. وتتميز حرة هتيمة بمحتبسـات من الستار في صخورها، لذلك فهـي مهمة في تعـرُّف بنيـة الأرض الداخلية. ومن المعـالم البركانيـة التـي تتميز بها هذه الحـرة حلقات الفتـات والرماد الـبركاني، والبراكـين المخروطية، والفوهات البركانية المنهارة.

حرة الحَرة

تقع حرة الحرة شـمالي غرب المملكة بجانب حدود المملكـة الأردنية الهاشـمية. حيث تغطي مسـاحة $15200km^2$ تقريبًـا. وتعـد هـذه الحـرة الجـزء الجنوبي لحرة الشام، التي تمتد في كل من الجمهورية العربيـة السـورية، والمملكـة الأردنيـة الهاشـمية، وشمال المملكة العربية السـعودية. وقد بدأ النشاط الـبركاني في هذه الحرة في عهد الميوسـين، وأحدث نشـاط بركاني فيهـا كان في العـصر الحديث. وتعد الآن إحـدى المحميـات الطبيعية التـي تحافظ فيها المملكة على التنوع النباتي والحيواني.

SA.GEO.SE.Ref-1.indd 241 4/8/19 5:05 PM

مسرد المصطلحات

(أ)

أحافير مرشدة Index fossils: أحافير لها عمر محدد وامتداد جغرافي واسع.

الأحجار الكريمة gems: معادن ثمينة ونادرة وجميلة، وصلبة ومقاومة للخدش ومصقولة، وتصنع منها المجوهرات.

الانصهار الجزئي partial melting: عملية انصهار معادن مختلفة من الصخور في درجات حرارة معينة مع بقاء معادن أخرى صلبة، مما يؤدي إلى تغير في المكونات الكيميائية للصهارة.

الانفصام cleavage: قابلية المعدن لأن ينكسر بسهولة على طول مستوى واحد أو أكثر، حيث يكون الترابط الذري ضعيفًا.

أحزمة الزلازل Seimic belts: مناطق على سطح الكرة الأرضية تتركز فيها الأنشطة الزلزالية، وتكون مصاحبة لحدود الصفائح الأرضية.

أخدود بحري Ocean trench: انخفاض كبير شديد الانحدار في قاع المحيط، يتكون بسبب طرح صفيحة محيطية أسفل صفيحة أخرى.

الأمواج الأولية Primary waves: موجات أولية تعمل على تضاغط الصخور وتخلخلها في اتجاه حركتها، ويرمز لها بالرمز (P).

الأمواج الثانوية Secondary waves: موجات زلزالية تسبب حركة دقائق الصخور عموديًا على خط انتشار الموجة، ويرمز لها بالرمز (S).

الأمواج الجسمية Body waves: موجات زلزالية تنتقل داخل الأرض، وتنقسم إلى موجات أولية، وموجات ثانوية.

الأمواج الزلزالية Seismic waves: اهتزازات سطح الأرض في أثناء حدوث زلزال.

الأمواج السطحية Surface waves: أبطأ الأمواج الزلزالية، تتحرك فقط على سطح الأرض، وتسبب حركة جسيمات سطح الأرض حركة جانبية وحركة من أعلى إلى أسفل.

الانجراف القاري Continental drift: فرضية للعالم فاجنر تنص على أن قارات الأرض كانت متحدة معًا في قارة واحدة تسمى بانجيا تقع بالقرب من القطب الجنوبي، ثم انقسمت قبل 200 مليون سنة إلى أجزاء تباعد بعضها عن بعض ببطء، حتى وصلت إلى مواقعها الحالية.

الانحلال الإشعاعي Radioactive decay: عملية انبعاث الجسيمات المشعّة من العنصر، وما ينتج عن ذلك من نظائر للعنصر عبر الزمن.

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

الانقلاب المغناطيسي Magnetic reversal: تغيّر قطبية المجال المغناطيسي للأرض من مغناطيسية عادية إلى مغناطيسية مقلوبة.

(ب)

بانجيا Pangaea: قارة قديمة كانت تضمّ جميع القارات الحالية، وبدأت في التفكك قبل 200 مليون سنة.

بؤرة الزلزال Focus: نقطة الكسر في صخور القشرة الأرضية التي تنشأ منها الأمواج الزلزالية الجسمية.

البئر well: ثقب عميق يحفر في الأرض للوصول إلى الخزان الجوفي المائي من أجل ضخ المياه الجوفية منه.

البئر الارتوازية Artesian well: بئر محفورة في خزان ارتوازي يتدفق منها الماء فوق الأرض على شكل نافورة بسبب ازدياد ضغط الماء داخلها.

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

SA.GEO.SE.Ref-1.indd 242 4/8/19 5:05 PM

مسرد المصطلحات

البركان المخروطي Cinder cone: بركان صغير شديد الانحدار، تكوّن بفعل ثورانات بركانية متفجرة، حيث تراكمت 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.

البريق luster: الكيفية التي يعكس بها المعدن الضوء الساقط على سطحه.

بقعة ساخنة Hot spot: منطقة ساخنة بصورة غير عادية في ستار الأرض، يصعد فيها عمود من صهارة ذات درجة حرارة عالية إلى أعلى في اتجاه سطح الأرض.

البلورة crystal: جسم صلب تترتب فيه الذرات بنمط متكرر منتظم.

البيجماتيت pegmatite: صخور ذات معادن خشنة الحبيبات بصورة غير عادية، وتحتوي على خامات نادرة مثل الليثيوم.

(ت)

تاريخ إشعاعي Radiometric dating: طريقة تستعمل في تحديد العمر المطلق لصخر أو أحفورة بتحديد نسبة النظير المشع إلى النظير الثابت في عينة منه.

التاريخ بالأشجار Dendrochronology: العلم الذي يحدد العمر المطلق باستعمال حلقات الأشجار السنوية.

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

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

التاريخ النسبي relative-age dating: طريقة لترتيب الأحداث الجيولوجية بحسب حدوث بعضها نسبة إلى البعض الآخر.

التبلور الجزئي fractional crystallization: عملية تبلور بعض المعادن في الصهير في درجات حرارة مختلفة تؤدي إلى إزالة بعض العناصر منه فتتغير مكوناته الكيميائية.

التجوية weathering: عملية تكسّر "تفتت" المواد وتغيرها على سطح الأرض أو تحته بقليل.

التجوية الكيميائية chemical weathering: العملية التي تخضع فيها الصخور والمعادن لتغيرات في مكوناتها الكيميائية؛ لتفاعلها كيميائيًّا مع الأحماض والماء والأكسجين وغاز ثاني أكسيد الكربون.

التجوية الميكانيكية mechanical weathering: نوع من التجوية، وتسمى أيضًا التجوية الفيزيائية، حيث تتفتت الصخور والمعادن إلى قطع أصغر، ولا يحدث فيها أي تغير في مكونات الصخر، بل يتغير حجم الصخر وشكله فقط.

التحول الإقليمي Regional Metamorphism: أحد أنواع التحول، يحدث لمناطق واسعة من القشرة الأرضية عندما تتعرض لدرجة حرارة وضغط مرتفعين، مما يؤدي إلى تغير في التركيب المعدني للصخور وحدوث طيّ في طبقات القشرة.

التحول بالتماسّ Contact Metamorphism: أحد أنواع التحول، يحدث عندما تُلامس مواد مصهورة صخورًا صلبة، ويكون تأثيرها محدودًا ومحليًّا.

SA.GEO.SE.Ref-1.indd 243 4/8/19 5:05 PM

مسرد المصطلحات

التحول الحراري المائي Hydrothermal

Metamorphism: أحد أنواع التحول، يحدث عندما تتفاعل مياه ساخنة جدًّا مع الصخر فتغيّر مكوناته الكيميائية والمعدنية.

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

التراصّ Compaction: تقارب حبيبات الرسوبيات بسبب الضغط الناتج عن وزن الرسوبيات التي تعلوها، مما يؤدي إلى تغيرات فيزيائية في الصخر.

تراكم الجهد Stress accumulation: أحد العوامل التي تستعمل لتحديد احتمال وقوع زلزال على طول مقطع الصدع؛ حيث تتراكم الإجهادات ثم تتحرر مسببة حدوث الزلزال.

التركيب البلوري crystalline structure: بناء داخلي منتظم لدقائق البلورة في معظم المواد الصلبة، مما يعطيها شكلًا وحجمًا محددين.

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: عمليات تصاحب الاهتزازات الزلزالية، تحدث في المناطق الرملية المشبعة بالماء، وتؤدي إلى سلوك هذه المناطق سلوك السائل.

التصخّر lithification: عمليات فيزيائية وكيميائية تحوِّل الرسوبيات إلى صخور رسوبية.

التطبّق bedding: معلم ترسيبي للصخور الرسوبية، ويعد المعلم الرئيس لها، وهو وجودها على هيئة طبقات رسوبية أفقية يتراوح سمكها بين بضعة ملمترات إلى عدة أمتار.

التطبّق المتدرّج graded bedding: نوع من التطبق تترتب فيه الحبيبات الأثقل والأكبر حجمًا إلى أسفل.

التطبّق المتقاطع cross bedding: نوع من التطبق تترسب فيه طبقات مائلة من الرسوبيات فوق سطح أفقي.

تغذية المياه الجوفية recharge: عملية تزويد مياه الخزان الجوفي بمياه الهطول والجريان السطحي.

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 الصهارة والتوسع.

(ج)

الجبال البحرية Seamount: جبال بركانية بازلتية في قاع البحر، مغمورة في الماء، ترتفع أكثر من 1km عن قاع المحيط.

الجغرافيا القديمة Paleogeography: الوضع الجغرافي القديم لمنطقة ما.

جهاز قياس المغناطيسية Magnetometer: جهاز للكشف عن التغيرات الحقيقية التي تَحْدُث في صخور قاع المحيط في مجالاتها المغناطيسية واتجاهها.

(ح)

الحدود المتباعدة Divergent boundary: مناطق تتحرك عندها صفيحتان أرضيتان متباعدتين، ويصاحب ذلك نشاط بركاني وزلازل وتدفق حراري مرتفع، ويحدث هذا غالبًا في قاع المحيط.

الحدود التحويلية Transform boundary: مناطق تتحرك عندها صفيحتان أرضيتان أفقيًّا إحداهما بمحاذاة الأخرى، وتتميز بوجود صدوع طويلة وزلازل ضحلة.

SA.GEO.SE.Ref-1.indd 244 4/8/19 5:06 PM

مسرد المصطلحات

الحدود المتقاربة Convergent boundary: مناطق تتحرك عندها صفيحتان أرضيتان إحداهما تجاه الأخرى، ويصاحب ذلك تكوّن أخاديد بحرية وأقواس جزر بركانية، وجبال مطوية.

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

الحفظ الأصلي Original preservation: حفظ الأجزاء الرخوة والصلبة لبقايا المخلوق بعد موته، حيث لم تتغير إلا قليلًا.

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

الحمل الحراري Convection: نقل الطاقة الحرارية من المواد الساخنة إلى المواد الأقل حرارة.

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

(خ)

الخام ore: صخور تحتوي على معادن يمكن استخلاص فلز أو أكثر منها بصورة اقتصادية بالتعدين.

الخزان الارتوازي artesian aquifer: الخزان المائي الجوفي الذي تقع مياهه تحت الضغط.

الخزان المائي الجوفي aquifer: طبقات منفذة في باطن الأرض تتحرك فيها المياه الجوفية بسهولة.

(د)

دورة الصخر Rock cycle: مجموعة عمليات تتغير خلالها الصخور بشكل مستمر من نوع إلى آخر.

الدفع عند ظهر المحيط Ridge push: عملية تكتونية مرتبطة مع تيارات الحمل في ستار الأرض، وتحدث عندما يؤثر وزن ظهر المحيط المرتفع في الصفيحة المحيطية فيدفعها نحو نطاق الطرح.

الدهر Eon: أكبر الوحدات الزمنية في سلم الزمن الجيولوجي.

(ر)

الرسوبيات sediment: قطع صغيرة من الصخور تحركت وترسبت بفعل المياه أو الرياح أو الجليديات أو الجاذبية.

الرشح infiltration: عملية تسرب مياه الأمطار بعد سقوطها على اليابسة إلى جوف الأرض.

(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: ارتفاع الموجة الزلزالية الأكبر. و الزيادة الواحدة على مقياس رختر تمثل زيادة في سعة الموجة قدرها 10 أضعاف.

سلاسل تفاعلات باون Bowen's Reaction Series: نمط ثنائي التفرع يمثل كيفية تبلور المعادن من الصهارة بترتيب متسلسل يمكن توقعه.

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

السمنتة cementation: عملية ترسّب معادن ذائبة في المياه الجوفية، بين حبيبات الصخور الرسوبية، مما يسبب تلاحم الحبيبات معًا مشكِّلة صخرًا صلبًا.

SA.GEO.SE.Ref-1.indd 245 4/8/19 5:06 PM

السيليكات silicate: المعادن التي تحتوي الأكسجين والسيلكون مع وجود -على الأغلب- عنصر آخر أو أكثر.

(ش)

الشقوق Fissures: كسور طويلة في القشرة الأرضية.

(ص)

الصخر البازلتي basaltic rock: صخر ناري غامق اللون يحوي قليلًا من السيليكا، ويتكون في غالبيته من البلاجيوكليز والبيروكسين،وهو مثل الجابرو، ولونه غامق.

الصخر الجرانيتي granitic rock: صخر فاتح اللون ومحتواه من السيليكا مرتفع، ويتكون في غالبيته من الكوارتز والفلسبار البوتاسي البلاجيوكليزي.

الصخور الجوفية (المتداخلة) intrusive rocks: صخور نارية خشنة الحبيبات ، تتكون عندما يبرد المصهور الصخري ويتبلور ببطء داخل القشرة الأرضية.

الصخور الرسوبية الفتاتية clastic sedimentary rocks: أكثر أنواع الصخور الرسوبية شهرة، تتشكّل من تصخر الرسوبيات الفتاتية المفككة، وتتراكم على سطح الأرض، وتصنّف وفقًا لأحجام حبيباتها.

الصخور الرسوبية الكيميائية Chemical sedimentary rocks: تتكون بفعل ترسب المواد الذائبة في المسطحات المائية عندما يزيد تركيزها على حد الإشباع، ومن أمثلتها الجبس.

الصخور الرسوبية الكيميائية الحيوية Biochemical sedimentary rocks: تتكون من بقايا مخلوقات حية كانت تعيش في الماضي، ومن أمثلتها صخور الفوسفات والحجر الجيري.

الصخور السطحية extrusive rocks: صخور نارية ناعمة الحبيبات ، تتكون عندما يبرد المصهور الصخري ويتبلور بسرعة فوق سطح الأرض.

الصخور المتوسطة Intermediate rocks: صخور محتواها من السيليكا متوسط بين الصخور البازلتية والجرانيتية، ويتكون معظمها من معدني البلاجيوكليز والهورنبلند، ومن أمثلتها صخر الديوريت.

الصخور النارية igneous rock: صخور جوفية أو سطحية ناجمة عن تبريد وتبلور الصهارة أو اللابة.

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

الصواعد Stalagmite: رواسب على أرضية الكهف على شكل هرم صغير مكون من كربونات الكالسيوم.

(ض)

الضخ الجائر Overpumping: زيادة معدل سحب المياه من البئر على معدل تعويض المياه فيه بواسطة الأمطار.

(ط)

الطبقة العازلة aquiclude: طبقة غير منفذة تحجز الماء وتمنعه من التدفق كالطين وحجر الطمي والطَّفل.

الطبقة المرشدة Key bed: هي طبقة مميزة من الرسوبيات أو الصخور، تُستعمل مؤشرًا 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.

الطرح Subduction: عملية غطس صفيحة أرضية تحت صفيحة أرضية أخرى.

SA.GEO.SE.Ref-1.indd 246 4/8/19 5:06 PM

مسرد المصطلحات

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

(ظ)

ظهر المحيط Ocean ridge: سلسلة جبلية تحت سطح الماء تمتد في جميع قيعان المحيطات، ويبلغ طولها أكثر من 65000 km، وتحتوي على أحدث البراكين الخامدة.

(ع)

عدم التوافق Unconformity: سطح تعرية يكون بين طبقتين صخريتين، ويمثل فترة زمنية مفقودة 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 المشع، مثل تحلل نصف عدد ذرات نظير الكربون -14 المشع.

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

(غ)

غير المتورقة nonfoliated: صخور متحولة مكونة أساسًا من معادن ذات بلورات كتلية الشكل منها الكوارتزيت والرخام.

(ف)

الفتات clasts: قطع الصخر أو المعدن المتكسرة والمتحللة بفعل التجوية والتعرية، وتصنف تبعًا لأحجامها وأشكالها.

الفجوة الزلزالية Seismic gap: منطقة على طول صدع نشط لم تشهد 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 الصهارة في أثناء ثوران البركان أو بعده.

(ق)

القساوة hardness: مقياس لقابلية المعدن للخدش.

قناة البركان Conduit of volcano: مكان مرور الصهارة.

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

(ك)

الكمبرليت kimberlite: صخور نادرة فوق قاعدية تحتوي الألماس ومعادن أخرى، تكوَّنت تحت ضغط هائل جدًّا.

(ل)

اللابة lava: الصهارة التي تتدفق على سطح الأرض.

اللزوجة Viscosity: مقاومة المادة الداخلية للتدفق.

(م)

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

مبدأ الاحتواء Principle of medision: من مبادئ التاريخ النسبي للصخور، وينص على أن القطع الصخرية (المحتبسة) أقدم من الصخور التي تحتويها.

SA.GEO.SE.Ref-1.indd 247 4/8/19 5:06 PM

مسرد المصطلحات

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

مبدأ تعاقب الطبقات Superposition: مبدأ ينص على أنه في أي تعاقب طبقي تكون أقدم الطبقات الصخرية هي السفلى، وأحدث الطبقات هي العليا، وكل طبقة في التعاقب تكون أحدث من التي تقع أسفل منها.

مبدأ القاطع والمقطوع Cross-cuttingrelationship: مبدأ ينص على أن القاطع أحدث من المقطوع. ويعني من ناحية جيولوجية أن الصخور أو الصدوع التي تقطع صخورًا أخرى تكون هي الأحدث، والصخور المقطوعة هي الأقدم.

مبدأ النسقية Uniformitarianism: مبدأ ينص على أن العمليات الجيولوجية حدثت وتكررت منذ نشأة الأرض (الحاضر مفتاح الماضي).

المتبخرات evaporate: صخور رسوبية تتكون عندما يصل تركيز المعادن الذائبة في جسم مائي حد الإشباع بسبب التبخر الشديد، فتترسب بلورات حبيبية من المحلول وتهبط إلى القاع.

متورقة foliated: صخور متحولة تمتاز بترتيب المعادن المكونة لها في صفائح أو أحزمة.

المخدش streak: لون مسحوق المعدن.

المخطط الزلزالي Seismogram: سجل يتم الحصول عليه من مقياس الزلزال، ويوضح فيه مسار كل نوع من أنواع الأمواج الزلزالية.

المركز السطحي للزلزال Epicenter: نقطة على سطح الأرض تقع مباشرة فوق بؤرة الزلزال.

المسامية porosity: الحجم الكلي للمسامات في الصخر. وتزداد بزيادة درجة فرز حبيبات الصخر.

المضاهاة Correlation: مطابقة منكشفات صخرية معينة في منطقة ما مع منكشفات صخرية أخرى مشابهة لها في مناطق أخرى.

المعدن mineral: مادة طبيعية صلبة غيرعضوية، لها مكونات كيميائية معيَّنة، وبناء بلوري محدد.

المغناطيسية القديمة Paleomagnetism: سِجلّ مغناطيسي للأرض موثق في الصخور باستعمال بيانات جُمعت من معادن حاملة للحديد فيها؛ إذ تسجل هذه المعادن اتجاه المجال المغناطيسي للأرض وقت تشكلها.

المقذوفات البركانية الصلبة Tephra: شظايا من الصخور قذفت في الهواء في أثناء الثوران البركاني وسقطت على الأرض، وتُصنّف بحسب حجمها.

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

مقياس الزلزال Seismometer: جهاز حساس يتم الكشف به عن الاهتزازات الناجمة عن الأمواج الزلزالية.

مقياس العزم الزلزالي Moment magnitude scale: مقياس لقياس قوة الزلزال، اعتمادًا على حجم الكسر في الصدع، وصلابة الصخور، ومقدار الحركة على طول الصدع.

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

المكسر Fracture: شكل سطح المعدن الناتج عند كسره، يظهر على شكل قوس (محاري)، أو خشنًا، أو ذا حواف مسننة.

منسوب المياه الجوفية Water table: الحد العلوي لنطاق الإشباع، ويرتفع في أثناء المواسم الماطرة وينخفض في أثناء مواسم الجفاف.

SA.GEO.SE.Ref-1.indd 248 4/8/19 5:06 PM

(ن)

النسيج texture: حجم البلورات أو الحبيبات التي يتكون منها الصخر وشكلها وتوزيعها.

النسيج البورفيري Porphyritic texture: نسيج صخور يتميز بوجود بلورات كبيرة واضحة المعالم تحيط بها بلورات صغيرة من المعدن نفسه أو من معادن مختلفة.

النسيج الفقاعي vesicular texture: المظهر الإسفنجي للصخر؛ وينتج عن خروج الغازات من اللابة.

النشاط البركاني Volcanism: جميع العمليات المرتبطة مع تفريغ الصهارة والماء الساخن والبخار من باطن الأرض.

(و)

الوزن النوعي specific gravity: النسبة بين كتلة المادة إلى كتلة حجمها من الماء في درجة حرارة 4°c.

وسائد اللابة Pillow lava: شكل البازلت الذي يتكون عند ظهر المحيطات على هيئة وسائد ضخمة.

(هـ)

الهبوط في منسوب المياه الجوفية drawdown: الفرق بين منسوب المياه الجوفية الأصلي ومنسوب المياه أثناء عملية الضخ.

الهرم الرباعي الأوجه (هرم السيليكا) tetrahedron: جسم هندسي صلب محاط بأربعة أوجه من مثلثات متساوية الأضلاع على شكل هرم.

(ي)

الينبوع (العين) spring: تدفق المياه الجوفية بشكل طبيعي عند تقاطع منسوبها مع سطح الأرض.

الينبوع الساخن hot spring: ينبوع تزيد درجة حرارته على درجة حرارة جسم الإنسان البالغة 37°c.

الينبوع الفوار geyser: ينبوع ساخن فوار بصورة منتظمة.

SA.GEO.SE.Ref-1.indd 249 4/8/19 5:06 PM