

موقع حل دروسي هو موقع تعليمي يعمل على مساعدة المعلمين والطلاب وأولياء الأمور في تقديم حلول الكتب المدرسية والاختبارات وشرح الدروس والملخصات والتحاضير وتوزيع المنهج لكل المراحل الدراسية بشكل واضح ومبسط مجاناً بتصفح وعرض مباشر أونلاين على موقع حل دروسي

المملكة العربية السعودية

وزارة التعليم
Ministry of Education

قررت وزارة التعليم تدريس
هذا الكتاب وطبعه على نفقتها

علوم الأرض والفضاء

التعليم الثانوي - نظام المسارات

السنة الثالثة

قام بالتأليف والمراجعة
فريق من المتخصصين

طبعة 1447-2025

يُوزع مجّاناً ولا يُباع

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

ⓒ المركز الوطني للمناهج ، ١٤٤٦هـ

المركز الوطني للمناهج
علوم الأرض والفضاء – التعليم الثانوي – السنة الثالثة – نظام المسارات
. / المركز الوطني للمناهج .– الرياض ، ١٤٤٦هـ
٤٥٣ ص ؛ ٢٧.٥ x ٢١سم

رقم الإيداع : ١٦٨١٨ / ١٤٤٦

ردمك : ٥–١٨ – ٨٥٣٣ – ٦٠٣ – ٩٧٨

حقوق الطبع والنشر محفوظة لوزارة التعليم

www.moe.gov.sa

مواد إثرائية وداعمة على "منصة عين الإثرائية"

ien.edu.sa

أعزاءنا المعلمين والمعلمات، والطلاب والطالبات، وأولياء الأمور، وكل مهتم بالتربية والتعليم:
يسعدنا تواصلكم؛ لتطوير الكتاب المدرسي، ومقترحاتكم محل اهتمامنا.

fb.ien.edu.sa

أخي المعلم/أختي المعلمة، أخي المشرف التربوي/أختي المشرفة التربوية:
نقدر لك مشاركتك التي ستسهم في تطوير الكتب المدرسية الجديدة، وسيكون لها الأثر الملموس في دعم العملية التعليمية، وتجويد ما يقدم لأبنائنا وبناتنا الطلبة.

fb.ien.edu.sa/BE

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

رموز السلامة في المختبر
المخاطر والاحتياطات اللازم مراعاتها

رموز السلامة	المخاطر	الأمثلة	الاحتياطات	العلاج
التخلص من المخلفات	مخلفات التجربة قد تكون ضارة بالإنسان.	بعض المواد الكيميائية، والمخلوقات الحية.	لا تتخلص من هذه المواد في المغسلة أو في سلة المهملات.	تخلص من المخلفات وفق تعليمات المعلم.
ملوثات حيوية بيولوجية	مخلوقات ومواد حية قد تسبّب ضررًا للإنسان.	البكتيريا، الفطريات، الدم، الأنسجة غير المحفوظة، المواد النباتية.	تجنب ملامسة الجلد لهذه المواد، وارتد كمامة وقفازين.	أبلغ معلمك في حالة حدوث ملامسة للجسم، واغسل يديك جيدًا.
درجة الحرارة المؤذية	الأشياء التي قد تحرق الجلد بسبب حرارتها أو برودتها الشديدتين.	غليان السوائل، السخانات الكهربائية، الجليد الجاف، النيتروجين السائل.	استعمال قفازات واقية.	اذهب إلى معلمك طلباً للإسعاف الأولي.
الأجسام الحادة	استعمال الأدوات والزجاجيات التي تجرح الجلد بسهولة.	المقصات، الشفرات، السكاكين، الأدوات المدبّبة، أدوات التشريح، الزجاج المكسور.	تعامل بحذر مع الأداة، واتبع إرشادات استعمالها.	اذهب إلى معلمك طلباً للإسعاف الأولي.
الأبخرة الضارة	خطر محتمل على الجهاز التنفسي من الأبخرة.	الأمونيا، الأستون، الكبريت الساخن، كرات العث (النفثالين).	تأكد من وجود تهوية جيدة، ولا تشم الأبخرة مباشرة، وارتد كمامة.	اترك المنطقة، وأخبر معلمك فوراً.
الكهرباء	خطر محتمل من الصعقة الكهربائية أو الحريق.	تأريض غير صحيح، سوائل منسكبة، تماس كهربائي، أسلاك معرّاة.	تأكد من التوصيلات الكهربائية للأجهزة بالتعاون مع معلمك.	لا تحاول إصلاح الأعطال الكهربائية، واستعن بمعلمك فوراً.
المواد المهيّجة	مواد قد تهيج الجلد أو الغشاء المخاطي للقناة التنفسية.	حبوب اللقاح، كرات العث، سلك المواعين، ألياف الزجاج، برمنجنات البوتاسيوم.	ضع واقيًا للغبار وارتد قفازين وتعامل مع المواد بحرص شديد.	اذهب إلى معلمك طلباً للإسعاف الأولي.
المواد الكيميائية	المواد الكيميائية التي قد تتفاعل مع الأنسجة والمواد الأخرى وتتلفها.	المبيضات مثل فوق اكسيد الهيدروجين والأحماض كحمض الكبريتيك، القواعد كالأمونيا وهيدروكسيد الصوديوم.	ارتد نظارة واقية، وقفازين، والبس معطف المختبر.	اغسل المنطقة المصابة بالماء، وأخبر معلمك بذلك.
المواد السامة	مواد تسبب التسمم إذا ابتلعت أو استنشقت أو لمست.	الزئبق، العديد من المركبات الفلزية، اليود، النباتات السامة.	اتبع تعليمات معلمك.	اغسل يديك جيدًا بعد الانتهاء من العمل، واذهب إلى معلمك طلباً للإسعاف الأولي.
مواد قابلة للاشتعال	بعض الكيماويات التي يسهل اشتعالها بوساطة اللهب، أو الشرر، أو عند تعرضها للحرارة.	الكحول، الكيروسين، الأستون، برمنجنات الأسيتون، برمنجنات الشعر.	تجنب مناطق اللهب عند استخدام هذه الكيماويات.	أبلغ معلمك طلبًا للإسعاف الأولي واستخدم مطفأة الحريق حسب نوع المادة المحترقة والموضحة على المطفأة.
اللهب المشتعل	ترك اللهب مفتوحاً يسبب الحريق.	الشعر، الملابس، الورق، المواد القابلة للاشتعال.	اربط الشعر إلى الخلف (للطالبات)، ولا تلبس الملابس الفضفاضة، واتبع تعليمات المعلم عند إشعال اللهب أو إطفائه.	أبلغ معلمك طلبًا للإسعاف الأولي واستخدم مطفأة الحريق إن وجدت.

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

وقاية الملابس
يظهر هذا الرمز عندما تسبب المواد بقعًا أو حريقًا للملابس.

سلامة الحيوانات
يشير هذا الرمز للتأكيد على سلامة المخلوقات الحية.

نشاط إشعاعي
يظهر هذا الرمز عند استعمال مواد مشعة.

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

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

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 (2030) 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 علوم الأرض والفضاء لنظام المسارات في التعليم الثانوي داعمًا لرؤية المملكة العربية السعودية (2030) نحو الاستثمار في التعليم عبر "ضمان حصول كل طالب على فرص التعليم الجيد وفق خيارات متنوعة".

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، وبما يُعزز أيضًا مبدأ رؤية 2030 "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 (2030) 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.

فهرس أقسام الكتاب

الجزء الأول (1-1) 6

الجزء الثاني (1-2) 255

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

الجزء الأول (1-1)

قائمة المحتويات

دليل الطالب

كيف نستفيد من كتاب علوم الأرض والفضاء؟ 9

الفصل 1

تطور الكون **12**

1–1: نشأة الكون 14

1–2: النجوم والمجرات 24

التقنية والفلك 34

مختبر الفضاء 35

دليل مراجعة الفصل 36

تقويم الفصل 37

اختبار مقنن 39

الفصل 2

الميكانيكا السماوية **40**

2–1: قانون الجاذبية وقوانين كبلر 42

2–2: التقنية الفضائية 55

تطبيقات فضائية 65

مختبر الفضاء 68

دليل مراجعة الفصل 69

تقويم الفصل 70

اختبار مقنن 72

الفصل 3

المعادن **74**

3–1: ما المعدن؟ 76

3–2: أنواع المعادن وأهميتها 86

السياحة الجيولوجية 92

مختبر الجيولوجيا 93

دليل مراجعة الفصل 94

تقويم الفصل 95

اختبار مقنن 98

الفصل 4

الصخور **100**

4–1: ما الصخور النارية؟ 102

4–2: تصنيف الصخور النارية 108

الجيولوجيا والبيئة 114

4–3: تشكّل الصخور الرسوبية 116

4–4: أنواع الصخور الرسوبية 123

4–5: الصخور المتحولة 128

السياحة الجيولوجية 135

مختبر الجيولوجيا (1) 136

مختبر الجيولوجيا (2) 137

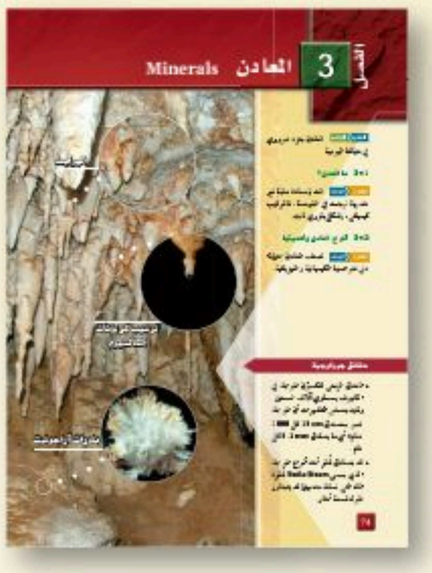
دليل مراجعة الفصل 138

تقويم الفصل 140

اختبار مقنن 146









وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

قائمة المحتويات

الفصل 5

الصفائح الأرضية وآثارها 150

1–5: انجراف القارات 152

2–5: توسع قاع المحيط 157

3–5: حدود الصفائح وأسباب حركتها 164

الجيولوجيا والبيئة 172

مختبر الجيولوجيا 173

دليل مراجعة الفصل 174

تقويم الفصل 175

اختبار مقنن 176

الفصل 6

البراكين والزلازل 178

1–6: ما البركان؟ 180

2–6: الثورانات البركانية 189

علم الأرض والتقنية 195

3–6: الأمواج الزلزالية وبنية الأرض 196

4–6: قياس الزلازل وتحديد أماكنها 204

5–6: الزلازل والمجتمع 210

الزلازل والمجتمع 217

مختبر الجيولوجيا 218

دليل مراجعة الفصل 219

تقويم الفصل 221

اختبار مقنن 223

مرجعيات الطالب

صفات المعادن ذات البريق الفلزي 228

صفات المعادن ذات البريق اللافلزي 229

خواص الصخور 230

صحيفة الحقائق الكوكبية 232

المعادن الفلزية في المملكة العربية السعودية 234

خريطة ظهور المحيطات 236

حدود الصفائح 238

جيولوجية شبه الجزيرة العربية 240

مواقع محطات الرصد الزلزالي في المملكة 242

مواقع المراكز السطحية للزلازل في العالم 243

الحرات في المملكة العربية السعودية 244

المعادن الصناعية في المملكة العربية السعودية 245

المصطلحات 246





وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

كيف نستفيد من كتاب علوم الأرض والفضاء ؟

عندما تقرأ كتاب علوم الأرض والفضاء 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.

قبـــل أن تقـــرأ

اقرأ كلًا من الفكرة العامة و الفكرة الرئيسة قبل قراءة الفصل أو في أثنائه؛ 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.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

كيف نستفيد من كتاب علوم الأرض والفضاء ؟

عندما تقرأ

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

الربط مع الحياة: يصف ارتباط المحتوى مع حياتك.



1-1

نشأة الكون

The Origin of the Universe

الأهداف
- يعرف الكون.
- يشرح مراحل نشأة الكون.
- يحسب عمر الكون.

مراجعة المفردات
التلسكوب: آلة فلكية حديثة صنعت لتقريب الأجسام البعيدة و توضيح الخافت.

المفردات الجديدة
علم الفلك
الفيزياء الفلكية
علم الكون
علوم الفضاء
نظرية الانفجار العظيم
الطاقة المظلمة
عمر الكون

الفكرة الرئيسة تعرف طبيعة الكون ونشأته وعرض طرائق فلكية لتحديد عمر الكون.

الربط مع الحياة طالما افتتن الناس بروعة السماء و تساءلوا دوماً عن كيفية بداية الكون و عن مآله، و نتيجة لذلك فقد ابتدع العلماء التخصصين بدراسة الكون يساندهم علماء الفلك و الفيزياء الفلكية نماذج تسعى الى تفسير: كيف بدأ الكون و كيف يتغير بمرور الزمن؟ و ماذا سيحل به في المستقبل؟

لماذا ندرس علم الكون؟ Why do we study cosmology?

حسب الوصف العلمي الحديث للكون فإنه ذلك الفضاء الشاسع الذي يحتوي على أعداد ضخمة لا حصر لها من المجرات والنجوم والكواكب بالإضافة إلى الكويكبات والمذنبات و الشهب الشكل 1-1. نفهم نشأة الكون يعمل على توسيع ادراكنا لما حولنا وخارج كوكبنا، فمثلاً يستفاد من فهم نشأة الكون وتطوره في فهم الظواهر الفيزيائية والكيميائية للكون. لقد اهتم البشر على مر الأزمنة والعصور بالظواهر المرتبطة بالكون مثل شروق الشمس وغروبها وتعاقب الليل والنهار وتعاقب فصول السنة المناخية وخسوف القمر وكسوف الشمس ومع مراقبتهم للسماء بنجومها المختلفة اعطوا للمجموعات النجمية مسميات مختلفة ترتبط بالبيئة المحيطة بهم مثل كوكبة الثور والعقرب والجبار والحمل والدب الأكبر والأصغر واستنتجوا العلاقة بين ظهور هذه المجموعات النجمية والفصول المناخية وما يرتبط بها من مواسم زراعية ومعظم العبادات في الإسلام مرتبطة بظواهر فلكية كأوقات الصلاة التي ترتبط بحركة الشمس الظاهرية فصلاة الفجر يبدأ وقتها من ظهور الشفق الأبيض ناحية الشرق إلى شروق الشمس وصلاة الظهر يبدأ وقتها حين تزول الشمس أي تبدأ في الانخفاض بعد أن وصلت أقصى ارتفاع لها في السماء وكما أن عبادتي الصيام والحج مرتبطتان بحركة القمر حول الأرض. والسفر في البحار بين البلدان يتطلب معرفة الاتجاهات والتي تتم بالاهتداء بالنجوم قال تعالى: ﴿ وَهُوَ الَّذِي جَعَلَ لَكُمُ النُّجُومَ لِتَهْتَدُوا بِهَا فِي ظُلُمَاتِ الْبَرِّ وَالْبَحْرِ ۗ قَدْ فَصَّلْنَا الْآيَاتِ لِقَوْمٍ يَعْلَمُونَ ﴾ سورة الأنعام الآية:97.

الشكل 1-1 كل شيء في الكون النظور مكون من مادة، ومن ذلك المجرات والنجوم والكواكب والمذنبات والشهب.

تمدد الكون Expansion of the Universe

أنجز عالم الفلك إدوين هابل في عشرينيات القرن الماضي اكتشافاً ثورياً يتعلق بالكون، وذلك باستخدام تلسكوب مرصد جبل ويلسون في لوس أنجلوس، حيث أثبت هابل أن الكون ليس ثابتاً وإنما يتمدد الشكل 7-1. بعد ذلك بعقود، وفي عام 1998 رصد التلسكوب هابل الفضائي -ذو النتائج الغزيرة- مستعراتٍ عظمى بعيدةً supernova، ووجد أن الكون منذ زمن طويل كان يتمدد بشكلٍ أبطأ مما يفعل الآن، وهذا الاكتشاف كان مفاجئاً فالمعتقد ولوقتٍ طويل بأن جاذبية مادة الكون ستُبطئ من تمدده أو حتى تسبب تقلصه. ومن أسباب تمدد الكون الطاقة المظلمة Dark Energy وهي قوة خفيه مجهولة النشأ تشكل 65% من محتوى الكون. وهذه الطاقة هي واحدة من أكثر مواضيع النقاش جدلاً في علم الكون، قال تعالى: ﴿ وَالسَّمَاءَ بَنَيْنَاهَا بِأَيْدٍ وَإِنَّا لَمُوسِعُونَ ﴾ سورة الذاريات الآية:47.

ماذا قرأت؟ فسر علاقة الطاقة المظلمة بتمدد الكون؟



الشكل 7-1 يوضح تصور تمدد الكون.

تجربة مسبار الجاذبية : (ناسا)

لمكتت وكالة الفضاء الأمريكية ناسا من اثبات النظرية النسبية العامة للعالم ألبرت أينشتاين من خلال إجراء تجربة علمية (مسبار الجاذبية) في 20 إبريل 2004 بدعم من مدينة الملك عبد العزيز للعلوم والتقنية. استمرت تجربة مسبار الجاذبية مدةً تبلغ نحو خمسة عقود، بدءاً من طرح فكرتها الأولى، وانتهاءً بعمليات التحليل لبياناتها العلمية وقد تطلب المشروع تطوير تقنيات متقدمة جداً. تعد النسبية العامة أفضل نظرية لدى العلم لتفسير آلية عمل قوة الجاذبية. لقد اعتقد الباحثون قبل عام 1916 أن المادة تتحرك بصورة غير مؤثرة عبر خلفيتي الزمان والمكان. ثم افترض أينشتاين أن الزمان والمكان يشكلان نسيجاً واحداً زمكان space-time بدلاً من الصورة السابقة. وقد جاءت النتائج مقاربة جداً للنتائج المتوقعة نظرياً لمبدأي النظرية النسبية. وقد أسهمت المدينة عبر التعاون التقني مع جامعة ستانفورد في تحليل البيانات الناتجة عن التجربة حيث تم إرسال عدد من المختصين في المدينة للعمل جنباً إلى جنب مع الباحثين في ستانفورد.

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

ماذا قرأت؟ أسئلة تقوّم مدى فهمك لما درسته.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

كيف نستفيد من كتاب علوم الأرض والفضاء ؟

مهارات قرائية

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

بعدما قرأت

اقرأ الخلاصة وأجب عن الأسئلة لتقويم مدى فهمك لما درسته.

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



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 14–5 كيف تحدث عملية توسع قاع المحيط حيث تندفع الصهارة إلى أعلى في أثناء توسع قاع المحيط؛ لأنها أسخن وأقل كثافة من الصخور التي حولها. وتقلا القارات الناتجة عن ابتعاد جانبي ظهر المحيط أحدهما عن الآخر. وعندما تصلب الصهارة تشكل قشرة محيطية جديدة تُضاف إلى سطح الأرض. وباستمرار عملية التوسع على طول ظهر المحيط تندفع صهارة أخرى إلى أعلى وتصلب. ويؤدي استمرار التوسع واندفاع الصهارة إلى استمرار تكوّن قشرة محيطية، تحرك ببطء مبتعدة عن ظهر المحيط. وأحدثت عملية التوسع هذه تحت سطح البحر. أما في جزيرة أيسلندا- وهي جزء من ظهر المحيط الأطلسي- فيحدث التوسع فوق مستوى سطح البحر. انظر الشكل 15–5 الذي يبين تدفق اللابة على طول ظهر المحيط. وقد درست سابقاً أن فاجر 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 مبتعدةً بعضها عن بعض عند ظهور المحيطات ساحبةً معها القارات. وستتعرف 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 15–5 تنتج جزيرة أيسلندا بأكملها على مركز توسع ظهر المحيط الأطلسي، لذا يزداد حجمها باستمرار، فمثلاً تدفق أكثر من $12km^3$ من اللابة البركانية عام 1783م. وفي عام 2011م حدث ثوران بركانيان في جنوب شرق أيسلندا، كان مهماً في تعطيل الملاحة الجوية في أوروبا.

مطوية الأنشطة والتوسع المحيطات
توسع قاع المحيط وتكوين القشرة المحيطية على ضفتي ظهر المحيط الأطلسي

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 وتصلب.
- عندما تتشكل قشرة محيطية جديدة تتحرك القشرة المحيطية القديمة مبتعدة عن ظهر المحيط.

فهم الأفكار الرئيسة

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

التفكير الناقد

5. وضح كيف تدعم خريطة تساوي العمر لقاع المحيط فرضية توسع قاع المحيط؟
6. حلل لماذا يكون عمر أقدم الأشرطة المغناطيسية في شرق المحيط الهادئ أكبر من نظائرها في المحيط الأطلسي؟

الرياضيات 7. التوسع الجيولوجي

7. حلل الشكل 11–5، ما نسبة فترات القطبية المغناطيسية المقلوبة في آخر خمسة ملايين سنة

163

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



الفصل 4 تقويم الفصل

مراجعة المفردات

أكمل الجمل الآتية مستعملاً المفردات التالية:

1. يسمى النسيج الناري الذي يتألف بأحجام كبيرة في أرضية من البلورات الصغيرة. .....
2. يدل عن الصخور النارية التي تتكون في ظروف تبريد سريعة إلى ..... .
3. يدل عن الصخور الغنية الفلسبار ذات البلورات كبيرة الحجم إلى ..... .
4. ينتج عن تراص الرسوبيات الفتاتية والتصاقها ..... .
5. تدعى طبقات الصخور الرسوبية التي تترسب مائلة على السطح الأفقي ..... .

ضع المصطلح الصحيح بدلاً من الكلمة التي أمامها خط:

6. تتصاعد الغازات من الصهارة مع تدفقها على سطح الأرض.
7. يصف بركان مونتسر للقشرة الترتيب الذي تبلور عن أساسه الماديون.
8. تتميز الصخور الجوفانية بلونها الغامق واحتوائها القليل من السيليكا.
9. تتكون اللابة في الأعماق تحت القشرة الأرضية.
10. أحدث لبنة في أثناء انتشار الرسوبيات يتناقص طاقة الماء
11. تتكوّن الصخور النصوانة الصفائحية من بلورات كثيفة الشكل.

140

اختر جملة تستعمل فيها زوج المفردات في كل مما يأتي:

12. الناية، الصخر الرسوبي الفتاتي
13. الراسب، التحلل
14. تدفق، التبخرات

تثبيت المفاهيم الرئيسة

15. ما أول العناصر التي تتكون عندما تبرد الصهارة؟
a. الكوارتز c. الفلسبار البوتاسي
b. الليوكا d. الأوليفين

استعمل الصورتين أدناه، في الإجابة عن السؤال 16.

16. ما العملية التي حدثت؟
a. الاتصال الجزئي c. التبلور الجزئي
b. الفصل البلوري d. الانصهار الجزئي

17. أيُّ أنواع الصهارة أغنى كمية أكبر من السيليكا؟
a. البازلتية c. الريولايتية
b. الأندزيتية d. البيريدوتية

18. أيُّ العوامل الآتية لا يؤثر في تكون الصهارة؟
a. الحجم c. الضغط
b. درجة الحرارة d. المكونات المعدنية

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.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

الفصل 1

تطور الكون
Evolution of the Universe



الفكرة العامة خلق الله- سبحانه وتعالى- الكون بما فيه من مجرات ونجوم وكواكب، وهو في حالة توسع دائم.

1-1 نشأة الكون

الفكرة الرئيسة تعرف طبيعة الكون ونشأته وعرض طرائق فلكية لتحديد عمر الكون.

1-2 النجوم والمجرات

الفكرة الرئيسة وصف مراحل دورة حياة النجوم، وتحديد موقعنا في مجرة درب التبانة.

حقائق فلكية

- يقع كوكب الأرض ضمن النظام الشمسي الذي يقع في مجرة درب التبانة والتي تعد واحدة من مئات بلايين المجرات .
- وزن ملعقة واحدة من المادة الخاصة بالنجم النيتروني تساوي وزن جبل شاهق على سطح الأرض.

نشاطات تمهيدية

تجربة استهلالية

هل يتمدد الكون كتمدد البالون ؟

التمدد يصف الحالة التي تبتعد بها الجزيئات عن بعضها بعضًا، في حين يمثل الانكماش الحالة العكسية للتمدد حيث تقترب فيها الجزيئات من بعضها بعضًا.



الخطوات

1. أحضر بالون مفرغ من الهواء.
2. بواسطة قلم ملون ضع على البالون مجموعة من النقاط على مسافات مختلفة.
3. ابدأ في نفخ البالون إلى أقصى حجم ممكن.

التحليل

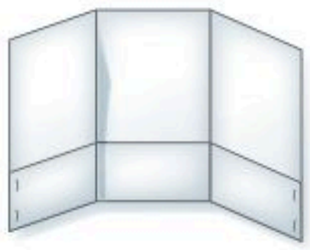
1. قارن بين حجم البالون قبل وبعد النفخ.
2. ما ملاحظاتك حول تغير المسافة بين نقاط البالون قبل النفخ وبعده؟
3. قارن بين النقاط على البالون و المجرات في الكون.
4. استنتج ما يحدث للكون.

المطويات
منظمات الأفكار

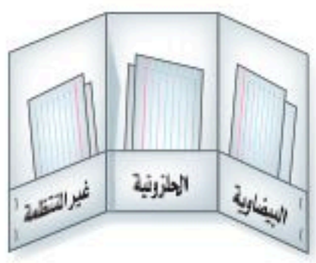
اصنع المطوية الآتية لتساعدك على تنظيم المعلومات وترتيب الأفكار الرئيسة المتعلقة بالمجرات وأنواعها.



الخطوة 1 اثن الطرف السفلي للورقة طوليًّا 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، وعَنوِنها بأنواع المجرات: البيضاوية، الحلزونية، وغير المنتظمة.

استخدم هذه المطوية في أثناء دراستك القسم 2–1، لتتعرف على مميزات بنية كل نوع.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

رابط الدرس الرقمي

www.ien.edu.sa

1-1

نشأة الكون

The Origin of the Universe

الفكرة الرئيسة **تعرف طبيعة الكون ونشأته وعرض طرائق فلكية لتحديد عمر الكون.**

الربط مع الحياة طالما افتتن الناس بروعة السماء و تساءلوا دومًا عن كيفية بداية الكون و عن مآله، و نتيجة لذلك فقد ابتدع العلماء المتخصصين بدراسة الكون يساندهم علماء الفلك و الفيزياء الفلكية نماذج تسعى الى تفسير: كيف بدأ الكون و كيف يتغير بمرور الزمن؟ و ماذا سيحل به في المستقبل؟

لماذا ندرس علم الكون؟ Why do we study cosmology?

حسب الوصف العلمي الحديث للكون فإنه ذلك الفضاء الشاسع الذي يحتوي على أعداد ضخمة لا حصر لها من المجرات والسدم والكواكب بالإضافة إلى الكويكبات والمذنبات و الشهب **الشكل 1–1**. لفهم نشأة الكون يعمل على توسيع ادراكنا لما حولنا وخارج كوكبنا، فمثلًا يستفاد من فهم نشأة الكون وتطوره في فهم الظواهر الفيزيائية والكيميائية للكون. لقد اهتم البشر على مر الازمنة والعصور بالظواهر المرتبطة بالكون مثل شروق الشمس وغروبها وتعاقب الليل والنهار وتعاقب فصول السنة المناخية وخسوف القمر وكسوف الشمس ومع مراقبتهم للسماء بنجومها المختلفة اعطوا للمجموعات النجمية مسميات مختلفة ترتبط بالبيئة المحيطة بهم مثل كوكبة الثور والعقرب والجبار والحمل والدب الأكبر والأصغر واستنتجوا العلاقة بين ظهور هذه المجموعات النجمية والفصول المناخية وما يرتبط بها من مواسم زراعية ومعظم العبادات في الإسلام مرتبطة بظواهر فلكية كأوقات الصلاة التي ترتبط بحركة الشمس الظاهرية فصلاة الفجر يبدأ وقتها من ظهور الشفق الأبيض ناحية الشرق إلى شروق الشمس وصلاة الظهر يبدأ وقتها حين تزول الشمس أي تبدأ في الانخفاض بعد أن وصلت أقصى ارتفاع لها في السماء وكما أن عبادتي الصيام والحج مرتبطتان بحركة القمر حول الأرض. والسفر في البحار بين البلدان يتطلب معرفة الاتجاهات والتي تتم بالاهتداء بالنجوم قال تعالى: ﴿ وَهُوَ ٱلَّذِى جَعَلَ لَكُمُ ٱلنُّجُومَ لِتَهْتَدُوا۟ بِهَا فِى ظُلُمَٰتِ ٱلْبَرِّ وَٱلْبَحْرِ ۗ قَدْ فَصَّلْنَا ٱلْءَايَٰتِ لِقَوْمٍ يَعْلَمُونَ ﴾ سورة الأنعام الآية:97.

الأهداف

- **يعرف** الكون.
- **يشرح** مراحل نشأة الكون.
- **يحسب** عمر الكون.

مراجعة المفردات

التلسكوب: آلة فلكية حديثة صنعت لتقريب الأجسام البعيدة و توضيح الخافته.

المفردات الجديدة

علم الفلك

الفيزياء الفلكية

علم الكون

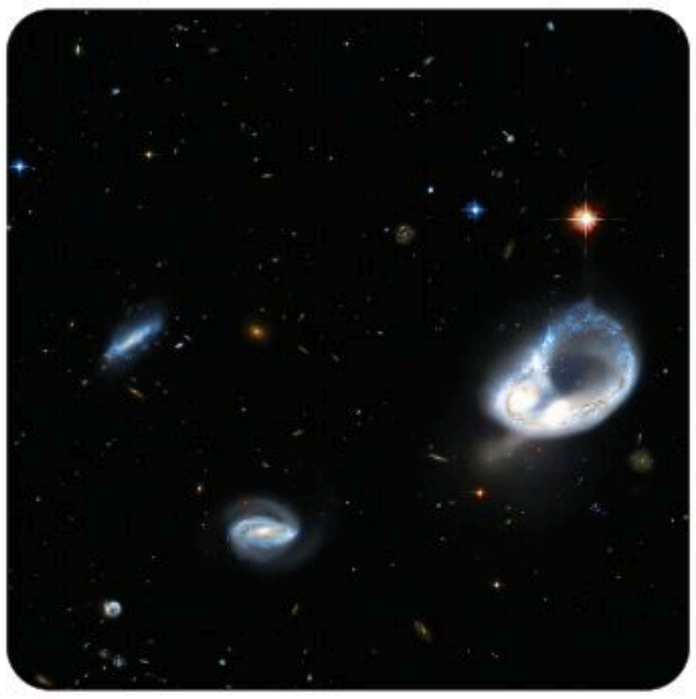
علوم الفضاء

نظرية الانفجار العظيم

الطاقة المظلمة

عمر الكون





الشكل 1–1 كل شيء في الكون المنظور مكون من مادة، ومن ذلك المجرات والنجوم والكواكب والمذنبات والشهب.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

وقبل أن نبدأ في دراسة تمدد الكون وكيفية تقدير عمر الكون سوف نوضح الاختلافات الرئيسية بين **علم الفلك Astronomy**، علم **الفيزياء الفلكية Astrophysics**، **علم الكون Cosmology** وعلوم **الفضاء Space science** في **جدول 1–1**.

مهن في علم الفضاء

يركز الفلكي في مجال مهنته على رصد الأجرام السماوية كتحري اهلة الشهور القمرية أو كفني تحليل البيانات في وكالات الفضاء . ويمكن للفلكي أن يمارس مهنته في القبب الفلكية لتثقيف الناس بمجال الفلك والفضاء عبر تقديمه عروضًا محاكيه للسماء.

الجدول 1–1 مقارنة بين العلوم المهتمة بدراسة الكون

الفرع	مجال الدراسة	أمثلة
علم الفلك **Astronomy**	العلم المعني بدراسة الأجرام السماوية.	المجرات، النجوم، الشمس، الكواكب، أقمار الكواكب، أشباه الكواكب، الكويكبات، المذنبات، الشهب.
الفيزياء الفلكية **Astrophysics**	مجال فرعي لعلم الفلك. يستخدم قوانين الفيزياء لوصف التغير في طبيعة الأجرام السماوية وأنشطتها المختلفة في جميع أطوال الطيف الكهرومغناطيسي.	النشاط الشمسي، تغيرات مظاهر سطوح وأغلفة الكواكب، مادة ما بين الكواكب، مادة مابين النجوم، تغير لمعان النجوم، نشاط المجرات، النجوم النيترونية، الثقب السوداء.
علم الكون **Cosmology**	دراسة نشأة الكون وتطوره.	نشأة الكون وتطوره حتى صار كما نراه اليوم.
علوم الفضاء **Space science**	يعنى باستكشاف الفضاء والمهمات الفضائية.	إطلاق الصواريخ وإنزال الحمولات منها في مدارات محددة أو باتجاه جرم سماوي كالمسابير.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

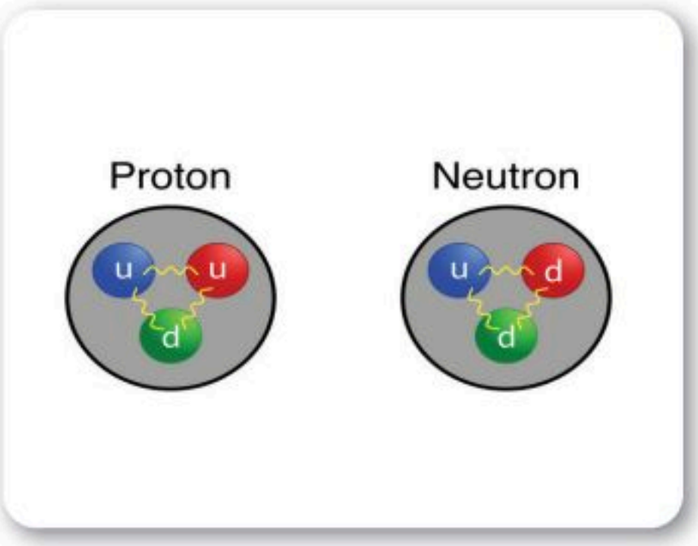
الكون: علم أساسي
Cosmology: The Central science

تم تفسير نشأة الكون عبر عدة مراحل تاريخية ظهرت خلالها العديد من النظريات الكونية التي بين أصحابها آلية نشأة الكون وتمدده وكان من أبرزها نظرية الانفجار العظيم التي حازت على قبول معظم علماء الفلك. وكان من أبرز أسباب قبولها بين أوساط العلماء هو نجاحها أيضًا في تفسير بعض من أرصاد العلماء مثل: وفرة الهيدروجين والهيليوم وإشعاع الخلفية الكوني.

نظرية الانفجار العظيم The Big Bang Theory

تعد **نظرية الانفجار العظيم Big Bang Theory** الأكثر قبولًا بين علماء الفلك من بين عدة نظريات حيث نصت نظرية الانفجار العظيم على أنه في لحظة معينة منذ ما يقرب من أربعة عشر مليار سنة كانت المادة والطاقة الموجودة مركزة في منطقة حجمها متناهٍ في الصغر وجميع قوى الطبيعة متحدة وهي القوة النووية والقوة الكهرومغناطيسة وقوة الجاذبية. ثم بدأ الكون في التمدد وتناقص درجة الحرارة بمعدل سريع جدًا.

ومع مرور الزمن، انخفضت درجة الحرارة إلى 1500 ترليون K، واكتسبت القوة الطبيعية خصائصها الحالية. كما أن الجسيمات الأولية (**وتعرف باسم الكواركات والليبتونات**) وهي وحدات البناء الأساسية للمادة، تتحرك في درجات حرية مختلفة في مستويات الطاقة. وعندما تمدد الكون و أصبح بحجم المجموعة الشمسية، امتلأ الكون بكل المادة التي يمكن قياسها. وفي هذه المرحلة اندمجت الكواركات وكونت نيوترونات وبروتونات كما هو موضح في **الشكل 2–1**.



الشكل 2–1 يوضح تشكل النيوترونات والبروتونات من الكواركات.

البروتون جسيم أولي شحنته موجبة، ويتكون من كواركين علويين **up** (الأحمر والأزرق)، وكوارك سفلي **down** (الأخضر)، النيوترون جسيم أولي متعادل الشحنة، ويتكون من كواركين سفليين **down** (الأخضر والأحمر)، وكوارك علوي **up** (الأزرق).

الربط مع الفيزياء

إن نقطة الصفر في مقياس كلفن تعرف بأنها الصفر المطلق. ووفقًا لمقياس كلفن فإن نقطة تجمد الماء (0°C) هي 273K تقريبًا، ونقطة غليان الماء هي 373K تقريبًا. وتسمى الدرجة الواحدة على هذا المقياس كلفن، وتساوي 1°C، لذا يكون $T_K = 273 + T_C$.

إرشادات للدراسة

إشعاع الخلفية الكونية CMB

هو الإشعاع الحراري الذي خلفه الانفجار العظيم، ويعتبره العلماء بمثابة صدى لنظرية الانفجار العظيم، ومع مرور الوقت برد هذا الضوء البدائي وضعف إلى حد كبير، ونكتشفه في الوقت الحاضر في مدى الموجات الميكروية (Microwaves).

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

المراحل الأولى من حياة الكون

The first stages of the universe's life

يمكن تقسيم المراحل الأولى، بعد الانفجار العظيم، من حياة الكون إلى فترات زمنية كما يلي:

المرحلة الأولى

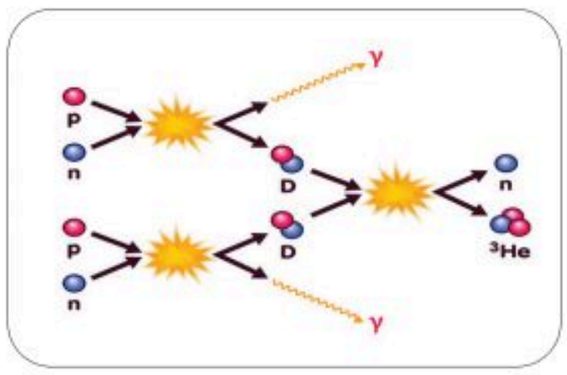
خلال 10^{-43} ثانية كانت درجة الحرارة تزيد عن 10^{32} K، وكانت جميع القوى الطبيعية متحدة وهي القوة النووية والقوة النووية الضعيفة والقوة الكهرومغناطيسية وقوة الجاذبية.

المرحلة الثانية

خلال 10^{-35} ثانية انخفضت الحرارة إلى 10^{27} K وبدأت عملية التمدد السريع في حجم الكون في هذه الفترة والتي تعرف بمرحلة التضخم (inflation)؛ حيث انفصلت القوى الطبيعية عن بعضها وأصبح لكل قوة خصائصها المميزة لها.

المرحلة الثالثة

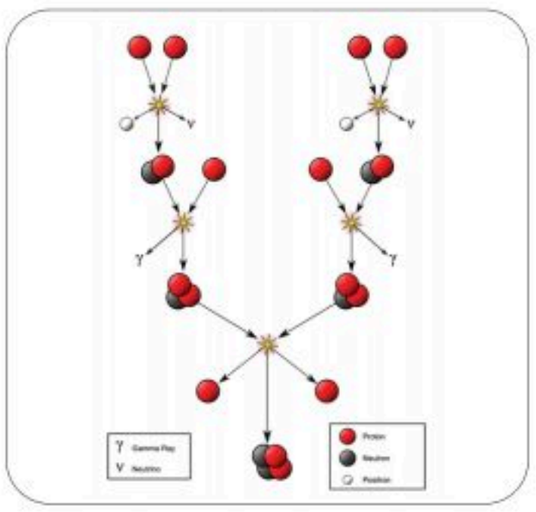
انخفضت الحرارة إلى 15×10^{14} K، وكانت المادة الأولية عبارة عن كواركات تتحرك في مجال من الطاقة، ثم انفصلت القوى النووية والنووية الضعيفة والكهرومغناطيسية والجاذبية وأصبحت القوى الأربع منفصلة.



الشكل 3–1 اتحاد النيوترونات والبروتونات لتكوين ذرة الهيليوم.

المرحلة الرابعة

عندما تمدد الكون إلى ألف مرة عن حجمه الأول فإن حجمه الجديد أصبح في حجم المجموعة الشمسية، وعندها بدأت الكواركات تندمج لتكون النيوترونات والبروتونات كما هو موضح في **الشكل 2–1**.

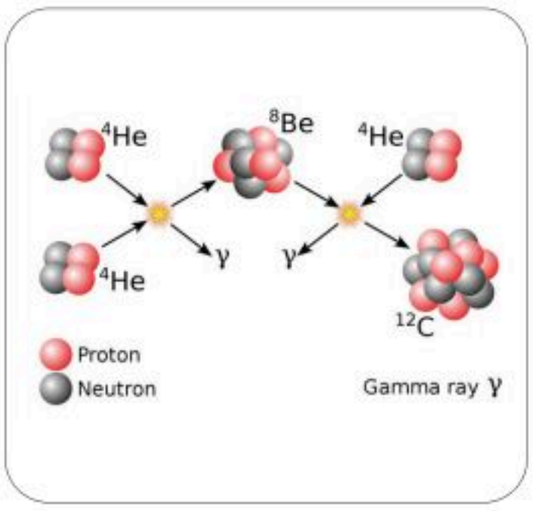


الشكل 4–1 يوضح التفاعلات النووية الاندماجية لتكوين العناصر والتي تعرف بسلسلة برتون–برتون.

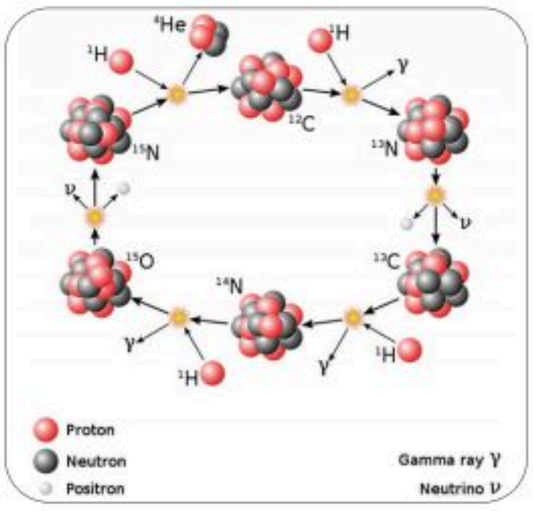
المرحلة الخامسة

تمدد الكون إلى ألف مرة أكبر من حجم المجموعة الشمسية، ومن ثم اندمجت النيوترونات والبروتونات لتكون نويات ذرات الهيليوم والديوتيريوم (وأحيانًا يسمى «الهيدروجين الثقيل»، وهو الذرة التي تحتوي نواتها على بروتون واحد ونيوترون واحد، وتسمى نواة الديوتريوم) كما هو موضح في **الشكل 3–1**. كل هذا حدث خلال الدقيقة الأولى من عمر الكون من تمدد واتساع وانخفاض في درجة الحرارة وفي الكثافة. ومع ذلك ، كانت الظروف لا تزال شديدة الحرارة بحيث لا تستطيع النوى الذرية التقاط الإلكترونات لتكون باقي العناصر الكيميائية.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447



الشـكل 5–1 يوضح التفاعـلات النووية الاندماجية لتكوين العنـاصر والتي تعرف بعملية ثلاثية ألفا.



الشـكل 6–1 يوضح التفاعـلات النووية الاندماجية لتكوين العنـاصر والتي تعرف بدورة كربون نيتروجين أوكسجين.

المرحلة السادسة

بعد 300 ألف سـنة من نشـأة الكـون ينكمش ألف مرة مـن حجمه الحالي، ومع انخفاض درجة حـرارة الكون أصبحت الظروف مهيـأة لتكون الذرات **الشكل 4–1**، ومن ثم تجمعت الذرات مكونة سحب من الغاز والتي تطورت بعد ذلك لتكون النجوم.

المرحلة السابعة

حينـما وصل حجم الكـون لخُمس حجمه الحالي تكونـت النجوم وتجمعت في حشـود نجمية كروية وتجمعت الحشـود النجمية مكونة فيما يمكن أن يسمى مجرات حديثة الولادة.

المرحلة الثامنة

عندما أصبح الكـون يبلغ نصف حجمه الحالي، أنتجـت التفاعلات النووية الاندماجية في النجوم معظم العناصر الثقيلة التي تتكون منها الكواكب الأرضية كما في **الجدول 2–1** و**الأشـكال 4–1، 5–1، 6–1**. وقبل خمسة مليار سنة تشـكل نظامنا الشـمسي، عندما كان حجم الكون ثلثي حجمه الحالي. وبمرور الوقت، اسـتهلك تكوين النجوم إمدادات الغاز في المجـرات، وبالتالي تضاءل عدد النجوم من الجيل الأول. ويتوقع أنه بعد خمسـة عشر مليار سـنة من الآن، ستكون النجوم مثل شمسنا الحالية.

الجدول 2–1

يوضح التفاعلات النووية الاندماجية وتكون العناصر ودرجات الحرارة التي يتم عندها الاندماج النووي.

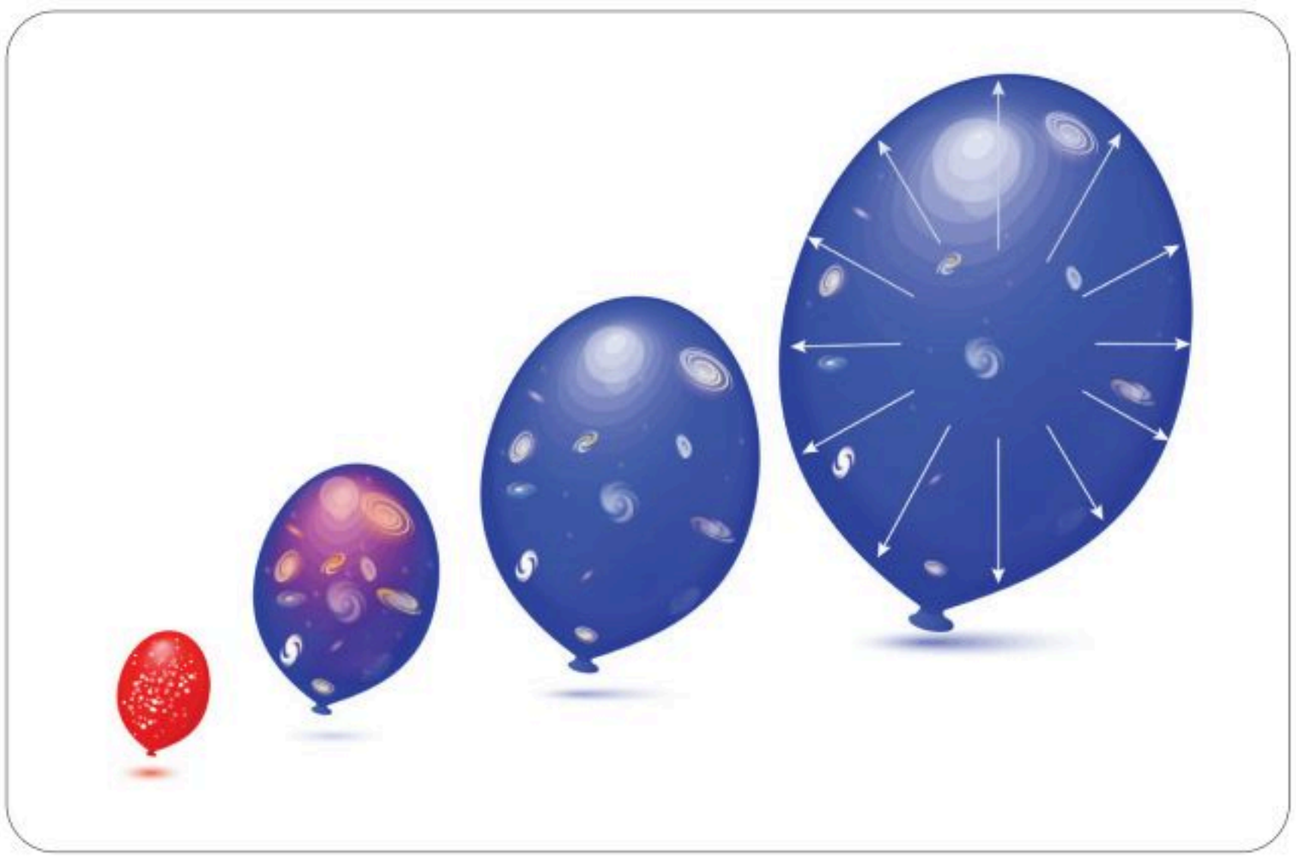
نوع الاندماج	التفاعل الاندماجي	درجة الحرارة (كلفن)
(4–1)سلسلة برتون – برتون	$H \rightarrow {}^{4}He$	$10x10^{6}$
(5–1)عملية ثلاثية ألفا	${}^{4}_{2}He \rightarrow {}^{12}_{6}C$	$100x10^{6}$
(5–1)عملية ثلاثية ألفا	${}^{12}_{6}C \rightarrow {}^{16}_{8}O$	$600x10^{6}$
(6–1) دورة كربون نيتروجين أوكسجين	${}^{16}_{8}O \rightarrow {}^{20}_{10}Ne$ ${}^{16}_{8}O \rightarrow {}^{32}_{16}Si$	$1500x10^{6}$

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

تمدد الكون Expansion of the Universe

أنجز عالم الفلك إدوين هابل في عشرينيات القرن الماضي اكتشافًا ثوريًّا يتعلق بالكون، وذلك باستخدام تلسكوب مرصد جبل ويلسون في لوس أنجلوس، حيث أثبت هابل أن الكون ليس ثابتًا وإنما يتمدد **الشكل 7–1**. بعد ذلك بعقودٍ، وفي عام 1998 رصد التلسكوب هابل الفضائي -ذو النتائج الغزيرة- مستعراتٍ عظمى بعيدةً supernova، ووجد أن الكون منذ زمنٍ طويلٍ كان يتمدد بشكلٍ أبطأ مما يفعل الآن، وهذا الاكتشاف كان مفاجِئًا فالمعتقد ولوقتٍ طويلٍ بأن جاذبية مادة الكون ستُبطِئ من تمدده أو حتى تسبب تقلصه. ومن أسباب تمدد الكون **الطاقة المظلمة Dark Energy** وهي قوة خفيه مجهولة المنشأ تشكل 65% من محتوى الكون. وهذه الطاقة هي واحدة من أكثر مواضيع النقاش جدلًا في علم الكون، قال تعالى: ﴿وَٱلسَّمَآءَ بَنَيۡنَٰهَا بِأَيۡيْدٖ وَإِنَّا لَمُوسِعُونَ﴾ سورة الذاريات الآية:47.

ماذا قرأت؟ **فسر** علاقة الطاقة المظلمة بتمدد الكون؟



الشكل 7–1 يوضح تصور تمدد الكون.

تجربة مسبار الجاذبية : (ناسا)

KACST
مدينة الملك عبدالعزيز للعلوم والتقنية

تمكنت وكالة الفضاء الامريكية ناسا من اثبات النظرية النسبية العامة للعالم ألبرت أينشتاين من خلال إجراء تجربة علمية (مسبار الجاذبية) في 20 إبريل 2004 بدعم من مدينة الملك عبد العزيز للعلوم والتقنية. استمرت تجربة مسبار الجاذبية مدةً تبلغ نحو خمسة عقود، بدءاً من طرح فكرتها الأولى، وانتهاءً بعمليات التحليل لبياناتها العلمية وقد تطلب المشروع تطوير تقنيات متقدمة جداً. تعد النسبية العامة أفضل نظرية لدى العلم لتفسير آلية عمل قوة الجاذبية. لقد اعتقد الباحثون قبل عام 1916 أن المادة تتحرك بصورة غير مؤثرة عبر خلفيتي الزمان والمكان. ثم افترض آينشتاين أن الزمان والمكان يشكلان نسيجاً واحداً زمكان space–time بدلاً من الصورة السابقة. وقد جاءت النتائج مقاربة جداً للنتائج المتوقعة نظرياً لمبدأي النظرية النسبية. وقد أسهمت المدينة عبر التعاون التقني مع جامعة ستانفورد في تحليل البيانات الناتجة عن التجربة حيث تم إرسال عدد من المختصين في المدينة للعمل جنبا إلى جنب مع الباحثين في ستانفورد.

تجربة عملية
سر الثقوب السوداء
ارجع إلى دليل التجارب العملية على منصة عين الإثرائية

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

قانون هابل في تمدد الكون
Hubble's Law in Expantions of Universe

وينص هذا القانون الذي توصل إليه عالم الفلك الشهير هابل على أن السرعة التي تتباعد بها المجرات عن الأرض تتناسب طرديًا مع المسافة بين الأرض والمجرات؛ أي أن المجرات في كل الاتجاهات في الكون تتباعد بسرعات عالية، وكلما كانت المجرات أبعد فإنها تتباعد بسرعات أكبر. ومن ملاحظات هابل أن نسبة السرعة إلى المسافة ثابتة، وفي هذا الحساب نفترض أن الكون تمدد منذ الانفجار العظيم مع تحرك جميع المكونات بسرعات ثابتة بالنسبة لبعضها بعضًا.

الربط مع الفيزياء

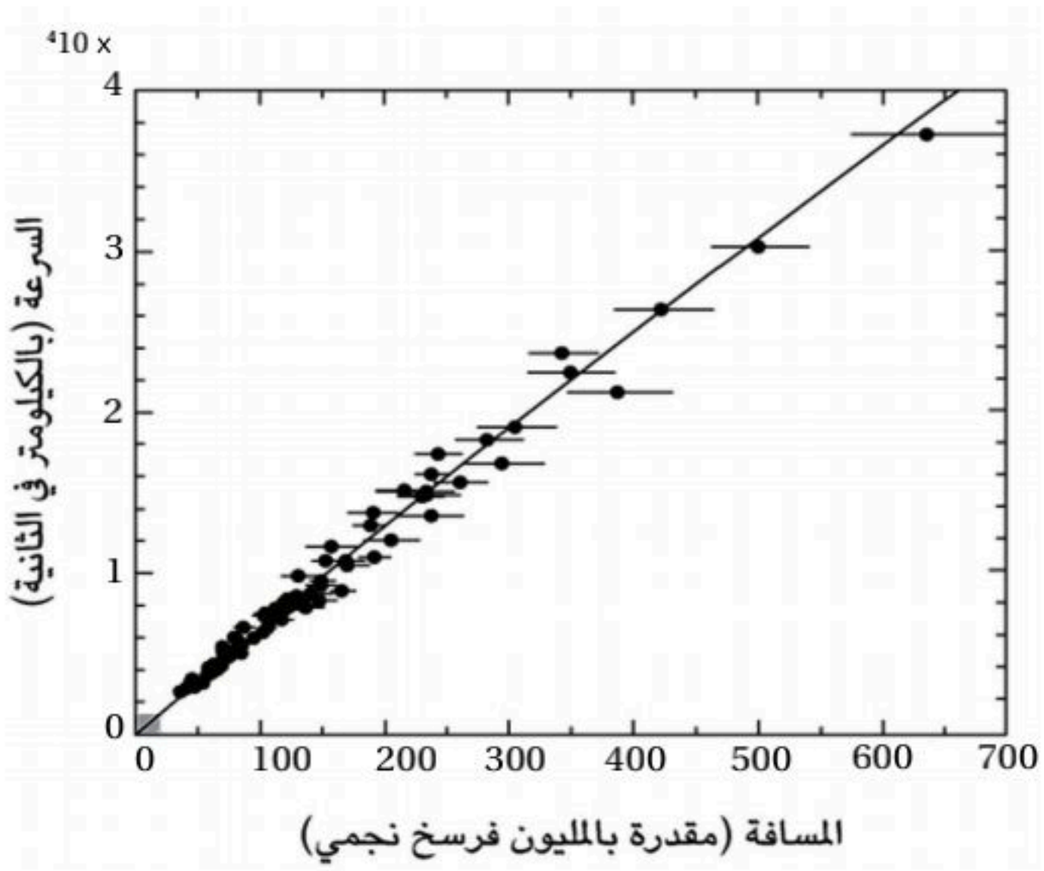
توصل هابل إلى إثبات توسع الكون و حساب عمر الكون عن طريق تأثير دوبلر وهو تغير ظاهري للطول الموجي عندما ترصد من قبل راصد متحرك بالنسبة لمصدر الموجات .

حساب ثابت هابل
Hubble's constant calculation

من خلال **الشكل 8–1** الذي يوضح علاقة المسافة بين المجرات والأرض وسرعة التباعد إذ إن النسبة بين السرعة والمسافة تعطي مقدارًا ثابتًا وهو ما يسمى بثابت هابل H_o.

$$H_o = \frac{v}{d}$$

حيث (H_o) هو ثابت هابل، و(d) هي المسافة بين الأرض والمجرة، و (v) هي سرعة تباعد المجرة عن الأرض.



الشكل 8–1 ثمة علاقة خطية بين معدل التمدد الكوني (المقدر هنا بالكيلومتر في الثانية) والمسافة (المقدرة بالمليون فرسخ نجمي، حيث يعادل الفرسخ النجمي3.26 سنة ضوئية).

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

عمر الكون Age of the Universe

إذا كان تمدد الكون يسير بمعدل ثابت، فسيكون من اليسير للغاية الربط بين ثابت هابل وبين عمر الكون؛ فجميع المجرات يبتعد بعضُها عن بعض في وقتنا الحالي، لكن لا بد أنها كانت في البداية في الموضع ذاته. وكل ما نحتاج إليه هو حساب ذلك الوقت الذي كانت فيه المجرات في الموضع ذاته؛ ومن ثم يكون **عمر الكون Age of the Universe** هو الزمن المنقضي منذ وقوع ذلك الحدث. إن عمر الكون ما هو إلا معكوس ثابت هابل – عملية حسابية بسيطة–. وفي ضوء التقديرات الحالية لثابت هابل، فإن عمر الكون يبلغ نحو13.8 مليار عام.

ميل خط الرسم البياني في **الشكل 8–1**. هو $\frac{V}{D}$ وهو ثابت هابل.

$$H_o = \frac{v}{d} \qquad .1$$

والمسافة مقسومة على السرعة تساوي الزمن أي:

$$t = \frac{d}{v} \qquad .2$$

من معادلة (1)

$$v = dH_o \qquad .3$$

وباستبدال معادلة 3 في معادلة 2 نحصل على:

$$t = \frac{1}{H_o} \qquad .4$$

بأخذ ثابت هابل ليكون 71 كيلومترًا في الثانية لكل ميجا فرسخ حيث يمثل 1 فرسخ فلكي (الفرسخ الفلكي يساوي 3.26 سنة ضوئية).

لذلك: الكيلومتر = 1000 متر والميجا فرسخ = 3.09×10^{22} متر

$$H_o = \frac{71000\ m/s}{3.09\times10^{22}\ m} = 2.29\times10^{-18}\ s^{-1}$$

وبالتعويض عن قيمة ثابت هابل في معادلة 4

$$t = \frac{1}{2.29\times10^{-18}\ s^{-1}} \qquad .5$$

$$t = 4.36\times10^{17}\ s$$

وبتحويل الثواني إلى سنوات نحصل على:

$$t = \frac{4.36\times10^{17}}{60\times60\times24\times365}$$

$$t = 13.8\times10^{9}\ y$$

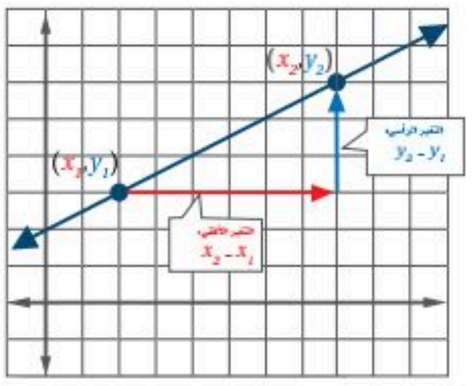
أي أن عمر الكون يصل إلى 13.8 مليار سنة.

الربط مع الرياضيات

في المستوى الإحداثي، ميل المستقيم هو نسبة التغير في الإحداثي x بين أي نقطتين عليه.

ويعطي الميل m لمستقيم يحوي نقطتين إحداثياهما (x_1, y_1) و (x_2, y_2) بالصيغة:

$$m = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}$$



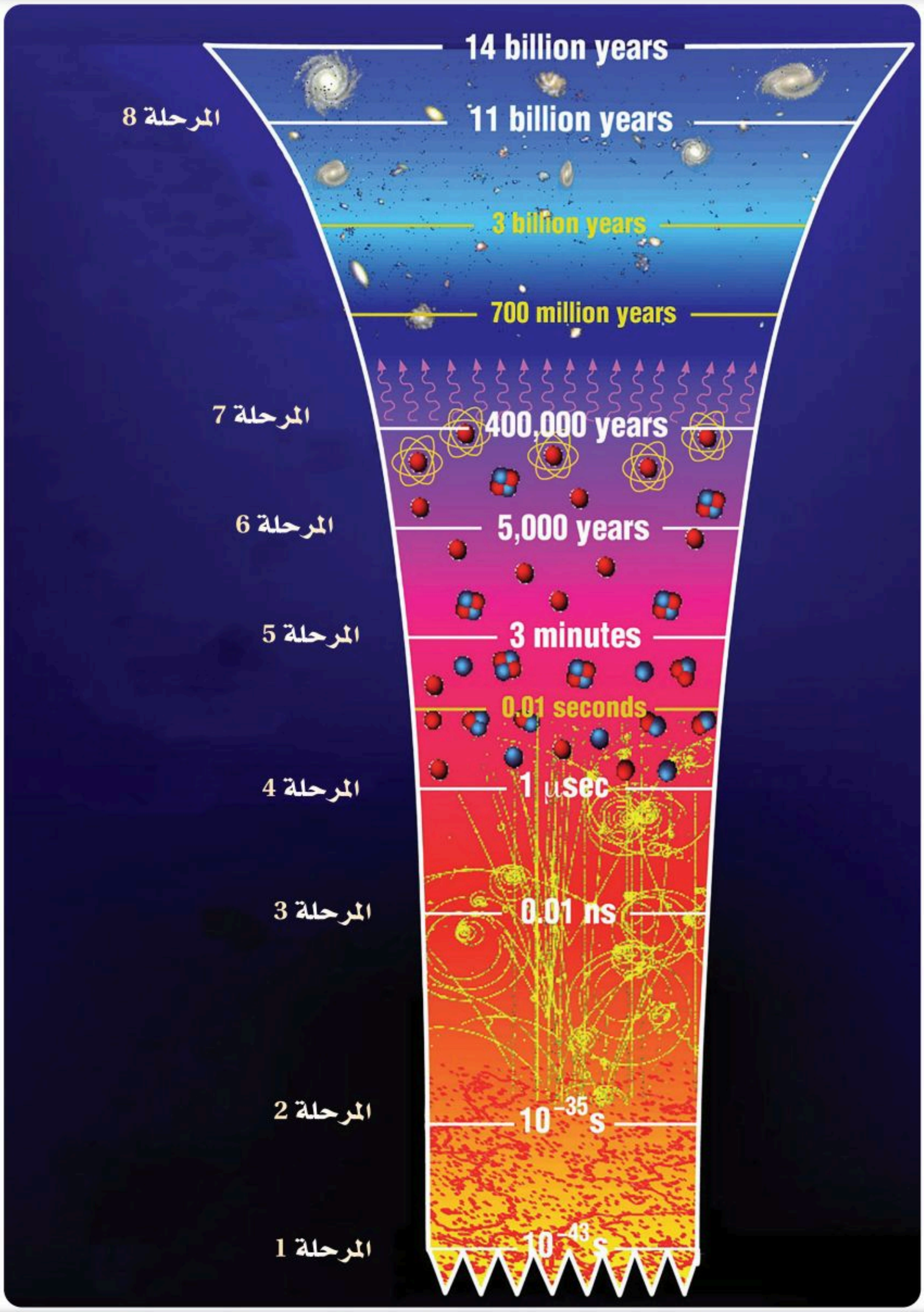


مجسات النجوم المتفجرة

آدم ريس هو عالم أمريكي في علم الفلك في جامعة جونز هوبكنز ومعهد علوم تلسكوب الفضاء وهو معروف بأبحاثه في مجال استخدام مجسات النجوم المتفجرة. حصل على جائزة نوبل في الفيزياء لعام 2011 مناصفة مع سول بيرلموتر وبريان شميدت، كما حصل في العام ذاته – مع سول بيرلموتر على قلادة ألبرت أينشتاين–.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

مخطط يوضح مراحل تطور الكون



الربط مع التقويم:

يعجُّ الفضاء بمليارات الأجرام السماوية، منها أجسام صخرية صغيرة تدور حول الشمس يطلق عليها "كويكبات"، وقد اعتمدت الأمم المتحدة يوم 30 يونيو ليكون اليوم العالمي للكويكبات، إذ يَعتقد العلماء أن الكويكبات تشكّلت منذ نشأة الكون وتطورت من بقايا تكوين نظامنا الشمسي قبل حوالي 4.6 مليار سنة؛ حيث منعت ولادة كوكب المشتري أي كواكب من التكون في الفجوة بينه وبين المريخ، مما تسبب في اصطدام الأجسام الصغيرة التي كانت هناك مع بعضها البعض وتفتتها لتشكل الكويكبات التي نعرفها اليوم.



التقويم 1-1

الخلاصة

- الكون في حالة توسع وتمدد دائم وتم رصد تمدد الكون من قبل العالم هابل
- نصت نظرية الانفجار العظيم على أنه في لحظة معينة منذ ما يقرب من اربعة عشر مليار سنة كانت المادة والطاقة الموجودة مركزة في منطقة حجمها متناهي في الصغر

فهم الأفكار الرئيسة

1. هل يمكن اعتبار التجمع النجمي عبارة عن مجرة وليدة؟ ولماذا؟
2. ما مدى أهمية الفيزياء الفلكية في دراسة نشأة الكون و تطوره؟

التفكير الناقد

3. لماذا حازت نظرية الانفجار العظيم على قبول معظم العلماء عن غيرها من النظريات التي تتناول نشأة الكون؟

الرياضيات في الفلك

4. تبعد مجرة الدوامة 23 Mly عن كوكب الارض. باستعمال القيمة 20.8 km /s /Mly لثابت هابل. أوجد سرعة تباعد هذه المجرة؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

رابط الدرس الرقمي

www.ien.edu.sa

1-2

النجوم والمجرات

Stars and Galaxies

الأهداف

- **يشرح** دورة حياة النجوم.
- **يصنف** أنواع المجرات.
- **يوضح** تركيب مجرة درب التبانة.

المفردات الجديدة

النجم

النجوم المزدوجة

الحشود النجمية

الوسط بين النجوم

التوازن الهيدروستاتيكي

العمالقة الحمراء

سديم كوكبي

قزم أبيض

قزم أسود

مستعر أعظم

النجم النيتروني

ثقب أسود

المجرة

الفكرة الرئيسة وصف مراحل دورة حياة النجوم، وتحديد موقعنا في مجرة درب التبانة.

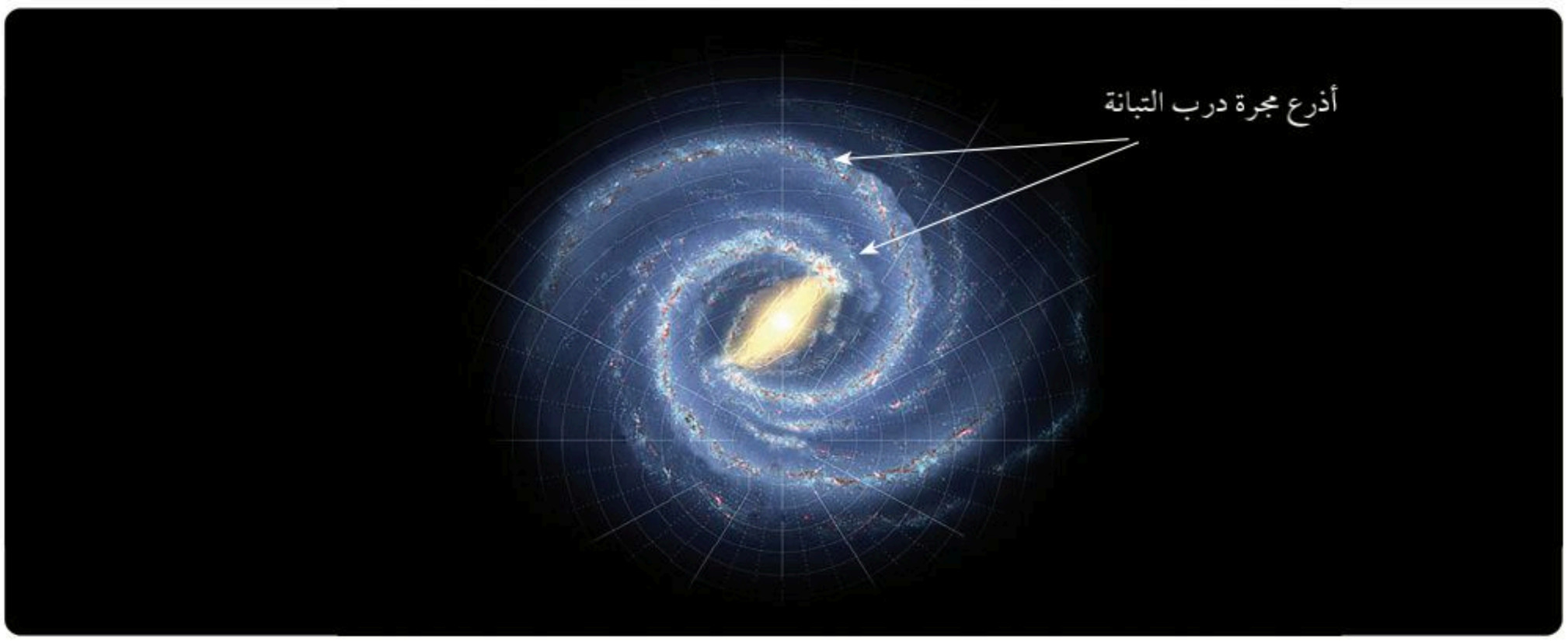
الربط مع الحياة تعد النجوم اللبنة الأساسية للمجرات منذ نشأة الكون وتطوره، وهي من أبرز الأجرام السماوية التي حازت على اهتمام الإنسان منذ القدم، وكانت العرب تستخدمها قديمًا للاستدلال بالاتجاهات وفصول السنة، قال تعالى: ﴿وَهُوَ ٱلَّذِى جَعَلَ لَكُمُ ٱلنُّجُومَ لِتَهْتَدُوا۟ بِهَا فِى ظُلُمَٰتِ ٱلْبَرِّ وَٱلْبَحْرِ﴾ سورة الأنعام الآية: 97.

النجم star عبارة عن جرم غازي متألق تتولد الطاقة في باطنه بواسطة تفاعلات الاندماج النووي، و تمر النجوم بدورة حياة تمتد إلى مليارات السنين ؛ فهي تولد وتتطور وتموت ومن ثم تولد نجوم أخرى، وتميل النجوم إلى التكون في مجموعات مثل: **النجوم المزدوجة Binary star**، وهما نجمان مرتبطان جاذبيًا ، يدوران حول بعضهما، و**الحشود النجمية Star Cluster** التي تحتوي على مئات الألوف من النجوم، ويمكن أن يولد النجم مفردًا.

يتكون **الوسط بين النجوم interstellar medium** من الغاز والغبار بكثافة مختلفة؛ فنجد مناطق كثافتها عالية ومناطق أخرى ذات كثافة منخفضة، يحتوي الغاز في غالبيته على الهيدروجين والهيليوم وأيضًا بعض العناصر الأثقل مثل ذرات الكربون، والأوكسجين والنيتروجين والسليكون. يتواجد الهيدروجين في الوسط بين النجوم إما في الحالة الذرية ^{1}H أو المتأينة $^{1}H^{+}$ أو الجزيئية H_2 ، وعند وجوده في الحالة الجزيئية يطلق على سحب الغاز والغبار بالسحب الجزيئية وهي سحب تتكون من جزيئات الهيدروجين والهيليوم والكربون والنيتروجين والأوكسجين. تتميز هذه السحب بكثافة عالية ودرجات حرارة أعلى وتتواجد بكثرة في أذرع مجرة درب التبانة، وهي أذرع لولبية تمتد من مركز المجرات الحلزونية **الشكل 9–1**.

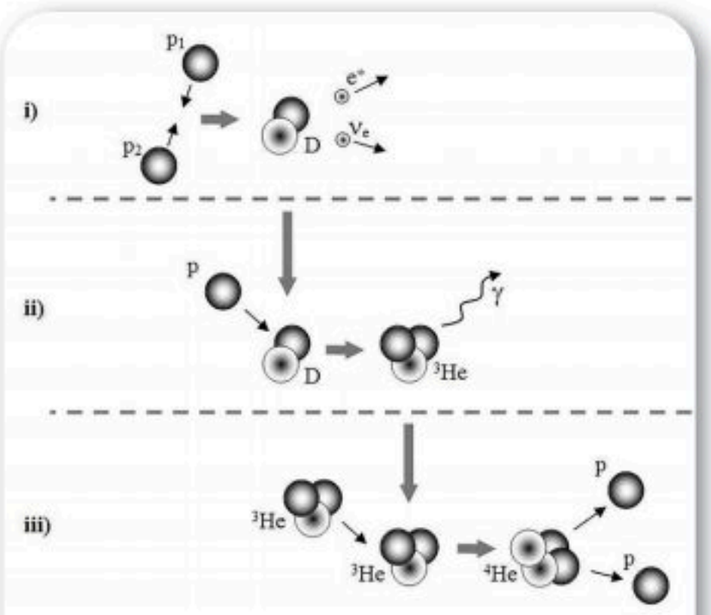
تولد النجوم في السحب الجزيئية وتمر بعدة مراحل تمتد لملايين السنين، تنكمش السحابة تحت تأثير جاذبيتها ثم يبدأ الغاز والغبار بالتكور ويسمى النجم حينها بالنجم الأولي، ومع زيادة الضغط تبدأ حرارة اللب المنكمش بالارتفاع، وعند ارتفاع درجة الحرارة ما بين 10–15 مليون درجة مئوية تبدأ تفاعلات الاندماج النووي وتحول الهيدروجين إلى هيليوم في تفاعلات موضحة في **الشكل 10–1** لتبدأ بذلك حياة النجم.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447



الشكل 9–1 صورة افتراضية لأذرع مجرة درب التبانة.

بعـد تفاعلات الاندماج النـووي وهي تفاعلات يتم فيهـا دمج نواتين خفيفتان لتكوين نواة أثقل مع إطلاق كميات هائلة من الطاقة، ترتفع درجة الحرارة و يتكون ضغط حراري عالي في اللب يدفع الطاقة الى الخارج، ويواجه النجم في المقابل قوة معاكسة وهي قوة الجاذبية التي تدفع الى الداخل، يستقر النجم عنـد موازنة قوة الجاذبية الداخلية بواسـطة قـوة الضغط الخارجية ويسـمى هذا التوازن **بالتوازن الهيدروستاتيكي Hydrostatic Equilibrium** **الشكل 11–1**. تحدد كتلة النجم المولود درجة حرارته وحجمه ولونه حيث أن النجم الأقل سـخونة يكون باللون الأحمر ثم الأصفر ثم الأبيض وأخيرًا عند درجات الحرارة العالية جدًا يكون النجم أزرق.

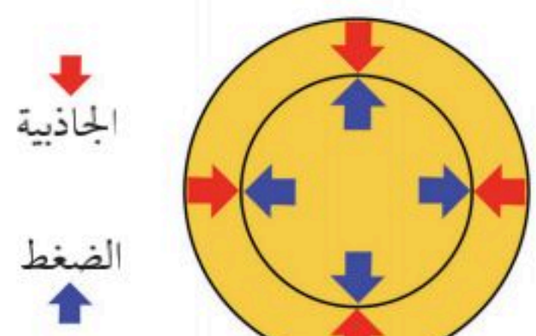


الشكل 10–1 تفاعـلات الاندماج النووي في النجوم.

مخطط التتابع الرئيسي
Main sequence diagram

حاول العلماء فهم العلاقة بين درجة حـرارة النجوم ولمعانها والتصنيف الطيفي بعد توفـر بيانات هائلة لهـا، وتوصلوا الى اكتشـاف مخطط التتابع الرئيـسي Hertzsprung–Russell diagram يتيح هـذا المخطط فهم دورة حياة النجم عند تحديد موضعه في المخطط. يوضح **الشكل 12–1** أن المحور الأفقي يمثـل درجة الحرارة، ويمثـل المحور الرأسي اللمعـان، ويعد هذا المخطط من أهم الوسـائل التي تساعد في معرفة بعض المعلومات المهمة عن النجوم. ويمكن تقسيم المخطط إلى عدة مناطق:

منطقة شريط التتابع الرئيسي: لو رسـمنا درجات الحرارة أو اللمعان مع النوع الطيفي للنجـوم لوجدنا أن غالبية النجـوم تنتظم في شريط يمتد من أعلى اليسـار إلى أسـفل اليمين، سـمي هذا الشريط بالتتابع الرئيسي Main Sequence، ونلاحظ أن الشمس تقع عليه، وهي المرحلة الأولى من التطور، يصل النجم إلى التسلسـل الرئيسي بمجرد أن يبدأ الاندماج، وهذا ما يفسر سبب تواجد معظم النجوم على شريط التتابع الرئيسي.



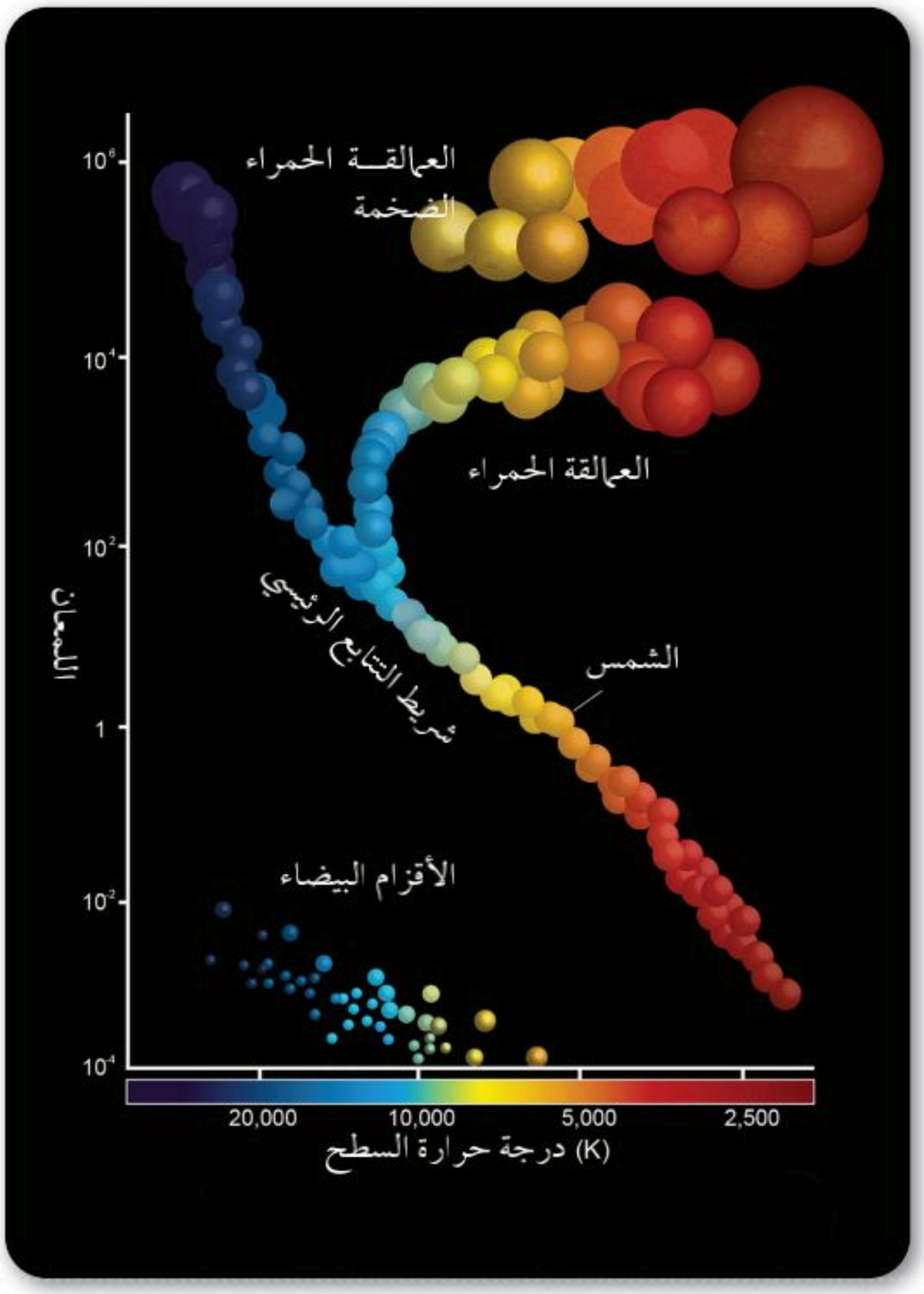
الشكل 11–1 التـوازن الهيدروسـتاتيكي في النجوم.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

خــلال هذه المرحلة تتولد طاقة النجم عن طريق عمليات الاندماج التي تحــول الهيدروجين إلى هيليوم ويقضي النجم90% من حياته في هذه المرحلة. ويحتــوي الشريط على نجــوم مختلفة اللون والحرارة والســطوع، حيث تقع النجوم الحمراء ذات الســطوع المنخفض والحرارة المنخفضة في أسفل يمين الشريط وتقع النجوم الزرقاء ذات الحرارة العالية والســطوع العالي في أعلى يسار الشريط.

منطقة العمالقة الحمراء والعمالقة الحمراء الضخمة: نجد **العمالقة الحمراء Red giant** والعمالقة الحمراء الضخمة Red supergiant في أعلى يمين المخطط وهي نجوم ذات حجم هائل، بقطر أكبر من الشــمس ب 200 إلى 800 مرة، ولذا هي أســطع من نجوم التتابع الرئيسي، ولكن أبرد بسبب انتهاء عمليات الاندماج النووي وإطلاق الطاقة.

منطقــة الأقزام البيضاء: أخيرًا، نرى مجموعة مــن النجوم ذات درجات حرارة شــديدة ولمعان منخفض وحجم صغير جدًا بقطــر يتراوح من عدة آلاف إلى 10 آلاف كيلومتر، تقع هذه النجوم في أسفل يسار المخطط وتسمى الأقزام البيضاء.



الشكل 12 – 1 مخطط H – R الذي يوضح مواضع النجوم بحسب درجة الحرارة واللمعان.

تجربة عملية
نمذجة اختلاف ألوان النجوم
ارجع إلى دليل التجارب العملية على منصة عين الإثرائية

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

بقايا النجوم Star Remnants

تعيش النجوم لملايين، ومليارات، بل وحتى مئات المليارات من السنين، وتحدد كتلة النجم كيفية انتهاء حياته. كتل النجوم المنخفضة التي تساوي 1.4 كتل شمسية أو أقل عندما ينتهي الهيدروجين في لبه تتوقف التفاعلات النووية ويتقلص اللب وينهار على نفسه ويطرد الطبقات الخارجية إلى الخارج مما يسبب تمدد وتوسع النجم إلى أضعاف نصف قطر النجم الأصلي، وهذا التمدد يؤدي إلى تبريد الطبقات الخارجية ويصبح النجم عملاقًا أحمر، هناك عدة عمالقة حمراء يمكن مشاهدتها في السماء ليلًا، مثل: الدبران Aldebarán والسماك الرامح Arcturus وقلب العقرب Antares ومنكب الجوزاء Betelgeuse.

إذا كان النجم ذا كتلة كافية، يصبح اللب المنهار ساخنًا بدرجة كافية لبدء سلسلة تفاعلات لعناصر أثقل من الهيدروجين وتنتج عناصر أثقل فتبدأ تفاعلات الهيليوم، ثم تفاعلات الكربون، ثم تفاعلات النيون إلى أن تصل إلى الحديد في اللب وتتوقف التفاعلات النووية وتبدأ نقطة النهاية للنجم منخفض الكتلة حيث يطرد طبقاته الخارجية إلى الفضاء مشكلًا منظرًا جميلًا مضيئًا يعرف بالسديم الكوكبي **الشكل 13–1** وسمي **سديم كوكبي Planetary Nebula**: لأنه عندما كان يرى من تلسكوب صغير كان يشبه إلى حد ما الكواكب الغازية.

بعد طرد الطبقات الخارجية للنجم يبقى اللب فقط ويصبح **قزمًا أبيض White Dwarf**، وهو نجم شديد الحرارة بسبب الحرارة المتبقية من التفاعلات النووية، وذو كثافة عالية جدًا حيث إن كتلته تساوي كتلة الشمس وحجمه بحجم الأرض.

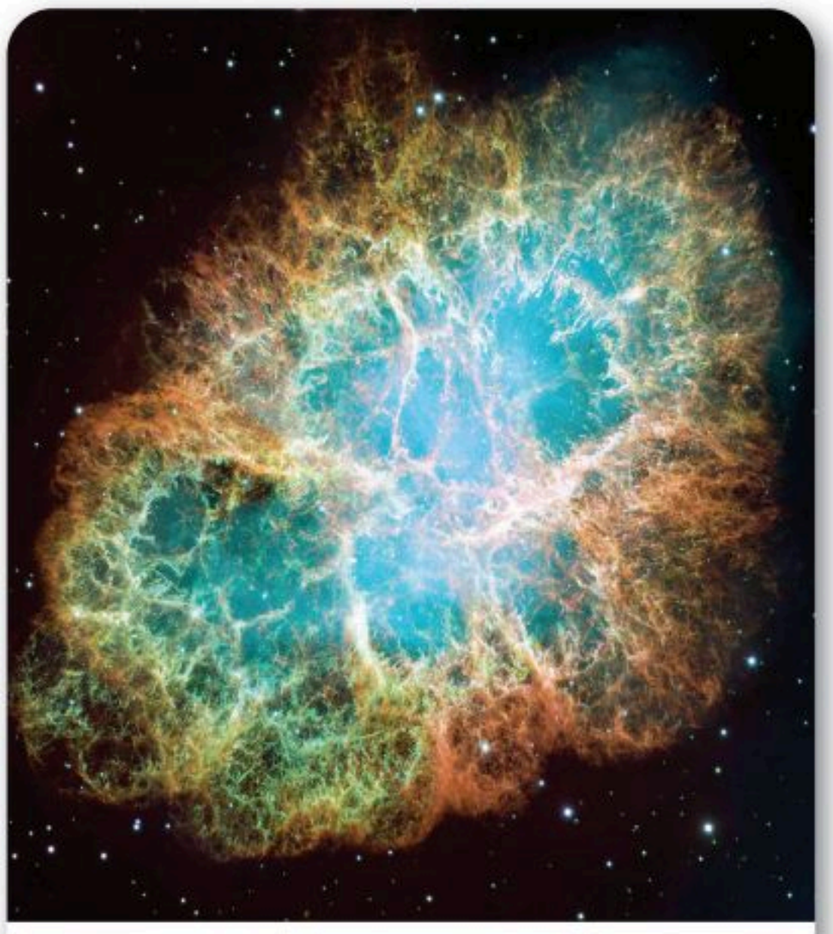
على مدى عدة مليارات من السنين، ستنخفض درجة حرارة ولمعان القزم الأبيض وينهي حياته على شكل رماد بارد داكن من الكربون يُعرف باسم **القزم الأسود Black Dwarf**.

أما إذا كان النجم بكتلة عالية تصل إلى 8–10 أضعاف كتلة الشمس، تتغلب قوة الجاذبية على قوة الضغط فينهار النجم على نفسه في ثوانٍ معدودة مما يسبب انفجار النجم بمشهد عظيم قاذفًا جميع العناصر إلى الفضاء ويسمى **مستعر أعظم Supernova الشكل 14–1**.

المستعر الأعظم يخلف وراءه إما نجمًا نيترونيًا أو ثقبًا أسود بحسب كتلة اللب المنهار، إذا كانت كتلة لب النجم ما بين1.5إلى 3 كتل شمسية، يستمر الانهيار حتى تتحد الإلكترونات والبروتونات لتشكل النيترونات وينتج **النجم النيتروني Neutron Stars**، وهي نجوم كثيفة جدًا يبلغ قطرها المتبقي حوالي 16 كيلومترًا فقط، وتدور بسرعة حول محورها، عادةً من 20 إلى 50 مرة في الثانية مكونة مجالًا



الشكل 13–1 سديم هيليكس الكوكبي.

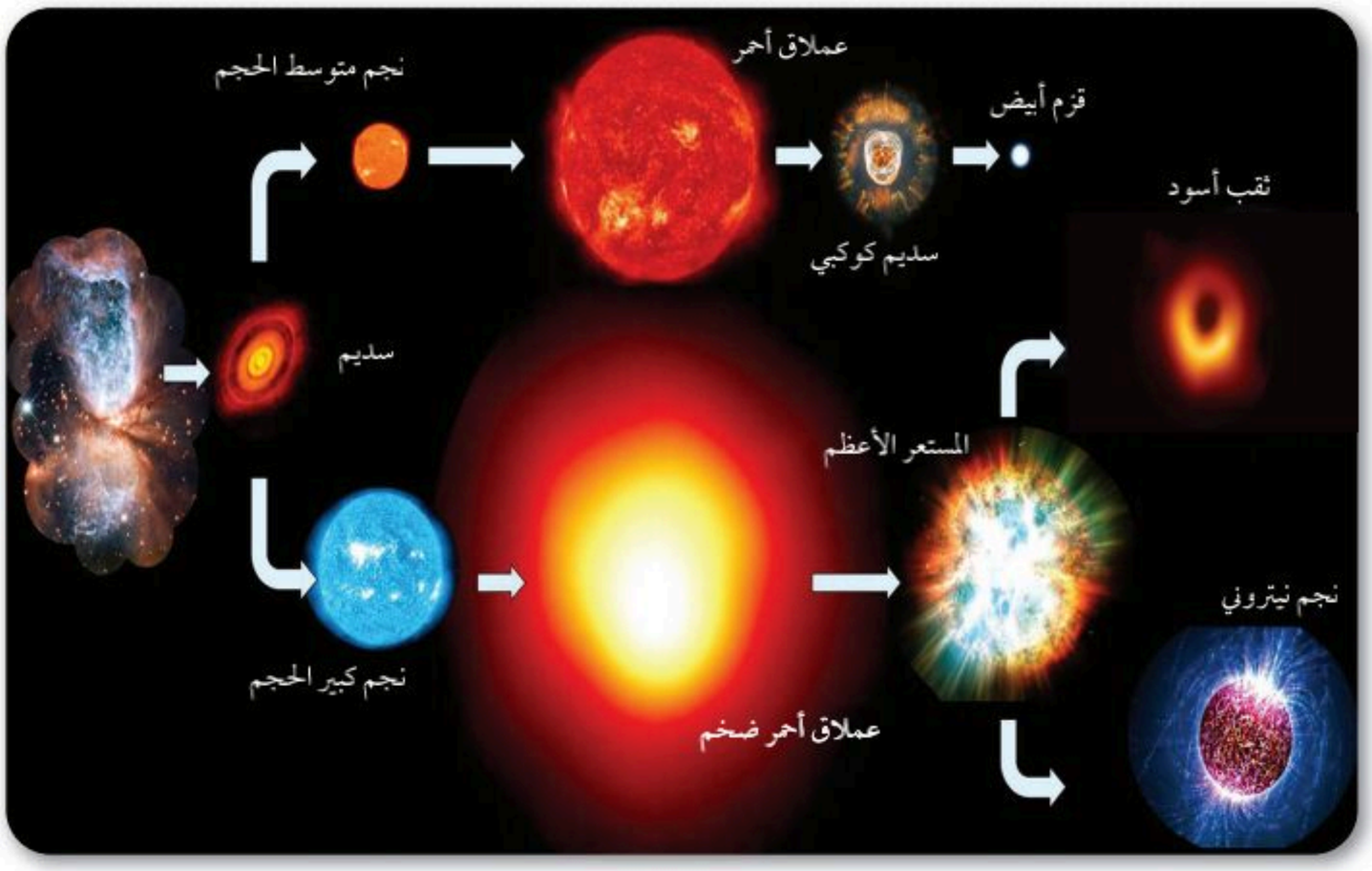


الشكل 14–1 سديم السرطان، وهو بقايا نجم ضخم من مجرتنا، تمت رؤية انفجاره في عام 1054.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

مغناطيسيًا قويًا يسرع الجسيمات الذرية حول الأقطاب المغناطسية وتنتج حزم إشعاع قوية يتم رصدها بالتلسكوبات الراديوية، إذا كان النجم بزاوية مناسبة لرصد تلك الإشعاعات فإنها تكون كنبضات بسبب دوران النجم السريع ويسمى في هذه الحالة النجم النيتروني بالنجم النابض، أما إذا كان اللب المنهار أكبر من 3 كتل شمسية فإنه ينهار تمامًا ليشكل **ثقبًا أسودًا Black Hole**، وهو جسم كثيف بشكل هائل وتكون جاذبيته قوية جدًا وكما يوحي اسمه، لا يمكن للمادة أو الإشعاع الهروب منه.

يمتزج الغبار والغاز الذي خلفه المستعر الأعظم في النهاية مع الغاز والغبار بين النجوم، مما يزودها بالعناصر الثقيلة والمركبات الكيميائية الناتجة أثناء الموت النجمي. في النهاية يتم إعادة تدوير هذه المواد، مما يوفر اللبنات الأساسية لجيل جديد من النجوم **الشكل 15-1** يلخص دورة حياة النجوم.



الشكل 15-1 دورة حياة النجوم.

تجربة

العلاقة بين سطوع النجوم وحجمها

نلاحظ أن النجوم لها سطوع في الليل بإضاءات مختلفة. فهل هناك عوامل تؤثر في كمية إضاءة النجوم؟

خطوات العمل

1. غطِ عدسة أحد المصابيح الكهربائية برقاقة قصدير، وقم بثقب مركز الرقاقة.
2. أحضِر مصباحًا كهربائيًا آخر.
3. سلط ضوء كلٍ من المصباحين على شاشة بيضاء كلًا على حده، وبنفسٍ البعد عن الشاشة.
4. راقب حجم ضوء كلا المصباحين.

التحليل

5. أي المصباحين سطوعه أكبر؟
6. ما العوامل التي ترى أن لها دورًا في تغير سطوع المصباحين؟ و هل الأمر ينطبق على النجوم أيضًا؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

المجرات Galaxies

المجرات Galaxies عبارة عن مجموعات هائلة من النجوم والغاز والغبـــار المرتبطة ببعضها بفعل الجاذبية وهي مصدر كل النجوم؛ لأن النجـــوم لا تولد خارج المجرات. ويختلف عـــدد النجوم في المجرات اختلافًا كبيرًا، على سبيل المثال، في بعض المجرات العملاقة، قد يكون هناك أكثر من تريليون نجم وفي المجـــرات القزمة الصغيرة قد يكون هناك بضع مئات من الآلاف فقط.

تـــأتي المجرات في مجموعـــات متنوعة من الأشـــكال والأحجام، ويمكن تصنيف المجرات إلى ثلاث فئات رئيسة:

1. المجرات الحلزونية Spiral Galaxy

هي مجرات تظهر على شكل أقراص مسطحة مع انتفاخات صفراء في مركزهـــا ذات تركيز عالٍ جدًا من النجـــوم. منطقة القرص تكون ممتلئة بالغبار والغـــاز كما هو الحال في درب التبانة. أكثر ما يميزها هو الأذرع الحلزونيـــة، تتميز هذه الأذرع بكثافة أعـــلى من الغاز والغبار وهي مواقع ولادة النجوم وتبدو أكثر ســـطوعًا مقارنةً ببقية القرص بسبب النجوم الساطعة المتكونة حديثًا. المجرات الحلزونية لديها نسبة أعلى بكثير من النجوم الصغيرة بالعمر على عكس المجرات البيضاوية التي تكثـــر فيها النجوم القديمة. وتنتمي مجرتنـــا (مجرة درب التبانة) وأيضًا مجرة المرأة المسلسلة **الشكل 16–1** إلى المجرات الحلزونية.



الشكل 16–1 مجرة المرأة المسلسلة احدى المجرات الحلزونية.

2. المجرات البيضاوية Elliptical Galaxy

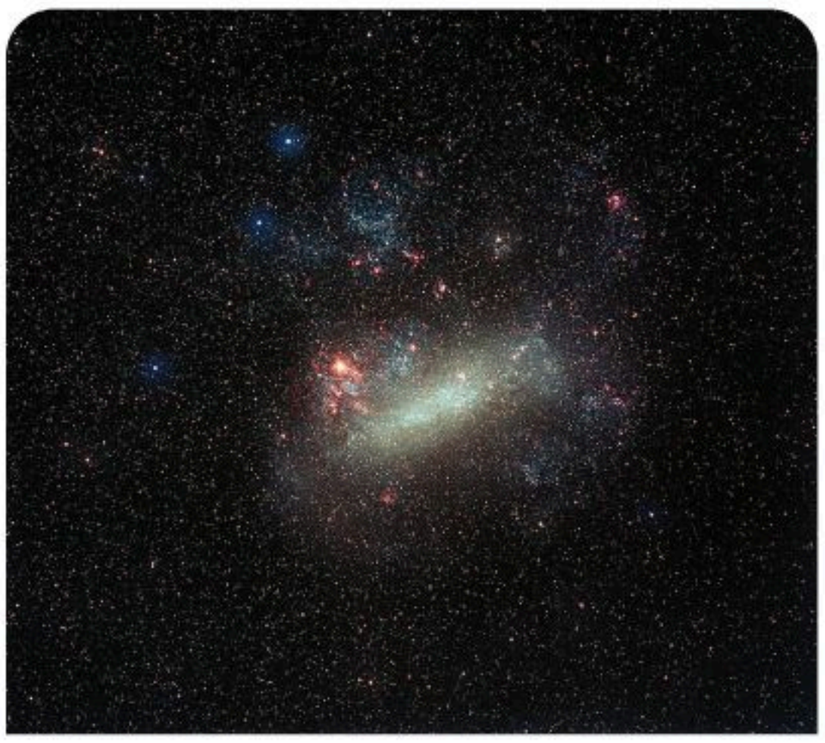
تظهر المجرات البيضاوية على شكل هياكل بيضاوية **الشكل 17–1** مع انخفاض في كثافة النجوم والغاز والغبار، وبالتالي لا يوجد تكوين نجمي جديد. هذه المجرات تكثر فيها النجـــوم القديمة ذات الكتلة المنخفضة واللون الأصفر والأحمر. وتشكل المجرات البيضاوية 10 إلى 15% من المجـــرات. وتميل النجوم في المجرات البيضاوية إلى التحرك بطريقة عشوائية أكثر من تلك الموجودة في المجرات الحلزونية.



الشكل 17–1 مجرة NGC 1316 البيضاوية.

3. المجرات غير المنتظمة Irregular Galaxy

هنـــاك أيضًا فئة من المجرات تعرف بالمجرات غير المنتظمة، والتي ليس لها بنيـــة منتظمة. ويعتقد علماء الفلك أن الأشـــكال المشـــوهة للمجـــرات غير المنتظمة قد تكون ناجمة عن جاذبية المجرات المجاورة مثل ســـحابتي ماجلان Magellanic Clouds، وهما مجرتان قزمتان غـــير منتظمتان، تعد إحـــدى أقرب المجـــرات لمجـــرة درب التبانة **الشكل 18–1**.



الشكل 18–1 مجرة سحابة ماجلان الكبرى غير المنتظمة.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

مجرة درب التبانة Milky Way Galaxy

مجرة درب التبانة مجرة حلزونية تحتوي على أكثر من200 مليار نجم، المكونات الرئيسة لمجرة درب التبانة كما في **الشكل 19–1** هي: القرص الرقيق، ونواة تبدو ككتلة واحدة من شدة تقارب النجوم، ويحيط بالنواة أذرع حلزونية الشكل بالإضافة إلى هالة ضخمة. وتحتوي الأذرع على سحب كثيفة من الغاز والغبار؛ لذلك لا نشاهد النجوم حديثة الولادة إلا على أذرع المجرة، وهذا يفسر اللمعان الشديد لها.

تقع الشمس على الحافة الداخلية لذراع الجبار **الشكل 20–1** وتتحرك الشمس بسرعة 200km /s وبالتالي تكمل دورة كاملة حول مركز المجرة كل 200 مليون سنة.

ماذا قرأت؟ ما موقع نظامنا الشمسي من مجرة درب التبانة؟

تركيب مجرة درب التبانة

Structure of Milky Way Galaxy

تتركب مجرة درب التبانة من:

1. قرص المجرة Galaxy Disk

هو قرص بقطر يساوي 100ألف سنة ضوئية يحتوي على نجوم صغيرة نسبيًا مقارنة بالنجوم الموجودة في الهالة. كما أنه يحتوي على كمية كبيرة من الغاز والغبار والعديد من مناطق التكوين النشط للنجوم. تقع المجموعة الشمسية على بعد 30سنة ضوئية من مركزها على حافة ذراع الجبار.

2. نواة المجرة Galaxy Bulge

تحتوي منطقة نواة المجرة على كثافة عالية من النجوم وبقايا المستعر الأعظم والغاز والغبار، وتبين ملاحظات الراديو والأشعة السينية على وجود ثقب أسود في نواة المجرة، ويحيط بالنواة سحب كثيفة تخفي ما يدور بداخلها.

3. هالة المجرة Galaxy Halo

هي هالة معتمة تحيط بالقرص وتشكل نسبة عالية من كتلة المجرة، تحتوي الهالة على غاز وغبار ضئيل، وبالتالي لا يوجد تكوين نجمي ؛ لذا تكثر فيها النجوم الكبيرة بالعمر والقديمة.

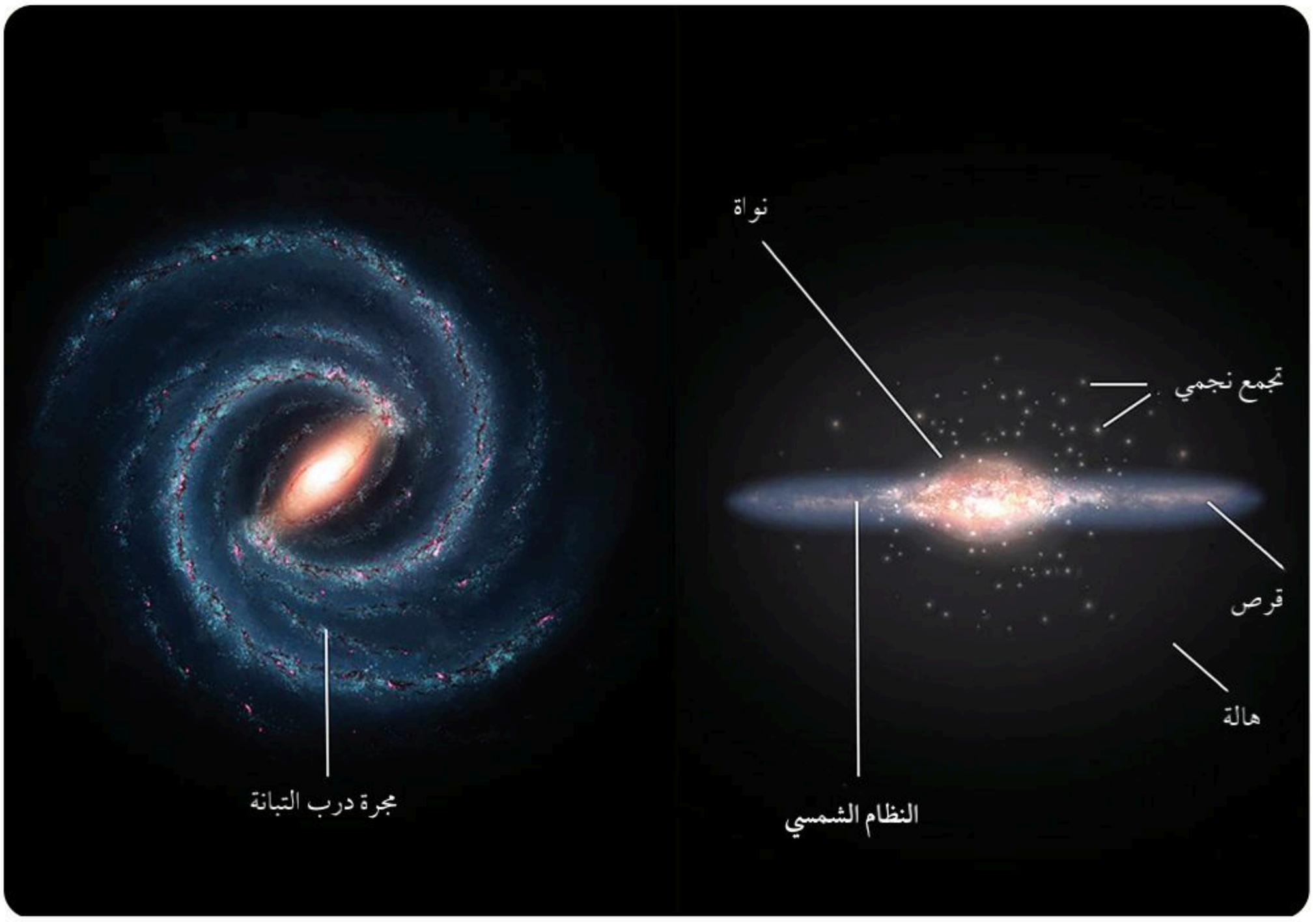
تمكن الروسي راشد سنييف الفائز بجائزة الملك فيصل في العلوم لعام 2009 م من ابتكار نموذج لدراسة كتلة الثقوب السوداء.

الربط مع تاريخ علماء الإسلام



كان للعلماء المسلمين دور بارز في اكتشاف المجرات لأول مرة؛ حيث لاحظ الفلكي عبدالرحمن الصوفي مجرة أندروميدا Andromeda في كوكبة المرأة المسلسلة وسماها لطخة سديمية.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

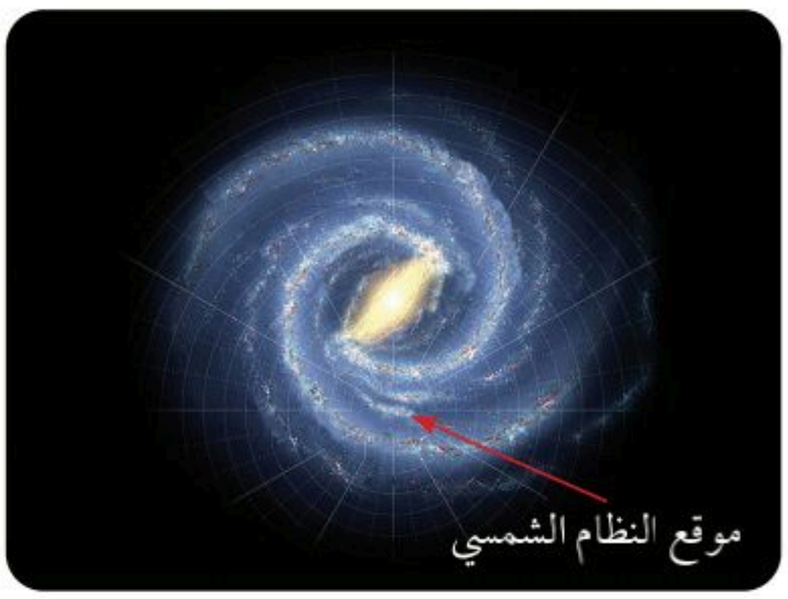


الشكل 19–1 تركيب مجرة درب التبانة.

رؤية 2030 للتقليل من تلوث البيئة

Vision 2030 to reduce light pollution

أفاد مجموعة من علماء البيئة مؤخرًا أن أكثر من ثلث سكان العالم لم يعـــودوا قادرين على رؤية نجـــوم درب التبانة حتى في أكثر الليالي صفاء، وذلك بعد أن تسبب الإنسان في إحاطتها بغيمة مضيئة مصدرها المصابيح الموجهة للسماء. ولذلك لجأت بعض الدول كالسعودية إلى إعداد متنزهات للاستمتاع بنجوم درب التبانة كما في مدينة (تروجينا) بمشروع نيوم.



الشـــكل 20–1 صورة افتراضية لموقع الشـــمس في مجرة درب التبانة.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

KACST
مدينة الملك عبدالعزيز للعلوم والتقنية



تجربة رحلة صاحب السمو الملكي الأمير سلطان بن سلمان لرصد الأشعة السينية في الفضاء

تم ذلك بواسطة المركبة "سبارتان" التي كانت مهمتها إعداد خارطة توضح مدى انتشار أشعة إكس وتوزيعها، والمنبعثة من مصادر كونية موجودة في مركز درب التبانة. و كان من ضمن المهمة أيضًا دراسة خصائص الثقب الأسود المتواجد بمركز مجرتنا.

التفكير الناقد

علاقة تمدد الكون بالمجرات

أثبت هابل أن الكون ليس ثابتًا؛ وإنما يتمدد. بعد ذلك بعقودٍ رصد التلسكوب هابل الفضائي مستعراتٍ عظمى بعيدة (السوبرنوفا) تتباعد عن بعضها، ووجد أن الكون منذ زمنٍ طويلٍ كان يتمدد.

التحليل

ما أبرز الاحداث المتوقعة التي يمكن أن تطرأ بين مجرتنا ومجرة إندروميدا نظرًا لكونها أقرب مجرة إلينا؟

التقويم 2–1

الخلاصة

- تولد النجوم في السحب الجزيئية وتمر بعدة مراحل أهمها :
  - التقلص التثاقلي لسحابة غاز وغبار.
  - ارتفاع درجة الحرارة الداخلية والضغط الداخلي.
  - الاندماج النووي.
- يتيح مخطط التتابع الرئيسي فهم دورة حياة النجم عند تحديد موضعه في المخطط.
- تتكون مجرة درب التبانة من نواة تحوي كثافة نجمية عالية يحيط بها هالة تحوي نجومًا كبيرة وقديمة، و قرصًا به عدد من النجوم الصغيرة.
- تم تقسيم المجرات إلى ثلاثة أنواع بحسب شكلها: حلزونية، بيضاوية وغير منتظمة.

فهم الأفكار الرئيسة

1. قارن بين المراحل الثلاثة الرئيسة لولادة نجم .
2. ما هو مصدر الطاقة الرئيسي الذي يجعل نجمًا من التسلسل الرئيسي يضيء في الفضاء؟
3. ما أهمية المستعر الأعظم في توليد نجم جديد؟
4. كم عدد أذرع مجرة درب التبانة ؟ وعلى أي أذرعها تقع شمسنا؟

التفكير الناقد

5. كيف يتحقق علماء الفلك من صحة نظرية في التطور النجمي؟

الكتابة في علم الفلك

6. ابحث في كيفية استطاعة الفلكيين –مستقبلاً – تطوير معداتهم لتصبح قادرة على رصد الثقوب السوداء وتصويرها بسهولة؟

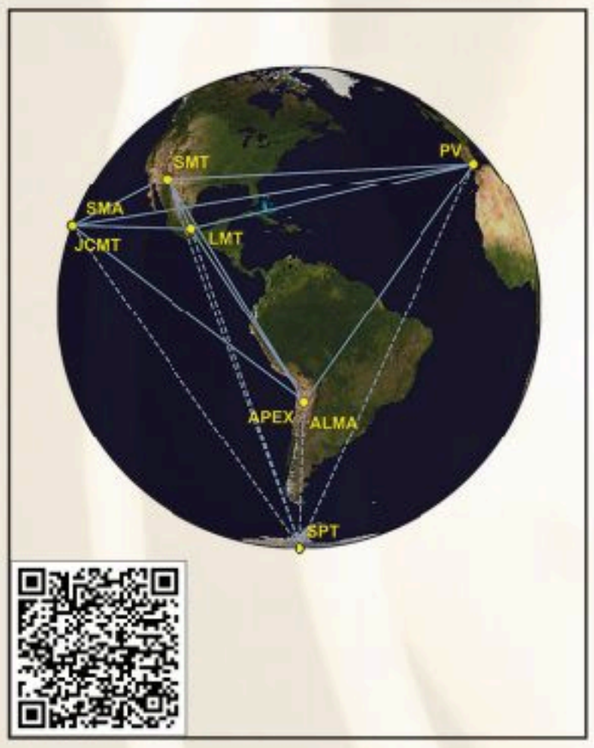
وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

كيف تم تصوير الثقب الأسود؟

كشــف علماء الفلك عام 2019 عن أول صورة حقيقية لثقب أســود تم التقاطها عبر تلسكوب أفق الحدث **EHT**. وتبدو صــورة النواة المظلمة المحاطة بهالــة برتقالية اللــون من الغاز الأبيض الســاخن والبلازمــا مثل العديــد من الصور الفنيــة التي تم نشرها عــلى مدار الثلاثين عامًا الماضية، لكن في هذه المرة كانت الصورة حقيقية. تعود هذه الصورة لثقبٍ أسودٍ هائل الكتلة تبلغ كتلته 6,5 مليار ضعف كتلة الشــمس، ويقع في قلب مجــرة **M87** التي تبعد عن الأرض مســافة 50 مليون ســنة ضوئيــة. تركزت معظم التكهنات على المرشــح الآخر المستهدف من قبل تلســكوب أفق الحدث، وهو الثقب الأســود الموجــود في مركــز مجرتنــا درب التبانة والمُســمى ساجيتاریاس أ***Sagittarius A**، والذي يبعد عن الأرض مسافة 26000 سنة ضوئية.



تُشــابه صعوبة تصوير الثقب الأسود الهائل الخاص بمجرة **M87** من على بعد هذه المسافة صعوبة تصوير قطعةٍ من الحصاة على القمر، وبدلاً من بناء تلسكوبٍ عملاق من شــأنه أن ينهار تحت ثقلــه الخاص، قام العلماء بدمج العديد من المراصد حول العالم على مدار عدة أيــام في أبريل/ نيســان 2017، وتم تركيز ثماني تلســكوبات راديوية في هاواي وأريزونا وإســبانيا والمكســيك وتشــيلي والقطب الجنوبي عــلى الثقبين الأسودين ساجيتاریاس أو**M87**، حيث شكلت هذه التلسكوبات المجتمعة تلسكوبًا افتراضيًا واحدًا بقطر 12000 كيلومــتر، أي بقطــر كوكــب الأرض. في النهايــة، كان **M87** الخيار الأفضــل للتصوير، ولا يرصد التلسكوب الثقب الأسود في حد ذاته، ولكنه يرصد المادة التي يجمعها والتي تشكل قرصًا لامعًا من الغازات الســاخنة والبلازما البيضاء المعروفة باسم قرص التراكم **accretion disk**.



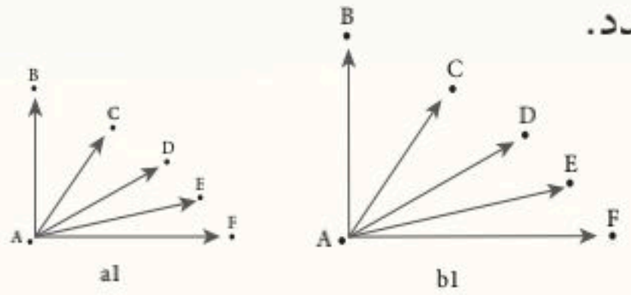
استنتج لماذا كان تصوير الثقب الأسود مهمًا؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

مختبر الفضاء

قانون هابل في الفرن وفي الكون!

خلفية علمية لفهم طريقة إثبات العالم هابل ما إذا كان الكون ثابتاً أو في حالة حركة معينة، سنبدأ بتشبيه الكون كالكعك الذي عليه قطع شوكولاتة. الشكل (a1) يمثل الكعك قبل إدخاله الفرن والشكل (b1) يمثل الكعك بعد خبزه بالفرن بعد مرور ساعة واحدة، حيث يظهر الشكلين مسافة قطع الشوكولاتة B،C،D،E،F عن القطعه A قبل وبعد إدخاله الفرن. لنفرض أنه تغير موقع القطع. أُعطي التغير مسافة بوحدة cm، حيث يتضاعف حجم الكعك إلى ضعف حجمه الاصلي، أي أن كل مسافة تضاعفت إلى ضعف ما كانت عليه من قبل، وسنسمي هذه الزيادة في المقياس الكلي عامل التمدد.



سؤال كيف يستطع العلماء حساب تمدد الكون والذي يسمى ثابت هابل بإستخدام قانون هابل؟

الأدوات

خليط كيك للخبز . ورق.

عدد من قطع الشوكلاته. أقلام.

إجراءات السلامة

خطوات العمل

1. ما مسافة القطعة B عن القطعة A بعد ساعة من خبز الكعك؟ (لا تستخدم المسطرة لقياس المسافة). استخدم الأرقام وعامل التمدد المعطى مسبقاً لصياغة المقياس الخاص بك. سجل إجابتك في ورقة العمل ثم اكتب كل مسافة بجانب السهم المقابل لها في الجزء b1.
2. كرر العملية (مع القطع من C إلى F).
3. قم بحساب سرعة كل قطعة شوكولاتة بأخذ المسافة التي تحركتها القطع، وقسمتها على الفترة الزمنية التي تبلغ ساعة واحدة. سجل سرعة كل قطعة على ورقة العمل.
4. مثل السرعة والمسافة المقطوعة بيانيا.
5. هل تقع نقاط البيانات الخاصة بك تقريباً بمحاذاة خط مستقيم؟ إذا كان الأمر كذلك ارسم الخط المستقيم في الرسم البياني الذي يناسب البيانات بشكل أفضل.
6. ما نوع علاقة الخط المستقيم بين سرعة القطع والمسافات؟ وبماذا يمكن تفسيره؟

يمثل معدل تمدد الكعك بميل الخط المستقيم الذي رسمته، ويمكنك حساب الميل من قياسات أي نوعين من القطع على سبيل المثال (القطع B) ،F كالآتي:

$$\text{الميل} = \frac{\text{السرعة } B - \text{السرعة } F}{\text{المسافة } B - \text{المسافة } F}$$

7. احسب ميل الخط الآن، وسجل إجابتك في ورقة العمل. ونظراً لأن الكعك هو بديل لكوننا، يمكنك اختبار التوسع المنتظم للكون بوسائل مماثلة، بمعنى آخر عن طريق قياس وتخطيط سرعات ومسافات المجرات، كما فعل أدوين هابل في عشرينات القرن الماضي. لاحظ الجدول التالي الذي يحتوي على بيانات ذات الصلة بالعديد من المجرات.

مسافة وسرعة عدة مجرات

اسم المجرة	المسافة (مليون فرسخ)	السرعة (كيلومتر/ ثانية)
العذراء	19	1,200
الدب الأكبر	300	15,000
الاكليل الشمالي	430	21,600
العواء	770	39,300
الشجاع	1,200	61,200

8. مثل بيانات الجدول السابق لمسافات المجرات وسرعاتها.

التحليل والاستنتاج

1. ارسم الخط المستقيم الذي يناسب نقاط البيانات على أفضل وجه (ليس من الضروري أن يمر الخط عبر جميع النقاط).
2. كما ترى عندما يتم رسم سرعات المجرات مقابل مسافات ابتعادها فإنها تظهر علاقة خط مستقيم، وقد أطلق العلماء على النتيجة اسم قانون هابل $\text{Ho} = \frac{V}{D}$
3. وبجانب تشبيه الكعك بالكون، ما الذي يشير إليه قانون هابل بشأن الحالة العامة للكون؟
4. احسب معدل تمدد الكون والذي يسمى ثابت هابل عن طريق حساب ميل قانون هابل.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

الفصل 1

دليل مراجعة الفصل

الفكرة العامة خلق الله سبحانه وتعالى الكون، و ما به من مجرات، و نجوم ،وكواكب. و هو في حالة توسع دائم.

المفردات	المفاهيم الرئيسة
1–1 نشأة الكون	
علم الفلك الفيزياء الفلكية علم الكون علوم الفضاء نظرية الانفجار العظيم الطاقة المظلمة عمر الكون	**الفكرة الرئيسة** تعرف طبيعة الكون ونشأته وعرض طرائق فلكية لتحديد عمر الكون. • يمكن وصف الكون بأنه فضاء شاسع يحتوي على أعداد ضخمة لا حصر لها من الأجرام السماوية. • تعتمد نظرية الانفجار العظيم على أن الكون كان بالماضي في حالة شديد الكثافة والحرارة فتمدد وكان جزءًا واحدًا عند نشأته. • يتم حساب عمر الكون بواسطة: حساب ثابت هابل الذي ينص على أن السرعة التي تبتعد بها مجرة تتناسب طرديًا مع مسافتها عن الأرض: $Ho = \frac{V}{D}$
2–1 النجوم والمجرات	
النجم النجوم المزدوجة الحشود النجمية الوسط بين النجوم التوازن الهيدروستاتيكي العملاقة الحمراء سديم كوكبي قزم أبيض قزم أسود مستعر أعظم النجم النيتروني ثقب أسود المجرة	**الفكرة الرئيسة** وصف مراحل دورة حياة النجوم، وتحديد موقعنا في مجرة درب التبانة. • تولد النجوم في السحب الجزيئية وتمر بعدة مراحل أهمها : التقلص التثاقلي لسحابة غاز وغبار. ارتفاع درجة الحرارة الداخلية والضغط الداخلي. الاندماج النووي. • يتيح مخطط التتابع الرئيسي فهم دورة حياة النجم عند تحديد موضعه في المخطط. • دورة حياة نجم ما هو تطور يطرأ على النجم بمرور الزمن. • تتكون مجرة درب التبانة من نواة تحوي كثافة نجمية عالية تحيط بها هالة تحوي نجومًا كبيرة وقديمة، وقرص به عدد من النجوم الصغيرة. • تم تقسيم المجرات إلى ثلاثة أنواع بحسب شكلها: حلزونية. بيضاوية. غير منتظمة.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

1 تقويم الفصل

مراجعة المفردات

قارن بين المفردات الآتية:

1. علم الكون وعلوم الفضاء.
2. الثقب الأسود والقزم الأسود.
3. النجم النيوتروني والقزم الابيض.
4. المجرة البيضاوية والمجرة الحلزونية.

تثبيت المفاهيم الرئيسة

اختر رمز الإجابة الصحيحة فيما يأتي:

5. جرم غازي متألــق تتولد الطاقة في باطنه بواســطة تفاعلات الاندماج النووي.
   a. النجم. c. الكوكب.
   b. السديم. d. المجرة.

6. سحب تتكون من جزيئيات الهيدروجين والهيليوم.
   a. السحب الذرية. c. السحب الجزيئية.
   b. السحب المتأينة. d. السحب الغبارية .

7. نجوم ذات قطــر صغير ودرجات حرارة شــديدة ولمعان منخفض.
   a. الأقزام البيضاء. c. النيترونية.
   b. العمالقة الحمراء. d. المستعر الأعظم.

8. نجوم ذات كثافة عالية يبلغ قطرها المتبقي حوالي 16 كيلومترًا فقط، وتدور بسرعة حول محورها.
   a. النجم النيتروني . c. الأقزام البيضاء.
   b. العمالقة الحمراء. d. الثقوب السوداء.

9. جسم ذو كثافة هائلة وجاذبيته قوية جدًّا، ولا يمكن للمادة أوالإشعاع الهروب منه.
   a. الأقزام البيضاء. c. الثقب الأسود.
   b. العمالقة الحمراء. d. القزم الأسود.

أسئلة بنائية

10. **تتبع** تحول المستعر الأعظم إلى نجم نيتروني.
11. **فسر** كيف يتحــول العملاق الأحمــر إلى نجم قزم أبيض.
12. **وضح** بالرسم تركيب مجرة درب التبانة.
13. **عدد** أنواع المجرات مع ذكر الاختلافات بينهم.

التفكير الناقد

14. دلت القياسات والأرصاد على وجود ثقب أسود في نواة المجرة، وضح كيف تم اكتشاف ذلك؟
15. هناك عدة عمالقة حمراء يمكن مشــاهدتها في السماء ليلًا، مثل: الدبران Aldebarán والســماك الرامح Arcturus. حســب ملاحظاتــك لمخطــط H–R هل ســتظل هذه العمالقة على حالها لملايين الســنين القادمة؟ وكيف تفسر رأيك.

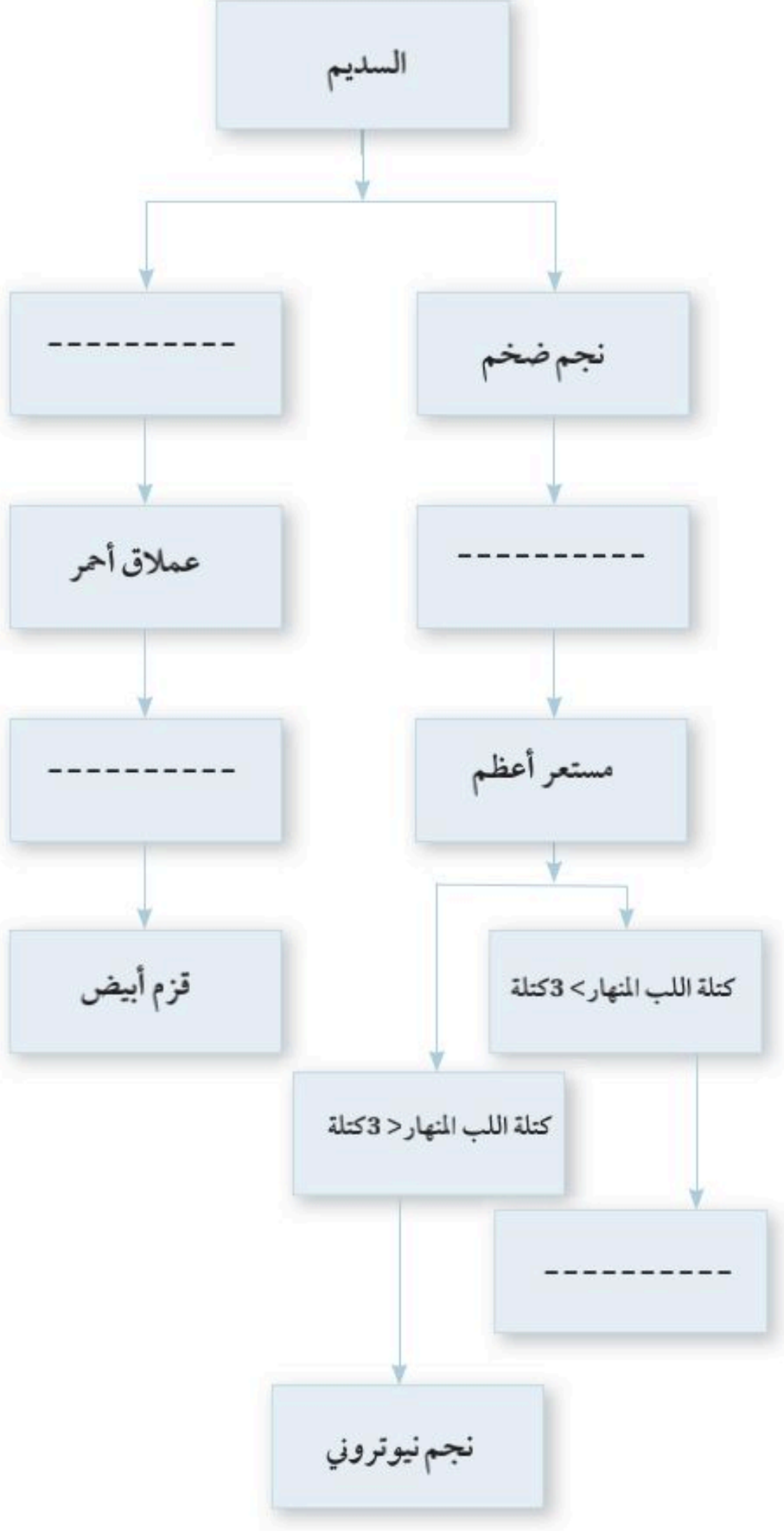
وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

تقويم الفصل 1

خريطة مفاهيمية

16. أكمل خريطــة المفاهيم التي توضح دورة حياة النجوم بالأجرام التالية:

ثقب أسود - نجم متوسط - عملاق فوق أحمر - السديم الكوكبي.



سؤال تحفيز

17. ابحث بشــكل مختصر في علاقة الكوازارات بالثقوب السوداء.

بحسب مخطط H-R اجب عن الآتي:

18. حدد موقع الشمس في المخطط ؟

19. أين تقع النجوم ذات درجات الحرارة المنخفضة واللمعان العالي، وماذا تسمى؟

20. أين تقع النجوم ذات درجات الحــرارة العالية واللمعان المنخفض، وماذا تسمى؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

اختبار مقنن

اختيار من متعدد

اختر رمز الإجابة الصحيحة فيما يأتي:

1. في مجرة درب التبانة تقع الشمس :

a. على حافة ذراع الجبار. c. في هالة المجرة.

b. بالقرب من نواة المجرة. d. داخل نواة المجرة.

2. تقع النجوم الصغيرة في العمر في ..... المجرة:

a. هالة. b. ذراع. c. قرص. d. نواة.

3. أي النجوم هي الاسخن:

a. النجوم الصفراء. c. النجوم الحمراء.

b. النجوم الزرقاء. d. النجوم البرتقالية.

4. ما أنواع المجرات الثلاثة؟

a. حلزونية، بيضاوية، دائرية.

b. حلزونية، بيضاوية، وغير المنتظم.

c. دائرية، بيضاوية، وغير المنتظم.

d. كروية، منتظمة ، حلزونية.

أسئلة الإجابات القصيرة

5. ماذا يحدث للنجوم ذات الكتل العالية التي تصل الى 8–10 كتل شمسية ؟

6. صف طريقة حركة النجوم في المجرات البيضاوية.

7. اذكر حالات تواجد الهيدروجين في الوسط بين النجوم.

8. اذكر بعض الظواهر التي يتم الاستفادة منها من مراقبة الكون.

9. ما التجربة الإقليمية السعودية للتقليل من التلوث الضوئي؟

القراءة والاستيعاب

تأثير دوبلر وحركة الاجرام السماوية

في علم الفلك، يُستخدم تأثير دوبلر لقياس سرعة وحركة الأجسام السماوية، بما في ذلك المجرات. عندما تتحرك المجرة بعيدًا عن الأرض، يُلاحظ زيادة في طول موجات الضوء المنبعثة منها، مما يجعلها تبدو أكثر احمرارًا، وهو ما يُعرف بـ "الانزياح الأحمر". وعلى العكس، عندما تتحرك المجرة نحو الأرض، يُلاحظ انضغاط طول موجات الضوء، مما يجعلها تبدو أكثر زرقة، وهذا يُعرف بـ "الانزياح الأزرق". من خلال قياس هذا الانزياح، يمكن لعلماء الفلك حساب سرعة واتجاه حركة المجرة، ومن ثم تقدير المسافات بين المجرات وأبعادها النسبية في الكون. ويمكن للفلكيين باستخدام تأثير دوبلر قياس السرعة الشعاعية للأجرام السماوية (السرعة في اتجاه خط الرؤية). ويستطيع الفلكيون باستخدام تأثير دوبلر أيضًا الكشف عن الكواكب الخارجية بملاحظة التذبذب في حركة النجم الأم. فعندما يدور كوكب حول نجم، فإنه يتسبب في تذبذب النجم بشكل طفيف، ورصد هذا التذبذب من خلال التغيرات في الطيف الضوئي للنجم. باختصار، تأثير دوبلر يلعب دوراً حيوياً في دراسة حركة الأجرام السماوية وفهم ديناميكيات الكون، هذا يساعد في فهم حركة النجوم داخل المجرات وحركة المجرات نفسها داخل الكون.

10. يُستخدم تأثير دوبلر في علم الفلك:

a. لتحديد كمية الغبار في الفضاء

b. لتحديد أنواع النجوم المختلفة

c. لقياس درجات الحرارة في الفضاء

d. لقياس سرعة واتجاه حركة الأجسام السماوية مثل المجرات

11. يقصد بالانزياح الأزرق

a. انضغاط في طول موجات الضوء المنبعثة من المجرة التي تتحرك نحو الأرض

b. زيادة في طول موجات الضوء المنبعثة من المجرة التي تتحرك بعيدًا عن الأرض

c. تغيير في لون النجوم نتيجة التفاعلات النووية

d. ظاهرة تحدث عند مغادرة المجرات لمجرتها الأم

12. يمكن لعلماء الفلك استخدام تأثير دوبلر لتقدير المسافات بين المجرات بقياس:

a. درجة الحرارة الناتجة عن الضوء المنبعث

b. سرعة واتجاه حركة المجرة بناءً على الانزياح في موجات الضوء

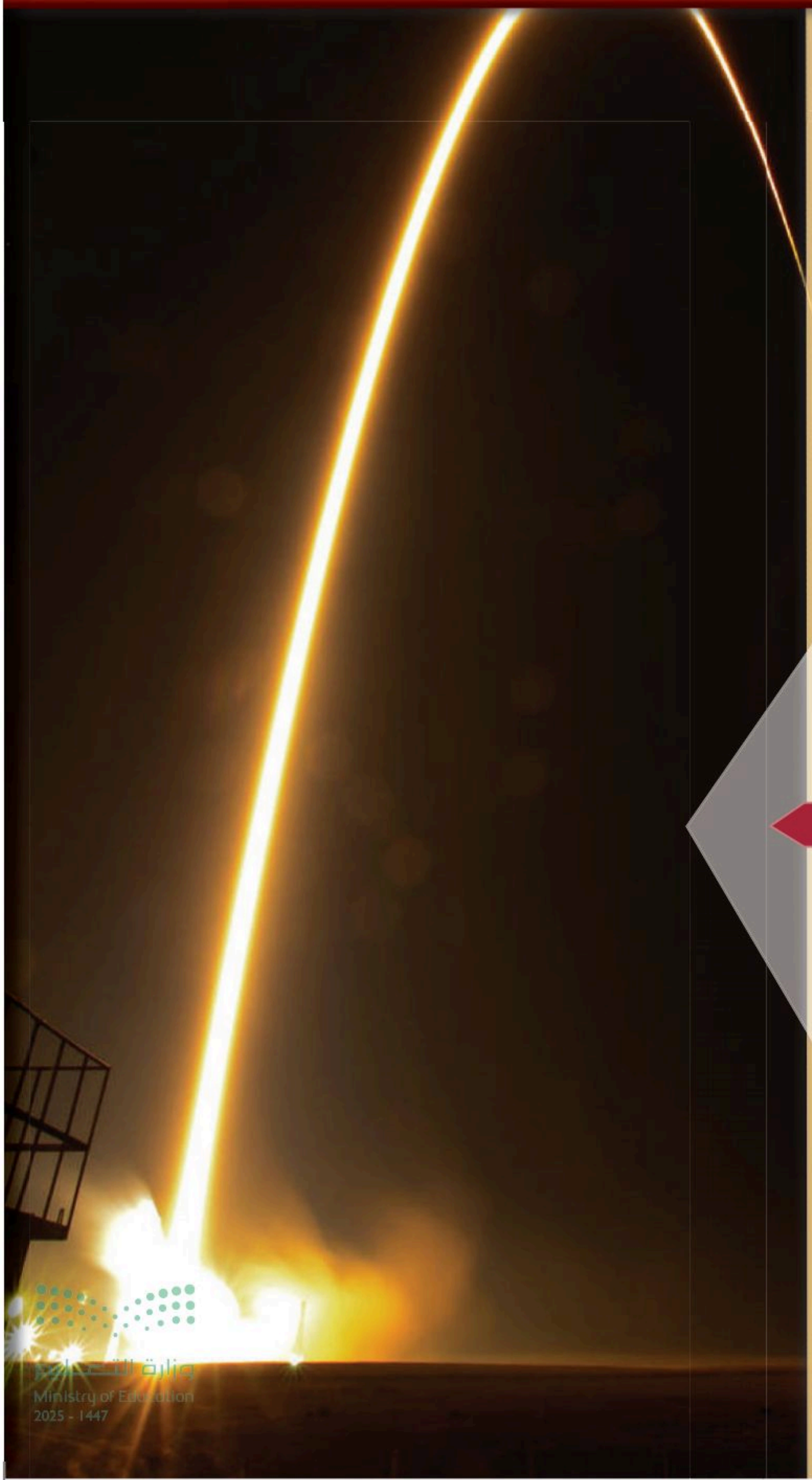
c. التغيرات في لون المجرة بمرور الوقت

d. درجة لمعان النجوم المجاورة

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

الفصل 2

الميكانيكا السماوية
Celestial Mechanics



الفكرة العامة تخضع الأجرام السماوية والأنظمة الفضائية لمجموعة من القوانين التي تحدد خصائص حركتها وديناميكيتها السماوية.

2–1 قانون الجاذبية وقوانين كبلر

الفكرة الرئيسة قوانين كبلر تصف شكل وخصائص حركة الأجرام التي تسلكها حول بعضها، والسرعات التي تتحرك بها، والكتل المتبادلة بينها.

2–2 التقنية الفضائية

الفكرة الرئيسة استطاع الإنسان بواسطة التقنيات الفضائية الوصول إلى أجرام لم تكن المناظير الفلكية كافيةً لدراستها.

حقائق فلكية

- حينما تنطلق المركبات الفضائية نحو الفضاء فإنها تبدأ رحلتها من الأرض بمسار مُنْحنٍ وليس مستقيمًا -كما في الصورة-.

نشاطات تمهيدية

تجربة استهلالية

هل تتحرك جميع الأجسام في نظامنا الشمسي بالسرعة نفسها؟

تتحـرك أجـرام السـماء حـول بعضها في مـدارات إهليليجيـة، وتتأثر حركتهـا بالعديد مـن العوامل: كالمسافات والقوى المتبادلة فيما بينها.



الخطوات

1. أحضر حوضين دائريـين قطر الأول 1m وقطر الآخـر 0.5 m، وقم بوضع علامـة نقطية على طرف محيط قاع كلٍ منهما.
2. ادفـع كرة حديدية صغيرة بشـكل دائري حول محيط قاع الحوض الكبير، وقم بحسـاب الزمن الدوري.
3. أعد الخطوة 2 للحوض الصغير.

التحليل

1. قارن بين زمني دوران الكرة في الحوضين. ماذا تلاحظ؟
2. ما علاقة قطر الحوضين بالزمن الدوري؟
3. هـل تتوافق نتائـج تجربتك مـع زمن دوران الكواكب حول الشمس. فسر ذلك؟

المطويات
منظمات الأفكار

اصنـع المطوية الآتية لتتعـرف على أنواع المركبات الفضائية.



الخطوة 1: ضـع ورقتـين مـن دفترك إحداهما فـوق الأخـرى، بحيث تبعد إحداهمـا عن الأخرى 2 cm تقريبًا، كما في الشكل المجاور.



الخطوة 2: اثن الطرف السـفلي للورقتين لتكوين خمسة ألسـنة متساوية. ثم اضغط بقوة على الجزء المطوي لتثبّت الألسـنة في أماكنها.



الخطوة 3: ثبّـت أوراق المطويـة معًـا بالدبابيـس، وعنـون الألسـنة بأنواع المركبـات الفضائية: الأقـمار الصناعية، المحطات الفضائيـة، المركبات المأهولة، و المركبات غير المأهولة.

استخدم هذه المطوية في أثناء دراستك القسم 2–2، لتتعرف على مميزات كل نوع، واعطِ مثالًا على كل نوع مبينًا أهميته.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

رابط الدرس الرقمي

www.ien.edu.sa

2-1

قانون الجاذبية وقوانين كبلر

The law of gravity and kepler's laws

الأهداف

- **يحسب** زمن دوران جرم حول الشمس.
- **يحسب** وزن جسم ما على كوكب.
- **يحسب** سرعة هروب قمر صناعي.

مراجعة المفردات

المسبار: مركبة فضائية تستعمل لاستكشاف الفضاء الخارجي؛ حيث يتم إطلاقها في الفضاء الخارجي بهدف استكشاف واحد أو أكثر من الأجرام السماوية.

المفردات الجديدة

قانون كبلر الأول

البعد الحضيضي

البعد الأوجي

قانون كبلر الثاني

قانون كبلر الثالث

سرعة الهروب

الفكرة الرئيسة **قوانين كبلر تصف شكل وخصائص حركة الأجرام التي تسلكها حول بعضها والسرعات التي تتحرك بها، والكتل المتبادلة بينها.**

الربط مع الحياة حينما تتابع بثًا مباشرًا النهائيات كأس العالم في كرة القدم، فإن هذا الأمر لم يكن ممكناً إلا من خلال وضع أقمارٍ صناعية في المدار الصحيح بدقة حول الأرض، وذلك استنادًا إلى مجموعة قوانين فيزيائية ميكانيكية، توصل إليها الإنسان من خلال رصد الأجرام السماوية، ووضع حسابات تتوافق مع الرصد وذلك من أجل فهم وتفسير الظواهر الفلكية: كالخسوف والكسوف **الشكل 1–2**، و شروق و غروب الشمس. وعمل تقاويم لأشهر السنة ولتحديد مواقيت العبادة من حج وصوم وتحديد مواسم الزراعة، وعمل محاكاة حاسوبية لتحديد المواقع واتجاه الحركة **الشكل2–2**. ومن أبرز هذه القوانين قوانين كبلر التي تستخدم لحساب خصائص مدارات الأقمار الصناعية وليس فقط في معرفة المدارات في النظام الشمسي، وهذه القوانين اكتشفها الفلكي (يوهانس كبلر Johannes kepler) خلال القرن السابع عشر الميلادي بعد توافقها مع أرصاد "تيخو براهي" لكوكب المريخ.



الشكل 1–2 كسوف شمسي كلي.



الشكل 2–2 تحديد المواقع بواسطة نظام الملاحة العالمي.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

قوانين كبلر Kepler Laws

قانون كبلر الأول Kepler's First Law

ينص **قانون كبلر الأول Kepler's First Law** على أن الكواكب تدور حول الشمس في مدارات على شكل قطع ناقص، وتقع الشمس في إحدى بؤرتيه كما في **الشكل 4–2**.

خصائص القطع الناقص:

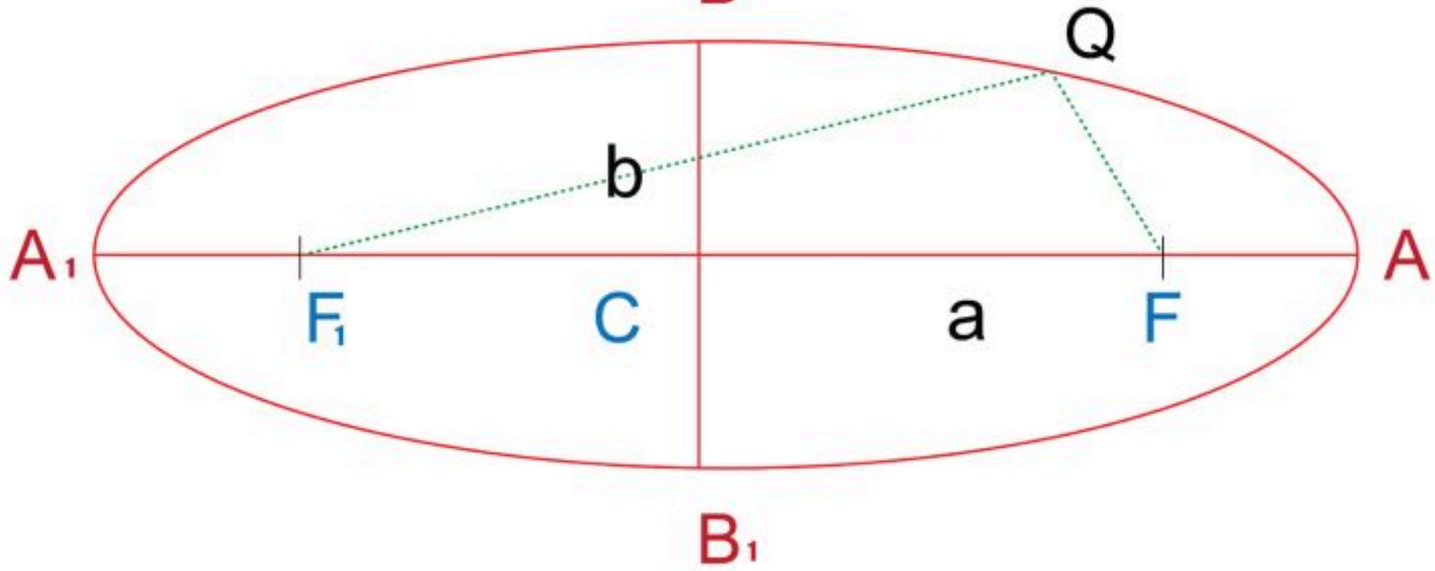
يوضح **الشكل 3–2** بعض خصائص القطع الناقص؛ فمثلا المسافة $A_1A=2a$ هي المحور الأكبر والمسافة $B_1B=2b$ هي المحور الأصغر. ونصف المحور الأكبر للقطع الناقص نرمز له بالرمز a، ونصف المحور الأصغر للقطع الناقص نرمز له بالرمز b ومركز القطع الناقص هو C. والقطع الناقص له بؤرتين F_1 و F.

وأيضًا كلما صغرت المسافة FF_1 اقترب شكل القطع من شكل الدائرة، بينما كلما زادت المسافة FF_1 زادت بيضاوية القطع أو تفلطح القطع. ويستعمل الرمز e لتعريف تفلطح القطع، ويسمى "الاختلاف المركزي".

للاطلاع

$$e=\frac{CF}{a} \quad \text{أو} \quad e=\frac{FF_1}{2a}$$

$$CF=ae$$



الشكل 3–2 خصائص القطع الناقص.

الربط مع الرياضيات

القطع الناقص هو المحل الهندسي لمجموعة النقاط في المستوى الذي يكون مجموع بعديها عن نقطتين ثابتتين يساوي مقدارًا ثابتًا. تسمى هاتان النقطتان بالبؤرتين.



وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

تسمى المسـافة FA **بالبعد الحضيضي Perihelion** (r_p) ، ويعرف بأنه أقرب مسافة فاصلة بين الشمس والكوكب.

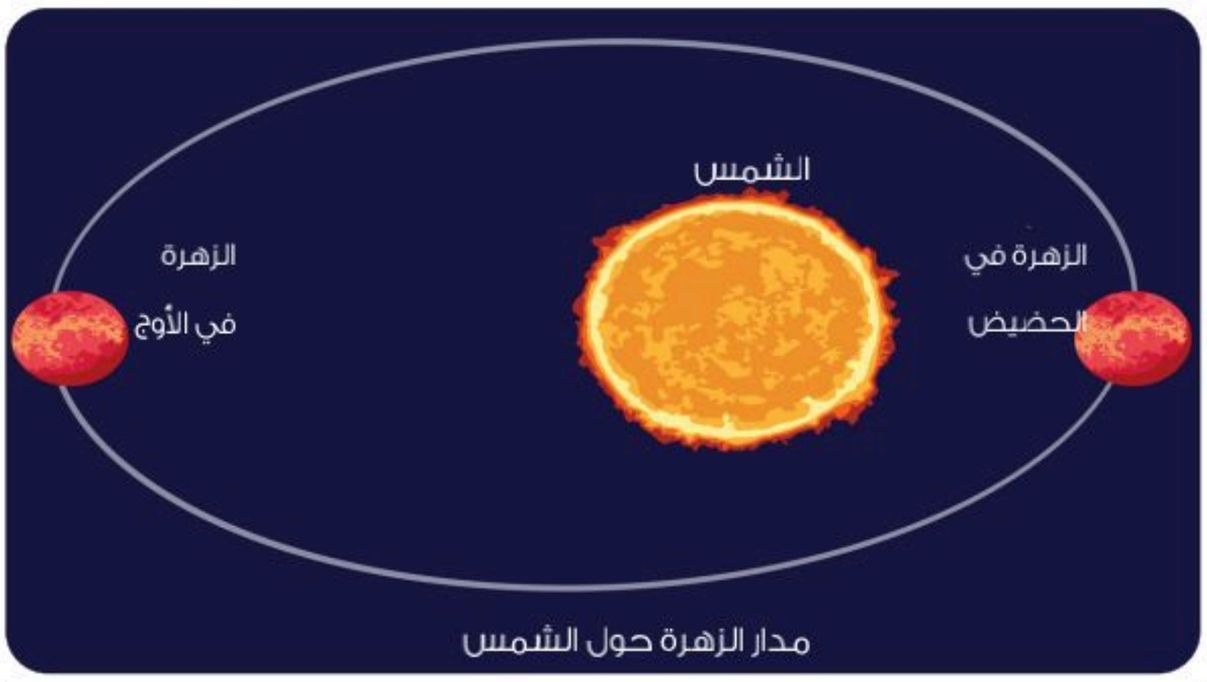
البعد الحضيضي (r_p)

$$r_p = a\,(1 - e)$$

و يطلق على المسافة FA_1 **بالبعد الأوجي Aphelion** (r_a)، ويعرف بأنه أبعد مسافة فاصلة بين الشمس والكوكب، (بافتراض أن الشمس تقع عند النقطة F) .

البعد الأوجي (r_a)

$$r_a = a\,(1 + e)$$

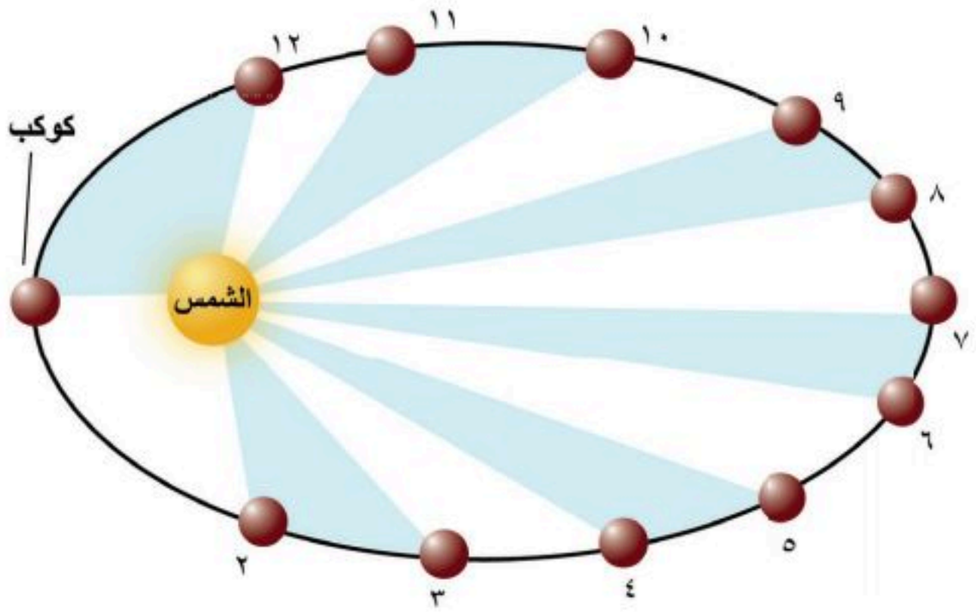


الشكل 4–2 تدور الكواكب حول الشـمس في مدارات على شكل قطع ناقص، وتقع الشمس في إحدى بؤرتيه.

قانون كبلر الثاني Kepler's Second Law

ينص **قانون كبلر الثاني Kepler's Second Law** على أن الخط الوهمي الواصل بين الكوكب والشمس يرسم مساحات متساوية في الفضاء في أزمنة متساوية.

هذا القانون يشير إلى أن سرعة الكوكب حول الشمس متغيرة. ويمكن منه إثبات أن سرعة الكوكب تتناسب عكسيًا مع بعده عن الشمس، وتصل السرعة أقصاها عند الحضيض وأدناها عند الأوج كما في **الشكل 5–2**.



الشكل 5–2 تقطع الكواكب مساحات متساوية في الفضاء في أزمنة متساوية أثناء دورانها حول الشمس.

للاطلاع

ولحساب البعد الحضيضي (r_p) وهي المسافة FA

$$r_p = FA$$

$$r_p = CA - CF = a - ae$$

$$r_p = a\,(1 - e)$$

وبالمثل: يمكن إيجاد علاقة البعد الأوجي (r_p) وهي المسافة FA_1:

$$r_a = a\,(1 + e)$$

تجربة عملية

نمذجة المدار الإهليليجي

ارجع إلى دليل التجارب العملية على منصة عين الإثرائية

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

قانون كبلر الثالث Kepler's Third Law

ينص **قانون كبلر الثالث Kepler's Third Law** على أن مربع مدة دورة الكوكب حول الشمس تتناسب مع مكعب نصف طول المحور الأكبر لمداره **الشكل 6–2**.

إذا كان: T= زمن دورة الكوكب حول الشمس، a= نصف المحور الأكبر لمدار الكوكب؛

فإن:

$$T^2 \alpha a^3$$

إذا قسنا T بالسنة النجمية (years)، وقسنا a بالوحدة الفلكية (AU) (الوحدة الفلكية هي: متوسط المسافة بين الأرض والشمس، وتساوي 150 مليون كيلومتر)؛

فإن الثابت = 1

$$T^2 = a^3$$

الصيغة الرياضية قانون كبلر الثالث

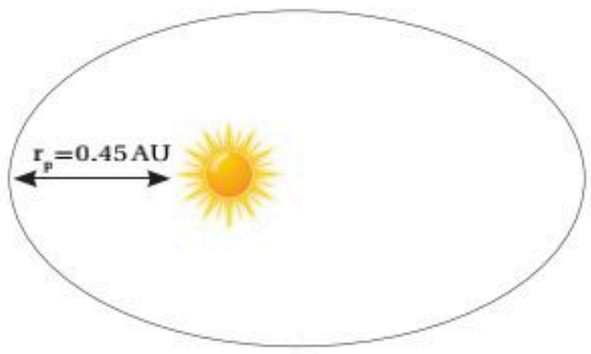
$$T = a\sqrt{a}$$

مثال 1

مذنب يدور حول الشمس في مدار قطع ناقص تفلطحه 0.97، وصل إلى أقرب نقطة للشمس على بعد 0.45 AU. احسب مدة دورة هذا المذنب حول الشمس بالسنوات.

تحليل المسألة و رسمها:

ارسم وضع المذنب حول الشمس.



المعلوم	المجهول
$r_p = 0.45\ AU$ $e = 0.97$	$T = ?$

إيجاد الكمية المجهولة:

حل قانون البعد الحضيضي لإيجاد نصف قطر المحور الأكبر

$$a = \frac{r_p}{1-e}$$

التعويض

$$a = \frac{0.45}{1-0.97} = 15\ AU$$

حساب مدة دوران المذنب حول الشمس بالسنوات

حل قانون كبلر الثالث

$$T = a\sqrt{a}$$

التعويض

$$T = 15\sqrt{15}$$

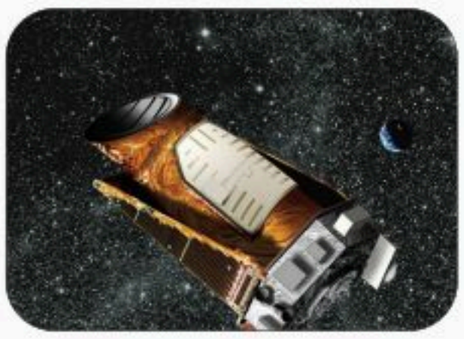
$$T = 58.1\ Year$$

- **تقويم الجواب:**

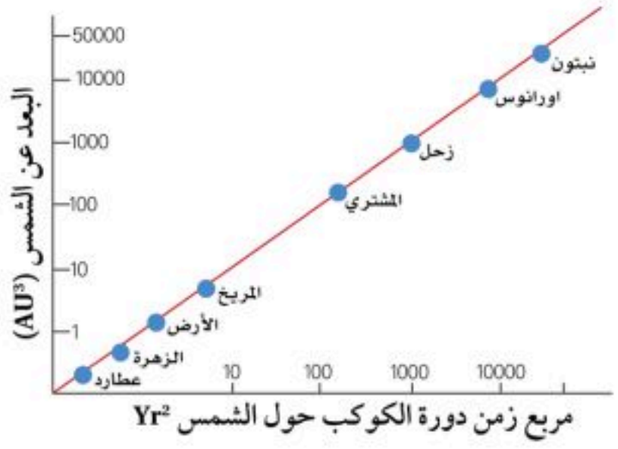
هل الوحدات صحيحة؟

ستكون وحدة مدة دوران جرم حول الشمس بالسنة.

مشروع كبلر الفضائي



تقديرًا لجهود العالم كبلر في مجال علم الفلك فقد أطلقت وكالة ناسا مشروعًا فضائيًا باسمه، وهو عبارة عن مرصد فضائي تم إطلاقه إلى الفضاء من أجل استكشاف ما إذا كانت هناك حياة في كواكب نجوم مجرة درب التبانة، حيث قام باكتشاف أكثر من 2600 كوكب نجمي إلى الآن، وجمع المرصد كمية هائلة من البيانات التي سيستمر تحليلها لسنوات.



الشكل 6–2 علاقة زمن دورة الكواكب المدارية حول الشمس ببعده عنها حسب قانون كبلر الثالث.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

قانون كبلر الثالث المعدل: Modified 3rd Kepler's law

في عام 1687 قام نيوتـــن بتعديل قانون كبلر الثالث وفقًا لقوانينـــه الخاصة للحركة وقانون الجذب العام.

قانون كبلر الثالث المعدل: $a^3=T^2M$

ملاحظة عند حل المسائل:

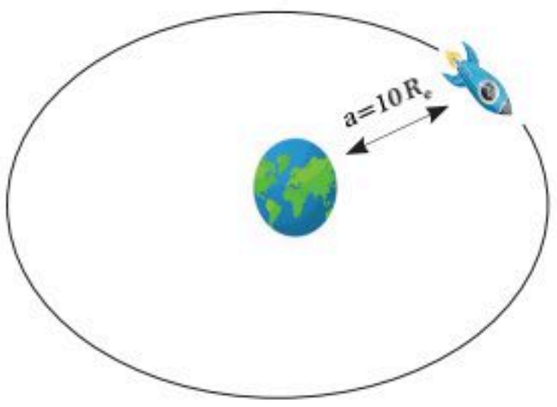
لتحويل الكتلة إلى كتلة شمسية: يكون بقسمة الكتلة على كتلة الشمس.

لتحويل البعد إلى وحدة فلكية: يكون بقسمة المسافة على مسافة الأرض عن الشمس.

مـــثال 2

مركبة فضائية تدور حول الأرض في مدار بيضاوي، على متوسط بعد يساوي 10 أضعاف نصف قطر الأرض، احسب مدة دورتها حول الأرض بـday. علماً بأن نصف قطر الارض $R_e=6378\,km$ وكتلة الأرض $Me=5.98\times10^{24}\,kg$ وكتلة الشمس $Ms=1.98\times10^{30}kg$.

الحل:



المعلوم	المجهول
$a=10\,R_e$	$T=?$
$a=63780\ km$	
$M_e=6\times10^{24}\ kg$	

إيجاد الكمية المجهولة:

بقسمة بعد المركبة على 15×10^7 (متوسط بعد الأرض عن الشمس) لحساب بعد المركبة بالوحدة الفلكية AU.

$$a=\frac{63780}{15\times10^7}=4.25\times10^{-4}AU$$

بقسمة كتلة الأرض على كتلة الشمس لحساب كتلة الأرض بدلالة كتلة الشمس

$$M=\frac{M_e}{M_s}=\frac{5.98\times10^{24}}{1.98\times10^{30}}=3\times10^{-6}M_s$$

من قانون كبلر الثالث المعدل (تهمل كتلة المركبة لصغرها مقابل كتلة الأرض)

$$a^3=T^2M$$

$$T^2=\frac{a^3}{M}=\frac{(4.25\times10^{-4})^3}{3\times10^{-6}}=\frac{7.67\times10^{-11}}{3\times10^{-6}}$$

$$T^2=2.55\times10^{-5}$$

$$T=\sqrt{2.55\times10^{-5}}$$

$$T=5.1\times10^{-3}years$$

بالضرب في 365.25 للتحويل إلى days

$$T=5.1\times10^{-3}\times365.25=1.84\ day$$

- **تقويم الجواب:**

هل الوحدات صحيحة ؟ ستكون وحدة مدة دوران المركبة حول الأرض بـ day.

للاطلاع:

قانون كبلر الثالث المعدل

من قانون الجذب العـــام لنيوتن يمكن إثبات أن :

$$T^2=a^3\frac{4\pi^2}{G(M+m)}$$

حيث M كتلة الشمس، m كتلة الجرم.

إذا أخذنا الســـنة وحدة لقياس الزمن، والوحدة الفلكية AU لقياس المســـافة، وكتلـــة الشـــمس لقياس الكتلـــة؛ فإن الثابت يســـاوي واحد $(\frac{4\pi}{G}=1)$ أي أن:

$$a^3=T^2(M+m)$$

إذا طبقنا هـــذا القانون لجرم يدور حول الشمس فإن:

$$a^3=T^2M$$

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

إيجاد كتلة كوكب له تابع:

من الممكن إيجاد كتلة كوكب له تابع إذا عُلِم نصف المحور الأكبر ومدة الدوران للكوكب وتابعه كالآتي:

حيث:

$$m = M\left(\frac{a_2}{a_1}\right)^3\left(\frac{T_1}{T_2}\right)^2$$

كتلة الشمس M

كتلة الكوكب m

للاطلاع:

$$T^2 = \frac{4\pi}{G}\frac{a^3}{M+m}$$

للكوكب: $(a_1)^3 = (T_1)^2(M+m)$

للتابع $(a_2)^3 = (T_2)^2(m+m_1)$

إذا أهملنا كتلة التابع مقارنة بكتلة الكوكب في البسط أي أن $m_1 = 0$ وكتلة الكوكب مقارنة بكتلة الشمس في المقام $m = 0$

التالي سكون كتلة الكوكب

$$\left(\frac{T_1}{T_2}\right)^2 = \left(\frac{a_1}{a_2}\right)^3\frac{m+m_1}{M+m}$$

$$\left(\frac{T_1}{T_2}\right)^2 = \left(\frac{a_1}{a_2}\right)^3\frac{m}{M}$$

مـــثال 3

يبعد القمـــر كارون عن مركز بلوتو 19700 km، فإذا كانـــت مدة دورانه حول بلوتو هي 6.4 day. أوجد كتلـــة بلوتو. علماً بأن الفترة المدارية لبلوتو هي 248 year وبعده عن الشمس 40 AU.

الحل:

تحليل المسألة و رسمها:

المعلوم	المجهول
$T_1 = 248\ year$	$m_{بلوتو} = ?$
$T_2 = 6.4\ day$	
$a_1 = 40\ AU$	
$a_2 = 19700\ km$	
$M = 2x10^{30}\ kg$	

إيجاد الكمية المجهولة:

بقسمة الفترة المدارية لكارون على 365.25 لتكون بوحدة (year)

$$T_2 = \frac{6.4}{365.25} = 1.75x10^{-2}\ year$$

بقسمة بعد كارون عن بلوتو على $15x10^7$ لتكون بوحدة (الوحدة الفلكية AU)

$$a_2 = \frac{19700}{15x10^7} = 1.3x10^{-4}\ AU$$

حل قانون إيجاد كتلة كوكب من كتلة جرم تابع له

$$m = M\left(\frac{a_2}{a_1}\right)^3\left(\frac{T_1}{T_2}\right)^2$$

بالتعويض لإيجاد كتلة بلوتو

$$m = 2x10^{30}\left(\frac{1.3x10^{-4}}{40}\right)^3\left(\frac{248}{1.75x10^{-2}}\right)^2$$

$$m = 2x10^{30}x3.4x10^{-17}x2x10^{8}$$

$$m = 1.3x10^{22}\ kg$$

- **تقويم الجواب:**

هل الوحدات صحيحة ؟ ستكون وحدة كتلة بلوتو kg.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

قانون الجذب العام لنيوتن

Newton's Gravitational Law

كان إســحاق نيوتن Isaac newton أول من وضع صيغة رياضيــة لقوة الجاذبية بين جســمين عام 1687م في كتابه principia. ينص القانون على أن قوة الجاذبية F بين جسمين تتناسب طرديًا مع كتلتيهما وعكسيًا مع مربع المسافة بينهما.

$$F = G\frac{Mm}{r^2}$$

للاطلاع:

فإذا كانت لدينا كتلتان، ولتكن الشــمس والأرض مثلًا كما في **الشكل 7–2** فإن هناك قوة جذب من كتلة الشمس على كتلة الأرض تعطى بالعلاقة:

$$F\propto \frac{Mm}{r^2} \Rightarrow F=G\frac{Mm}{r^2}$$

يمثل G ثابت الجذب الكوني.عجلة الجاذبيةg للكوكب تساوي:

$$Mg=\mathrm{G}\frac{Mm}{r^2} \Rightarrow g=G\frac{m}{r^2} \qquad (1)$$

إذا افترضنــا أن هذا الكوكب هو الأرض فإن تســارع الجاذبية الأرضية g_e يعطي بالعلاقة:

$$g_e=\mathrm{G}\frac{m_e}{r_e^{\,2}}\,g_e \qquad (2)$$

حيث m_e كتلة الأرض

بأخذ النسبة بين g و g_e

$$\frac{g}{g_e}=\frac{\mathrm{G}\,m}{r^2}\times\frac{r_e^{\,2}}{\mathrm{G}\,m_e}$$

$$\frac{g}{g_e}=\frac{m}{m_e}\times\frac{r_e^{\,2}}{r^2}$$

إذا افترضنا أن $\frac{m}{m_e}$ هي كتلة الكوكب بدلالة كتلة كوكب لأرض وتساوي m و $\frac{r_e^{\,2}}{r^2}$ هي نص قطر الكوكب بدلالة نصف قطر كوكب الأرض وتساوي r فإن:

$$g_e=\frac{m}{r^2}g_e$$

وبما أن وزن جسم كتلته m_1 على سطح كوكب يساوي قوة جذب الكوكب لهذا الجسم تساوي:

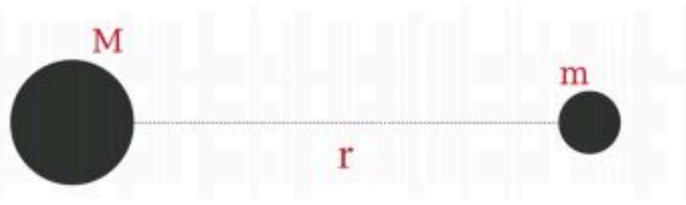
$$W_e = m_1 g \qquad (1)$$

وزنه على الأرض:

$$W_e = m_1 g_e \qquad (2)$$

إذا وزن هذا الجسم على الكوكب بدلالة وزنه على الأرض:

$$\frac{W}{W_e}=\frac{m_1 g}{m_1 g_e} \Rightarrow \mathrm{W}=\frac{g}{g_e}\,W_e$$



الشكل 7–2 قوة جذب كتلة الشمس على كتلة الارض.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

وزن الجسم على الكوكب بدلالة وزنه على الأرض يعطى بالعلاقة :

$$W = W_e \frac{g}{g_e}$$

مـــثال 4

كوكب كتلته تساوي 0.01 من كتلة الشمس ونصف قطره يساوي نصف قطر الأرض.

1. احسب جاذبيته مقارنة بجاذبية الأرض.
2. افــترض أن رائد فضــاء وزنه على الأرض يســاوي 100 N هبط على هذا الكوكب فكم يبلغ وزنه بعد هبوطه عليه؟

الحل:

تحليل المسألة و رسمها:

المعلوم	المجهول
$W_e = 100\ N$	$W_p = ?$
$m_p = 1.01\ M_s = 2 \times 10^{28} kg$	

إيجاد الكمية المجهولة:

بحساب كتلة الكوكب بالنسبة لكتلة الأرض

$$m_p = \frac{m_p}{m_e} = \frac{2 \times 10^{28}}{6 \times 10^{24}} = 3333 m_e$$

$$g = 3333\ g_e$$

حل قانون وزن جسم على كوكب بدلالة وزنه على الأرض

$$W = \frac{g}{g_e} W_e$$

بالتعويض تكون جاذبية الكوكب

$$W = 3333\ W_e$$

بحساب وزن رائد الفضاء على الكوكب

$$W = 3333 \times 100 = 33.3 \times 10^4\ N$$

- **تقويم الجواب:**

هل الوحدات صحيحة؟ وحدة وزن رائد الفضاء بالنيوتن N

هل الجواب منطقي؟ نعم لأن وزنه على هذا الكوكب ضعف وزنه على الأرض بمقدار 3333 مرة.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

السرعة المدارية لجرم سماوي

Orbital Velocity For a Celestial Body

وهي تمثل سرعة جرم حول جرم آخر ومن قانون الجذب العام وعلى سبيل المثال حركة جرم كتلته m حول جرم كتلته M، فإن سرعة الجرم V في حالة كون المدار قطع ناقص تحقق المعادلة:

للاطلاع:

$$V^2 = G(M+m)\left(\frac{2}{r} - \frac{1}{a}\right)$$

في حالة دوران جرم حول الشمس أو مركبة فضاء حول القمر، فإن كتلة الجرم الدوار تهمل لصغرها بالنسبة للكتلة الأخرى، فتصبح المعادلة كالآتي:

للاطلاع:

$$V^2 = GM\left(\frac{2}{r} - \frac{1}{a}\right)$$

ويمكن كتابتها على الصيغة التالية إذا قسنا r و a بالوحدة الفلكية والكتلة M بدلالة كتلة الشمس، فإن السرعة v ستكون بوحدات km /sec:

للاطلاع:

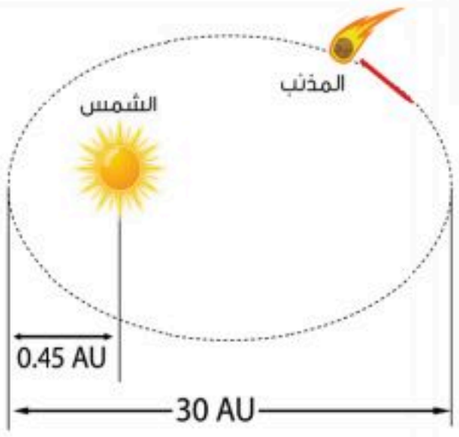
$$V = 30\sqrt{M}\ \sqrt{\left(\frac{2}{r} - \frac{1}{a}\right)}$$

في حالة حركة جرم حول الشمس فإن M ستمثل كتلة الشمس وهي تساوي "واحد" وتصبح المعادلة:

$$V = 30\ \sqrt{\left(\frac{2}{r} - \frac{1}{a}\right)}$$

مثال 5

في المثال 1 السابق كم تبلغ أدنى سرعة للمذنب؟حيث قيمة الاختلاف المركزي 0.97 ونصف قطر المحور الأكبر 15 AU؟



الحل:

تحليل المسألة و رسمها:

ارسم حركة المذنب حول الشمس وحدد أوجه

المعلوم	المجهول
e=0.97	V=?
a=15 AU	

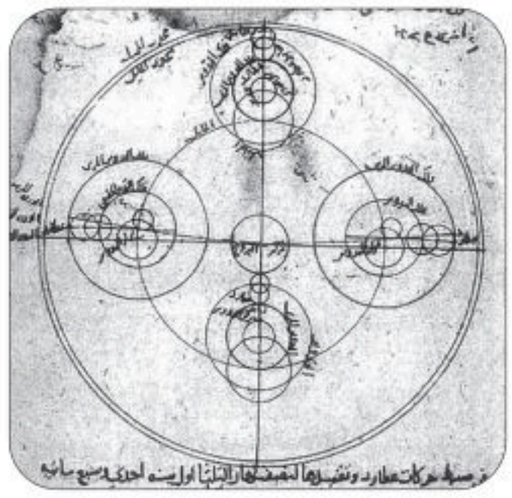
إيجاد الكمية المجهولة:

حل قانون البعد الأوجي r_a

$$r_a = a(1+e)$$

$$r_a = 15(1+0.97) = 29.55\ AU$$

الربط مع إنجازات علماء الإسلام



استحق أن يكون "ابن الشاطر" هو ملهم علماء الفلك لاستنتاج نظرية مركزية الشمس لنظامنا الشمسي بدلًا من الأرض. إنه من المعروف منذ فترة طويلة أن نماذج "كوبرنيكوس" لمركزية الشمس تحمل تشابهًا واضحًا مع نماذج ابن الشاطر، وكان كوبرنيكوس قد استخدمها فقط لحل الحركات غير المنتظمة لمؤشرات الكواكب التي أحدثها بطليموس. ويتضح هنا أن نماذج ابن الشاطر لها في الواقع انحيازًا لمركزية الشمس مما جعلها مناسبة بشكل خاص كأساس لنماذج مركزية الشمس.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

حل قانون السرعة المدارية لجرم سماوي

$$V = 30\ \sqrt{\left(\frac{2}{r_a} - \frac{1}{a}\right)}$$

بالتعويض لإيجاد أدنى سرعة للمذنب

$$V = 30\ \sqrt{\left(\frac{2}{29.55} - \frac{1}{15}\right)} = 0.94\ \text{Km/s}$$

- تقويم الجواب:

هل الوحدات صحيحة ؟ وحدة السرعة المدارية للمذنب km/s

هل الجواب منطقي ؟ نعم بحكم أن هذه السرعة للمذنب وهو في نقطة الأوج.

سرعة الهروب Escape Velocity

سرعة الهروب Escape Velocity: هي السرعة اللازمة لجسم ما للدخول في مسار على شكل قطع مكافئ حول كوكب ما ثم الهروب من جاذبيته **الشكل 8–2**.

$$V_{es} = \sqrt{\frac{2GM}{R}} \quad \text{km/sec}$$

مـــثال 6

أوجد سرعة الهروب لكوكب كتلته $7.5\times10^{22}\ \text{kg}$ ونصف قطره $1.5\times10^{6}\ \text{m}$ علمًا بأن ثابت الجذب العام $6.67\times10^{-11}\ \text{N.m}^2/\text{kg}^2$.

الحل:

تحليل المسألة و رسمها:

المعلوم	المجهول
$M = 7.5\times10^{22}\ \text{Kg}$	$V_{esc} = ?$
$R = 1.5\times10^{6}\ \text{km}$	

إيجاد الكمية المجهولة:

حل قانون سرعة الهروب

$$V_{esc} = \sqrt{\frac{2GM}{R}}$$

بالتعويض لإيجاد سرعة الهروب للكوكب

$$V_{es} = \sqrt{\frac{2\times6.67\times10^{-11}\times7.5\times10^{22}}{1.5\times10^{6}}}$$

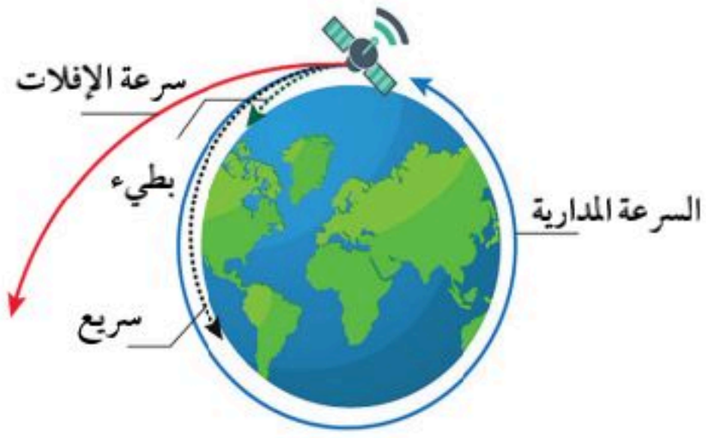
$$V_{esc} = 2.5\ \text{km/s}$$

- تقويم الجواب:

هل الوحدات صحيحة؟ وحدة سرعة الهروب للكوكب بوحدة km/s.

فكر معنا

كيف تهرب المركبات الفضائية خارج كوكب الأرض؟



الشكل 8–2 سرعة الإفلات لقمر صناعي .

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

نشاط عملي

تمثيل سرعة الهروب من جاذبية الأرض:

مغناطيس- كرات حديد - غطاء بلاستيكي كبير.

ورق مقوى - شريط لاصق.

◄ الخطوات:

- **قص** الورق المقوى بطول 30 سم وعرض 10 سم، واثنِ الورقة على شكل مجرى مائي ذو طرفين.
- **ضع** المغناطيس في طرف الغطاء البلاستيكي.
- **ألصق** نهاية الورق المقوى بالمغناطيس.
- **ضع** كرة الحديد في بداية الورق المقوى واتركها تتدحرج إلى الأسفل.
- **ارفع** بداية الورق المقوى إلى الأعلى، ثم ضع كرة أخرى واستمر في الرفع مع دحرجة الكرات إلى أن تصل إلى درجة يصعب فيها على المغناطيس جذب كرات الحديد.

◄ التحليل:

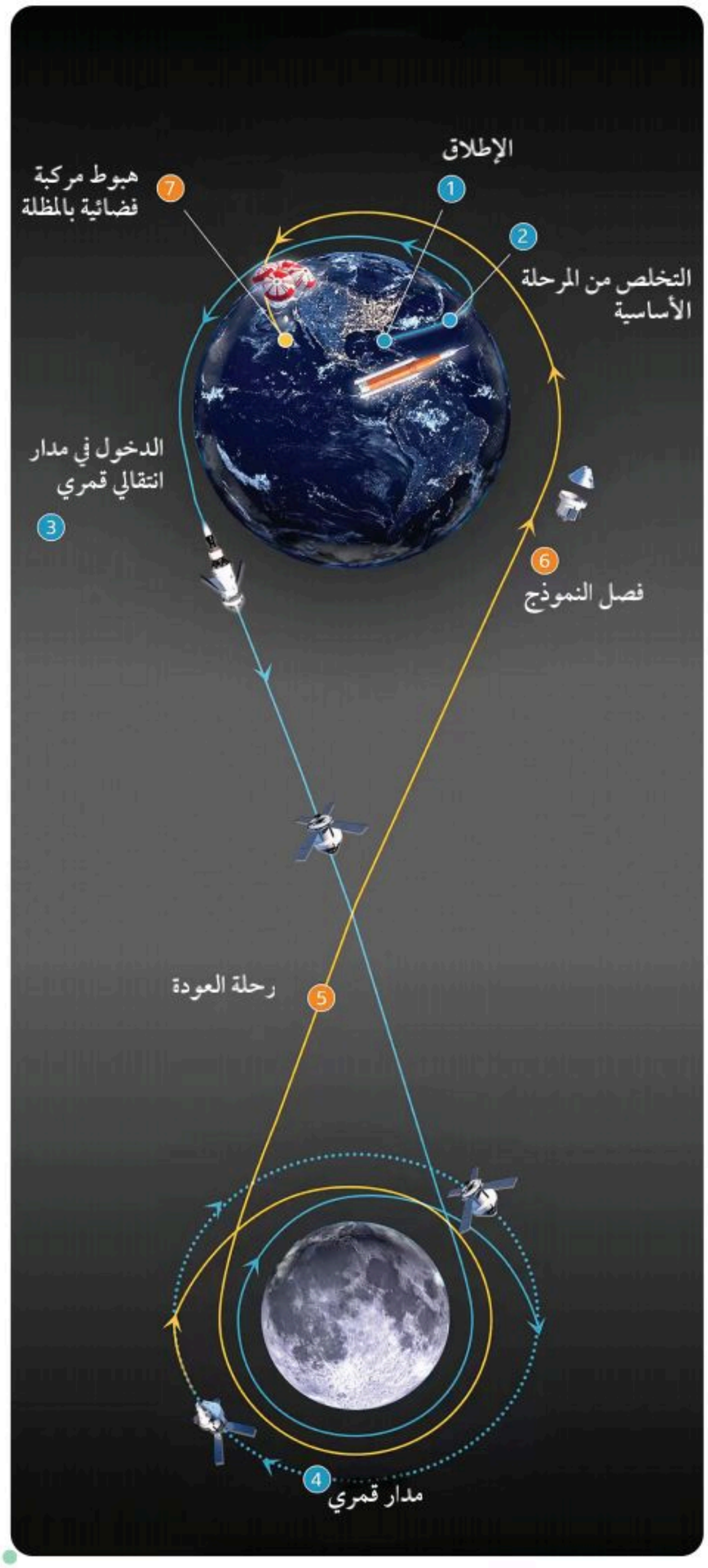
ماذا تلاحظ ؟

قارن بين حركة الكرات المتحررة من المغناطيس وحركة جسم يهرب من جاذبية الأرض.

الربط مع الفيزياء

انطلاق الصواريخ الفضائية هو أحد تطبيقات قانون نيوتن الثالث الذي ينص على أن لكل قوة فعل قوة رد فعل مساوٍ له في المقدار ومعاكس له في الاتجاه، ومن أمثلته احتراق الوقود في الصاروخ مولدًا الغازات، حيث يعمل الصاروخ على دفع هذه الغازات للتخلص منها من خلال فتحة أسفل الصاروخ. أما قوة رد الفعل التي تولدها هذه الغازات فتدفع الصاروخ لأعلى.

تمثل رحلة مشروع أرتيمس للقمر **الشكل 9–2** مثال حي على انتقال جرم بين أنظمة مدارية لجرمين سماويين هما: الأرض والقمر، وذلك حينما تبلغ سرعة إفلاته من الأرض 11 km /s لينطلق ناحية القمر في مسار قطع مكافئ، ليدخل مداره و يسير بسرعة مدارية تختلف بحسب ارتفاعه عن القمر، وبعد إكمال مهمته ينطلق من مداره حول القمر بسرعة إفلات 2.4 km /s عائدًا نحو الأرض.



الشكل 9–2 رحلة مشروع أرتيمس للقمر.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

مختبر تحليل البيانات

تفسير البيانات

1. ثمة حوالي 10 آلاف كويكب صغير يدور حول الشمس وبعضًا منها يحوم قريبًا من الأرض، وقد تكون خطيرة على البشر وكل ما هو على سطح الأرض. الجدول التالي يستعرض بعضًا من هذه الكويكبات القريبة منا:

اسم الكويكب	قطره km	بعده عن الأرض (AU)	سرعة اقترابه النسبية km/s
2022 YS6	1,786,449	0.01194	9.72
2022 YY6	813,642	0.00544	20.27
2014 LJ	1,819,585	0.01216	3.48
367789	1,816,884	0.01215	9.92

التفكير الناقد

2. **كيف** ألهمت قوانين كبلر العلماء للوصول بنجاح إلى تصميم نظام إنذار مبكر للحد من أخطار الكويكبات؟
3. بناء على بيانات الجدول أي الكويكبات الواردة تتوقع انه يشكل خطرا على الأرض في حالة اذا اقترب منها .و لماذا ؟
4. ابحث في الشبكة العنكبوتية عن كويكب اقترب مؤخراً من الأرض وقارن خصائصه بخصائص الكويكبات الواردة بالجدول . ماذا تلاحظ؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

التقويم 1–2

الخلاصة

- ينص قانون كبلر الأول على أن الكواكب تدور حول الشمس في مدارات على شكل قطع ناقص، وتقع الشمس في إحدى بؤرتيه.
- ينص قانون كبلر الثاني على أن الخط الوهمي الواصل بين الكوكب والشمس يرسم مساحات متساوية في الفضاء في أزمنة متساوية.
- ينص قانون كبلر الثالث على أن مربع مدة دورة الكوكب حول الشمس تتناسب مع مكعب نصف طول المحور الأكبر لمداره.

فهم الأفكار الرئيسة

1. احسب متوسط المسافة بين فيستا (كويكب) و بين الشمس علماً بأنه يستغرق **3.63 year** للدوران حول الشمس.
2. وضح نوع العلاقة بين متوسط المسافة لفيستا ومدة دورانه حول الشمس.

التفكير الناقد

3. لماذا يلجأ العلماء الى قوانين كبلر عند تعاملهم مع حركة المذنبات التي تتعدد مصادرها.

الرياضيات في الفلك

4. أكملت وكالة الفضاء السعودية مهمتها على سطح القمر ولذا فهي ترغب بمغادرة مركبتها حدد سرعة هروبها من القمر إذا كانت كتلة القمر $7.35 \times 10^{22}\ kg$ ونصف القطر $1.5 \times 10^{6}\ m$.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

رابط الدرس الرقمي

www.ien.edu.sa

2-2

التقنية الفضائية

Space Technology

الأهداف

- **يصنف** أنواع المركبات الفضائية.
- **يذكر** أنواع مدارات الأقمار الصناعية.
- **يقارن** بين المركبات المأهولة وغير المأهولة.

مراجعة المفردات

المدار: هو مسار منحنٍ لجسم ما حول جسم آخر تحتً تأثير قوة الجاذبية.

المفردات الجديدة

المركبات الفضائية

القمر الصناعي

محطة الفضاء

مركبة الفضاء المأهولة

مركبة الفضاء غير المأهولة

الفكرة الرئيسة **استطاع الإنسان بواسطة التقنيات الفضائية من الوصول إلى أجرام لم تكن المناظر الفلكية كافية لدراستها.**

الربط مع الحياة كانت أول رحلة للفضاء لرائد الفضاء الروسي جاجارين في سنة 1961 ميلادية.

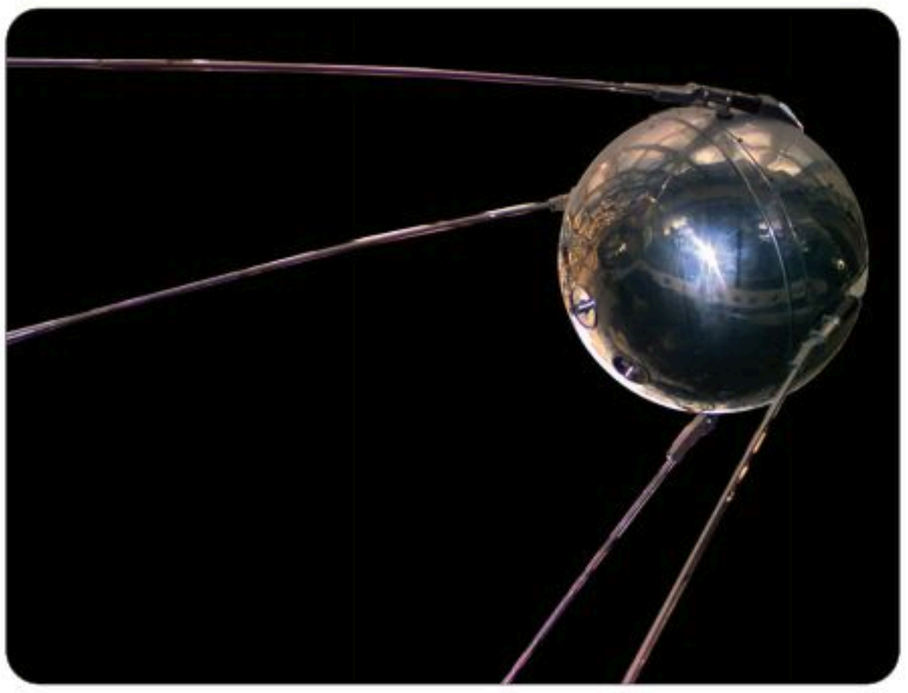
رحلات الفضاء Space flights

بدأت التقنية الفضائية في منتصف الخمسينيات من القرن الماضي عندما أطلق الاتحاد السوفيتي (روسيا حاليًا) أول قمر صناعي للاتصالات سبوتنيك1 **الشكل 10–2**، ومن ثم بدأ سباق التقنية الفضائية بين الولايات المتحدة والاتحاد السوفيتي مع إطلاق بعض المركبات الفضائية التي تحمل حيوانات مثل الكلبة لايكا **الشكل 11–2** والقرد هام، وكانت هذه المركبات تدور حول الأرض ثم تسقط أو تعود إلى الأرض بواسطة مظلة.

سباق الفضاء Space race

وبعد ذلك بدأ التسابق لإرسال مركبات فضائية إلى القمر وتصوير الجانب المظلم فأرسلت مجموعة من الأقمار الروسية والأقمار الأمريكية.

أواخر الستينات من القرن الماضي بدأ برنامج أبولو لإرسال رائد فضاء والهبوط على القمر، وكانت رحلة (أبولو 11) أول رحلة ناجحة للهبوط على القمر بواسطة رائد الفضاء الأمريكي نيل أرموسترونج ورفيقاه **الشكل 12–2** عام 1969، واستمر هذا البرنامج إلى 1974 كما أرسلت مركبات فضائية عديدة لاستكشاف كواكب المجموعة



الشكل 10–2 القمر الروسي سبوتنك 1.



الشكل 11–2 الكلبة لايكا في أول رحلة فضاء لمخلوق حي

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

الشمسية، مثل: كوكب عطارد والزهرة والمريخ، حيث هبطت على سطح المريخ المركبة المشـــهورة (فايكنج) في منتصف السبعينات من القرن الماضي وأرسلت أيضًا المركبة الفضائية (فويجر 1)، و(فويجر 2) **الشـــكل 13–2**، التي قامت في استكشـــاف كواكب المجموعة الشمســـية خصوصًا الكواكب الغازية وهي: المشتري وزحل وأورانوس ونبتون، وتوالت بعد ذلك كثير من هذه المركبات التي اكتشفت المجموعة الشمسية.

المركبات الفضائية Spacecraft

المركبات الفضائية Spacecraft هي أنظمة مصممة ومبنية للعمل في الفضاء تختلف أنواعها باختلاف مهامها.

و يمكن تصنيفها على النحو الآتي:

1. الأقمار الصناعية Satellites

هي مركبات صممت لتدور في مدارات حول الجرم السماوي ولها عدة وظائف بحسب مداراتها، وتخضع حركة **الأقمار الصناعية Satellites** حول الكـــرة الأرضية إلى قوانين كبلر التي تحدد حركـــة الكواكب. وهذه القوانين تنص على أنه كلـــما كان القمر واقعًا في مدار أعلى، تحرك بسرعة أبطأ. ويُطلق القمر الصناعيّ إلى الفضاء بواسطة صاروخ، حيث يدور هذا القمر الصناعيّ حـــول الأرض عندما تتوازن السرعة من خـــلال الجاذبيّة الأرضيّة، إذ بدون التوازن إما أن يطير في خط مستقيم إلى الفضاء، أو يسقط إلى الأرض.

الربط مع الفيزياء

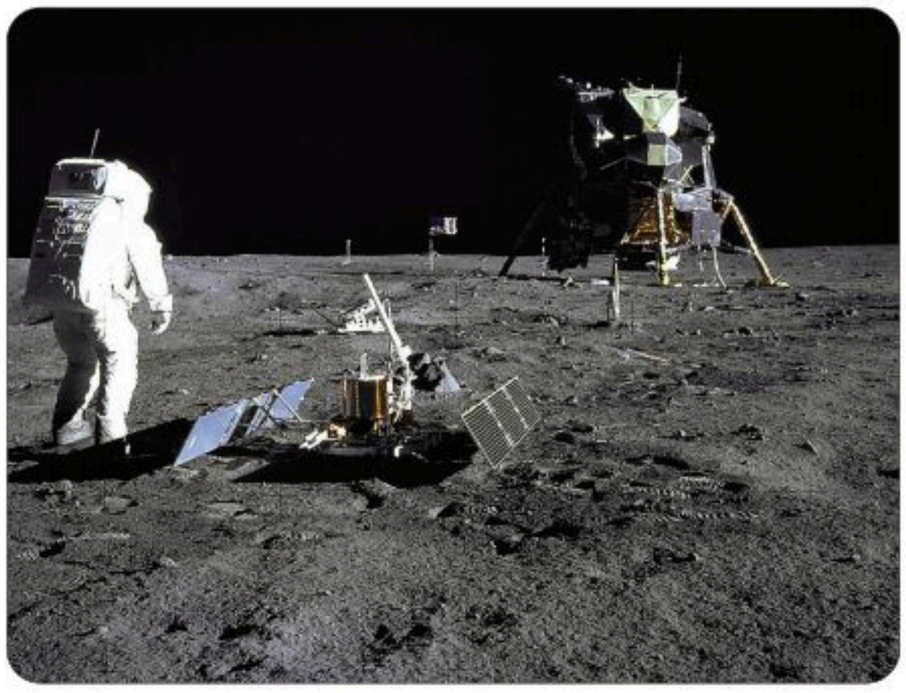


قـــام رواد فضـــاء رحلـــة أبولـــو 11 القمريـــة بتجـــارب عـــدة، أشـــهرها: تجربـــة الســـقوط الحـــر التـــي اســـتخدموا فيهـــا ريشـــة النـــسر ومطرقـــة؛ حيـــث إنـــه عندمـــا أســـقطهما رائـــد الفضـــاء ســـقطا معًـــا نتيجـــة عـــدم وجـــود مقاومـــة مـــن الهـــواء عـــلى ســـطح القمـــر، و هـــذا يؤكـــد مـــا أشـــار إليـــه العـــالم غاليليـــو حـــول أن الأجســـام تسقط بنفس التسارع.

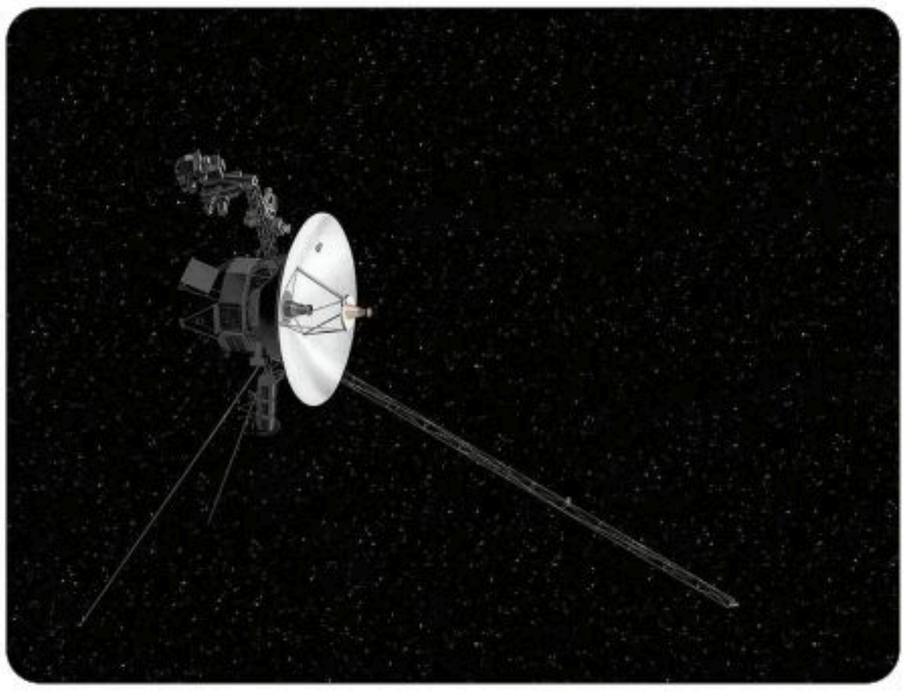
تجربة عملية

عاكس الموجات

ارجع إلى دليل التجارب العملية على منصة عين الإثرائية



الشكل 12–2 رحلة أبولو 11 القمرية.



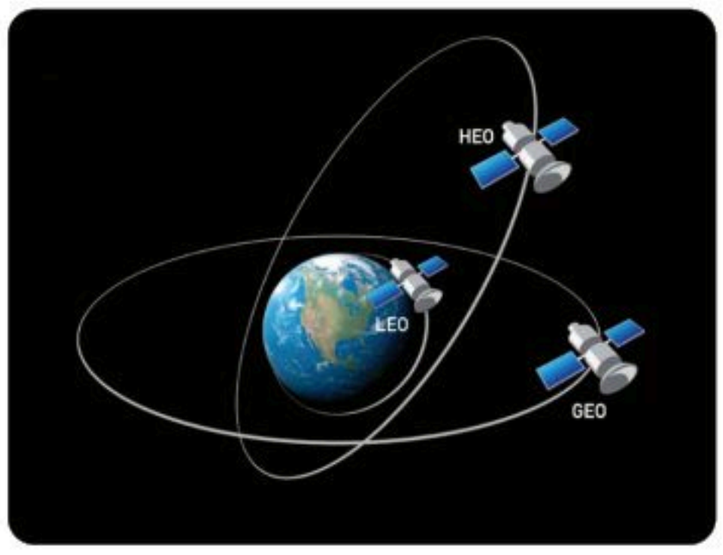
الشكل 13–2 المسبار فويجر 2.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

و لذا يتم تصنيفها إلى عدة أنواع بحسب مداراتها الآتية **الشكل 14–2**:

المدار الأرضي المنخفض Low Earth orbit (LEO)

مدار قريب من سـطح الأرض، على ارتفاع أقل مـن 2000 Km، وهو المدار الأكثر اسـتخدامًا للتصوير عن طريق الأقمار الصناعية، حيث إن قربه من السـطح يسـمح له بالتقاط صور بدقة أعلى. وهو أيضًا المدار المستخدم لمحطة الفضاء الدولية (ISS)، وتتحرك الأقمار الصناعية في هذا المدار بسرعة حوالي 7.8 Km /s، بهذه السرعة يسـتغرق القمر الصناعي حوالي 90 min لإكمال دوره حول الأرض.



الشكل 14–2 أنواع مدارات الأقمار الصناعية.

المدار الأرضي المتوسط Medium Earth orbit (MEO)

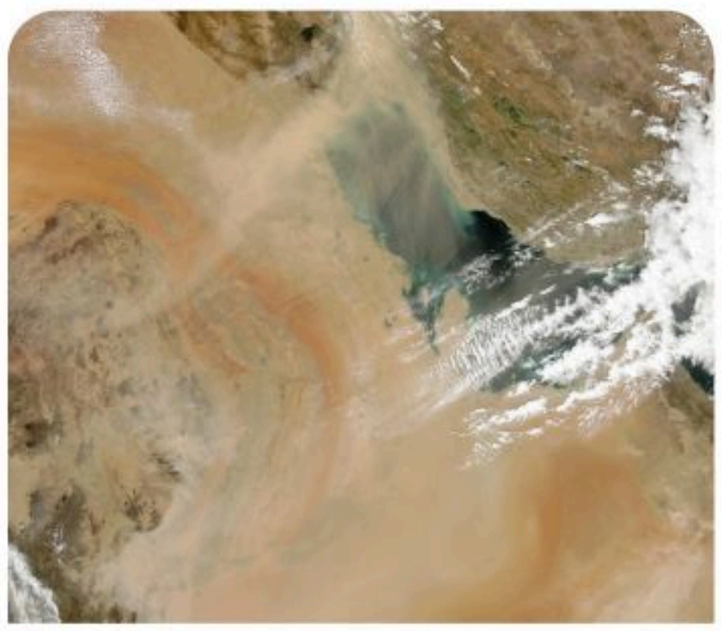
يقع هذا المدار على مسـافة 2000 إلى 35000 kmمن سطح الأرض، هذا المدار مثالي للملاحة والأقمار الصناعية للاتصالات، يستغرق القمر الصناعي عـلى هذا المدار 12h لإكمال دورة حول الأرض، أي أنه يدور مرتين في اليوم ومن أشهر أنواع الأقمار الصناعية في هذا المدار أقمار نظام تحديد المواقع العالمي (GPS) **الشكل 15–2**.



الشكل 15–2 أقمار نظام تحديد المواقع العالمي.

المدار الثابت للأرض Geostationary orbit (GEO)

هو مدار دائري يقع مباشرة فوق خط الاسـتواء على ارتفاع 35786 km من سطح الأرض ،يتحرك الأقمار في هذا المدار في اتجاه دوران الأرض بنفس سرعة دورانها أي أن فترة دورانه مساوية لفترة دوران الأرض؛ لذا هو ثابت لمنطقة معينة ويدور مع هذه المنطقـة. الأقمار التي تقع في هذا المدار هي أقمار مراقبة الطقس **الشكل 16–2** لأنها تحتاج إلى رؤية ثابتة لنفس المنطقة، وأيضًا أقمار الاتصالات السلكية واللاسلكية والقنوات الفضائية حتى لايتم تغيير اتجاه الهوائي.



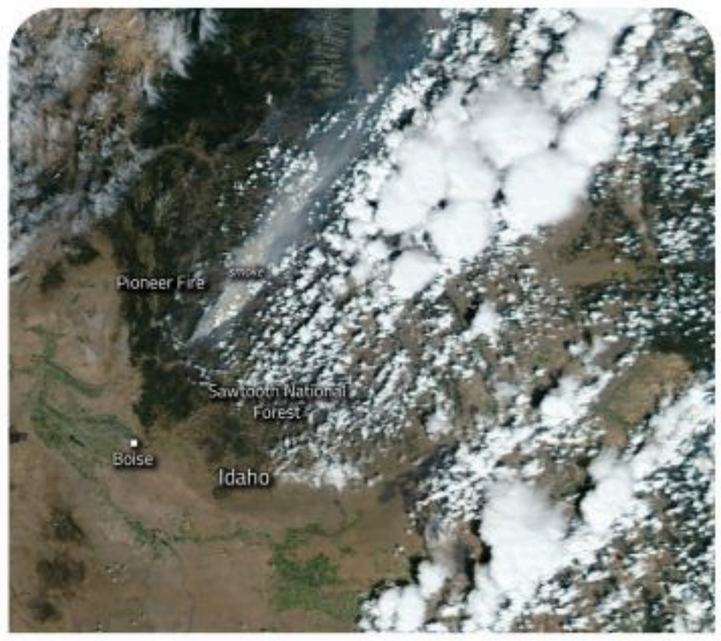
الشكل 16–2 صورة للسحب ملتقطة من قمر صناعي متخصص برصد الطقس.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

المدار القطبي الارضي: Earth's Polar Orbit

تتحرك الأقمار الصناعية في المدارات القطبية من الشمال إلى الجنوب مرورًا تقريبًا فوق قطبي الأرض، وهي تقع على ارتفاعات منخفضة بين 200 إلى 1000 km، و يستخدم العلماء سلسلة صور هذه الأقمار للمساعدة في التنبؤ بالطقس أو العواصف وحرائق الغابات **الشكل 17–2** والفيضانات.

ماذا قرات؟ ما القمر الصناعي المناسب لعمل إنذار مبكر لإعصار؟



الشكل 17–2 حرائق غابات ملتقطة من قمر متخصص برصد ملوثات البيئة.

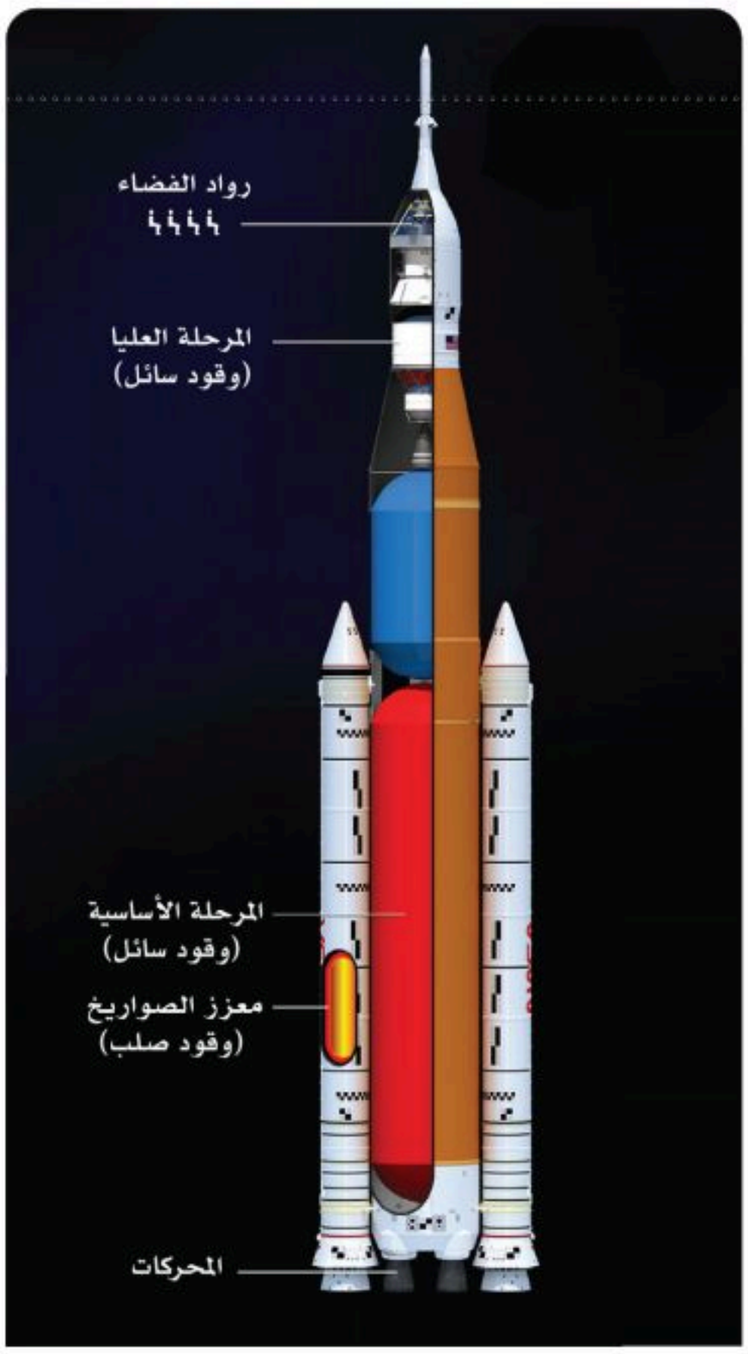
2. محطات الفضاء Space Station:

محطة الفضاء Space Station هي مركبة مصممة من عدة وحدات معملية ومعيشية يتناوب على العمل فيها رواد الفضاء لعدة أشهر، وتدور حول الأرض في المدار الأرضي المنخفض، وتجرى في المحطات الفضائية التجارب والاختبارات والأبحاث، وهناك وحدة خاصة للعودة إلى الأرض.

هناك محطتان فضائيتان، الأولى محطة الفضاء الدولية (ISS) وهي بالتعاون مع خمس وكالات فضائية: الأمريكية، الروسية، الأوروبية، اليابانية، الكندية. والثانية محطة الفضاء الصينية (TSS) **الشكل 18–2**.



الشكل 18–2 محطة الفضاء الصينية



الشكل 19–2 تركيب صاروخ الإطلاق لمركبات الفضاء المأهولة.

مهن مرتبطة

رائد فضاء:

تتمثل مهنة رائد الفضاء في قيادة مركبة الفضاء أو القيام بمهمات فضائية دقيقة داخل المركبة أو خارجها أو القيام بإجراء تجارب هندسية أو طبية أو علمية عامة.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

3. مركبات الفضاء المأهولة Manned Space Vehicles

مركبات الفضاء المأهولة **Manned Space Vehicles** هي مركبات فضاء يقودها رواد فضاء، ويقومون بعدة تجارب عبر معامل صممت لعدة أغراض، وعند اكتمال مهمتهم يعودون إلى الأرض عن طريق نفس المركبة الشكل **19–2**.

4. مركبات الفضاء غيرالمأهولة Unmanned Space Vehicle

تتنوع مركبات الفضاء غير المأهولة **Unmanned Space Vehicle** فهناك مركبات استطلاع، تقترب من الجرم سواء كان كوكبًا، أو قمرًا، أو كويكبًا، أو مذنبًا، ثم تبتعد عنه وفي أثناء اقترابها تأخذ العديد من الصور والقياسات وتبعث بها إلى محطات المراقبة الأرضية أو تعود إلى الأرض بعينات ترابية كمركبة (ستاردست stardust) **الشكل 20–2** التي ظلت تجمع الغبار من مخلفات مذنب (wild2) **الشكل 21–2**. وهناك مركبات يهبط منها مركبة (Rover) تقوم بالعديد من التجارب ومتنقلة بين أرجاء السطح تأخذ العينات وتقوم بتحليلها وترسل بياناتها إلى محطات المراقبة الأرضية، ومن أمثلة هذه المركبات مركبة (برسفيرنس Perseverance) المريخية **الشكل 22–2**.

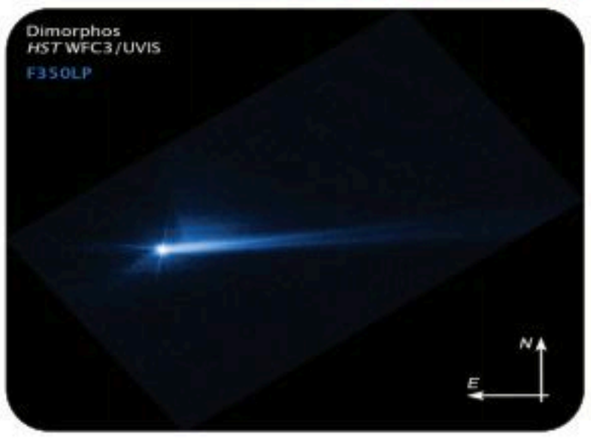
وأيضًا توجد مركبات تهبط بهدوء دون أن تتحطم، وبعد نزولها تأخذ العديد من الصور والقياسات باعثه بها إلى محطات المراقبة الأرضية.

ماذا قرأت؟ **كيف** يستطيع العلماء الحصول على بيانات وعينات المركبات الفضائية غير المأهولة؟

فكر معنا

ما أبرز المشاكل التي قد يواجهها رواد الفضاء عند القيام برحلات مدارية؟

الربط مع البيئة



استطاع مسبار الفضاء «دارت» عام 2022 من الاصطدام بكويكب ديمورفوس الذي بلغ عرضه 160m على بعد 11×10^6 Km من أرضنا، وحرفه عن مساره بنجاح، وذلك في تجربة لمعرفة مدى إمكانية منع صخرة كبيرة في الفضاء من الاصطدام بالأرض، وذلك بحرفها عن مسارها بسلام.



الشكل 20–2 مركبة ستاردست.



الشكل 21–2 عينة من مخلفات مذنب ويلد2 التي جمعتها مركبة ستاردست.



الشكل 22–2 مركبة برسفيرنس.

تجربة

العلاقة بين حمولة الصاروخ وسرعة انطلاقه

تستخدم المركبات الفضائية (الصواريخ) لنقل الأشخاص أو نقل حمولات من الأرض إلى الفضاء الخارجي. وتوضع حمولة الصاروخ قرب قمته، وتكون مغطاة بغطاء يحميها أثناء الإقلاع من أحوال الطقس الخارجية وتنفصل الحمولة بعد الوصول للهدف.

خطوات العمل

1. خذ كمية من بيكربونات الصوديوم بواسطة الملعقة الصغيرة وضعها داخل علبة فيتامين سي بها 5 مل ماء.
2. أحكم إغلاقها وضعها بشكل رأسي بجانب مبنى المدرسة الخارجي. لاحظ انطلاقها وحدد موقعها بالنسبة للمبنى.
3. أعد الخطوة 2 بإضافة كمية من بيكربونات الصوديوم بواسطة الملعقة الكبيرة .

التحليل

4. أي الحالتين كان الارتفاع الذي وصلت له العلبة كبيرًا ؟
5. ما العلاقة بين ارتفاع الصاروخ وبين كمية وقوده؟
6. هل من المناسب تقليل حمولة الصاروخ أم زيادة كمية وقوده لإيصاله إلى مداره؟



الشكل 24–2 صورة القمر من كاميرا تقنية سعودية موجودة ضمن مهمة تشانج ليونار الصينية للقمر.

تاريخ المملكة العربية السعودية في الفضاء
History of Saudi Arabia in space

تسعى المملكة العربية السعودية إلى تحقيق الريادة الإقليمية في مجالات الفضاء والمساهمة في التنمية المستقبلية لهذا القطاع الحيوي، وتعمل المملكة العربية السعودية على تقنيات وأنظمة الفضاء من خلال التعاون الوطني والدولي في برامج البحث والتطوير ونقل التكنولوجيا وتوطينها. في عام 1985 أصبح صاحب السمو الملكي الأمير سلطان بن سلمان بن عبد العزيز آل سعود أول رائد فضاء عربي مسلم عندما شارك في مهمة فضائية على متن مكوك "ناسا ديسكفري" الذي حمل معه ثاني قمر صناعي عربي، كأخصائي حمولة ضمن رحلة(STS–51G Discovery)والتي استغرقت مدتها أسبوعًا كاملًا من 17 إلى 24 يونيو 1985.

كما حققت مدينة الملك عبد العزيز للعلوم والتقنية العديد من الإنجازات بإطلاقها 17 قمرًا صناعيًا سعوديًا بين عامي 2000 و2022 **الشكل 23–2**، وشاركت مع وكالة الفضاء الأمريكية "ناسا" وجامعة ستانفورد بتنفيذ تجارب علمية في الفضاء عام 2014 على القمر الصناعي (سعودي سات 4). إلى جانب ذلك، تعاونت مدينة الملك عبد العزيز للعلوم والتقنية مع إدارة الفضاء الوطنية الصينية في مهمة (Chang'e 4 lunar) في عام 2018، لاستكشاف الجانب المظلم للقمر **الشكل 24–2**.

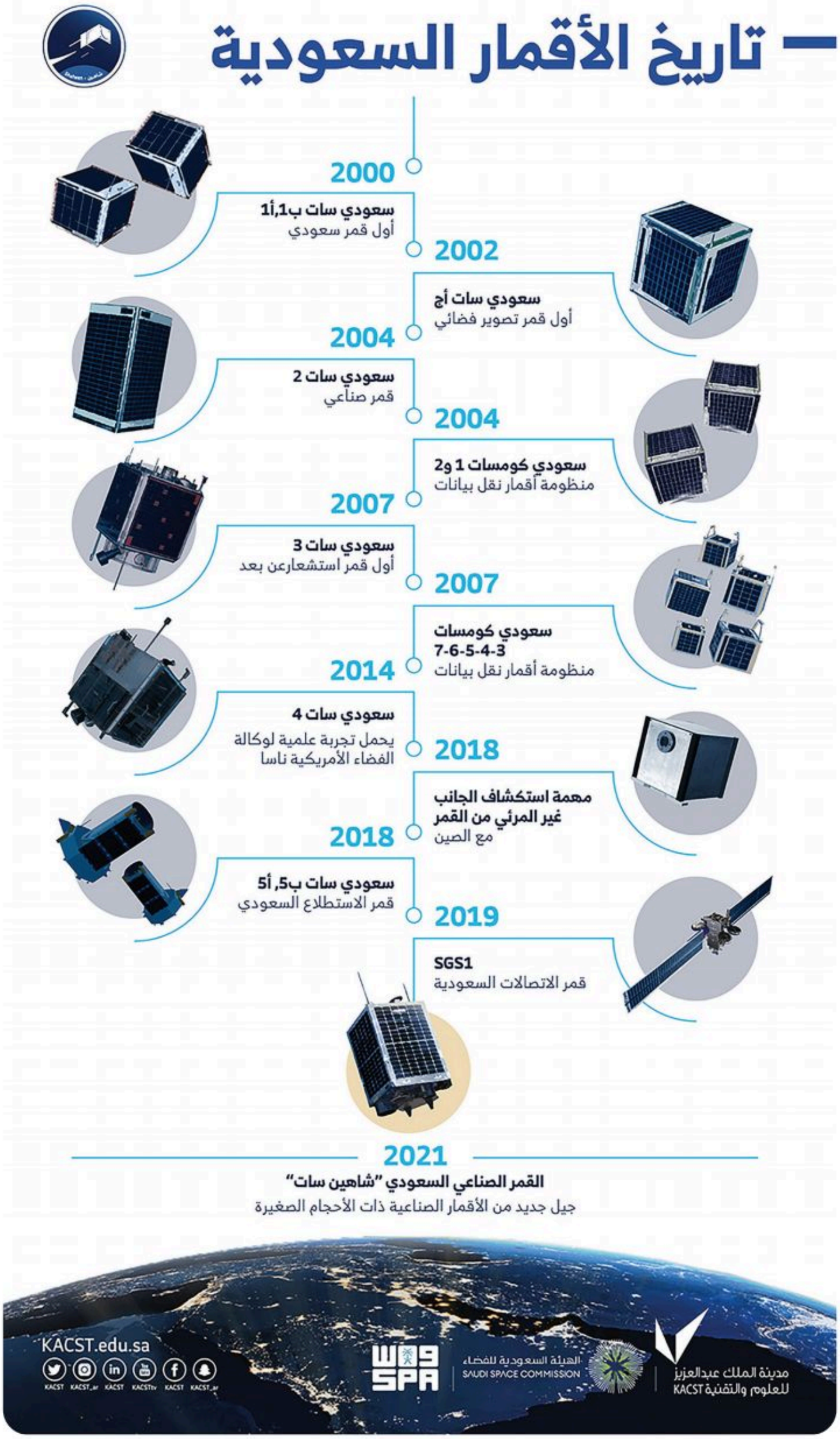
الربط مع رؤية 2030

من أهداف الرؤية:

تأسست الوكالة السعودية للفضاء بموجب أمر ملكي في ديسمبر 2018، وهي خطوة شجاعة نحو مستقبل أكثر ابتكارًا وتطلعًا لأحدث التقنيات والفرص في قطاع الفضاء السعودي. تتوافق أهداف الهيئة السعودية للفضاء مع تطلعات المملكة نحو حياة أكثر جودة وتقدم، حيث تتوافق مع رؤيتها لخلق بيئات أفضل وأكثر أمانًا لمواطنيها، مع خلق فرص جديدة لمزيد من الابتكارات المربحة الداعمة للاقتصاد السعودي.

وفي يونيو 2023 تم إصدار قرار مجلس الوزراء رقم 13 بتحويل مسمى الهيئة السعودية للفضاء لتكون وكالة الفضاء السعودية.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447



الشكل 23–2 تاريخ الأقمار الصناعية السعودية .

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

السعودية نحو الفضاء

أعلنت المملكة العربية السعودية في يوم الأحد بتاريخ 21/ 05/ 2023 عن إرسال أول رائدة فضاء سعودية ورائد فضاء سعودي إلى محطة الفضاء الدولية، حيث انضمت (رائدة الفضاء ريانة برناوي، ورائد الفضاء علي القرني) إلى طاقم مهمة AX-2 الفضائية بهدف بناء القدرات الوطنية في مجال الرحلات المأهولة؛ لأجل البشرية والاستفادة من الفرص الواعدة التي يقدمها قطاع الفضاء وصناعاته عالميًا، وتهدف هذه المهمة إلى إجراء 14 تجربة علمية وبحثية رائدة في الجاذبية الصغرى تتضمّن ثلاث تجارب تعليمية توعوية لطلاب التعليم العام تسهم نتائجها في تعزيز مكانة المملكة عالميًا في مجال استكشاف الفضاء، وخدمة البشرية، وإبراز دور مراكز الأبحاث السعودية .

كما تضمن البرنامج تدريب رائدة ورائد فضاء آخرين على جميع متطلبات المهمة كطاقم احتياطي، وهما (مريم فردوس و علي الغامدي).

الربط مع رؤية ٢٠٣٠

رؤية VISION 2030 المملكة العربية السعودية KINGDOM OF SAUDI ARABIA

إنجاز سعودي

تم إطلاق فالكون ٩ (مهمة فلك) في ابريل ٢٠٢٥ كأول مهمة فضائية بحثية تطلق في المدار القطبي لدراسة وتحليل مايكرو بيوم العين في الفضاء.







وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

مختبر حل المشكلات

تستخدم الأقمار الصناعية مدارات محددة من أجل القيام بمهمات أرضية أو فضائية حيث لكل مدار خصائصه التي تساعد القمر الصناعي على أداء مهامه بدقة كما تظهر من خلال الجدول الآتي :

	LEO	MEO	GEO
ارتفاع	2896	14484	35786
الفترة العمرية	5 سنوات	10 سنوات	15 سنة
الفترة المدارية	95–115 دقيقة	3–7 ساعة	24 ساعة

التحليل

1. إذا أردت تصميم قمر صناعي مخصص لرصد الزحام المروري في مدن المملكة الكبرى وقت الذروة مستعيناً بالجدول الذي أمامك اقترح اختيار المدار المناسب لوضع قمرك الصناعي فيه وذلك بناء على موقع المهمة و فترتها الزمنية لتستطيع الحصول على البيانات المطلوبة بكل دقة .

التفكير الناقد

2. ابحث في الشبكة العنكبوتية عن مميزات أخرى لمدارات **GEO** و **LEO** و **MEO** و اضفها للجدول السابق و بناء عليها ناقش أي المدارات السابقة تلجأ إليه معظم دول العالم؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

التقويم 2–2

الخلاصة

المركبات الفضائية هي أنظمة مصممة ومبنية للعمل في الفضاء تختلف أنواعها باختلاف مهامها.

و يمكن تصنيفها على النحو الآتي:

- الأقمار الصناعية.
- محطات الفضاء.
- مركبات الفضاء المأهولة.
- مركبات الفضاء غير المأهولة.

أنواع مدارات الأقمار الصناعية:

المدار الأرضي المنخفض، المدار الأرضي المتوسط، المدار الثابت للأرض، المدار القطبي الأرضي.

فهم الأفكار الرئيسة

1. **قارن بين أقمار المدار القطبي وأقمار المدار الأرضي الثابت من حيث أيهما الأنسب لمتابعة مباشرة لحريق في منطقتك.**
2. **يريد رواد فضاء القيام بتجارب علمية تستغرق 4 أشهر، فما التقنية الفضائية المناسبة لهم مبينًا سبب اختيارك.**

التفكير الناقد

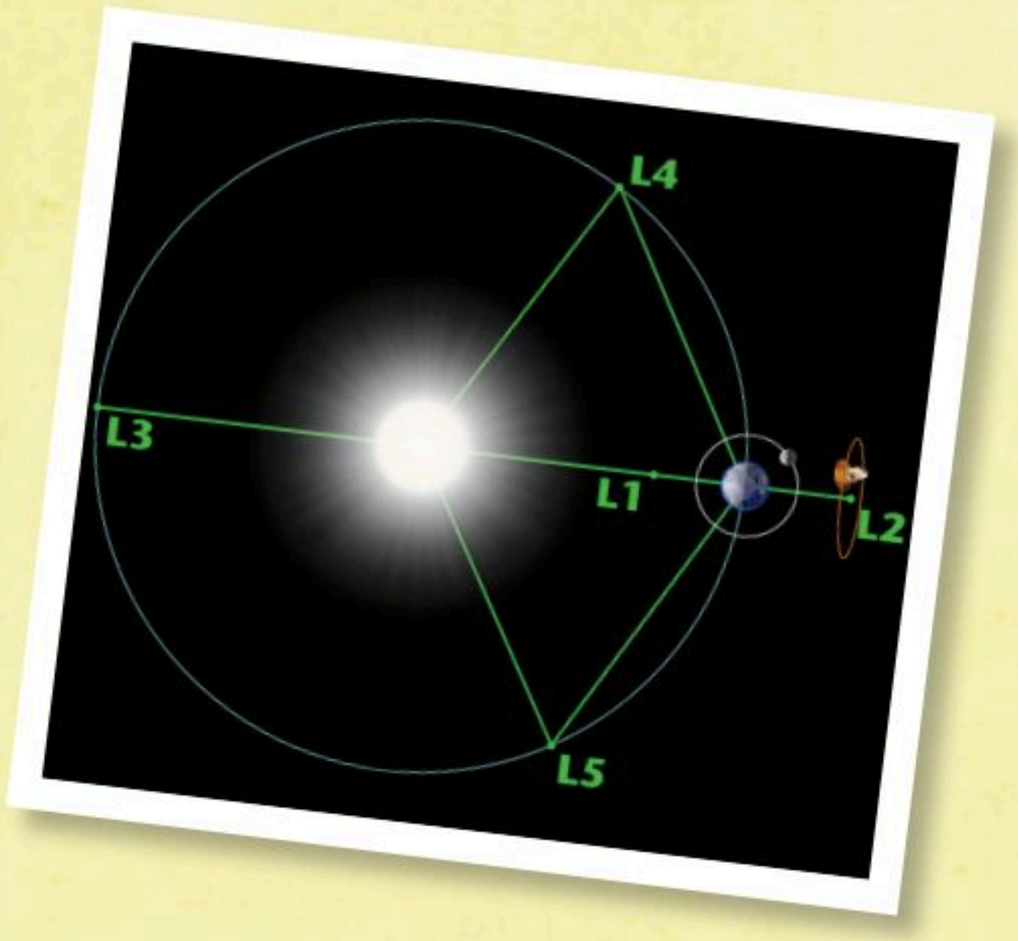
3. يرغب العلماء في الحصول على عينة ترابية من إحدى الكويكبات التي بدأت تقترب من مدار الأرض حول الشمس؛ وذلك لدراسة مكوناته الأولية وعلاقتها ببناء النظام الشمسي.

حدد التقنيات الضرورية للقيام بهذه المهمة مبينًا دور كل تقنية.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

تطبيقات فضائية

ما الذي يجعل نقاط لاغرانج مواقع مهمة في الفضاء



إذا كان لدينا جسمان فائقي الكتلة، فإن قوى الجاذبية ستتوازن تمامًا بينهما في 5 أماكن، وفي كلٍ من هذه الأماكن الخمسة يمكنك وضع قمر صناعي له كتلة صغيرة نسبيًا، وتحافظ على موقعه ببذل القليل من الجهد. فعلى سبيل المثال، يمكنك وضع تلسكوب فضائي أومستعمرة مدارية، وعندها ستحتاج القليل من الطاقة أو لا شيء منها للحفاظ على موقعها، و قد وجد علماء الفلك هدفهم المنشود في أماكن مميزة من نظامنا الشمسي أطلق عليها اسم نقاط لاغرانج.

فموقع النقطة L1 من نظام الشمس–الأرض مكان عظيم لتركيز تلسكوب شمسي، حيث إنها أقرب قليلًا إلى الشمس، ولكن موقعها سيسمح لها بإرسال البيانات ثانيةً لنا على الأرض.

وقد أُعد تلسكوب جيمس ويب الفضائي لوضعه في النقطة L2 من نظام الشمس–الأرض، وهي تقع على بعد حوالي 1.5 مليون كيلومتر من الأرض.

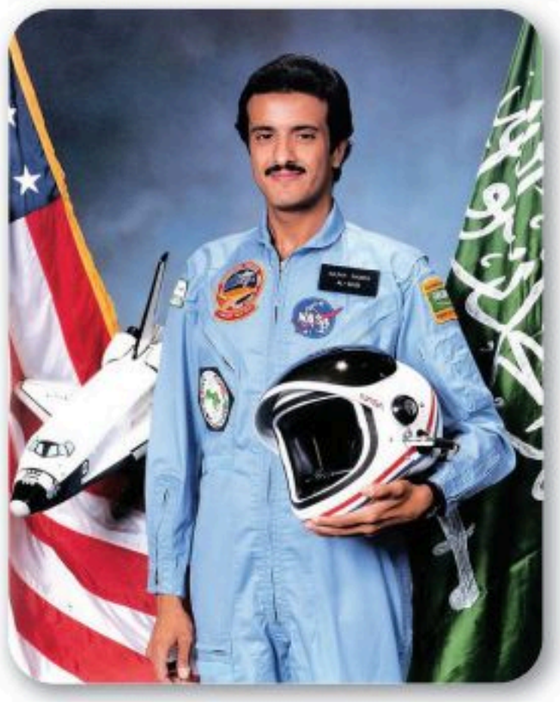
ومن هناك، ستكون كل من الشمس والأرض والقمر واقعة في مكان صغير في السماء، لتترك بقية الكون حرًا أمام عمليات الرصد.

أما نقطة L1 من نظام الأرض– القمر ستكون المكان المثالي لوضع محطة قمرية يُعاد تزويدها بالوقود، وهي مكان يسهل منه الوصول إلى الأرض أو القمر مع حد أدنى من الوقود.

وتتمركز أغلب أفكار الخيال العلمي حول وضع محطة فضائية أسطوانية دوارة وعملاقة في نقاط L4 و L5 فهي ستكون مستقرة تمامًا في المدار، وعملية الوصول إليها سهلة نسبيًا، وستكون أكثر الأماكن مثاليةً لبدء استعمار النظام الشمسي.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

رحلة صاحب السمو الملكي
الأمير سلطان بن سلمان للفضاء*



" رحلة سلطان لم تكن رحلة عادية أو نزهة، وإنما كانت لخدمة أهداف علمية لصالح العلم والتعليم.. ويجب أن نعتز بها كمواطنين سعوديين؛ بأننا وصلنا إلى مرحلة من التعليم والتطور جعلتنا نستوعب هذه المهمة، وجعلت علماءنا يقومون بأبحاث فضائية لخدمة العِلم في المملكة العربية السعودية والبلاد العربية والإسلامية. "

كلمة خادم الحرمين الشريفين الملك سلمان بن عبد العزيز آل سعود لوكالة الأنباء السعودية في 29 رمضان 1405هـ الموافق 17 يونيو 1985.

الفكرة والانطلاقة

بدأت الفكرة انطلاقا من سعي المملكة إلى دعم العلماء والباحثين من خلال مجموعة واسعة من المشاريع التنموية الشاملة في مجالات متعددة؛ حيث كان أحدها مشاركة المملكة في رحلة الفضاء ديسكفري عام (1985) وقد كانت أول ريادة إسلامية وعربية في الفضاء.

قصة الترشيح

يذكر صاحب السمو الملكي الأمير سلطان بن سلمان أنه عندما رُشح لهذه المهمة الفضائية عادت به الذاكرة إلى العام (1969)؛ حيث قال: "لقد تابعت آنذاك وأنا شاب في سن الثالثة عشرة البث التلفزيوني لصعود أول إنسان إلى سطح القمر، وتابعنا في المملكة باهتمام بالغ نزول نيل أرمسترونج أول إنسان تطأ قدماه سطح القمر في (20 يوليو 1969)في رحلة أبولو 11" .



* خادم الحرمين الشريفين الملك سلمان يحي ابنه سلطان عند استقبال الفريق المشارك في رحلة الفضاء في 20 يوليو 1985.

ثم ذكر: " لقد كان لذلك الحدث أثر بالغ في تشكيل تاريخ الإنسانية، وفي الشباب في بلادنا، وبقية شعوب العالم". ومنذ تلك اللحظة عُمل على كافة الجوانب المتعلقة بالمهمة ومنها كان تشكيل الفريق العملي .

برنامج التدريب

كان برنامج الإعداد لرحلة الفضاء طموحًا إلى أبعد الحدود لما تضمنه من ثراء في الأهداف، و ذكرت مديرة برنامج التدريب الذي أعدته «ناسا» لصاحب السمو الملكي ولزميله الاحتياطي عبدالمحسن البسام؛ المهندسة الأمريكية كاثي أبوالتين أن تدريب رائد الفضاء كي يصبح أخصائيَ حمولة يحتاج إلى نحو (114) ساعة تدريب؛ أي من ستة أشهر إلى ثمانية عشر شهرًا، كما جرى مع باتريك بودري أخصائي الحمولة الفرنسي مثلًا. ولكن نظرًا إلى ضيق الوقت؛كان من الضروري تكثيف البرنامج جدًّا؛ حتى يستطيع رائد الفضاء وزميله استيعابه في مدة زمنية قياسية استغرقت نحو عشرة أسابيع فحسب، أي منذ بداية إبريل حتى منتصف يونيو (1985).

التجارب العلمية

اختير البرنامج العلمي بعناية ليشـــمل المجالات الرئيسة في علوم الفضاء، وتقنياته ،والاستشعار عن بعد؛ وكان أبرز التجارب العلمية:

- التصوير الفضائي لبعض مناطق المملكة للحصول على معلومات جيولوجية وطقسية، وغيرها .
- رصد هلال شهر شوال حيث كان موعد بدء الرحلة في (12 يونيو 1985) أي (24 رمضان)؛ مما يتيح الفرصة لرؤية هلال بداية شهر شوال، لكن أُلغيت التجربة عند تأخر موعد إطلاق المكوك.
- تجربة فصل السوائل التي أُجريت لأول مرة على عينات من خليط الماء وزيت البترول العربي الخام.
- تجربة الغاز المؤين حيث أضافت هذه التجربة مفاهيم علمية جديدة لظاهرة انتشار الغازات في الفضاء، وتأثير درجة تأينها على المجال الكهربائي المحيط بالمركبات الفضائية والأقمار الصناعية.



صورة تذكارية تجمع رائـد الفضاء العربي مـع الفريق العلمي السعودي (نحو 19 عالمًا وباحثًا).

بالإضافة إلى تجارب دولية أخرى كانت على متن الرحلة من أمريكا، وفرنسا ،والمكسيك، وألمانيا الغربية.

الإنجاز

كانت المركبة الفضائية قد وصلت إلى مدارها على بعد (320) كيلو مترًا من سطح الأرض، بعد مضي نحو خمس وأربعين دقيقة من موعد الإقلاع، وبعد ست ساعات من انطلاق المكوك من الأرض، بدأ الاستعداد لنشر الأقمار الصناعية التجارية الثلاثة، ثم –بعد ذلك– بدأ رائد الفضاء الفرنسي تجاربه الطبية حول دراسة التغيرات التي تطرأ على جسم الإنسان في حالة انعدام التوازن.

وكانت أهم الإنجازات:

- مشاركة أول رائد فضاء عربي مسلم في مهمة فضائية.
- النجاح في وضع القمر العربي الثاني في مداره، واستقبال الإشارات، وتشغيله.
- صرح جيسي مور مدير رحلات رواد الفضاء بوكالة ناسا بأن الرحلة (G51) تُعد من أنجح الرحلات المكوكية التي تحققت في تاريخ «ناسا» حتى تاريخه.
- شـــهد القمر الصناعي أول تجربة له حينما نقل التلفاز السعودي وقائع صلاتي المغرب والعشاء من مكة المكرمة والمدينة المنورة تباعًا على الهواء مباشرة يوم الخميس (6 ذو الحجة 1405 هـ) الموافق (22 أغسطس 1985)؛ أي في أقل من أسبوع على إطلاقه، وكانت أول صورة حية يبثها القمر العربي هي صورة الكعبة المشرفة، كما نجح بعد ذلك في نقل مشاعر الحج كاملة وصلاة العيد لعام(1405هـ) حية على الهواء لملايين المسلمين في ثلاثٍ وعشرين دولة عربية وأوروبية.

* المرجع

7 أيام في الفضاء قصة أول ريادة عربية للفضاء، ســلطان بن سلمان آل سعود، 1440 هـ.

مختبر الفضاء

قانون كبلر الثالث

خلفية علمية وضع كبلر ثلاث قوانين حملت اسمه، واشتهرت في العصر الحديث بشكل كبير؛ وذلك لإرتباطها الواسع بعلم الفلك والفضاء وهذه القوانين صالحة للتطبيق في حال وجود شرطين غير متوفرين في الواقع، هما:

أن يكون الجرم الذي يدور في المدار لا كتلة له، وأن يكون الجسم وحيداً؛ أي يدور في المدار وحده دون وجود أي جرم آخر. وصفت قوانين كبلر العلاقة بين الشمس والكواكب التي تدور حولها في مدارت خاصة، فبيّنت أن طبيعة مدارات الكواكب إهليلجية، وأن الكواكب لا تسير بسرعة واحدة بل تختلف باختلاف بُعدها عن الشمس، كما أن هنالك علاقة ما بين زمن دوران الكوكب والبعد عن الشمس.

سؤال كيف يمكن اثبات قانون كبلر الثالث من خلال قياس الفترة المدارية وقياس نصف المحور الأكبر لمدار الكوكب؟

Planet	نصف المحور الأكبر a AU	الفترة T المدارية سنة	T^2	a^3
عطارد				
الزهرة				
الأرض				
المريخ				
المشتري				

الأدوات

آلة حاسبة.

تلسكوب Microsoft على الويب.

إجراءات السلامة

خطوات العمل

1. قم بفتح البرنامج عبر الرابط على الشبكة العنكبوتية، اضغط على أيقونة "انظر إلى" القائمة السفلية واختر (النظام الشمسي).
2. قم باختيار كوكب عطارد واضغط على أيقونة "منظر" بالقائمة العلوية، وقم بتحريك المدة الزمنية إلى عدة سنوات لحساب الفترة المدارية للكوكب.
3. سجل قيمة الزمن الدوري في الجدول، ثم اوجد قيمة T^2
4. أوجد قيمة نصف المحور الأكبر لمدار الكوكب **a** ثم أوجد a^3 وسجلها بالجدول.
5. أعد الخطوات من 2 إلى 4 لكواكب الزهرة، الأرض، المريخ، المشتري.

التحليل والاستنتاج

1. مثل بيانياً a^3 و T^2 مانوع العلاقة.
2. هل تم إثبات قانون كبلر الثالث من الرسم البياني؟ فسر ذلك.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

الفصل 2

دليل مراجعة الفصل

الفكرة العامة تخضع الأجرام السماوية والأنظمة الفضائية لمجموعة من القوانين التي تحدد خصائص حركتها وديناميكيتها السماوية.

المفردات	المفاهيم الرئيسة
2–1 قانون الجاذبية وقوانين كبلر	
قانون كبلر الأول البعد الحضيضي البعد الأوجي قانون كبلر الثاني قانون كبلر الثالث سرعة الهروب	**الفكرة الرئيسة** قوانين كبلر تصف شكل وخصائص حركة الأجرام التي تسلكها حول بعضها والسرعات التي تتحرك بها والكتل المتبادلة بينها. **قانون كبلر الأول** تدور الكواكب حول الشمس في مدارات على شكل قطع ناقص، وتقع الشمس في إحدى بؤرتيه. **البعد الحضيضي** $r_p = a(1-e)$ **البعد الأوجي** $r_a = a(1+e)$ **قانون كبلر الثاني** الخط الواصل بين الكوكب والشمس يرسم مساحات متساوية في الفضاء في أزمنة متساوية. **قانون كبلر الثالث** مربع مدة دورة الكوكب حول الشمس تتناسب مع مكعب نصف طول المحور الأكبر لمداره. $T^2 = a^3$ **السرعة المدارية لجرم سماوي** $V = 30\sqrt{\left(\frac{2}{r} - \frac{1}{a}\right)}$ **كتلة كوكب له تابع** $m = M\left(\frac{a_2}{a_1}\right)^3\left(\frac{T_1}{T_2}\right)^2$ **سرعة إفلات الكوكب** $V_{es} = \sqrt{\frac{2GM}{R}}$
2–2 التقنية الفضائية	
المركبات الفضائية. القمر الصناعي. محطة الفضاء. مركبة الفضاء المأهولة. مركبة الفضاء غير المأهولة.	**الفكرة الرئيسة** استطاع الإنسان بواسطة التقنيات الفضائية من الوصول إلى أجرام لم تكن المناظير الفلكية كافية لدراستها. أنواع المركبات الفضائية. • الأقمار الصناعية، وأنواعها: منخفضة – متوسطة – ثابتة – قطبية. • محطات الفضاء. • مركبات مأهولة. • مركبات غير مأهولة.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

تقويم الفصل 2

مراجعة المفردات

وضح العلاقة بين المصطلحات الآتية في كل زوج مما يلي:

1. سرعة الهروب والسرعة المدارية.
2. المركبات المأهولة والمحطة الفضائية.
3. المدار القطبي والمدار الثابت.

أكمل الجمل الآتية بالمفردات المناسبة:

4. مربع مدة دورة الكوكب حول الشمس تتناسب مع مكعب _____.
5. مركبات _____ يقودها رواد فضاء، ويقومون بتجارب عدة بها عبر معامل صممت لعدة أغراض.
6. أكمل الجدول التالي الذي يستعرض بعضًا من المهمات والتجارب الفضائية:

المهمة	المركبة الفضائية اللازمة
رصد البقع الشمسية	
أثر فقدان الجاذبية على العظام	
مراقبة ناقلات النفط	
جلب عينة من كويكب	
إصلاح منظار هابل	

تثبيت المفاهيم الرئيسة

اختر رمز الإجابة الصحيحة فيما يأتي:

7. تعاونت مدينة الملك عبد العزيز للعلوم والتقنية مع إدارة الفضاء الوطنية الصينية في مهمة:

a. تشانج ليونار. c. ديسكفري ج.
b. ارتميس. d. ستاردست.

8. قانون يمكن منه إثبات أن سرعة الكوكب تتناسب عكسيًا مع بعده عن الشمس.

a. كبلر 1. c. كبلر 2.
b. كبلر 3. d. الجذب العام.

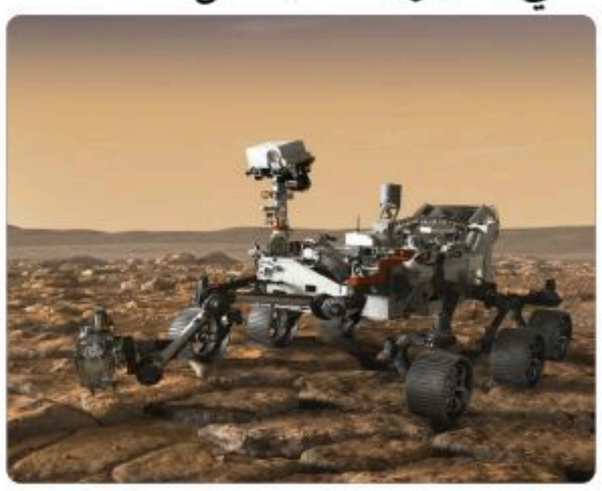
9. لاستقبال البث التلفزيوني فإننا نحتاج إلى قمر صناعي.

a. ثابت المدار للأرض. c. متوسط المدار.
b. منخفض المدار. d. قطبي المدار.

10. المدار المناسب لمحطة الفضاء الدولية.

a. المدار الأرضي الثابت. c. المدار المتوسط.
b. المدار المنخفض. d. المدار القطبي.

11. المركبة التي بالصورة التالية تمثل:



a. محطة فضاء. c. مركبة غير مأهولة.
b. قمر صناعي. d. مركبة مأهولة.

12. أكملت إحدى المركبات مهمتها على سطح المريخ، وأقلعت من على سطحه لتدور حوله بسرعة مدارية 4.6 km /s. فما مقدار سرعة الهروب من المريخ، وهل تستطيع الإفلات منه والعودة إلى الأرض؟

a. 5 km /s لا تستطيع الإفلات.
b. 4km/s تستطيع الإفلات.
c. 19 km /s لا تستطيع الإفلات.
d. 1.6 km /s تستطيع الإفلات.

13. تدور مركبة فضاء حول المشتري في مدار دائري وعلى بعد من مركزه يساوي 100 مرة نصف قطره، فإن سرعة المركبة بوحدة km /s:

a. 0.1 km /s.
b. 2 km /s.
c. 0.01 km /s.
d. 6 km /s.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

2 تقويم الفصل

14. إذا أردنا إطلاق قمر صناعـــي يدور حول الأرض في مدار دائري بحيث تكون مـــدة دورته 24 hour؛ فإن بعده عن الأرض:

a. 60000 km.
b. 35786 km.
c. 20000 km.
d. 400 km.

أسئلة بنائية

مستعينًا بالجدول الآتي أجب عن السؤال:

الكوكب	الفترة المدارية T (year)	نصف المحور a الأكبر AU
عطارد	0.24	0.39
الزهرة	0.61	0.72
الأرض	1.00	1.00
المريخ	1.88	1.52
المشتري	11.9	5.20

15. **فسر** سبب طول الفترة المدارية لكوكب المشتري؟

16. **اشرح** ســبب عدم إفلات الطائرات الحربية النفاثة من جاذبيــة الأرض (ابحث عن سرعة هــذه الطائرات) وحولها بوحدة km /s.

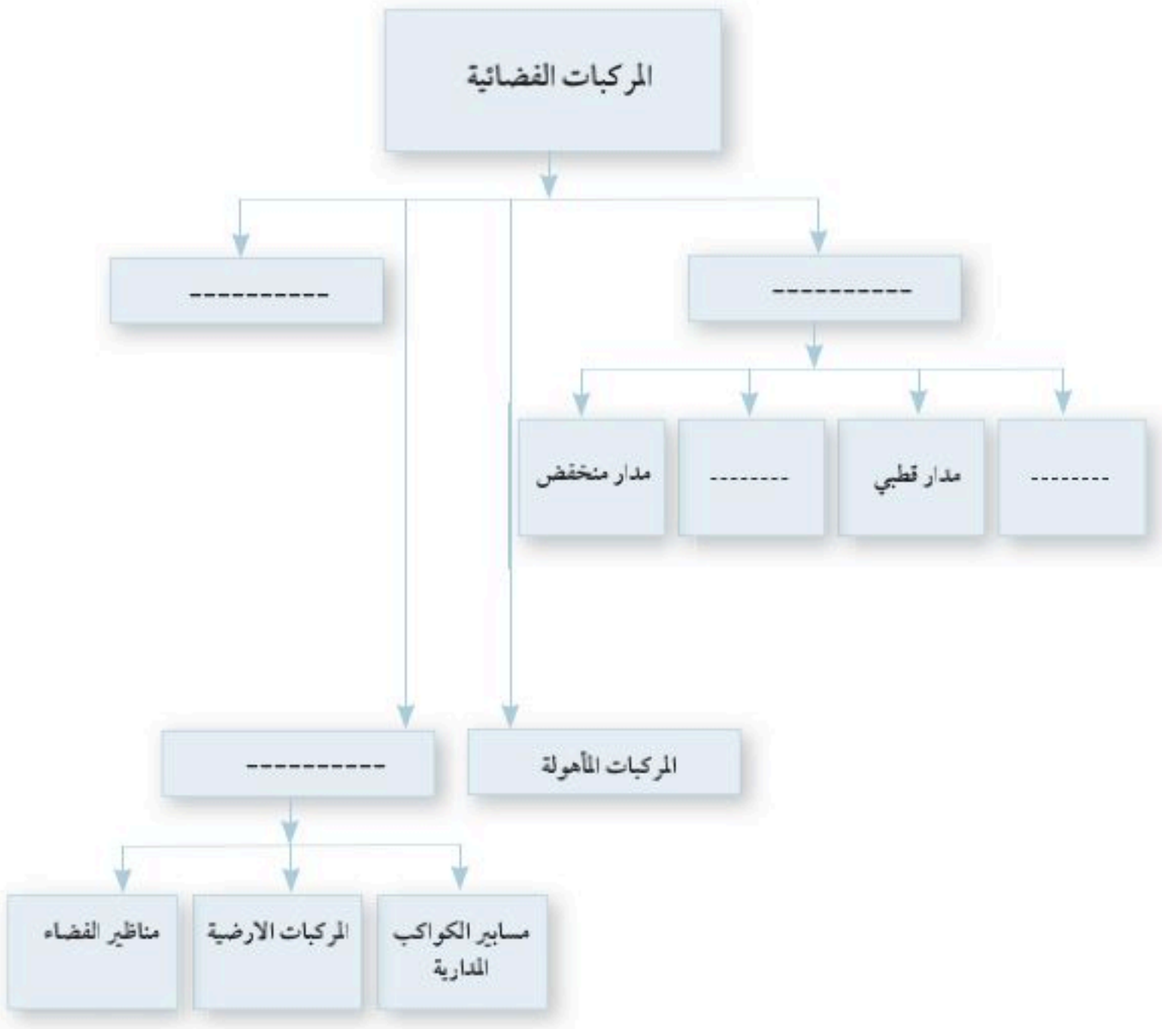
17. **صف** طريقة توصيل المؤونــة إلى رواد الفضاء بالمحطة الدولية للفضاء مبينًا التقنيات الفضائية المستخدمة.

التفكير الناقد

18. اســتطاع تلســكوب جيمس ويب مــن التقاط صورٍ لمذنــب قصير الفترة المدارية، يتحــرك خلال مدارات كواكب النظام الشمسي في مســار قطع ناقص، مما قد ينتج عنه اصطدامٌ بكوكب الأرض. مســتعينًا بقوانين كبلر وقانون الجــذب العام، ادرس العوامل التي تؤثر في مساره مما تعطي العلماء أملًا في تجنب الاصطدام به.

خريطة مفاهيمية

19. أكمل خريطة المفاهيم التي توضــح تقنيات المركبات الفضائية:



سؤال تحفيز

20. يراد القيام بمهمة لدراسة أثر مخلفات كويكب على غلافنا الجوي. في ضوء دراســتك للمركبــات الفضائية، رتب اختيارك لهذه المركبات للقيام بهذه المهمة.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

اختبار مقنن

اختيار من متعدد

اختر رمز الإجابة الصحيحة فيما يأتي:

1. إذا علمت أن متوسط نصف قطر مدار "تيتان" أكبر أقمار كوكب زحل يبلغ 1.22×10^9 m وفترته المدارية 15.95 day. وهايبريون قمر آخر من أقمار زحل يدور حوله بنصف قطر متوسط 1.48×10^9 m. فإن الفترة المدارية لهايبريون بالأيام:

a. 23 day.
b. 60 day.
c. 120 day.
d. 13 day.

2. يدور كوكب عطارد حول الشمس بمتوسط نصف قطر مداري يبلغ 5.8×10^{10}m. فإذا كانت كتلة الشمس 1.99×10^{30} kg. فإن الكوكب يستغرق للدوران حول الشمس مدة تقدر بـ:

a. 65 day.
b. 39 day.
c. 88 day.
d. 48 day.

3. إذا كان نصف قطر كوكب المشتري 71492 km وكانت كتلته (1.898×10^{27} kg)، فإن سرعة هروبه:

a. 59.2 km /s.
b. 45 km /s.
c. 68 km /s.
d. 77 km /s.

4. أول رائد فضاء هبط على أرض القمر هو:

a. باز الدرين.
b. آن ماكلاين.
c. نيل آرموسترونج.
d. آلان شيبارد.

5. يمكن تطبيق قانون العام للجاذبية بين:

a. الكواكب فقط.
b. أي جسمين.
c. الكواكب وأقمارها.
d. الأقمار الصناعية والأرض

6. من الأمثلة على المركبات غير المأهولة:

a. القمر الصناعي.
b. محطة الفضاء الدولية.
c. منظار هابل.
d. a ، c معًا.

أسئلة الإجابات القصيرة

7. ما أول كائن تم إرساله في تجربة للفضاء؟

8. ما أقصى ارتفاع لوضع الأقمار الصناعية في المدار الثابت الأرضي؟

9. ما العوامل المؤثرة لحساب قيمة سرعة هروب جرم ما من كوكب؟

10. كيف تم إثبات حركة قوانين كبلر الثلاثة؟

11. ما العلاقة بين زمن دورة الكواكب المدارية حول الشمس وبعدها عنها؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

القراءة والاستيعاب

يهـدف برنامج تطويـر نظام الإطـلاق القابل لإعادة الاستخدام إلى تطوير مجموعة من التقنيات الجديدة لنظام إطلاق مداري يمكن إعادة استخدامه عدة مرات بطريقة مشابهة لقابلية إعادة اسـتخدام المركبات الجوية. وبدأت شركة سـبيس إكس في تطوير هذه التقنيات عبر سنوات عديدة لتسهل وتسرع من إمكانية إعادة استخدام مركبات الإطـلاق للفضاء. تشـمل الأهداف طويلـة الأمد لهذا المشروع على العودة بالمرحلة الأولى من مركبة الإطلاق إلى موقع الإطلاق بعـد دقائق من إطـلاق المركبة، والعودة بالمرحلة الثانية إلى منصة الإطلاق بعد محاذاة المركبة مداريًا مع موقـع الإطلاق ثـم دخول الغلاف الجـوي في مدة أقصاها 24 ساعة. ويعدّ الهدف طويل الأمد لشركة سبيس إكس هو تصميم مرحلتي مركبة الإطلاق المداري بشكل يسمح بإعادة استخدامهما بعد بضع ساعات من العودة.

12. اعتمادًا على النص السـابق، ما المردود الإيجابي لهذا النظام؟

a. تقليل مدة الرحلات الفضائية.
b. ترشيد استهلاك الوقود.
c. إعادة استخدام المركبة عدة مرات.
d. تقليل وزن المركبة.

13. يفيد هذا النظام في:

a. الرحلات الفضائية للكواكب.
b. الرحلات المدارية القصيرة.
c. الرحلات المدارية الطويلة.
d. كل ما سبق.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

الفصل 3

المعادن Minerals



الفكرة العامة المعادن جزء ضروري في حياتنا اليومية.

3–1 ما المعدن؟

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

3–2 أنواع المعادن وأهميتها

الفكرة الرئيسة تصنف المعادن اعتمادًا على خواصها الكيميائية والفيزيائية.

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.

نشاطات تمهيدية

تجربة استهلالية

ما الأشكال التي تتخذها المعادن؟

رغم وجود آلاف المعــادن 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 مــن حبيبات **ملــح الطعام** (معدن الهاليت) على **شريحــة المجهر**. ضع الشريحة على منضدة المجهر، أو شــاهد 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 العدســة المكبرة. عُد جوانــب 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.

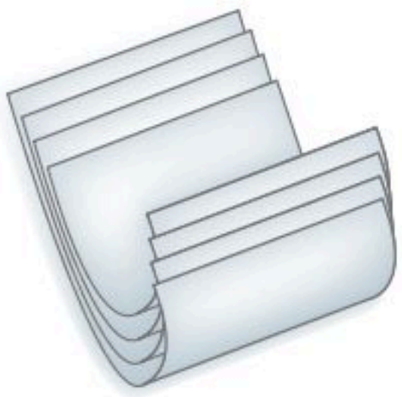
المطويات
منظمات الأفكار

تعرُّف المعادن

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



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



الخطوة 2: اثن الطرف الســفلي لــلأوراق لتكوين ســبعة ألسِــنة متساوية. ثم اضغط بقوة على الجزء المطوي لتثبت الألسِنة في أماكنها.

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



الخطوة 4: اكتب الخواص الفيزيائيــة المســتعملة في تعــرف المعادن على كل لسان.

استخدم هذه المطوية في القســم 1–3، مع قراءتك هــذا الدرس، صف الخــواص الفيزيائيــة والكيميائية للمعادن المستعملة في كل فحص.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

رابط الدرس الرقمي

www.ien.edu.sa

3-1

الأهداف

- تتعرّف على المعدن.
- تصف طريقة تكون 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.

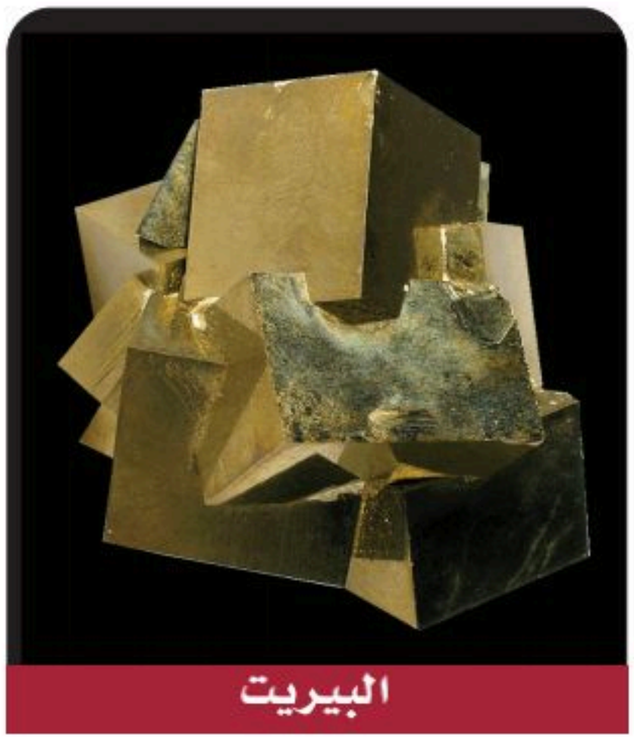
الخصائص العامة للمعادن Mineral Characteristics

تتكون القشرة الأرضية من 5000 معدن تقريبًا، و**المعدن Mineral** مادة طبيعية، صلبة، غير عضوية، لها مكونات كيميائية معينة، وبناء بلوري محدد، انظر **الشكل 1–3**. 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 آياته: ﴿لَقَدْ أَرْسَلْنَا رُسُلَنَا بِالْبَيِّنَاتِ وَأَنزَلْنَا مَعَهُمُ الْكِتَابَ وَالْمِيزَانَ لِيَقُومَ النَّاسُ بِالْقِسْطِ ۖ وَأَنزَلْنَا الْحَدِيدَ فِيهِ بَأْسٌ شَدِيدٌ وَمَنَافِعُ لِلنَّاسِ وَلِيَعْلَمَ اللَّهُ مَن يَنصُرُهُ وَرُسُلَهُ بِالْغَيْبِ ۚ إِنَّ اللَّهَ قَوِيٌّ عَزِيزٌ﴾ سورة الحديد الآية 25.

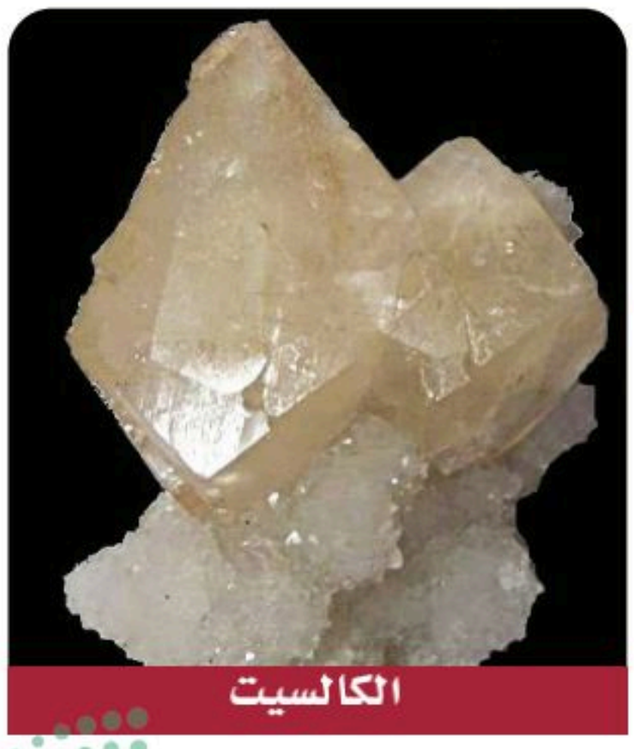
تتكون بشكل طبيعي وغير عضوي

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 1–3 تعكس أشكال بلورات المعادن الترتيبَ الداخلي لذراتها.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

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

بنـاء بلوري محدد Definite crystalline structure المعدن له بناء بلوري محدد، وهذا يعنـــي أن الذرات مرتبة في بناء هندسي منتظـــم ومتكرر، وينتج عن هذا البناء البلورة. **والبلورة Crystal** جسم صلب تترتب فيه الذرات بنمط متكرر. وغالبًا ما يمثل البناء الداخلي المنتظم شكلَ البلورة نفسها **الشكل 1–3** و**الشكل 2–3**.

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 لهما ذلك، لذا لا يعدان من المعادن.

لكل نـــوع 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 3–3**، أما معظم المعادن فمكـــون من مركبات؛ فمعدن الكوارتـــز (SiO_2) مثلًا؛ مكون من ذرتين من الأكســـجين وذرة واحدة من الســـيليكون. ورغم وجود معادن أخرى تحتوي على الســـيليكون والأكسجين، إلَّا أن نِسَـــب هذين العنصرين وترتيبهما في الكوارتز خاصيتان ينفرد بهما هذا المعدن.

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 4–3** تتفاوت مكوناتها من معدن الألبيـــت الغني بالصوديـــوم الذي يتكون في درجات حـــرارة منخفضة، إلى معدن



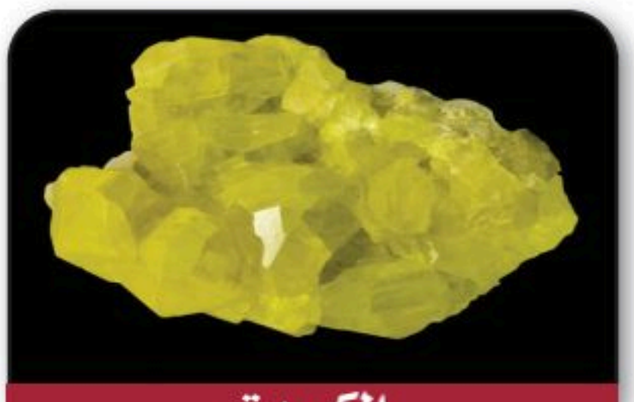
الشـكل 2–3 تبلورت هذه القطعة من الكوارتز في حيز محصورضمن كسر أو شق في الصخر.

المفردات

مفردات أكاديمية

محصور

حيز صغير محدد



الكبريت



النحاس



الفضة

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



الكوارتز



الفلوريت

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447



الشكل 4–3 مدى التغير في المكونات الكيميائية وما يتبعه من تغير في المظهر الخارجي كافيان لتعرُّف أنواع معادن الفلسبار المتعددة بدقة.

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 4–3**. 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 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.

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 5–3**. 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.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

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 5–3** بفعل عملية التبخر. ويوضح **الشكل 6–3** تكوُّن المتبخرات الملحية في سبخة القصب في المملكة العربية السعودية.

تعرُّف المعادن Identifying Minerals

يجري الجيولوجيون كثيرًا من الاختبارات لتعرف المعادن. وتعتمد هذه الاختبارات على الخواص الفيزيائية والكيميائية للمعادن، ومنها: الشكل البلوري 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 7–3**. ولأن البلورات المكتملة النمو نادرة التشكل، لذا يندر تعرُّف المعدن اعتمادًا على شكل بلوراته.

ماذا قرأت؟ صنّف أنواع المعادن المتبلورة من المحاليل ؟



الجرانيت



الملح الصخري

الشكل 5–3 تكونت البلورات في هاتين العينتين بطرائق مختلفة.

صف الفرق بين هاتين العينتين.

تجربة عملية

نمو البلورات

ارجع إلى دليل التجارب العملية على منصة عين الإثرائية



الشكل 6–3 تكونت هذه المتبخرات بسبب تبخر الماء المالح المتجمع في السبخة.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

البريق Luster تسمى الكيفية التي يعكس بها المعدنُ الضوءَ الساقط على سطحه **البريــق Luster**. ويوجد نوعان من البريق: الفلــزي واللافلزي. فالفضة والذهب والنحــاس والجالينا لها ســطوح لامعة تعكــس الضوء، كما تعكس قطع الســيارة المصنوعة من الكروم الضوء الســاقط عليها، لذا يقال إن لهــذه المعادن بريقًا فلزيًّا. والمعادن ذات البريق الفلزي ليست جميعها فلزات، ولكن سطحها لامع كالفلزات.

أمــا المعــادن ذات البريــق اللافلــزي – ومنها الكالســيت والجبــس والكبريت والكوارتــز – فلا تلمع كالفلزات. ويوصف البريق اللافلزي بأنه باهت أو لؤلؤي أو شــمعي أو حريري أو أرضي (مطفي). ويوضح **الشــكل 8–3** الفرق في البريق الناتج بسبب الاختلافات في المكونات الكيميائية للمعدنين.

ماذا قرأت؟ عرِّف مصطلح البريق.

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

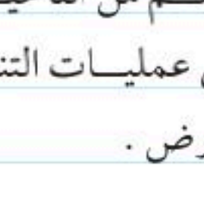
ماذا قرأت؟ وضح ماذا تقيس القساوة؟

يمثل معــدن التلك الدرجة رقــم **1** في مقياس موهس للقســاوة؛ لأنه من أطرى المعادن، ويمكن خدشــه 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 9–3** معدني الماس والكورندوم.

ويستخدم المقياس المبين في **الجدول 1–3** بالطريقة الآتية: المعدن الذي يُخدَشُ بظفر الإصبع قســاوته تعادل 2 أو أقل، والمعدن الذي لا يُخــدش بظفر الإصبع ويُخدَشُ قطعة نحاسية تتراوح قساوته بين 2.5 – 3.5. أما المعدن الذي يَخدش قطعة نحاسية فقســاوته أكبر من 3.5. ويمكن أن تستخدم مواد أخرى شــائعة كتلك المُدوَّنَة في الجدول. ويوضح **الشكل 10–3** معدنين مختلفين في قساوتهما.



بلورة مكعبة الشكل



بلورة سداسية الأوجه

الشكل 7–3 توجــد المعــادن المكتملة بأشكال بلورية مميزة لها يمكن من خلالها تعرُّفها.

مهن مرتبطة بالمعادن

مهندس التعدين : يقوم بعمليات استخراج المعــادن وتقييم جــدوى مواقــع التعدين وتحديد مدى أمكانية الاســتفادة من موقع التعديــن والمناجــم من الناحيــة التجارية والأشراف عــلى عمليــات التنقيــب التي تحدث داخل الأرض .



التلك



الكاؤولينيت

الشكل 8–3 المظهر الصفيحي اللامع للتلك يكسبه بريقه اللؤلؤي، في حين أن الكاؤولينيت – وهو أيضًا معدن أبيض لكنه على النقيض من التلك – ذو بريق أرضي.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

الجدول 1–3 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	


الألماس


الكورندوم

الشكل 9–3 أكثر المعادن قساوة هما معدني الألماس والكورندوم ودرجتا قساوتهما 10 و 9 بالترتيب.

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 11–3 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 محاريًّا.

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 12–3**. 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.





الشكل 10–3 المعدن العلوي يمكن خدشه بظفر الأصبع. والمعدن الشفاف السفلي لا يمكن خدشه بظفر الأصبع ولكن يخدشه معدن آخر.

حدد أي المعدنين أكثر قساوة؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447



الشكل 11–3 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.

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

اللـون Color من أهم الخصائص الملاحظة في المعــدن، ولكنه أقل الخصائص في تعرُّف المعادن. وينتــج اللون أحيانًا من وجود بعض العنــاصر النادرة أو المركبات داخل المعدن. فعلى ســبيل المثال، يكون الكوارتز أبيض اللون كما في **الشــكل 2–3**

تجربة

تعرُّف الانفصام والمكسر

كيــف يســتخدم الانفصام في تعــرف المعــادن؟ يتكون الانفصــام عندما ينكسر المعــدن في مســتويات الروابط الضعيفة، وإن لم يكن للمعدن انفصام يظهر مكسرًا. وتعد طريقة تعرف وجود انفصــام 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. احصــل على عيِّنات لخمس معــادن من معلمك، وصنفهــا في مجموعتــين: الأولى المعــادن التي لها انفصام، والأخرى المعادن التي لا انفصام لها.
3. رتِّب المعــادن التي لها انفصام إلى مســتويات 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 عــلى عينتين إضافيتين مــن معلمك. هل للمعادن الجديدة انفصام أم مكسر؟ صنّفها.
6. اســتعمل **المنقلة** لقيــاس الزوايا بين مســتويات 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 يحصــل لكل معدن منها لو ضرب بمطرقة.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

السابق ولكنه أيضًا يوجد بألوان مختلفة، كما في **الشكل 13–3**؛ 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.

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 14–3** ناعم، بينما نسيج التلك في **الشكل 8–3** شحمي.

ماذا قرأت؟ فسر العلاقة بين الوزن النوعي والكثافة.



الشكل 12–3 رغم أن هاتين القطعتين من الهيماتيت مختلفتان في المظهر، إلَّا أن مخدشهما واحد (لون المسحوق نفسه)؛ لأن مكوناتهما الكيميائية واحدة.

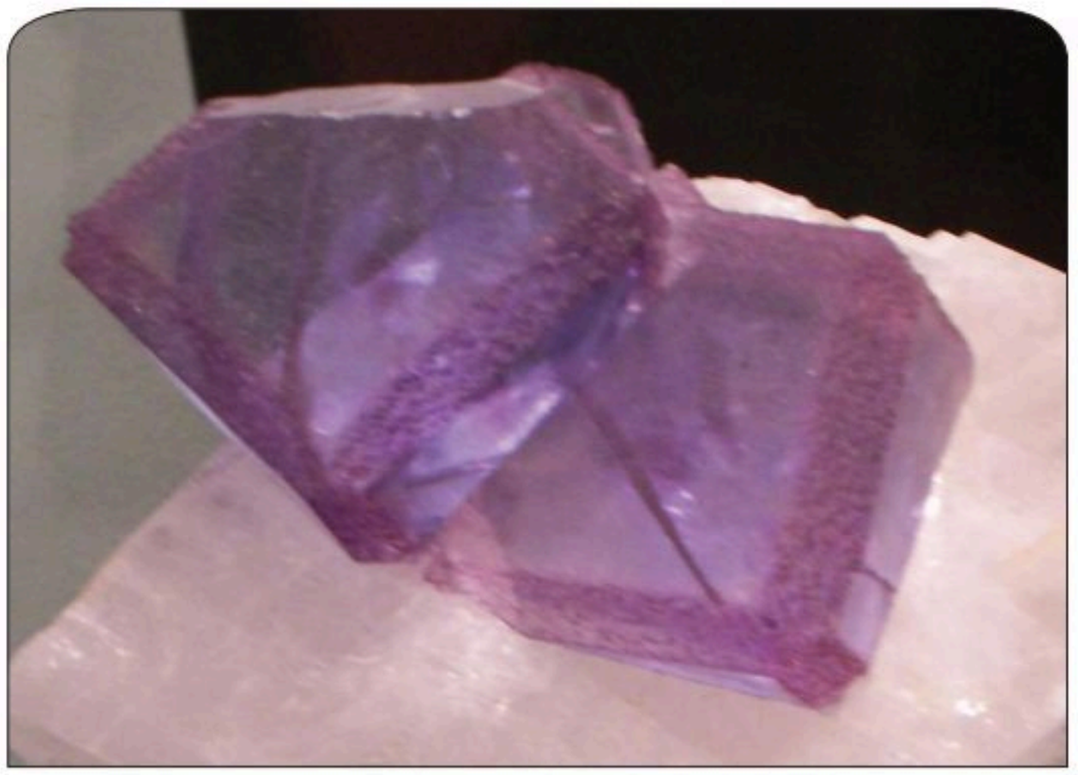
المطويات

ضمِّن مطويتك معلومات من هذا القسم.



الشكل 13–3 تحتوي هذه العينات المختلفة وجميعها من الكوارتز على السيليكون والأكسجين، وتحدد الشوائب لون العينة.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447



الشكل 14–3 يختلف الإحساس بالنسيج من شخص لآخر. توصف عينة الفلوريت هذه بأنها ناعمة.

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 2–3**.

الجدول 2–3 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					

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

التقويم 1–3

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. **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 $19.3\ g/cm^3$.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

رابط الدرس الرقمي

www.ien.edu.sa

3-2

الأهداف

- تتعرف مجموعات المعادن المختلفة.
- توضح مجسم السيليكا الرباعي الأوجه.
- تناقش استعمالات المعادن.

مراجعة المفردات

رابطة كيميائية: القوة التي تربط ذرتين إحداهما بالأخرى.

المفردات الجديدة

السيليكات

الهرم الرباعي الأوجه

الخام

الأحجار الكريمة

أنواع المعادن وأهميتها

Types and importance of Minerals

الفكرة الرئيسة تُصنف المعادن اعتمادًا على خواصها الكيميائية والفيزيائية.

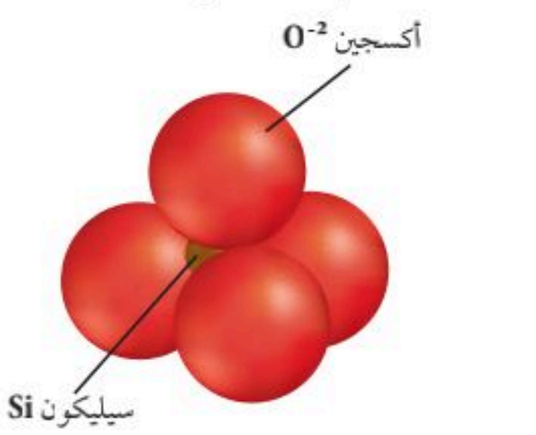
الربط مع الحياة. يُصنف كل شيء في العالم إلى مجموعات مختلفة، فالطعام والحيوانات والنباتات وغيرها تُصنف في مجموعات اعتمادًا على بعض صفاتها أو خصائصها. ولا تختلف المعادن في ذلك؛ حيث تُصنف هي أيضًا في مجموعات.

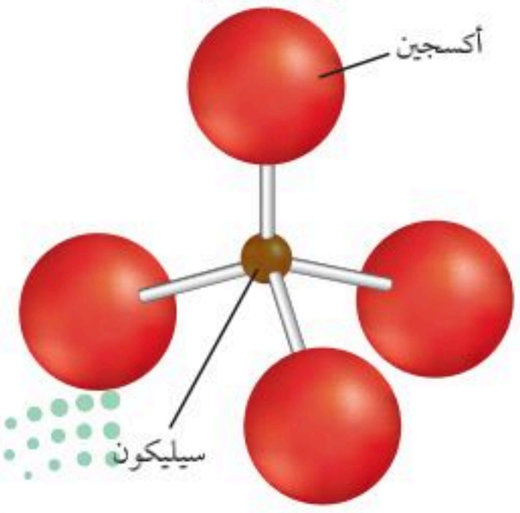
مجموعات المعادن Minerals Groups

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 15-3**. **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 16-3** و**الشكل 17-3**.





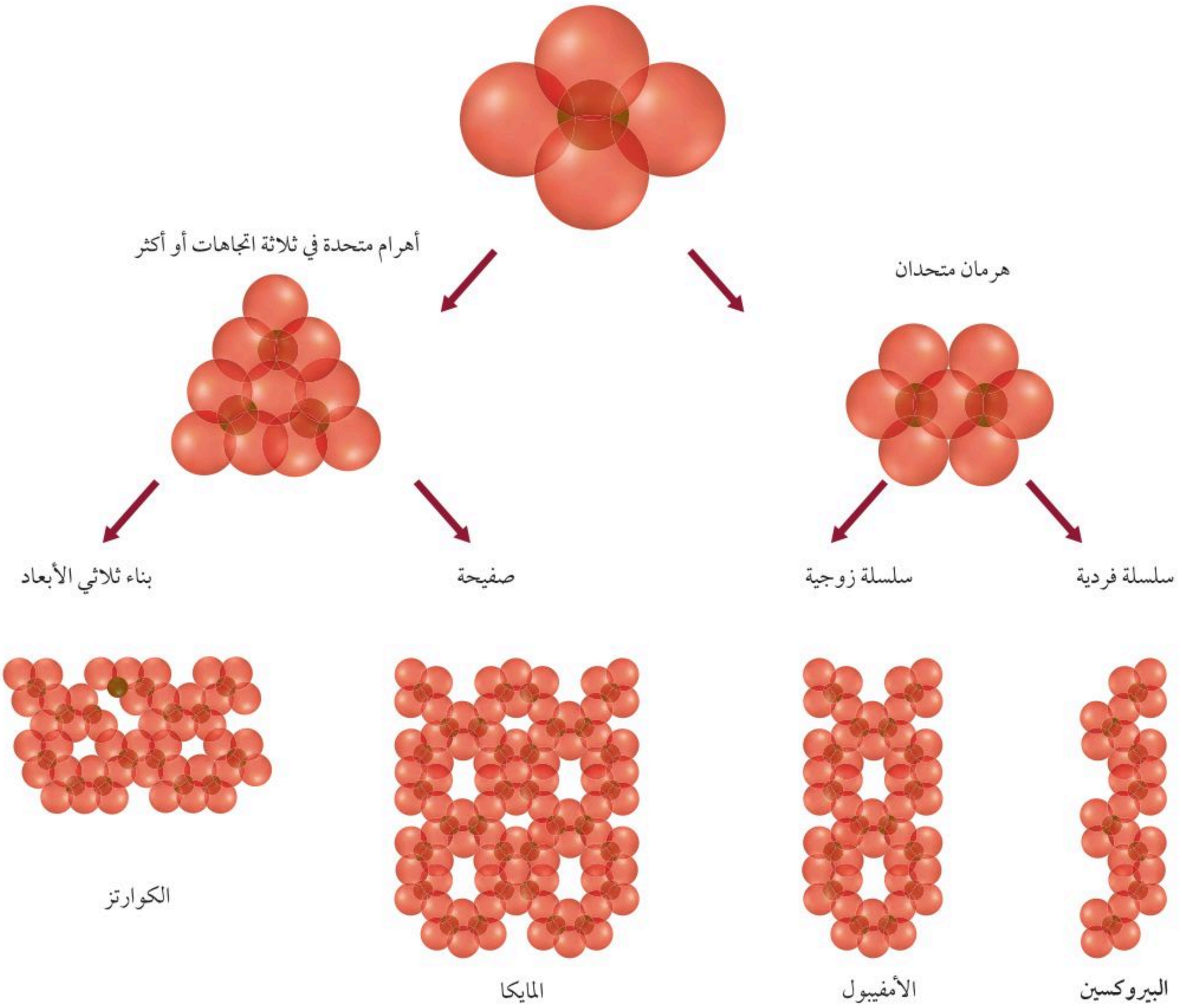
الشكل 15-3 يشكل أيون السيليكا SiO_4^{-4} ما يسمى سيليكا رباعي الأوجه (هرم السيليكا)؛ حيث توجد ذرة السيليكون في مركزه الذي يرتبط برابطة تساهمية مع أيونات الأكسجين.

حدد عدد الذرات في الهرم الواحد.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

أهرامات السيليكا Silica Tetrahedron

الشكل 16–3 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.





الإسبستوس



المايكا

الشكل 17–3 بعض المعادن السيليكاتية.

الكربونات Carbonates 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.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 الكربونات في الصخور الجيرية والرخام، وتمتاز بعض معادن الكربونات ومنها الكالسيت بتعدد ألوانها بسبب وجود شوائب فيها، كذلك يتميز معدن الرودوكروزيت بلونه الوردي المبين في **الشكل 18–3**.

الأكاسيد Oxides مركبات تتألف من أكسجين وفلز. وتعد معادن الهيماتيت Fe_2O_3 والماجنيتيت Fe_3O_4 أكاسيد حديد شائعة، ومصدرًا جيدًا للحديد. ومعدن اليورانينيت UO_2 معدن قيم؛ لأنه يشكل المصدر الرئيس لليورانيوم المستخدم في إنتاج الطاقة النووية.

الفوسفات Phosphate معادن تحتوي على أيون الفوسفات $(PO_4)^{-3}$ ضمن تركيبها الكيميائي. ومن أشهر معادن هذه المجموعة الأباتيت $Ca_5(PO_4)_3(F, Cl, OH)$، وتستخدم الفوسفات في صناعة الأسمدة وإنتاج حامض الفوسفوريك.

المجموعات الأخرى Other groups هناك مجموعات معدنية رئيسة أخرى، ومنها الكبريتات والكبريتيدات والهاليدات والعناصر الحرة (الأصلية). فالكبريتيدات – ومنها البيريت FeS_2 – مركبات تتألف من الكبريت وعنصر واحد أو أكثر. أما الكبريتات – ومنها الأنهيدريت $CaSO_4$ – فهي مركبات لعناصر متحدة مع أيون الكبريتات SO_4^{2-}. وتتكون الهاليدات – ومنها معدن الهاليت NaCl – من أيونات الكلوريد أو الفلوريد متحدة مع كالسيوم أو صوديوم أو

الشكل 19–3 استعمالات المعادن عبر الزمن تغيرت قيم المعادن واستعمالاتها عبر الزمن.



3300–3000 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.

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



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



1200 – 1000ق. 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.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

بوتاسيوم. والعناصر الحرة – ومنها الفضة Ag أو النحاس Cu – مكونة من عنصر واحد فقط كما في **الشكل 3–3** السابق.

المعادن الاقتصادية Economic Minerals

تستعمل المعادن في صناعة الحواسيب والسيارات والتلفزيونات والمكاتب والطرق والبنايات والمجوهرات والدهانات وأدوات الرياضة والأدوية، وفي صناعات أخرى كثيرة. وتتضح الاستعمالات المختلفة للمعادن عبر التاريخ بدراستك المخطط الزمني في **الشكل 19–3**.

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 20–3** مصنوعة من فلز التيتانيوم الذي يستخرج من معدن الإلمنيت.

ويتم استكشاف المعادن الاقتصادية بطرق مختلفة منها الاستشعار عن بُعد 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 والصخيبرات والحجار والأمار. ومن الخامات الأخرى: الفضة والنحاس والنيكل والكروم والزنك.



الرودوكروزيت



الكالسيت

الشكل 18–3 من الأمثلة عن الكربونات الرودوكروزيت والكالسيت.

تجربة عملية

رحلة ميدانية جيولوجية

ارجع إلى دليل التجارب العملية على منصة عين الإثرائية



800–900 م استعمل الكيميائيون الصينيون الملح الصخري وعنصري الكبريت والكربون في صناعة ملح البارود الذي استعمل للمرة الأولى في الألعاب النارية، واستعمل في وقت لاحق في الأسلحة.

1546 م ساعدت مناجم الفضة في أمريكا الجنوبية الأسبان على تأسيس تجارة عالمية قوية، وتوفير الفضة اللازمة في صك النقود.

2006 م هنالك 242 محطة طاقة نووية وقودها اليورانيوم تعمل عبر العالم بقدرة كلية مقدارها 369.566 جيجا وات.

500 ميلادية — 1500 ميلادية — 2000 ميلادية

200–400 م مكنت أدوات الزراعة والأسلحة الحديدية الناس من الهجرة عبر إفريقيا لاستصلاح الأراضي وإقامة المستوطنات والحلول محل مجتمعات الصيد.



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

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

يلخص **الجدول 3–3** مجموعات المعادن واستعمالاتها الرئيسة.

الجدول 3–3 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

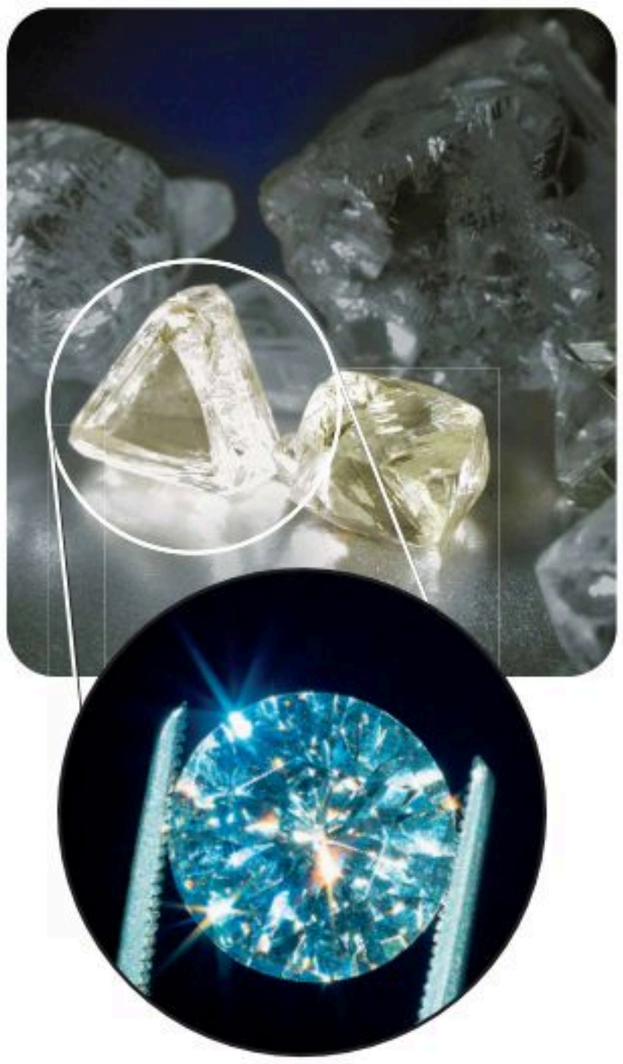


الشكل 20–3 أجزاء من هذه الدراجة مصنوعة من التيتانيوم؛ لخفة وزنه ومتانته الجيدة، مما يجعله فلزًّا مثاليًّا للاستخدام.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

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 21–3** ألماسًا مصقولًا وآخر غير مصقول.

يؤدي وجود بعض الشوائب أحيانًا في أحد المعادن إلى جعله ذا لون مختلف، وأغلى ثمنًا من المعدن النقي نفسه. فالجِمشت 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 21–3 يظهر جمال الأحجار الكريمة الحقيقي بمجرد قطعها وصقلها.

إثراء

يمكنك الرجوع للمُتحف الوطني الافتراضي للاطلاع على: كنوز ثاج.

التقويم 2–3

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. 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.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

السياحة الجيولوجية

الربط مع رؤية ٢٠٣٠

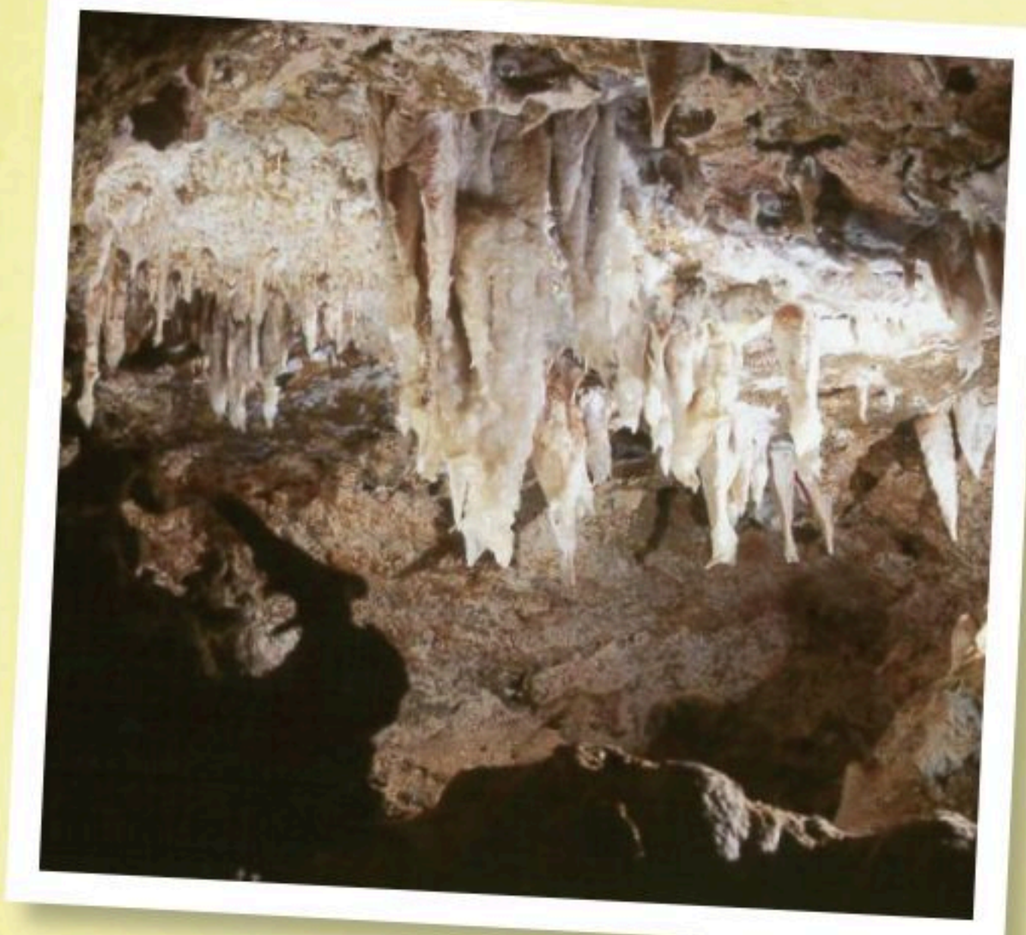
رؤية VISION 2030
المملكة العربية السعودية
KINGDOM OF SAUDI ARABIA
مجتمع حيوي

● 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

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

مختبر الجيولوجيا

خصائص المعادن

خلفية علمية: المعادن مواد صلبة غير عضوية توجد في الطبيعة لها مكونات كيميائية وشكل بلوري محدد، وهي المكونة للصخور والقشرة الأرضية. وللتعرف على المعادن تجرى اختبارات تعتمد على الخواص الفيزيائية والكيميائية لها، وبعض الخواص يمكن ملاحظتها بالحواس المجردة مثل: الشكل البلوري، البريق، القساوة، الانفصام والمكسر، المخدش، النسيج.

سؤال: ما خصائص المعادن؟

الأدوات

عينات معادن	عدسة مكبرة
ملح صخري	ورق
جير	مفك صغير
جرانيت	مطرقة
كوارتز	قطعة بورسلان

إجراءات السلامة



خطوات العمل

1. اقرأ نموذج السلامة في المختبر.
2. حضّر الجدول المقابل لتسجيل البيانات.
3. لاحظ كل عينة وسجل ملاحظاتك في الجدول.
4. ضع رأس المفك على العينة واطرق مقبض المفك من الأعلى طرقًا متوسطًا.
5. اخدش بقطعة البورسلان كل عينة..

التحليل والاستنتاج

1. **صف** العينات من حيث الشكل البلوري والبريق.
2. **قارن** قساوة كل عينة مع مقياس موهس للقساوة (**جدول 3–1**).
3. **صف** حدوث الانفصام ومشاهدتك في حال كسر العينة.
4. **وضح** إمكانية خدش كل العينات ولون المخدش.
5. **صف** ملمس ونسيج العينة.
6. **قوِّم** الخصائص التي حققتها كل عينة.

المعدن	الملح الصخري	الجير	الجرانيت	الكوارتز
الشكل البلوري				
البريق	* فلزي * لا فلزي	* فلزي * لا فلزي	* فلزي * لا فلزي	* فلزي * لا فلزي
القساوة				
الانفصام والمكسر	* له انفصام * ليس له انفصام	* له انفصام * ليس له انفصام	* له انفصام * ليس له انفصام	* له انفصام * ليس له انفصام
المخدش				
النسيج				



ملح صخري



جير



جرانيت



كوارتز

شارك ببياناتك

راجع مع **أقرانك** ناقش نتائجك مع المجموعات الأخرى في الصف مع التركيز على وصف القساوة والمخدش والنسيج.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

الفصل 3

دليل مراجعة الفصل

الفكرة العامة المعادن جزء ضروري في حياتنا اليومية.

المفردات	المفاهيم الرئيسة
3–1 ما المعدن؟	
المعدن البلورة البريق القساوة الانفصام المكسر المخدش الوزن النوعي	**الفكرة الرئيسة** المعدن مادة صلبة غير عضوية توجد في الطبيعة، لها تركيب كيميائي، وشكل 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.
3–2 أنواع المعادن وأهميتها	
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.





وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

الفصل 3

تقويم الفصل

مراجعة المفردات

لتحديد المصطلح الــذي يصف كلًّا من العبــارات الآتية استعن بما ورد في دليل مراجعة الفصل:

1. العنصر أو المركب غير العضوي الصلب الذي يوجد في الطبيعة.

2. الأشــكال الهندســية 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.

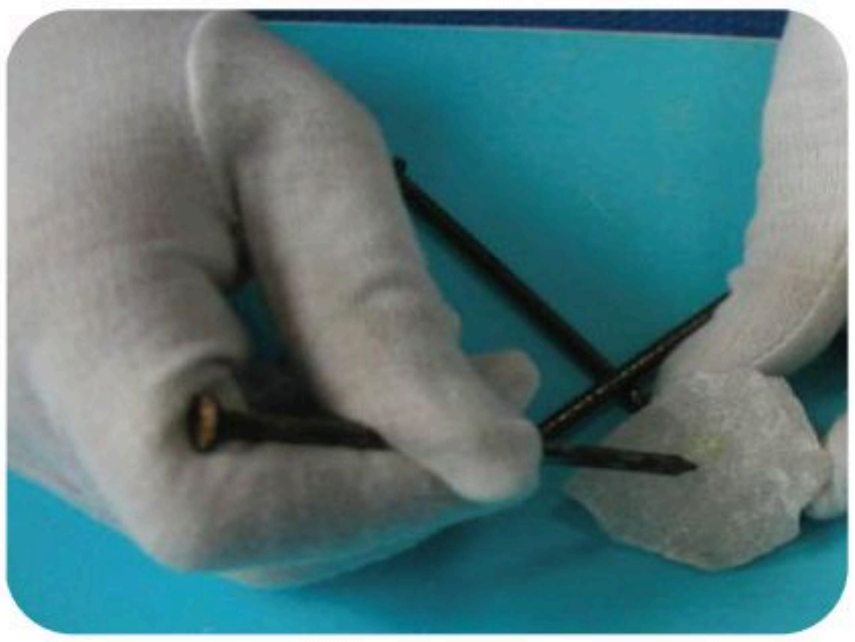
أكمل الجمل الآتية بالمفردات المناسبة:

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 تكــسر معدن الجالينا إلى مكعبات صغيرة؟

a. الكثافة c. القساوة

b. البناء البلوري d. البريق

10. مــا الخاصيــة المســتعملة في تصنيف المعــادن 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؟

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

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

12. ما الصيغة الكيميائية الصحيحة لهرم السيليكا؟

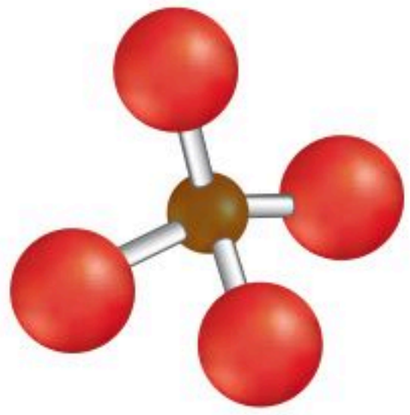
SiO_2 .a SiO_4^{-4} .c

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

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

تقويم الفصل 3

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

15. أيُّ المعادن الآتية لا يمكن تحديد مخدشه باستعمال صفيحة البورسلان؟

a. الهيماتيت　　c. الفلسبار

b. الذهب　　d. الماجنيتيت

16. أيُّ من العناصر الآتية أكثر شيوعًا في القشرة الأرضية؟

a. الصوديوم　　c. الحديد

b. السيليكون　　d. الكربون

17. المعدن السائد في الحجر الجيري هو الكالسيت. فإلى أيِّ مجموعة معدنية ينتمي؟

a. السيليكات　　c. الأكاسيد

b. الكربونات　　d. الكبريتات

18. أيُّ معدن تتصاعد منه فقاعات غازية (فوران) عند ملامسته حمض الهيدروكلوريك؟

a. الكوارتز　　c. الجبس

b. الكالسيت　　d. الفلوريت

19. ما الخاصية التي تصف المصطلحات الآتية: باهت، حريري، شمعي، لؤلؤي، أرضي؟

a. البريق　　c. اللون

b. المخدش　　d. الانفصام

20. 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

21. فسِّر لماذا يختلف لون حجر الياقوت عن لون الزفير رغم أنهما شكلان لمعدن الكورندوم؟

22. **صف** الأثر الضوئي الناجم عن وضع قطعة شفافة من معدن سبار أيسلندا (نوع من معدن الكالسيت) فوق كلمة جيولوجيا في كتاب ما.

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

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

25. **قارن** للألماس والجرافيت المكونات الكيميائية نفسها. ما أوجه الشبه والاختلاف بين هذين المعدنين؟ ولماذا يعد الألماس حجرًا كريمًا بخلاف الجرافيت؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

3 تقويم الفصل

التفكير الناقد

استعمل الصورة أدناه في الإجابة عن السؤال 26.



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

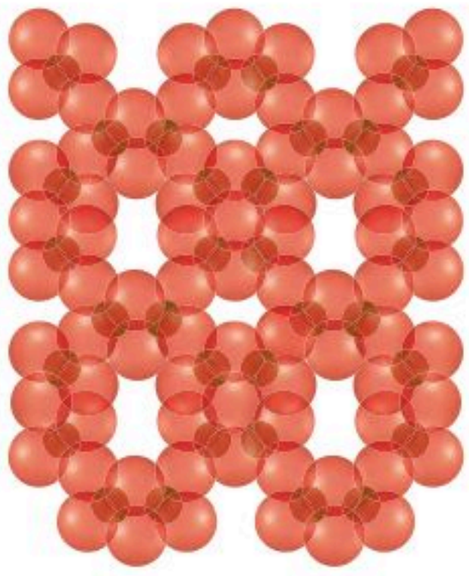
27. **اقترح** أفضل المعادن –ما عدا الألماس – التي يمكن أن تُستخدم في صنع ورق الصنفرة؟ وضح إجابتك مستخدمًا **الجدول 1–3**.

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

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

30. **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 31 و32 :



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

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

خريطة مفاهيمية

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

سؤال تحفيز

34. **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.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

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. التقنية.

b. تحديد المتغيرات.

c. صياغة الفرضيات.

d. جمع البيانات.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

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.

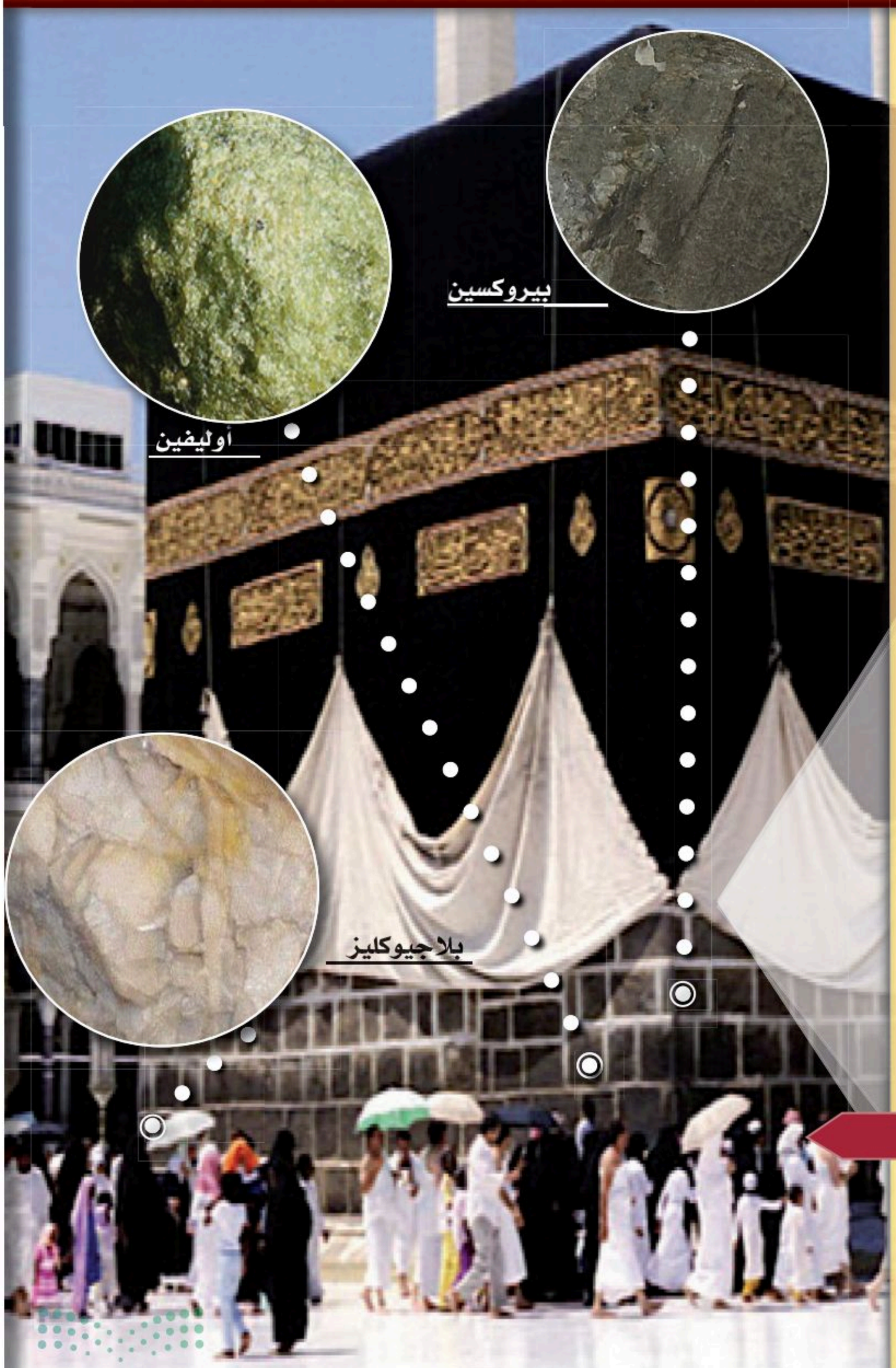
لون السيليكون رمادي باهت، ووزنه النوعي 2.42، وتكافؤه مثل تكافؤ الكربون، وقد دخل السيليكون في مجموعة من الصناعات الكيميائية، منها كربيد السيليكون الذي يستعمل لشحذ أدوات القطع، ومطاط السيليكون المستعمل في السدادات، والزيوت والدهانات. والسيليكون من العناصر شبه الموصلة، لذا يستعمل في الخلايا الشمسية لتوليد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

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

الفصل 4 الصخور

Rocks



الفكرة العامة تقسم الصخور الى ثلاثة أنواع؛ هي الصخور النارية، والصخور الرسوبية، والصخور المتحولة.

4–1 ما الصخور النارية؟

الفكرة الرئيسة الصخور النارية صخور تتكون عندما تبرد المواد المنصهرة في باطن الأرض أو على سطحها ثم تتبلور.

4–2 تصنيف الصخور النارية

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

4–3 تشكل الصخور الرسوبية

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

4–4 أنواع الصخور الرسوبية

الفكرة الرئيسة تصنف الصخور الرسوبية بناء على طرائق تشكلها.

4–5 الصخور المتحولة

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

حقائق جيولوجية

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

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

نشاطات تمهيدية

تجربة استهلالية

كيف نتعرف الصخور؟

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

الخطوات

1. اقرأ تعليمات السلامة في المختبر.
2. افحص عيِّنـــة من الجرانيت بالعـــين المجردة، وســـجِّل ملاحظاتـــك مـــن خـــلال المجهر المستقطب.
3. اســـتعمل عدســـة مكبرة أو مجهرًا مستقطب لمشاهدة عيِّنة الجرانيت، وسجِّل ملاحظاتك.
4. اســـتعمل مجهراً مستقطباً لمشـــاهدة شرائح رقيقة من عينة الجرانيت وتعرف على المحتوى المعدني.



التحليل

1. وضِّح ما شـــاهدته من خلال العدسة المكبرة أو المجهر المستقطب. ضمِّن رسمك مقياسًا للرســـم 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.

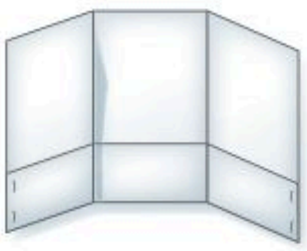
المطويات
منظمات الأفكار

أنواع الصخور

اصنع المطوية الآتية للمقارنة بين أنواع الصخور الثلاثة.



الخطوة 1 اثن الطرف السفلي للورقة طوليًّا بمقـــدار 3 cm، ثم اضغط على الجزء المطوي إلى أعلى.



الخطوة 2 اثن الورقـــة إلى ثلاثة أجزاء متساوية.



الخطوة 3 ألصـــق الجـــزء المثني مـــن الورقة مـــن الجوانـــب لعمل ثلاثة جيوب، وعنونهـــا على النحو الآتي: الصخور النارية، والصخور الرسوبية، والصخور المتحولة.

استخدم هذه المطوية مستعملًا ثلث ورقة تكتب فيها ملخصًا عن كيفية تكوّن كل نوع من الصخور مع إعطاء أمثلة.

المجهر المستقطب يختـــص بدراســـة المعادن والصخـــور وذلك بقيـــاس خصائصهـــا البصرية لتحديد التركيب المعدني لها من خلال عينات يتم صقلها لتكون شرائح رقيقة ينفذ الضوء من خلالها.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

رابط الدرس الرقمي

www.ien.edu.sa

4-1

ما الصخور النارية؟
What are Igneous Rocks?

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

التبلور الجزئي

الفكرة الرئيسة **الصخور النارية صخور تتكوَّن عندما تبرد المواد المنصهرة في باطن الأرض أو على سطحها ثم تتبلور.**

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 خصائصها.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

الجدول 1– 4	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

وتصنف الصهارة اعتمادًا على محتواها من السيليكا – كما هو مبين في **الجدول 1– 4** إلى بازلتية أو أنديزيتية أو ريولايتية. ويؤثر محتوى الصهارة من السيليكا في درجة انصهارها وسرعة تدفقها.

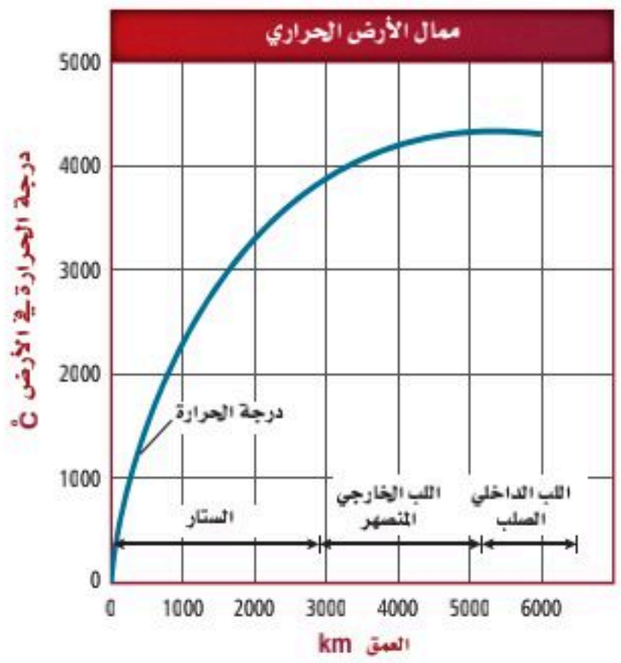
وعندما تتحرر الصهارة من الضغط الواقع عليها من الصخور المحيطة بها تتمكن الغازات الذائبة فيها من الانطلاق إلى الغلاف الجوي. لذا تختلف مكونات اللابة الكيميائية قليلًا عن المكونات الكيميائية للصهارة التي نتجت اللابة عنها.

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 المماال الحراري، وهي ممثلة في **الشكل 1– 4**. ولدى حفَّاري آبار النفط خبرة مباشرة في المماال الحراري الأرضي؛ فآلات الحفر –كتلك المبينة في **الشكل 2– 4** 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.



الشكل 1– 4 متوسط المماال الحراري في القشرة الأرضية 25°C/km تقريبًا، ويعتقد العلماء أنها تهبط بشدة إلى 1°C/km في الستار.



الشكل 2– 4 تصادف آلة الحفر عند عمق 3Km صخورا درجة حرارتها قريبة من درجة غليان الماء ، وتزداد درجة حرارة الجزء العلوي من القشرة مع زيادة العمق 30°c/Km تقريبا.

المحتـوى المعدني Mineral content لكي نفـــهم 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 والفلســبار الكلسي والبيروكسين عند درجات حرارة أعلى، مقارنة بصخور الجرانيت أو الريولايت التي تتكون من الكوارتز والفلسبار البوتاسي.

إن درجــة انصهار صخر الجرانيــت أقل من درجة انصهار صخــر 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 نســب أعلى من السيليكون، ومنها الجرانيت.

الانصهـار الجزئي Partial melting افترض أنك جـمدت شمعًـا منصـهرًا 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 نفســها 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– 4**. ويضاف مع صهر كل مجموعة معدنية عنــاصر جديدة إلى خليط الصهارة، مما يؤدي إلى تغير في مكوناتها، وإذا لم تكن درجات الحرارة كافيــة لصهر الصخر بأكمله فإن مكونات الصهارة الناتجة ســتختلف عن مكونات الصخر الذي تكونت منه، وهذه إحدى الطرائق التي تتكون بها الأنواع المختلفة من الصخور النارية.

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



الشــكل 3– 4 تبــدأ المعــادن في الانصهار في منطقة ما عندما تبدأ درجة الحرارة بالإرتفاع.

حدد مــاذا تتوقــع أن تكون درجــة انصهار الكوارتز اعتمادًا على هذا الشكل؟



الشــكل 4– 4 صخور نارية قديمة مكونة من جرانيت وديوريت وجابــر في جنوب محافظة العلا.

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 عملية

مقارنة صخور القمر بصخور الأرض

ارجع إلى دليل التجارب العملية على منصة عين الإثرائية

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

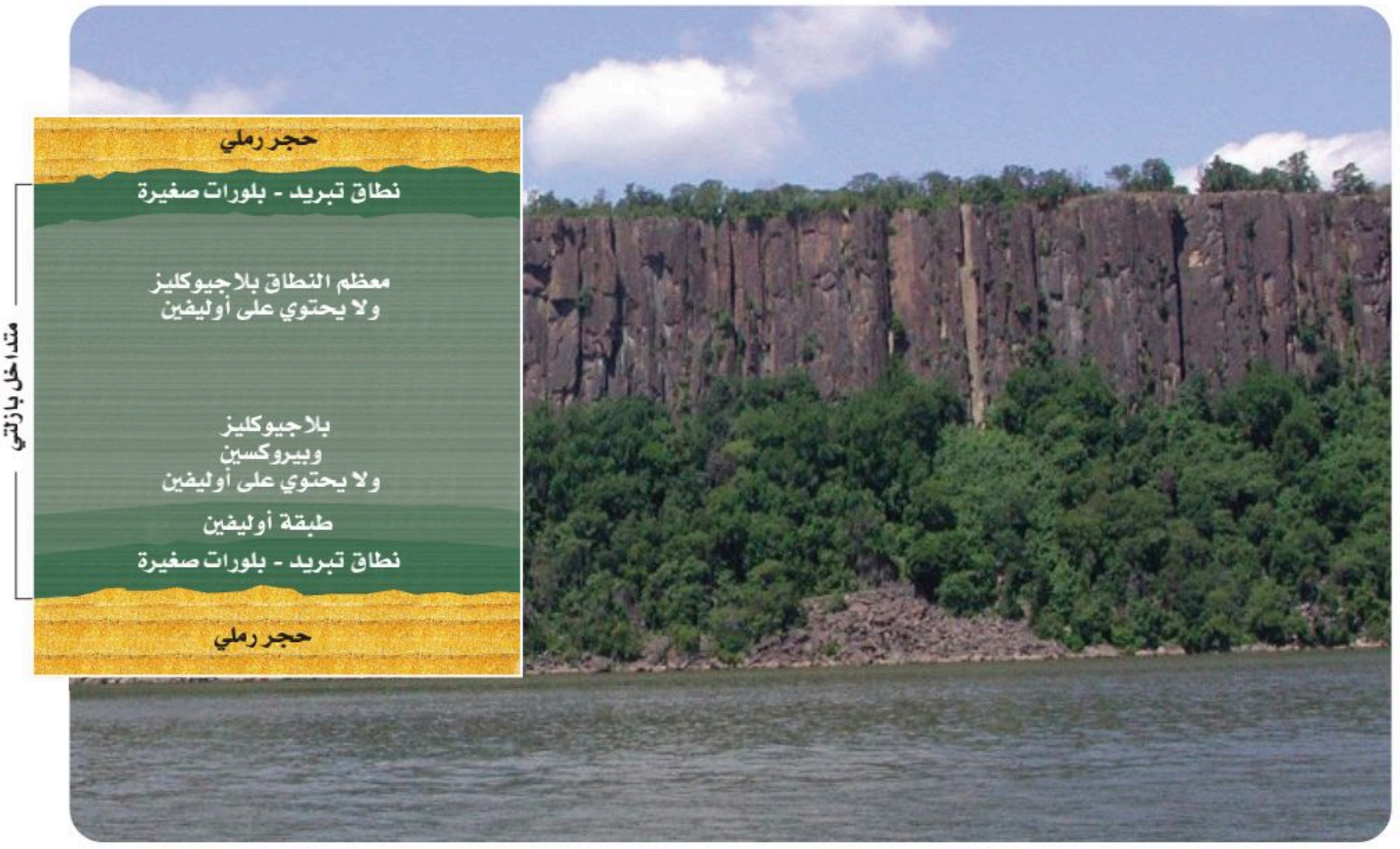
1. اقرأ نموذج السلامة في المختبر الموجود في دليل التجارب العملية، واملأه.
2. احصل على مجموعة من عينات صخرية نارية من معلمك.
3. لاحظ الخصائص الآتية لكل صخر: مجمل اللون، حجم البلورات، والمكونات المعدنية (إن أمكن).
4. صمّم جدول بيانات لتدوين ملاحظاتك.

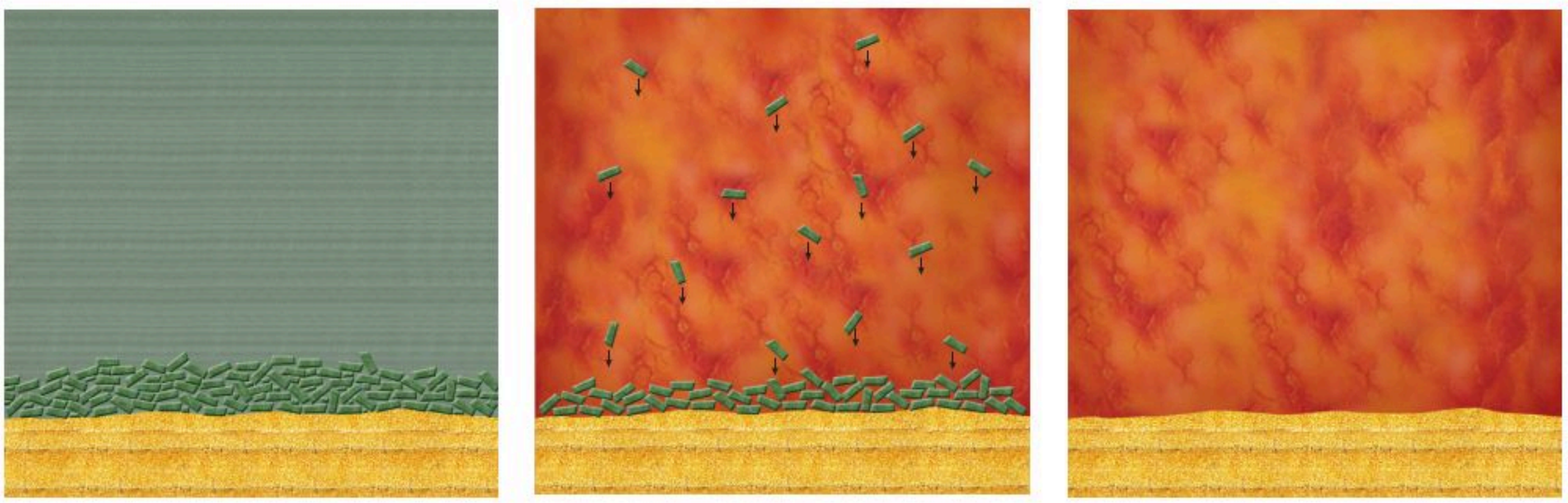
التحليل

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.

التبلـور الجـزئـي وتـرسـب البـلـورات
Fractional Crystallization and Crystal Settling

الشـكل 5– 4 تعد عتبة باليسيد (Palisade Sill) في وادي نهر هدسـون (Hudson) في نيويورك ونيوجيرسي مثالًا على عملية التبلور الجزئي وترسـيب 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.

آلية التبلور الجزئي Mechanism of partial crystallizaion

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 5–4** 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– 4**.

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 6– 4**؛ لأنه يتبلور في أثناء اندفاع الجزء السائل المتبقي من الصهارة في الشقوق الصخرية.



الشكل 6– 4 تمثل عروق الكوارتز هذه آخر ما برد وتبلور من الجسم الصهاري المتبقي.

التقويم 1–4

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.

فهم الأفكار الرئيسة

1. **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.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

رابط الدرس الرقمي

www.ien.edu.sa

4-2

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 الطفوح البازلتية مثل حرة الحرة. 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 7- 4** أمثلة على الأنواع الثلاثة من الصخور النارية.



الجابرو



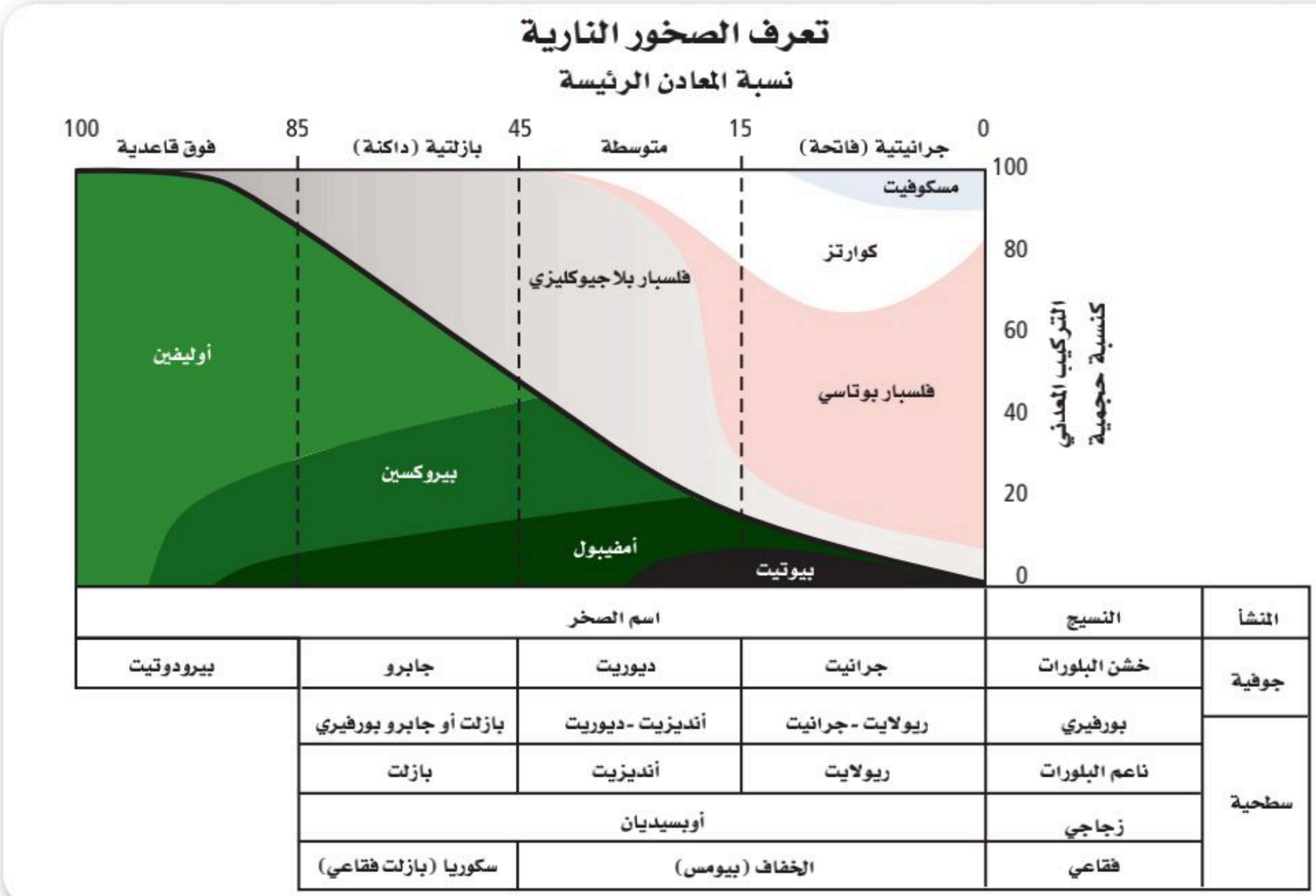
الجرانيت



الديوريت

الشكل 7- 4 يمكن ملاحظة الفروق في مكونات الصهارة في الصخور التي تتكون عندما تبرد الصهارة وتتبلور.
لاحظ. صف الفروق التي تشاهدها في هذه الصخور.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447



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

الشكل 8– 4 أنواع الصخور النارية يمكن تعرُّفها من خلال نسب المعادن فيها.

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 8– 4** آلية تعرُّف الصخور النارية.

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 9– 4** 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.


الأوبسيديان


الجرانيت


الريولايت

الشكل 9– 4 للريولايت والجرانيت والأوبسيديان أنسجة مختلفة لأنها تكونت بطرائق مختلفة.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447



أنديزيت (النسيج البورفيري)



بازلت فقاعي



الخفاف (بيومس)

الشكل 10– 4 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 9– 4**. 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 9– 4**. 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 10– 4**. 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 Vesiculart Texture**. ويعد كل من الخفاف والبازلت الفقاعي أمثلة على ذلك. انظر **الشكل 10– 4**

ماذا قرأت؟ فسّر سبب تكون الثقوب في الصخور النارية.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447



الشكل 11– 4 يمكن تعرُّف المعادن المكونة للجرانيت باستعمال شرائح رقيقة تحت المجهر المستقطب.

الشرائح الرقيقة Thin Sections

لتعرُّف الصخر يفحص الجيولوجيون بلورات المعادن في العيِّنات الصخرية في صورة شرائح رقيقة تحت أنواع خاصة من المجاهر (المجهر المستقطب). والشريحة الرقيقة قطعة من الصخر سمكها 0.03 mm تقريبًا، مثبتة على قطعة زجاجية بحيث تسمح بنفاذ الضوء خلالها. ويوضح **الشكل 11– 4** 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 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 الآتية بعض هذه الاستخدامات:

العروق Viens تحتوي الموائع المتبقيَّة 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 تتضمنها المعادن الشائعة. وتتحرر هذه العناصر من السيليكا المذابة في نهاية عملية تبلور الصهارة، على هيئة موائع ساخنة غنيَّة بالعناصر، تملأ الشقوق والفراغات في الصخور المجاورة. وتتصلب هذه الموائع مكوِّنة عروقًا غنيَّة بمعادن أو فلزات ذات قيمة اقتصادية، ومنها عروق الكوارتز الحاملة للذهب في مهد الذهب في المملكة العربية السعودية. ويبين **الشكل 12– 4** ذهبًا متكونًا في عروق الكوارتز.

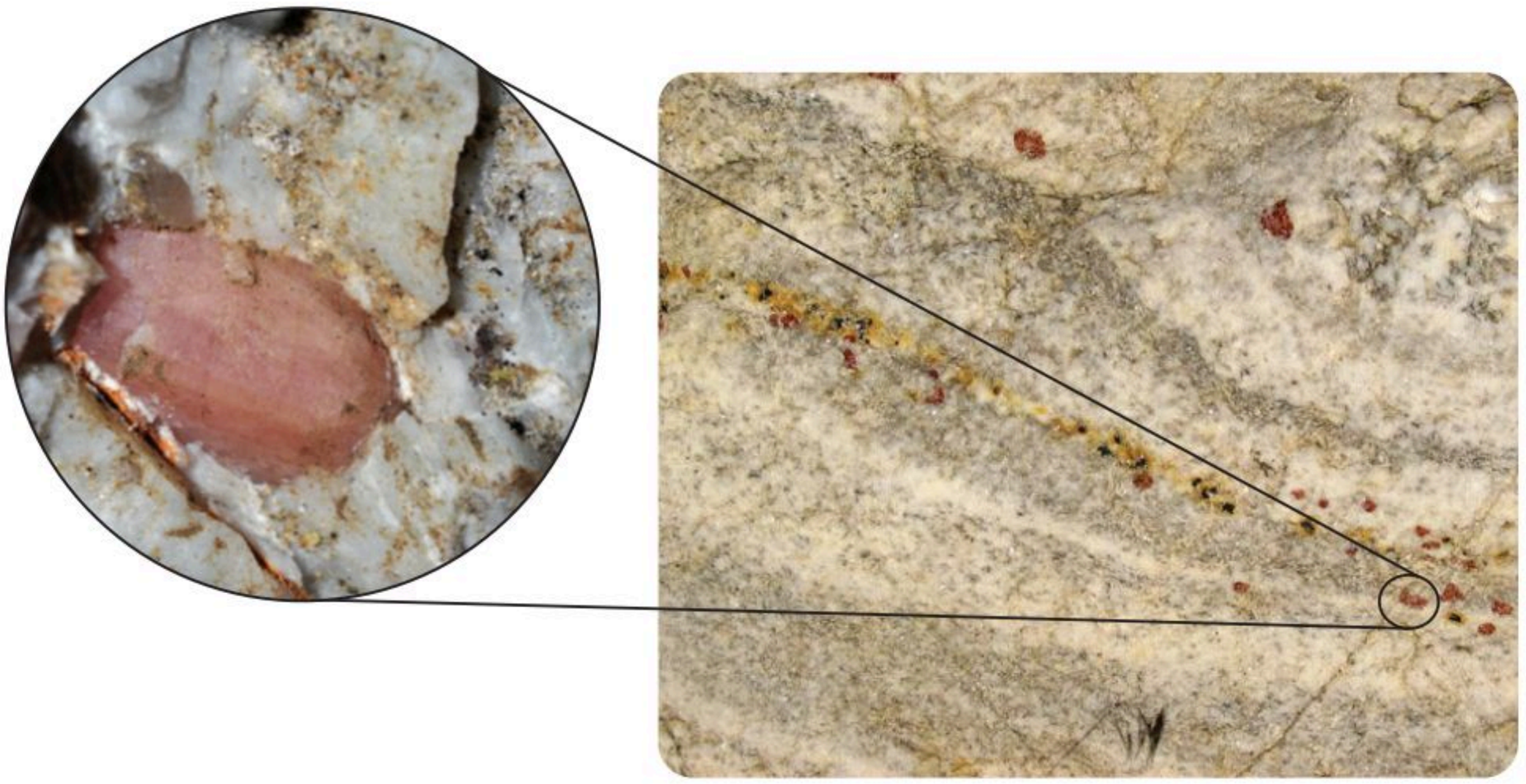
ماذا قرأت؟ وضِّح لماذا تحتوي العروق على كميات كبيرة من الكوارتز؟



الشكل 12– 4 يستخرج الذهب والكوارتز معًا من المناجم، ثم يفصلان لاحقًا.

استدل ما الذي يمكنك تحديده من هذه الصورة عن درجة انصهار الذهب؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447



الشكل 13– 4 عرق بيجماتيت يخترق صخور الجرانيت، وفيه بلورات جميلة.

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 13– 4**. 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.

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 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 جدًا.

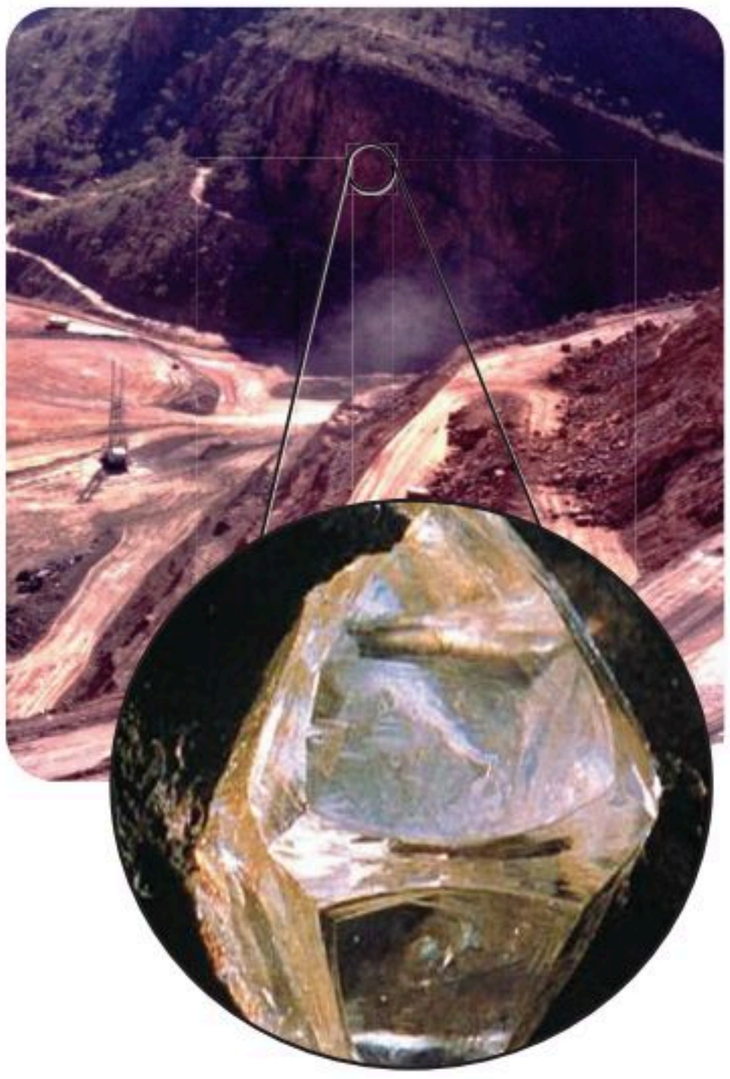
وقد وضع الجيولوجيون فرضية مفادها أن صهارة الكمبرليت قد حُقنت بسرعة إلى أعلى في اتجاه سطح الأرض، مشكّلةً تراكيب طويلة ضيِّقة في صورة أنابيب، تمتد عدة كيلومترات في القشرة الأرضية، وتتراوح أقطارها بين 100 m و 300 m ومعظم ألماس العالم يأتي من مناجم جنوب إفريقيا. انظر **الشكل 14– 4**.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

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 14- 4 يستخرج الألماس من الكمبرليت في منجم في جنوب إفريقيا.

تجربة عملية

الصخور النارية: الحمضية والقاعدية

ارجع إلى دليل التجارب العملية على منصة عين الإثرائية

التقويم 2-4

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. **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.

الجيولوجيا والبيئة

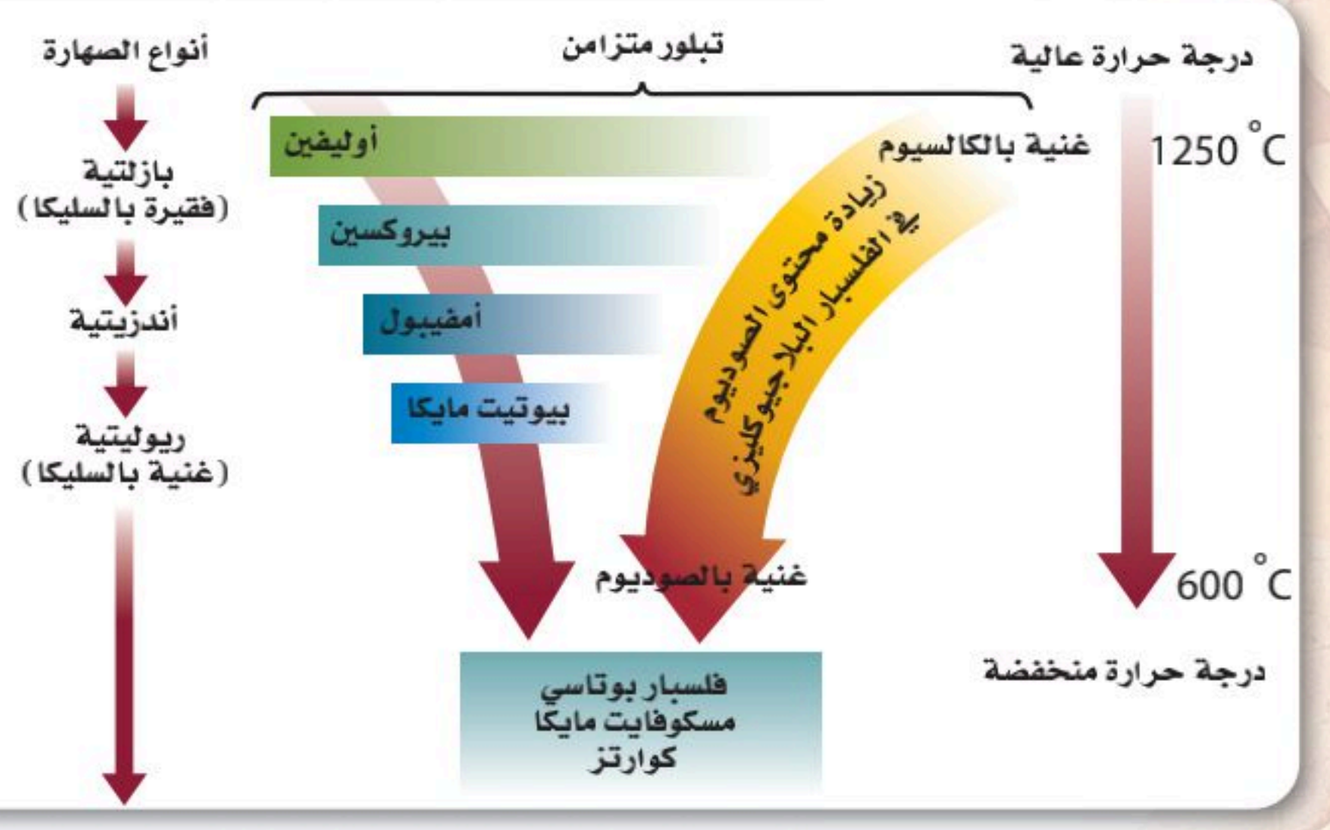
قام الجيولوجي الكندي باون في مطلع القرن العشرين بتوضيح كيف تبرد الصهارة وتتبلور المعادن فيها، بترتيب منتظم في عملية تعرف الآن **بسلاسل تفاعلات باون Bowen's Reaction Series**. ويوضح **الشكل 15– 4** العلاقة بين درجة حرارة الصهارة في أثناء تبريدها والمعادن السيليكاتية التي تشكل الصخور النارية. وقد اكتشف 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.

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 16– 4**.



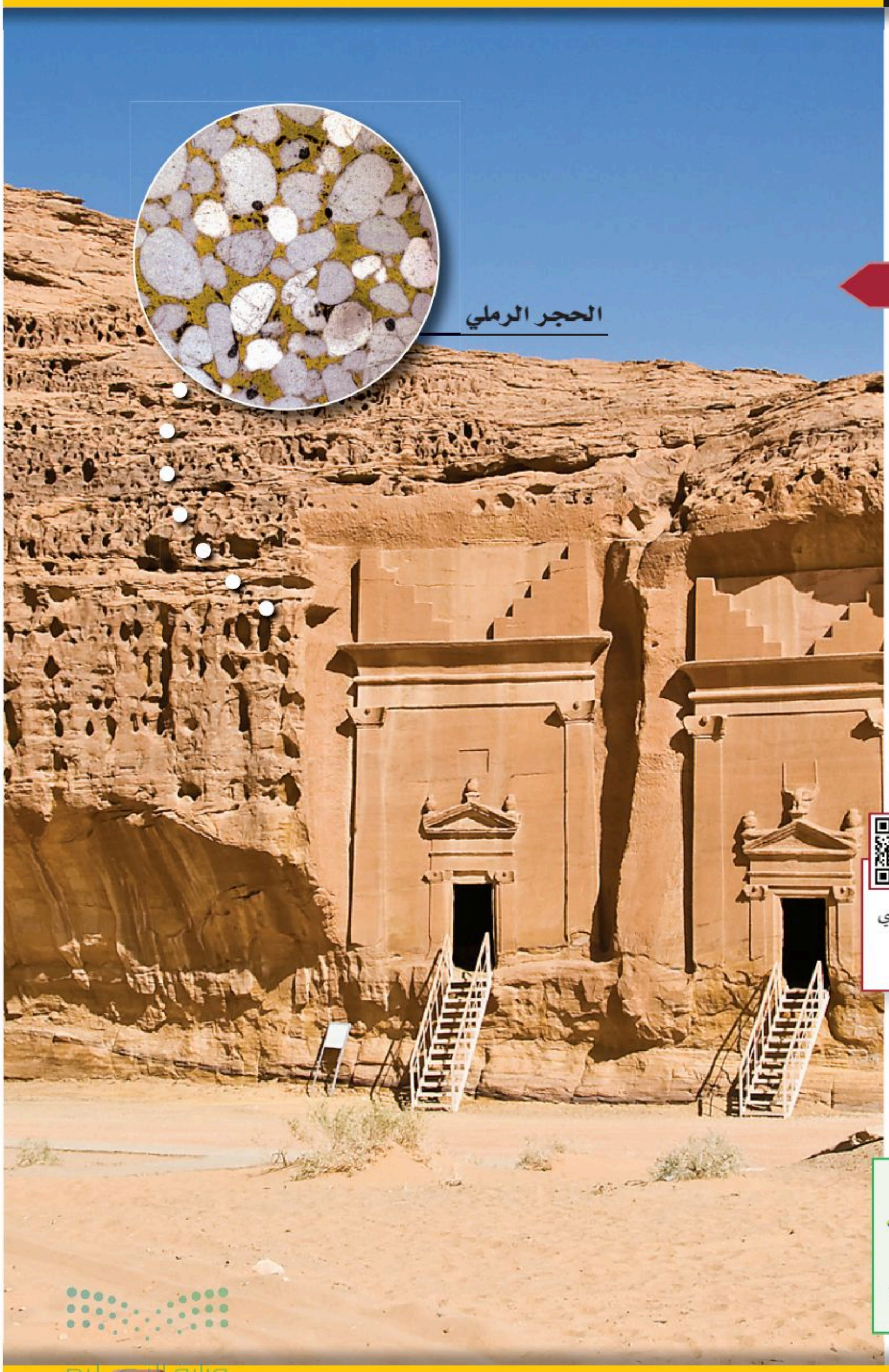
الشكل 16– 4 عندما تبرد الصهارة بسرعة قد لا تجد بلورة الفلسبار الوقت الكافي للتفاعل تمامًا مع الصهارة فتبقِي على أنوية غنية بالكالسيوم. والنتيجة تكون بلورات بنطاقات تتميز بغناها بالكالسيوم وأخرى بالصوديوم.



الشكل 15– 4 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؟

مدائن صالح



حقائق جيولوجية

مدائن صالح

- تقع مدائن صالح أوما 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.

إثراء

يمكنك الرجوع للمُتحف الوطني الافتراضي للقيام: بزيارة تخيلية لمدائن صالح.

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.

رابط الدرس الرقمي

www.ien.edu.sa

4-3

الأهداف

- تتَّبع 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

تشكّل الصخور الرسوبية

Formation of Sedimentary Rocks

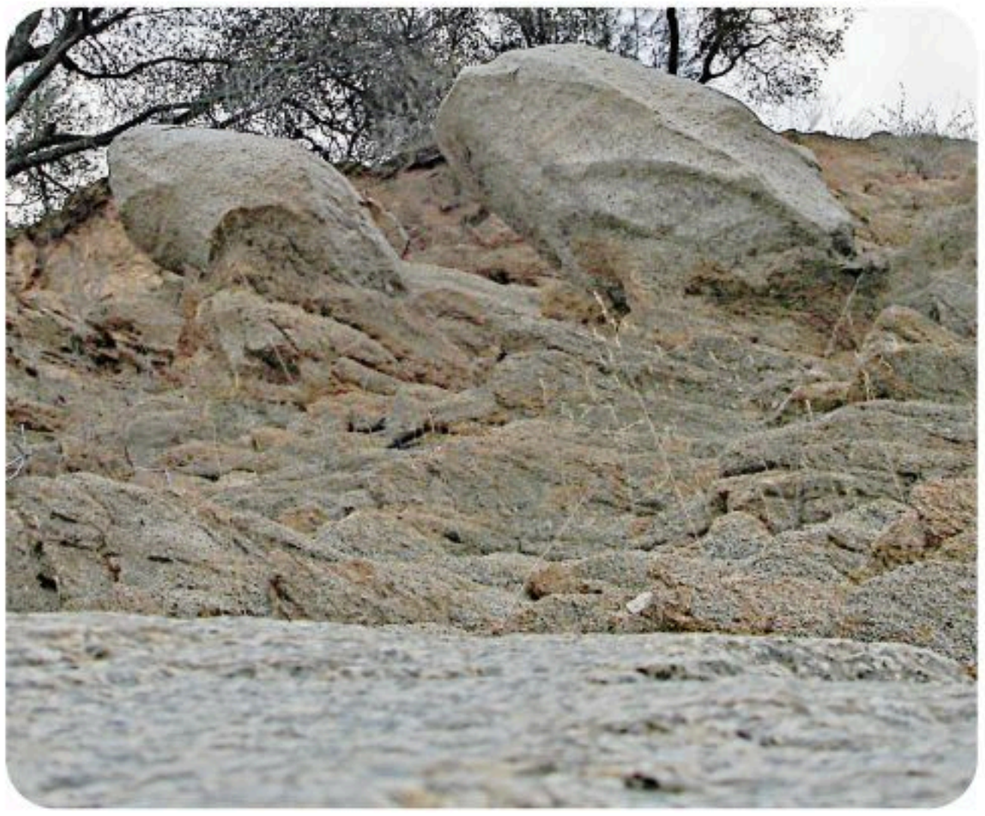
الفكرة الرئيسة تنشأ الصخور الرسوبية عن تصخر الرسوبيات الناتجة عن عمليتي التجوية والتعرية.

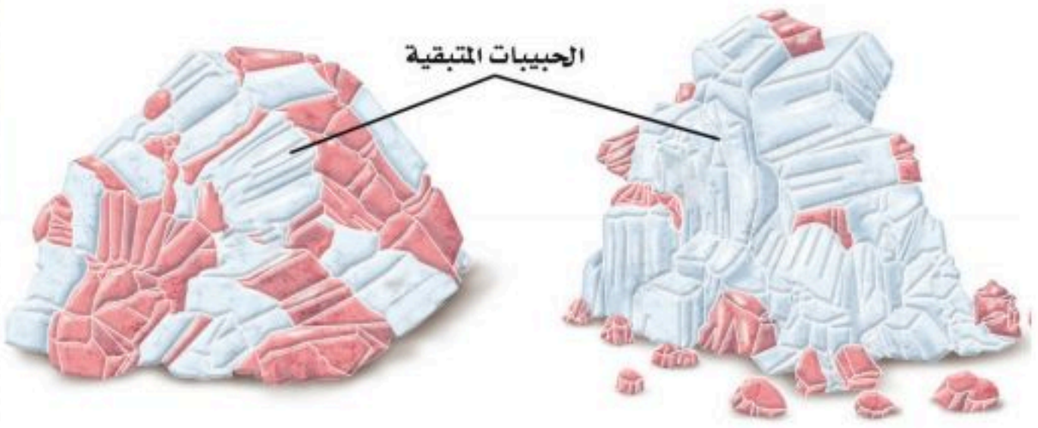
الربط مع الحياة. قد ترى كمية من الرمل والتربة أو قطعًا مكسرة من الصخر على الأرض. ما الذي حدث لهذه المواد؟ وماذا سيحدث لها مستقبلاً؟

التجوية والتعرية Weathering and Erosion

الرسوبيات 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 وتترسب 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 كيميائيًّا. وتجوية فيزيائية تنفصل فيها الحبيبات أو البلورات الأكثر مقاومة عن الصخر على شكل حبيبات أصغر حجمًا، دون أن تتغير كيميائيًّا. ويوضح الشكل **16–4** صخرًا تجوّى كيميائيًّا وفيزيائيًّا. ترى، ما الذي يحدث للمعادن الأكثر مقاومة للتجوية؟





الشكل 16–4 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؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

التعريـة Erosion تسـمى عملية إزالة الرسـوبيات ونقلها التعرية. ويوضح الشكل **17–4** عوامل التعرية الأربعة: الرياح والمياه الجارية والجاذبية والجليديات. وتعد الرياح أكثر عوامل التعرية تأثيرًا في المملكة العربية السـعودية؛ وذلك بسبب انتشـار المناطق الصحراوية وقلة الغطاء النباتي فيهـا. وعندما تعصف الرياح على تلـك المناطق تزيل الرمال والفتات الصخـري وتحملهما معها إلى أماكن أخرى ثم ترسبهما على شكل كثبان رملية. وتؤثر المياه الجارية أيضًا على أراضي المملكة العربية السـعودية، 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 السـيول بسـبب اختلاط حبيبات الطين الناتجة عن التعرية مـع المياه الجارية. وبعد تجوية الصخـور تنتقل غالبًا إلى اماكن جديـدة من خـلال عملية التعرية، حيث تُحمـل المواد وتنتقل دائـمًا نحو المناطق المنخفضة أسفل المنحدر بتأثير الجاذبية الأرضية. وتعمل الجليديات أيضًا وهي كتل ضخمة من الجليد تتحرك عبر اليابسـة على تعرية سطح الأرض. ولعلك لاحظت صـورة مدائن صالـح في بداية الفصل كيـف أثرت التعرية على ارتفاع مسـتوى الأبواب عن سطح الأرض.

ماذا قرأت؟ لخص ما يجري في أثناء عملية التعرية.



الرياح



المياه الجارية



الجاذبية



الجليديات

الشكل 17–4 تتعرض الصخور المجوّاة والرسوبيات للتعرية والنقل بتأثير عوامل التعرية الرئيسة: الرياح والمياه الجارية والجاذبية الأرضية والجليديات.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

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.

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 **18–4**. 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 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.

تجربة

نموذج لتطبّق الرسوبيات

كيف تتشكّل الطبقات في الصخور الرسوبية؟

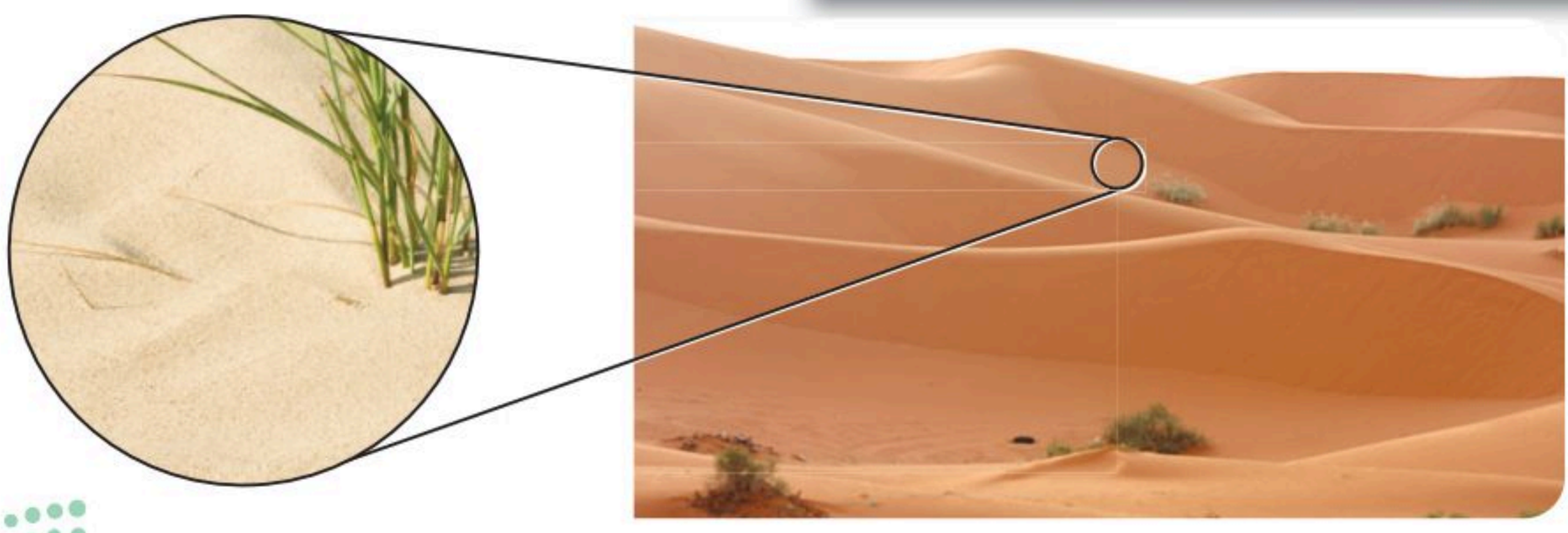
توجد الصخور الرسوبية عادة على شكل طبقات. ستلاحظ في هذا النشاط كيف تتشكّل الطبقات من ترسب حبيبات في الماء.

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.

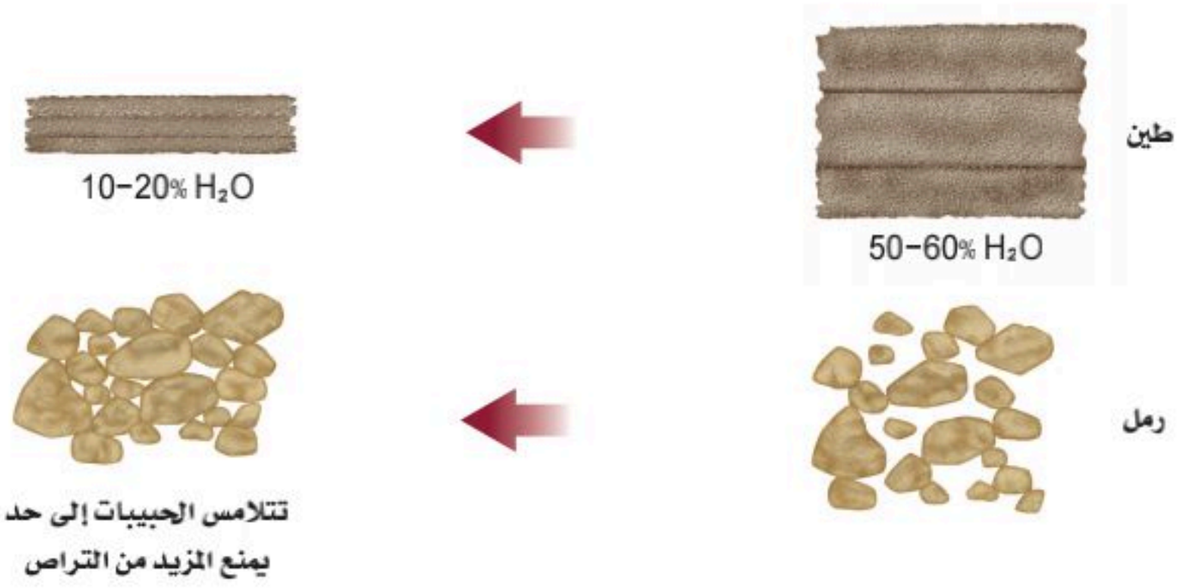
التحليل

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.



الشكل 18–4 تشكّلت هذه الكثبان من الرمل الذي عصفت به الريح، فنقلته وأعادت ترسيبه. لاحظ أن حبيبات الرمل متساوية في الحجم تقريبًا.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447



الشكل 19–4 يؤدي محتوى رسوبيات الطين المرتفع من الماء وشكل حبيباتها الأفقي إلى تراص كبير عندما تخضع لثقل الرسوبيات التي فوقها.

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 **19–4**. 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 Cementingmateril** 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 **20–4** كيف تحدث هذه العملية.

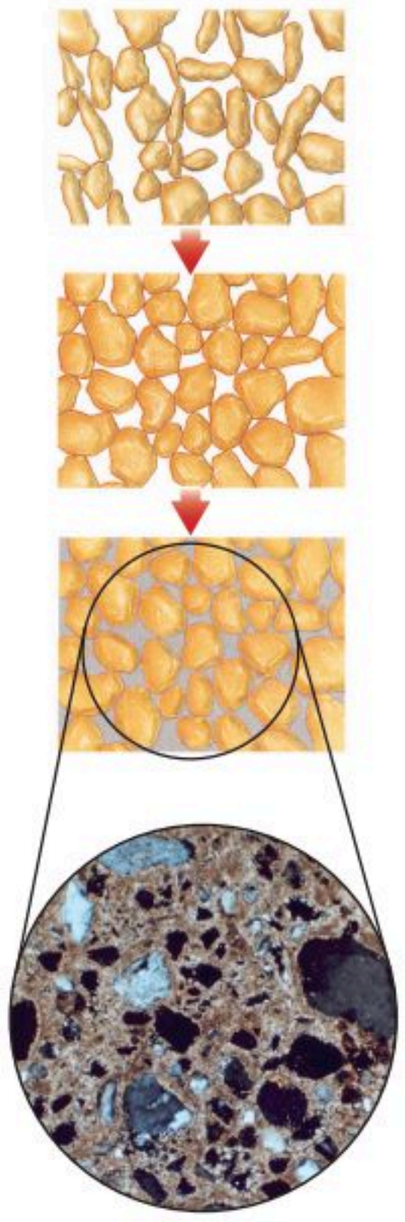
معالم الصخور الرسوبية Sedimentary Features

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.

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

المطويات

ضمِّن مطويتك معلومات من هذا القسم.



الشكل 20–4 تترسب المعادن من المياه في أثناء تدفقها عبر مسامات الرسوبيات. تشكّل هذه المعادن مادة لاحمة تعمل على ربط الرسوبيات بعضها مع بعض.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447



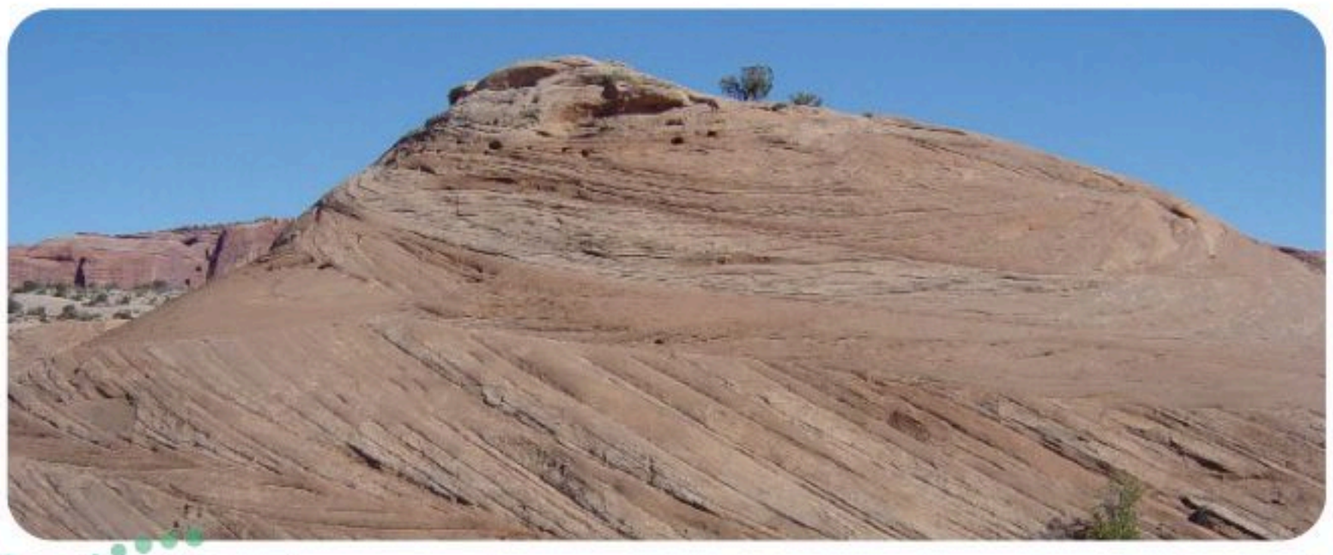
الشكل 21–4 توضح الصورة كيف تم تسجيل التطبق المتدرج في أثناء انخفاض سرعة المياه وفقدان طاقتها الترسيبية.

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 **21–4** مثالًا على التطبق المتدرج.

التطبق المتقاطع Cross – bedding مظهر آخر مميز للصخور الرسوبية. ينشأ **التطبق المتقاطع Cross bedding**، كالذي يظهر في الشكل **22–4**، عندما تترسب طبقات مائلة نسبة إلى بعضها البعض، وبعد تصخر هذه الرسوبيات، يحتفظ الصخر بالتطبق المتقاطع. ويوضح الشكل **22–4** هذه العملية.

علامات النيم Ripple marks تتشكل علامات النيم – كما هو موضح في الشكل **23–4** –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.



الشكل 22–4 تطبق متقاطع كبير الحجم في كثبان قديمة تشكّلت بالرياح.

المهن في علم الأرض

عالِم 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 اقتصاديًّا والحصول عليها.

هيئة المساحة الجيولوجية السعودية
SAUDI GEOLOGICAL SURVEY

تسعى هيئة المساحة الجيولوجية السعودية لتأمين مصادر وطنية كافية من الثروات المعدنية والمياه، وكذلك على حماية بيئتنا، ومراقبة جميع المخاطر الطبيعية لتحقيق الحياة الأفضل التي يصبو إليها مجتمعنا.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

التطبق المتقاطع وعلامات النيم
Cross-Bedding and Ripple Marks

الشكل 23–4 ينتج عن حركة المياه والرسوبيات المفككة تكوّن تراكيب رسوبية كالتطبق المتقاطع وعلامات النيم.

التطبق المتقاطع

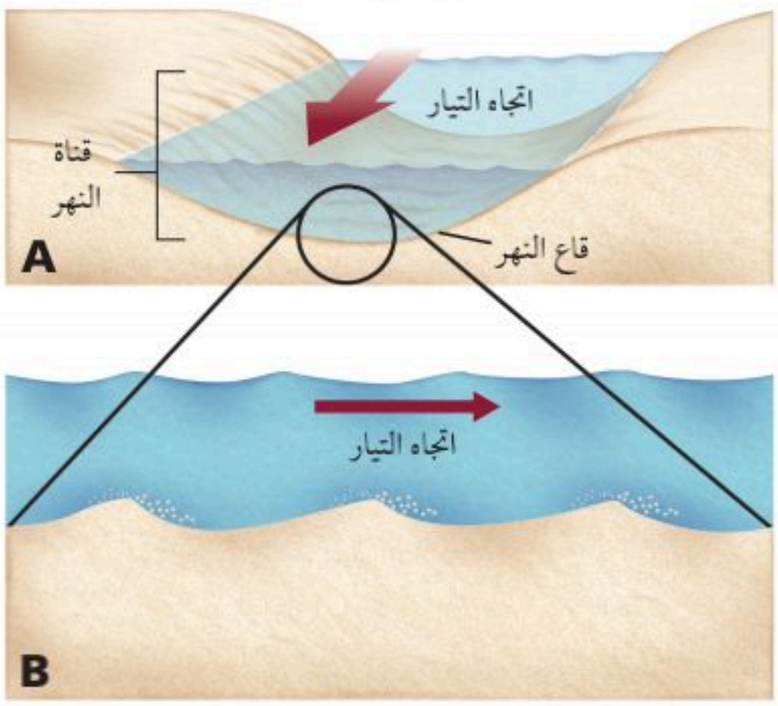


يســتقر الرمل الذي تحمله الريح على جانب الكثيب البعيد عن اتجاه الريــح، وعندما تغير الريح اتجاهها يتكون التطبق المتقاطع الذي يُظهر حادثة تغيير الاتجاه.



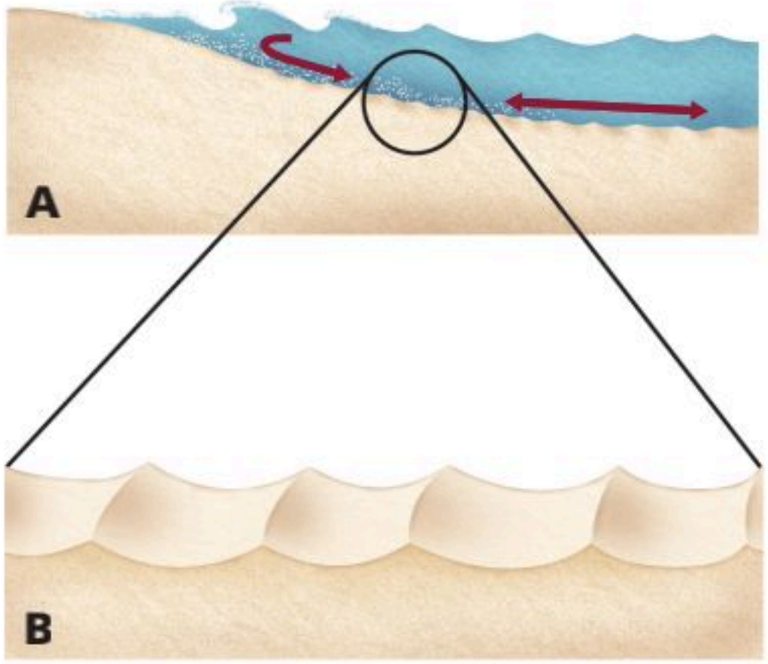
تُدفع رســوبيات قاع النهر بفعل حركة التيارات مشــكلةً تلالًا صغيرة وتموجات، فإذا تلاها استقرار رسوبيات أخرى بزاوية معينة فوق الجانب المائل لهذه التلال في اتجاه التيار فعندئذ يتشــكل التطبق المتقاطع. وفي النهاية تستوي المنطقة أو تتشكّل تلال جديدة، وتبدأ العملية من جديد.

علامات نيم غير متناظرة



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

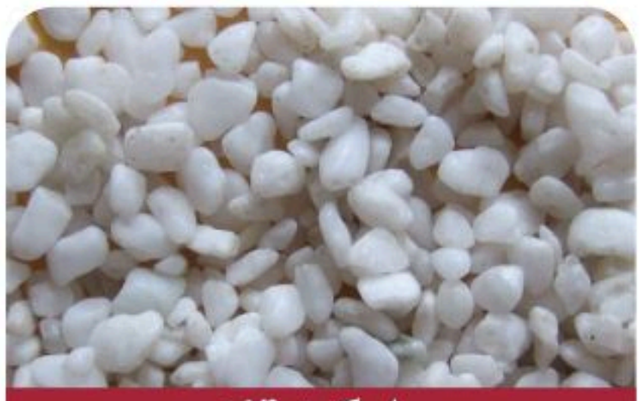
علامات نيم متناظرة



تؤدي حركة الأمواج على الشــاطئ ذهابًا وإيابًا إلى دفع رمل القاع، فتشــكل علامات نيــم متناظرة؛ إذ تتوزع حبيبات الرمل على جانبي قمم التلال بانتظام.

هيئة المساحة الجيولوجية السعودية
جيولوجيا عبر المواقع الالكترونية

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447



رمل كوارتزي



رمل كربوناتي

الشكل 24–4 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 **24–4**.

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 3–4

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. **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.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

رابط الدرس الرقمي

www.ien.edu.sa

4-4

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

أنواع الصخور الرسوبية

Types of Sedimentary Rocks

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 3–1 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 **25–4**. 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 التصخّر 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 **2–4**.



الكونجلوميرات



البريشيا

الشكل 25–4 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.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

الجدول 2-4 **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

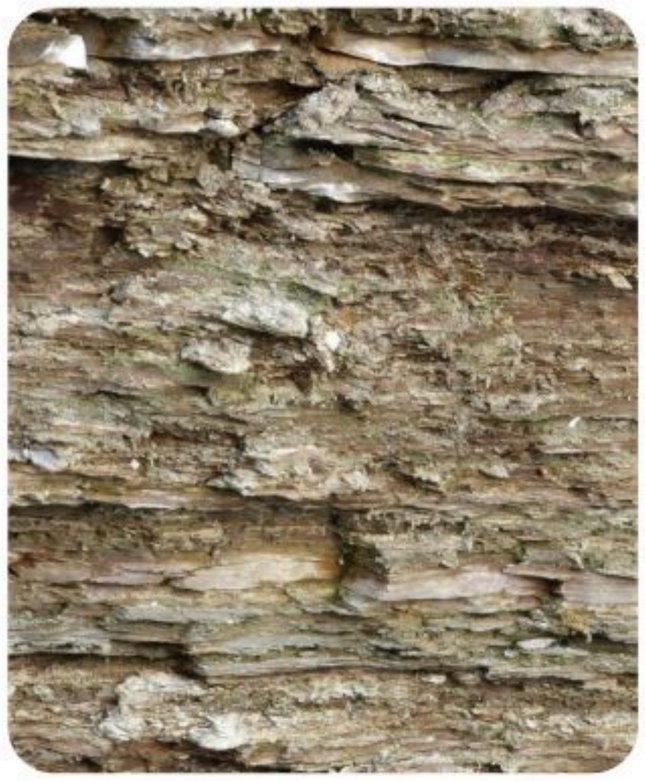
غالبًا ما تحوي قنوات الجداول المائية والأنهار والشواطئ والصحارى كميات وفيرة من الرسوبيات بحجم حبيبات الرمل. تصنف الصخور الرسوبية التي تتكوّن من قطع صخرية أو معدنية بحجم الرمل على أنها صخور فتاتية متوسطة الحبيبات. انظر إلى الجدول **2–4**. وتحوي الصخور الرملية في الغالب مجموعة من المعالم التي تهم العلماء. فمثلاً تشير علامات النيم والتطبق المتقاطع إلى اتجاه تدفق التيار. لذا يستعمل الجيولوجيون طبقات الصخور الرملية لعمل خرائط للجداول المائية القديمة وقنوات الأنهار.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

من خصائص الصخور الرملية المهمة أن مسـامیتها عالية نسـبيًّا. 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 المسـام بعضها متصلًا ببعض تسـتطيع الموائع ومنهـا المياه أن تتحرك خلال الحجر الرملي بسـهولة. وهذه الخاصية تجعل طبقـات الصخور الرملية مهمة بوصفها خزانات تحت سطحية للنفط والغاز الطبيعي والمياه الجوفية.

الصخور الرسوبية الناعمة الحبيبات Fine– grained rocks تتكون هذه الصخور مـن حبيبات صغيرة بحجم حبيبات الطمـي والطين. ومنها حجر الطمي والطَّفل. وتمثل 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 رقيقـة. وعادة ما ينكسر الطَّفل على طـول الطبقات الرقيقة، كما في الشـكل **26–4**. وعلى النقيض من الحجر الرملي، تعمل الصخور الرسـوبية الناعمة الحبيبات ذات النفاذية المنخفضة بوصفها حواجز تعيق حركة المياه الجوفية والبترول.

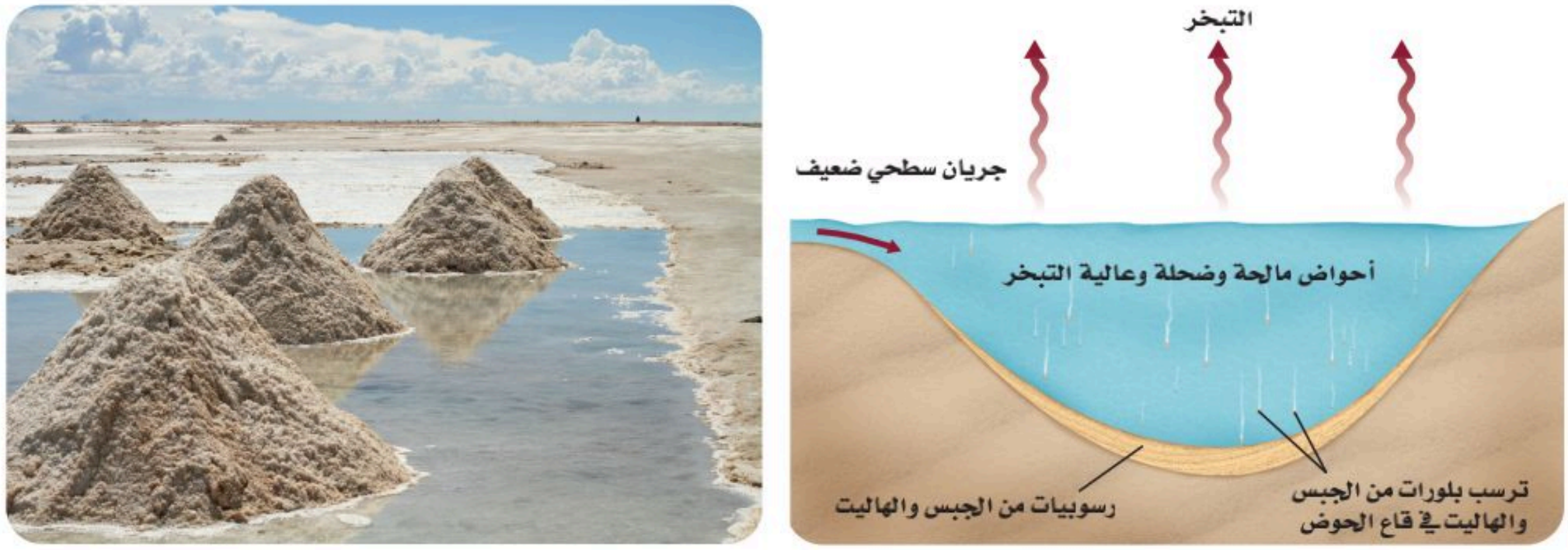


الشـكل 26–4 ترسبت الرسـوبيات الناعمة جدًّا في مياه هادئة وشكلت طبقات رقيقة من الطين.

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

الصخور الرسوبية الكيميائية والكيميائية الحيوية
Chemical and Biochemical Sedimentary Rocks

يتطلّب تشـكّل الصخـور الكيميائيـة والكيميائية الحيوية اشـتراك عمليتي التبخّر وترسـيب المعادن. ففي أثنـاء عملية التجوية تذوب المعـادن وتُحمل إلى البحيرات والمحيطـات. وعندما تتبخّر المياه من البحيرات والمحيطـات تُترك المعادن الذائبة في المياه الباقيـة. وفي الأقاليم الجافة يمكن لمعدلات التبخر العالية أن تزيد تركيز المعادن الذائبة في المسطحات المائية. ويمثل الشكل **27–4** سبخة القصب غرب الرياض.



الشكل 27–4 يؤدي التبخر المستمر من مسطح مائي مالح إلى ترسيب كميات كبيرة من الملح. كما في سبخة القصب غرب الرياض.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

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 **28–4**. 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.

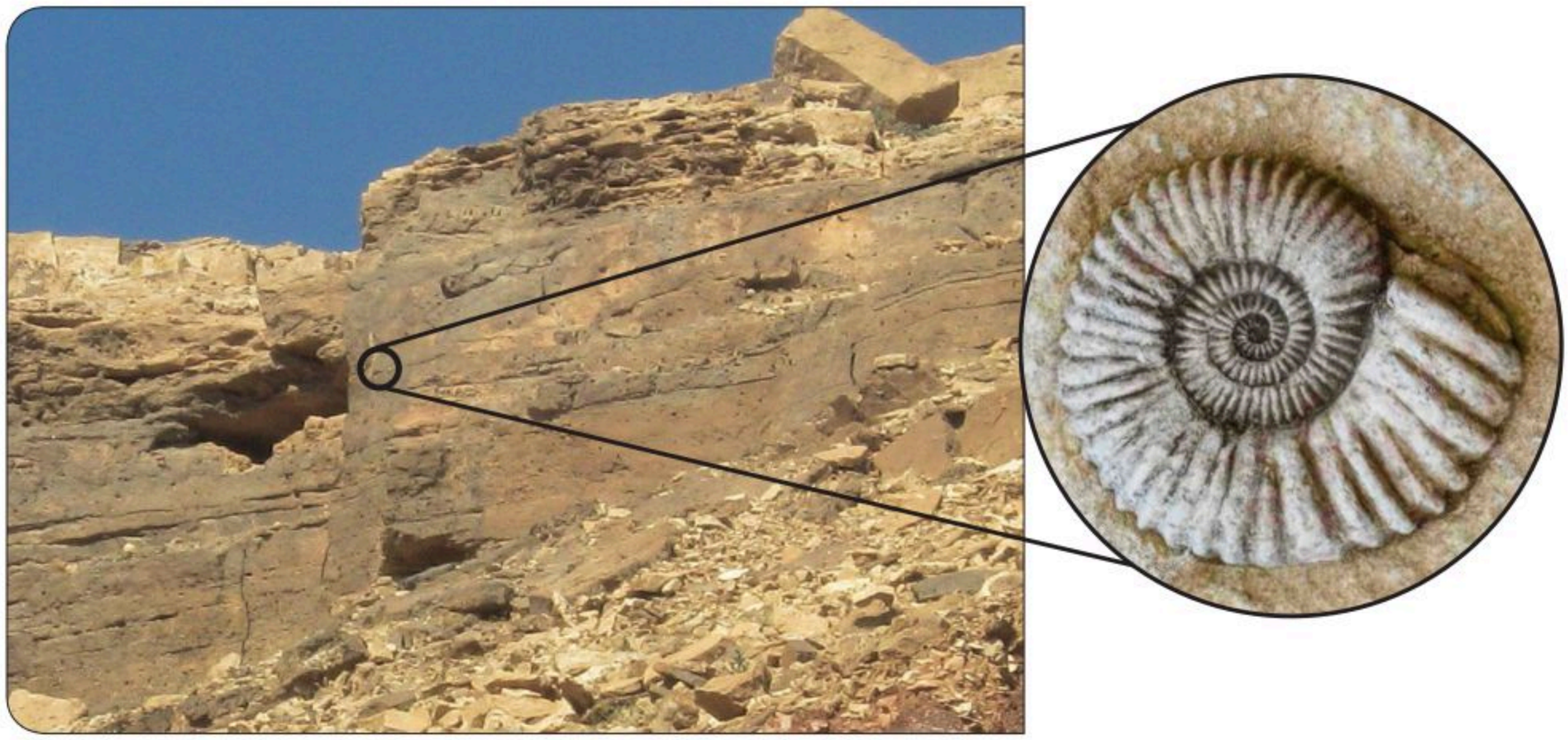
تجربة عملية

مقارنة بين الصخور الرسوبية الكيميائية

ارجع إلى دليل التجارب العملية على منصة عين الإثرائية

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.

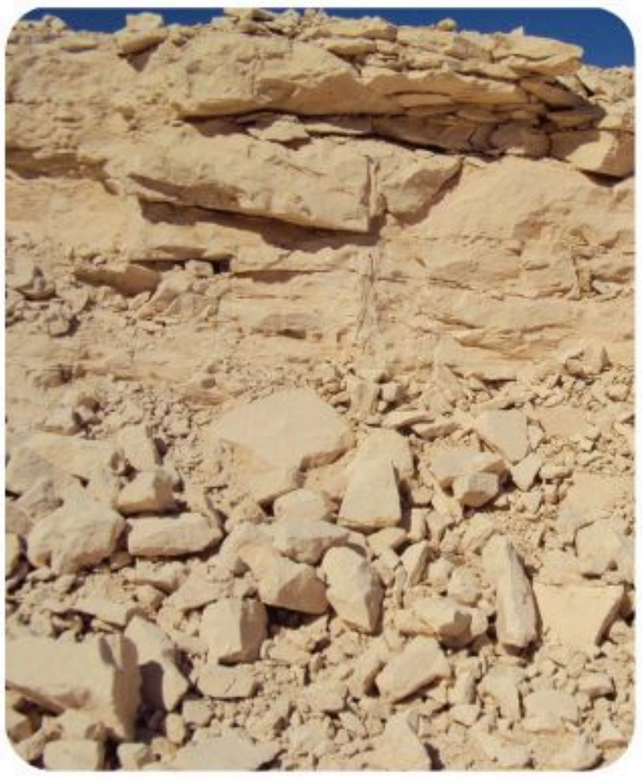


الشكل 28–4 يمكن لصخر الحجر الجيري أن يحوي أنواعًا كثيرة ومختلفة من الأحافير. ويستطيع الجيولوجيون أن يفسروا أين ومتى تشكّل الحجر الجيري من دراسة الأحافير الموجودة فيه.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

ويستخرج الحجر الجيري من مناطق متعددة في المملكة العربية السعودية، ومنها منطقة أم الغربان شرق مدينة الخرج، ومنطقة سدوس، وشمال الدرعية بالقرب من الرياض. ومن الصخور الرسوبية الكيميائية الحيوية الأخرى في المملكة العربية السعودية الفوسفات الذي يوجد في حزم الجلاميد بالقرب من مدينة عرعر. انظر الشكل **الشكل 29–4**.

يكثر وجود الحجر الجيري في البيئات البحرية الضحلة، ومن ذلك الشعاب المرجانية التي تنتشر بطول البحر الأحمر في مياه عمقها بين 15 m – 20 غير بعيدة عن الشاطئ. و تتراكم هياكل وأصداف المخلوقات الميتة مكونة حجرًا جيريًّا. وتحتوي أنواع كثيرة من الحجر الجيري على أدلة على أصلها العضوي على هيئة أحافير وفيرة، كما في الشكل **4–28**.



الشكل 29–4 أحد منكشفات صخور الفوسفات في حزم الجلاميد شرق عرعر في المملكة العربية السعودية.

التقويم 4–4

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. 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.
5. تفحص طبقات الطين في الشكل **4–28**، وفسر عدم احتوائها على التطبق المتقاطع أو علامات النيم.

الرياضيات في الجيولوجيا

6. 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؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

رابط الدرس الرقمي

www.ien.edu.sa

4-5

الصخور المتحولة

Metamorphic Rocks

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

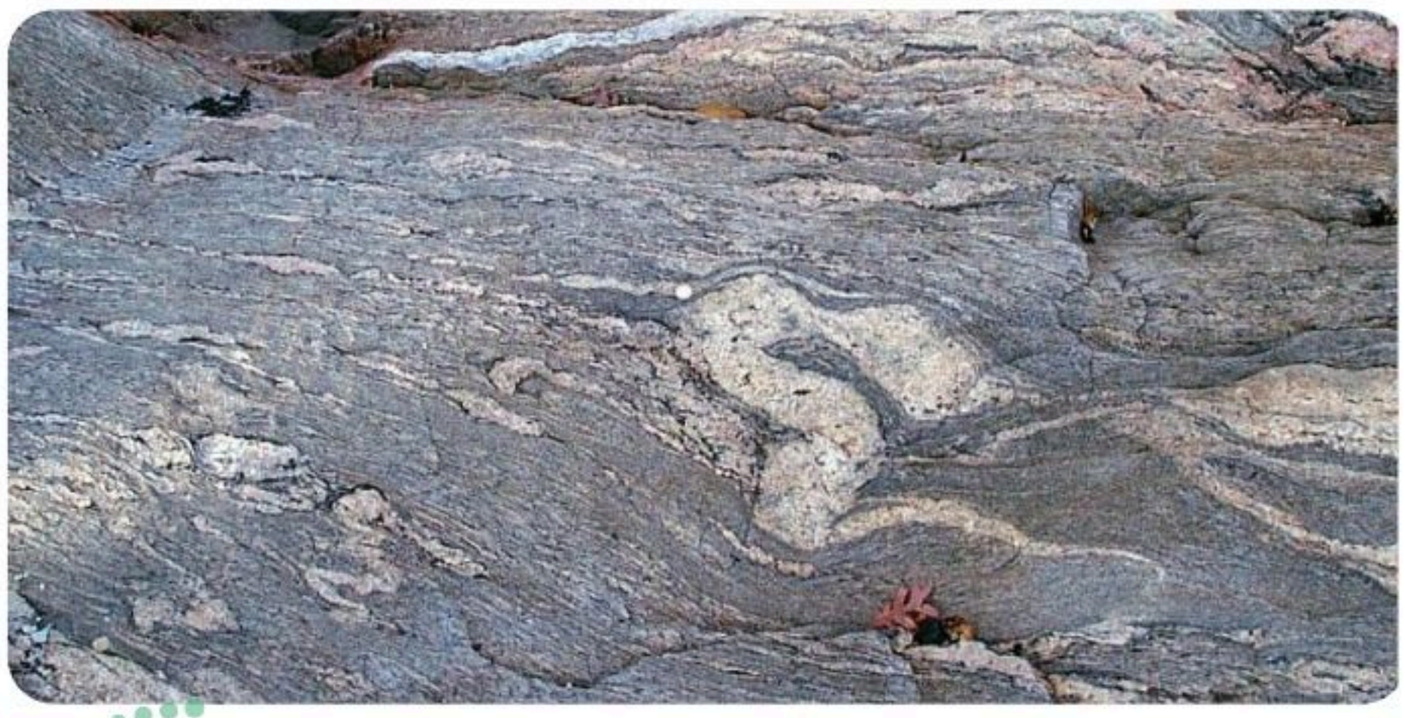
الفكرة الرئيسة تنشأ الصخور المتحولة عندما تتعرض صخور سابقة لزيادة الضغط والحرارة والمحاليل الحرارية المائية.

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 كليًا.

تعرُّف الصخور المتحوّلة
Recognizing Metamorphic Rocks

يوضح الشكل **30–4** 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 30–4 يتطلب طي طبقات هذه الصخور أو ثنيها إلى الشكل الذي هي عليه اليوم وجود قوى كبيرة.

كوِّن فرضية للتغيرات التي حدثت للرسوبيات بعد استقرارها.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447



الستوروليت



المايكا



الجارنت



التلك

الشكل 31–4 معادن متحولة، منها المايكا والستوروليت والجارنت والتلك وتوجد بلوراتها بألوان وأشكال وأحجام متعددة، قد يكون لونها بين القاتم والفاتح.

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 **31–4** 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 **32–4** 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 **33–4** في الصفحة الآتية. وينتج عن هذا الاصطفاف المتوازي للمعادن التورق الذي تلاحظه في الصخور المتحولة المتورقة.

مخطط الصخور المتحولة

النسيج			المكونات المعدنية						اسم الصخر
متورقة (صفائحية)	صفائحية	ناعمة الحبيبات	الكلوريت	المايكا	الكوارتز	الفلسبار	الأمفيبول	البيروكسين	الأردواز
		ناعمة الحبيبات							الفيليت
		خشنة الحبيبات							الشيست
	أحزمة	خشنة الحبيبات							النايس
غير متورقة (غير صفائحية)	ناعمة إلى خشنة الحبيبات		الكوارتز						الكوارتزيت
			الكالسيت أو الدولوميت						الرخام

الشكل 32–4 توازي الزيادة في حجم الحبيبات التغير في المكونات وتطور التورّق. ولا يعد حجم الحبيبات عاملًا في تصنيف الصخور غير المتورقة.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447



الشكل 33–4 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 Nonfoliated** عن الصخور المتورقة في أنها مكونة من معادن ذات بلورات كتلية الشكل. ويوضح **الشكل 34–4** 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 **34–4** معدن الجارنت الذي تشكل بهذه الطريقة.



الشكل 34–4 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.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

درجات التحول Grades of Metamorphism

تــؤدي توافقات مختلفة من درجات الحرارة والضغــط إلى حدوث درجات تحول مختلفــة. يقترن التحول المنخفض الدرجة بدرجــات الحرارة والضغط المنخفضين وبمجموعــة محددة من المعادن والأنســجة، بينــما يقترن التحــول العالي الدرجة بدرجــات حرارة وضغط مرتفعين وبمجموعة مختلفة من المعادن والأنســجة. أما التحول المتوسط الدرجة فيقع بين التحولين منخفض الدرجة وعالي الدرجة.

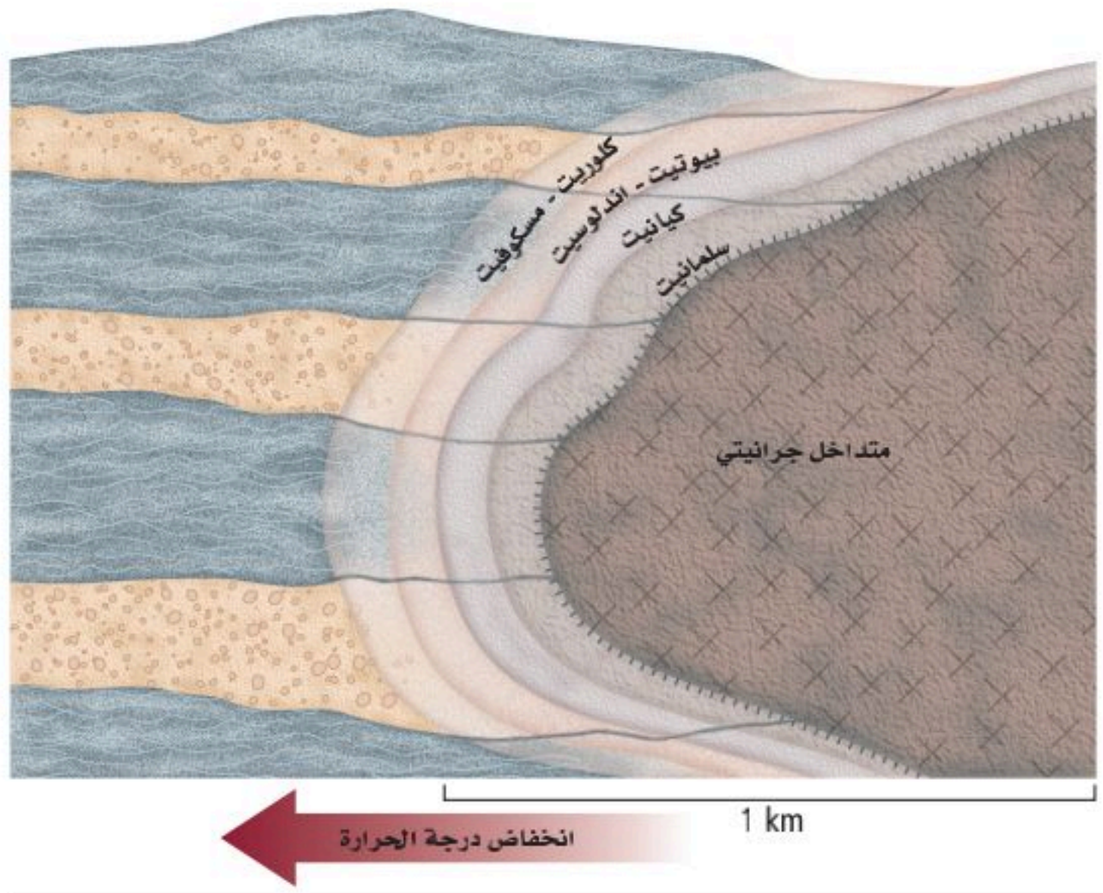
تجربة عملية

تعرف الصخور المتحولة

ارجع إلى دليل التجارب العملية على منصة عين الإثرائية

أنواع التحول Types of Metamorphism

يمكــن أن تنتج آثار التحول عــن التحول بالتماس والتحــول الإقليمي والتحول الحراري المائي، وتزودنا المعادن التي تشــكّلت ودرجة التغير التي حدثت للصخر بمعلومات عن نوع التحول ودرجته.



الشكل 35–4 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.

التحــول الإقليمــي Regional metamorphism ينشــأ **التحــول الإقليمي regional metamorphism** عندما تتعرض مناطق واسعة من القشرة الأرضية لدرجة حرارة وضغط مرتفعين، وتــتراوح درجة التحول بين منخفض وعالٍ. أما نتائج التحول الإقليمي فتتضمن التغير المعدني ونوع الصخر، بالإضافة إلى طي وتشويه طبقات صخور المنطقة. ويوضح الشكل **35–4** طبقات صخور مطوية عانت من التحول الإقليمي.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

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 **35–4** نطق معادن مختلفة تحيط بالجسم الناري الجوفي. ولأن درجة الحرارة تنخفض عند الابتعاد عن الجسم الناري الجوفي فإن تأثيرات التحول تنخفض أيضًا مع المسافة. 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 **36–4** ناتج عن التحول الحراري المائي.

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 **37–4** 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.



الشكل 36–4 تتكون عروق الذهب في الكوارتز عندما يبرد المحلول الحراري المائي.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

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.

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 هيئةعروق، 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 مائيةحاملة 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 تساوي1 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.





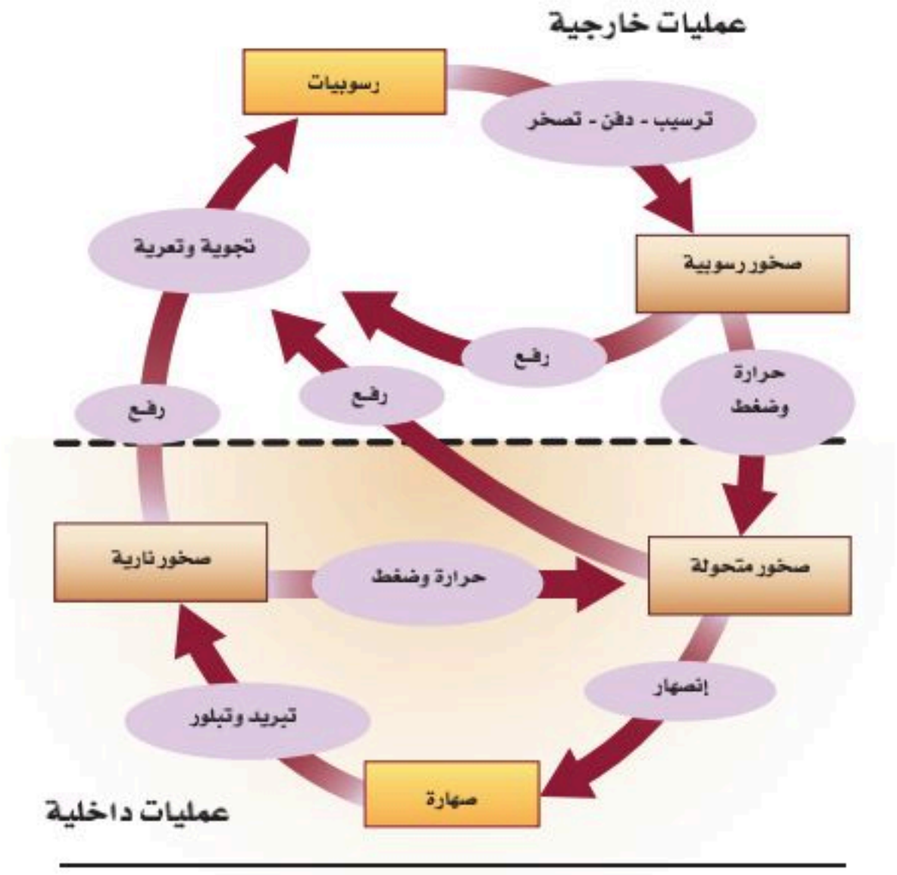
الشكل 4–73 الرخام والأردواز صخران متحولان استعملا في البناء منذ قرون.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

دورة الصخر Rock Cycle

قد يتغـير أي صخـر إلى صخـر آخر، وتسـمى عمليـة التغير وإعادة التشكّل المسـتمرتان **دورة الصخر rock cycle**. ويلخص الشكل **38–4** دورة الصخر، حيث تمثل الأسهم العمليات المختلفة التي تغير صخرًا إلى نوع آخر. وتصنـف 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 يتشـكّل الصخر، هل يحافظ عـلى خصائصه ونوعه؟ قد يحدث ذلك، غـير أن الاحتمال الأكبر هو ألا يحافظ على خصائصه ونوعه بعد التشكل؛ بل تغير الحرارة والضغط الصخور النارية إلى صخور متحولـة، وقد يتغير صخر متحول إلى صخر متحول آخر أو ينصهر، ومن ثم يكوّن صخرًا ناريًا. وبدلًا من ذلك قد يتجوّى الصخر المتحول وتصيبه التعرية، ويصبح رسوبيات، وتلتحم هذه الرسوبيات وتكون صخرًا رسوبيًّا.



الشكل 38–4 تتغـير الصخور باسـتمرار فوق سـطح الأرض وتحتـه. توضـح دورة الصخر بعض سلاسـل التغيرات التي تمر بها الصخور.

التقويم 5–4

الخلاصة

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

فهم الأفكار الرئيسة

1. لخّص كيف يؤدي ارتفاع درجة الحرارة إلى عملية التحوّل؟
2. لخص أسباب تشكّل النسيج المتحول المتورق.
3. طبق مفهـوم دورة الصخر لتفـسر كيفية تصنيف الأنـواع الصخرية الرئيسة الثلاثة.
4. قارن بين العوامل التي تسبب أنواع التحول الرئيسة الثلاثة.
5. استنتج خطوات تكون صخر الرخام من الحجر الجيري.

التفكير الناقد

6. توقع موقع جسـم ناري جوفي بناء على المعلومات المعدنية الآتية: جُمع معدنا الكلوريت والمسـكوفيت من الجزء الشمالي من منطقة الدراسة؛ وجُمع الجارنت والستورولیت من الجزء الجنوبي من المنطقة.

الرياضيات في الجيولوجيا

7. تتشـكّل غالبًا الأحجار الكريمة في صـورة بلورات معدنية كبيرة في الصخور المتحولـة. وتوصف الأحجار الكريمـة بوحدة القيراط. يساوي القيراط 0.2 g أو 200 mg. اكتشفت بلورة جارنت كبيرة في نيويـورك عام 1885 كتلتها 4.4 kg وقطرهـا 15 cm. ما كتلة هذه الجوهرة بوحدة القيراط؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

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.

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 الأشجار المتحجرة 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.

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

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

مختبر الجيولوجيا (1)

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 جدولاً 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.

جدول معلومات العينات

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

التحليل والاستنتاج

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

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

مختبر الجيولوجيا (2)

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 إضافة 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 إضافة 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.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

الفصل 4

دليل مراجعة الفصل

الفكرة العامة تقسم الصخور إلى ثلاثة أنواع؛ هي الصخور النارية، والصخور الرسوبية، والصخور المتحولة.

المفردات	المفاهيم الرئيسة
4–1 ما الصخور النارية؟	
اللابة الصخور النارية الانصهار الجزئي التبلور الجزئي	**الفكرة الرئيسة** الصخور النارية هي الصخور التي تتكون عندما تبرد المواد المنصهرة الموجودة في باطن الأرض أو على سطحها ثم تتبلور. • 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. 
4–2 تصنيف الصخور النارية	
الصخور الجوفية 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. 

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

الفصل 4

دليل مراجعة الفصل

المفردات	المفاهيم الرئيسة
4-3 تشكل الصخور الرسوبية	
الرسوبيات التصّخر التراّص السمنتة مادة لاحمة التطّبق التطّبق المتدّرج التطّبق المتقاطع	**الفكرة الرئيسة** تنشــأ الصخور الرســوبية عن تصخر الرســوبيات الناتجة عن عمليتي التجوية والتعرية. • تتظافر 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.
4-4 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 الرســوبية الكيميائية الحيوية من بقايا مخلوقات كانت تعيش في الزمن الماضي. • تفيد الصخور الرســوبية الجيولوجيين في معرفة الظروف التي سادت سطح الأرض في الزمن الماضي.
4-5 الصخور المتحولة	
متورقة (صفائحية) غير المتورقة (غير صفائحية) التحول الإقليمي التحول بالتماس التحول الحراري المائي دورة الصخر	**الفكرة الرئيسة** تنشــأ الصخور المتحولة عندمــا تتعرض صخور ســابقة 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.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

الفصل 4

تقويم الفصل

مراجعة المفردات

أكمل الجمل الآتية مستعملًا المفردات المناسبة:

1. يسمى النسـيج الناري الذي يمتاز باحتوائه على بلورات كبيرة في أرضية من البلورات الصغيرة .....
2. يقال عن الصخـور النارية التي تتكون في ظروف تبريد سريعة إنها .....
3. يقال عن الصخور الفاتحة اللـون ذات البلورات كبيرة الحجم إنها .....
4. ينتج عن تراص الرسوبيات الفتاتية والتحامها .....
5. تدعى طبقات الصخور الرسوبية التي تترسب مائلة على السطح الأفقي .....

ضع المصطلح الصحيح بدلًا من الكلمة التي تحتها خط:

6. تتصاعـد الغازات من الصهارة مع تدفقها على سـطح الأرض.
7. يصف مقياس موهس للقساوة الترتيب الذي تتبلور على أساسه المعادن.
8. تتميز الصخور الجرانيتية بلونها الغامق ومحتواها القليل من السيليكا.
9. تتكون اللابة في الأعماق تحت القشرة الأرضية.
10. تحدث السمنتة في أثناء استقرار الرسوبيات بتناقص طاقة المياه.
11. تتكوّن الصخور المتحولة الصفائحيـة من بلورات كتلية الشكل.

اكتب جملة تستعمل فيها زوج الكلمات في كل مما يأتي:

12. المسامية، الصخر الرسوبي الفتاتي
13. الراسب، التطبّق
14. فتاتي، المتبخرات

تثبيت المفاهيم الرئيسة

15. ما أول المعادن التي تتكون عندما تبرد الصهارة؟

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

استعمل الصورتين أدناه في الإجابة عن السؤال 16.





16. ما العملية التي حدثت؟

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

17. أيُّ أنواع الصهارة تحتوي كمية أكبر من السيليكا؟

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

18. أيُّ العوامل الآتية لا يؤثر في تكون الصهارة؟

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

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

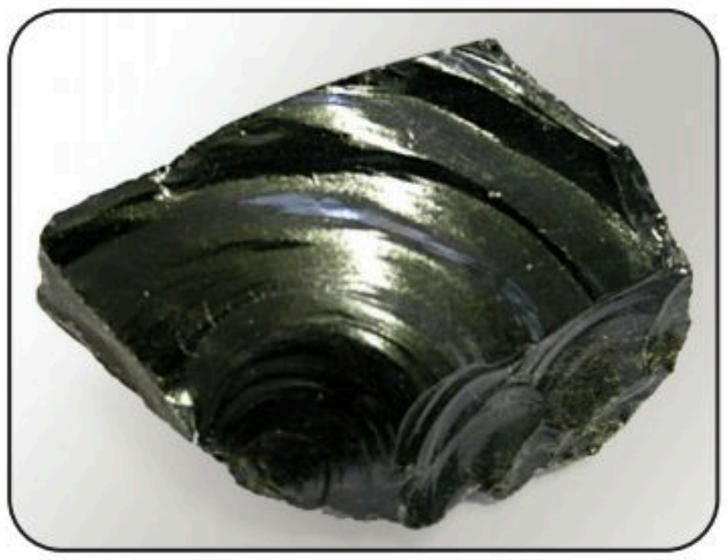
4 تقويم الفصل

19. أي الصخور السطحية الآتية لها مكونات الديوريت نفسها؟

a. الريولايت c. الأوبسيديان

b. البازلت d. الأنديزيت

استعمل الشكل أدناه للإجابة عن السؤال 20.



20. أيُّ العمليات كوَّنت هذا الصخر؟

a. تبريد بطيء c. تبريد سريع جدًّا

b. تبريد سريع d. تبريد بطيء ثم سريع

21. أيُّ أنــواع الصخور فوق القاعدية تحتوي أحيانًا على الألماس؟

a. البيجماتيت c. الجرانيت

b. الكمبرليت d. الريولايت

22. لمعدلات التبريد السريعــة أثر في حجم البلورات في الصخور النارية، حيث تكوّن:

a. بلورات صغيرة c. بلورات فاتحة

b. بلورات كبيرة d. بلورات داكنة

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

a. الصهار c. اللابة

b. الجوفية d. السطحية

24. أيُّ المعدنين أكثر شيوعًا في الجرانيت؟

a. الكوارتز والفلسبار

b. الأوليفين والبيروكسين

c. الفلسبار البلاجيوكليزي وأمفيبول

d. الكوارتز والأوليفين

25. ما الراســب الفتاتي الذي حجــم حبيباته أصغر فيما يأتي؟

a. الرمل c. الحصى

b. الطين d. حجر الطمي

26. ما الصخر الفتاتي الخشــن الحبيبات الذي يحوي قطعًا مدببة؟

a. الحجر الجيري c.الحجر الرملي

b. الكونجلوميرات d. البريشيا

27. ما الصخر الحيوي الكيميائي الذي يحوي أحافير؟

a. الصوان c. الحجر الرملي

b. الحجر الجيري d. البريشيا

28. أيٌّ مما يأتي ليس من عوامل التحول ؟

a. التصخر c. الحرارة

b. المحاليل الحرارية المائية d. الضغط.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

4 تقويم الفصل

استعمل الشكل الآتي للإجابة عن السؤالين؛ **29** و **30**.



29. ما المصطلح الأفضل لوصف نسيج هذا الصخر؟

a. متبلور
c. متورق
b. غير متورق
d. فتاتي

30. أي صخر ناري يشكل تحوله العينة أعلاه عادة؟

a. الديورايت
c. الجرانيت
b. البازلت
d. الجابرو

31. أي مما يأتي تتوقع أن تكون مساميته أكبر؟

a. الحجر الرملي
c. الحجر الجيري
b. النايس
d. الكوارتزيت

32. أيّ عوامل التعرية ينقل عادة فتاتًا بحجم حبيبات الرمل أو أقل من ذلك فقط؟

a. الانزلاقات الأرضية
c. الماء
b. الجليديات
d. الرياح

33. أيّ العمليات مسؤولة عن إذابة ونقل المواد من مكان إلى آخر؟

a. التجوية
c. الترسيب
b. التعرية
d. السمنتة

أسئلة بنائية

34. اعمل قائمة ببعض استخدامات الصخور النارية في صناعة البناء.

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

استعمل الصورتين الآتيتين للإجابة عن السؤالين 36 و 37.





36. ارسم مخططا انسيابيًّا لتوثيق عملية تكون الثقوب في عينّة البازلت الفقاعي.

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

38. وضِّح بالرسم كيف يغير التبلور الجزئي مكونات الصهارة من خلال تكون الأوليفين الغني بالحديد.

39. طبق مفاهيم درجة الحرارة والتبلور لتفسير لماذا –في الغالب– توصف الصهارة بأنها مزيج من بلورات وصهير صخري.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

4 تقويم الفصل

استعمل الجدول الآتي للإجابة عن السؤالين 40 و 41.

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

40. حلل البيانات في الجدول وفسِّر أيَّ الصخور أكثر شبهًا بالجرانيت؟

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

استخدم الشكل الآتي للإجابة عن السؤال **42**.



42. **صف** كيف تلتصق الحبيبات معًا في الشكل.

43. **لخص** الفرق الرئيس بين صخر الكوكينا والحجر الجيري الأحفوري.

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

45. **وضح** بالرسم الشرطين الضروريين لتشكّل الصخور المتحولة المتورقة.

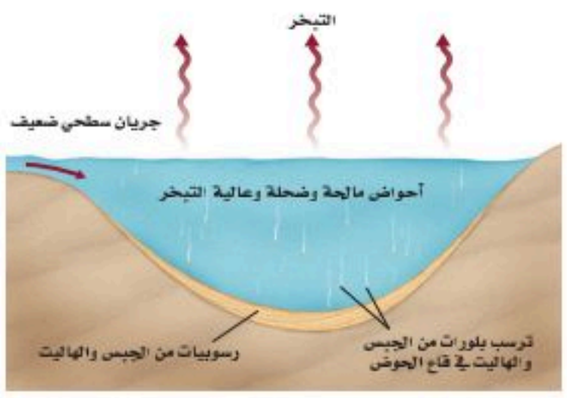
46. قارن بين طرائق تصخر الرمل والطين.

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

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

49. **قارن** بين الكونجلوميرات والبريشيا من حيث خصائصهما وطرائق تشكّلهما.

استعمل الشكل الآتي للإجابة عن السؤال **50**.



50. قوّم تأثير انفتاح هذه البيئة على المحيط.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

4 تقويم الفصل

التفكير الناقد

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

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

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

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

55. قوِّم 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).

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

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

58. **اربط** ما تعلمته عن أشكال البلورات لتفسير عدم تكون التورق في الرخام، رغم أنه تشكَّل تحت ضغط عالٍ.

59. **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.

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

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

استعمل الشكل الآتي للإجابة عن السؤالين 62 و 63.



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

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

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

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

4 تقويم الفصل

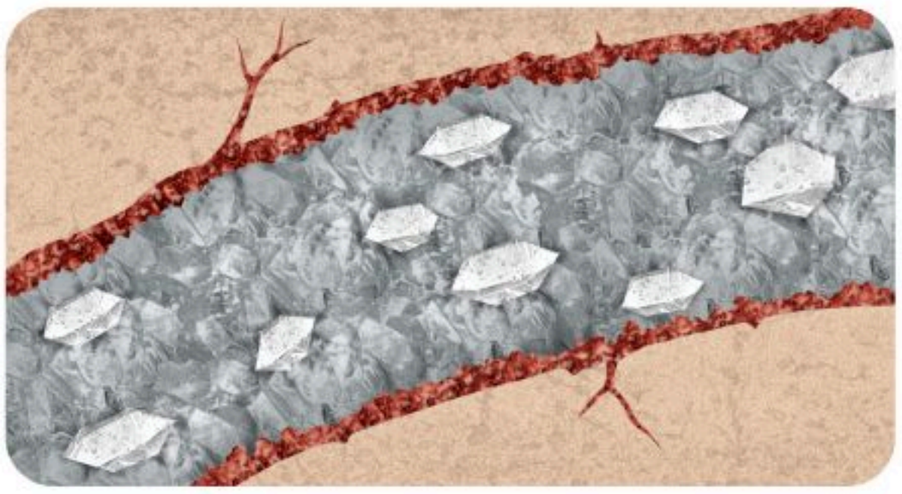
خريطة مفاهيمية

65. 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.

66. 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

استعمل الصورة الآتية في الإجابة عن السؤال 67.



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

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

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
c. البيردوتيت
b. البازلت
d. الديوريت

2. ما نوع الصخر B؟

a. الجرانيت
c. الجابرو
b. الديوريت
d. البيجماتيت

3. أيُّ المواد الآتية أكثر وفرة في الصهارة، ولها تأثير كبير في خصائصها؟

O .a
Al .c
Ca .b
SiO_2 .d

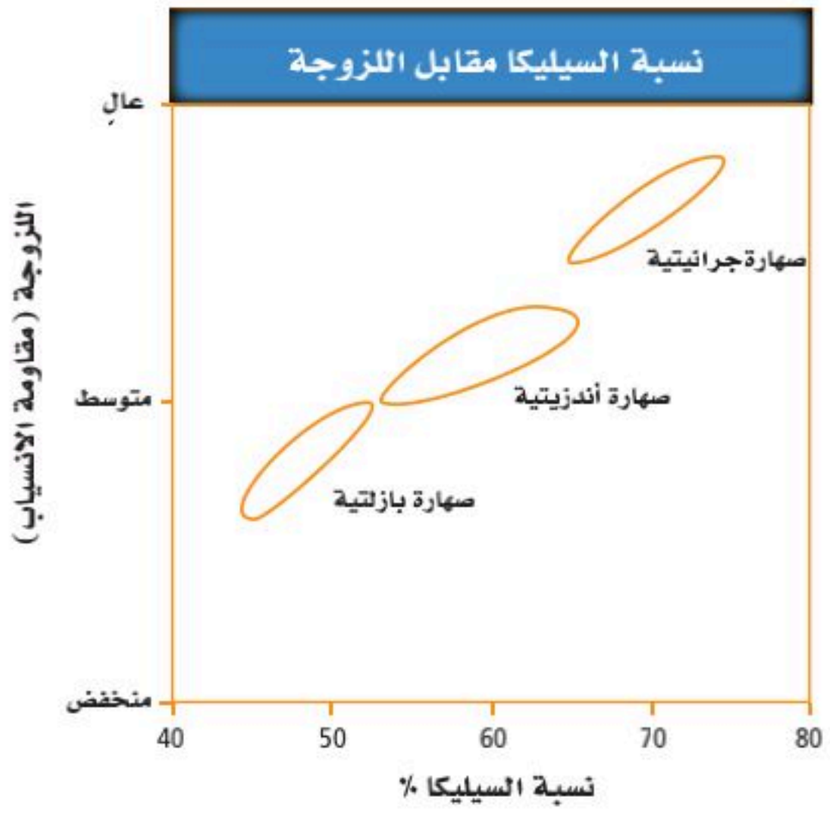
4. ما العملية التي تصف انتقال بلورات المعادن وانفصالها عن الصهارة؟

a. الانصهار الجزئي
c. المهال الحراري
b. التبلور الجزئي
d. الانفصال الجزئي

5. أيُّ الخصائص الآتية لا تُستعمل في تعرُّف المعادن؟

a. القساوة
c. الكثافة
b. اللون
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.

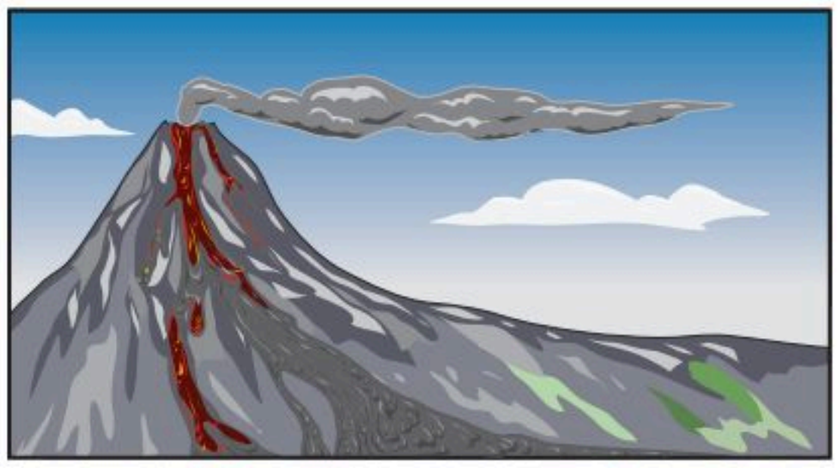
7. ما العبارة الصحيحة حول الصهارة الجرانيتية؟

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.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

اختبار مقنن

استعمل الشكل الآتي للإجابة عن السؤالين **8** و**9**.



8. 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.

9. ما نوع الصخر الذي يتشكّل، بعد أن تبرد اللابة وتتبلور؟

a. الرسوبي
c. الناري السطحي
b. المتحول
d. الناري الجوفي

10. ما الاسم الشائع لـ NaCl؟

a. ملح الطعام
c. ماء
b. سكر
d. كلور طبيعي

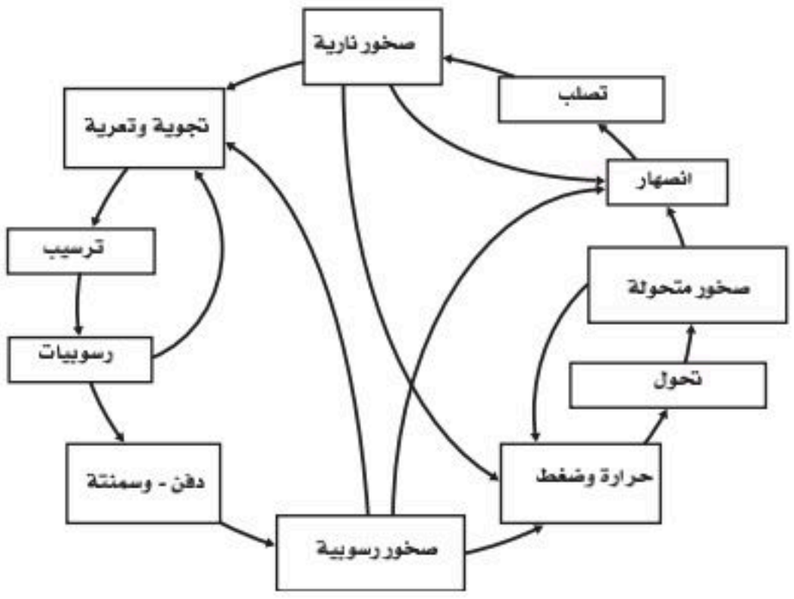
11. ما الخطوة الأولى التي تبدأ بها عملية تغير الرسوبيات إلى صخور رسوبية؟

a. التطبق
c. السمنتة
b. الدفن
d. التراصّ

12. 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 **13** و**14**.



13. 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.

14. اعتمادا على دورة الصخر الموضحة أعلاه، ما الاحتمال الذي تتوقع حدوثه أكثر، بعد توضع الرسوبيات؟

a. تشكّل التجوية المزيد من الرسوبيات.

b. تبْرُد الصهارة وتشكّل صخورًا نارية.

c. تتسبب الحرارة والضغط في صهر الرسوبيات

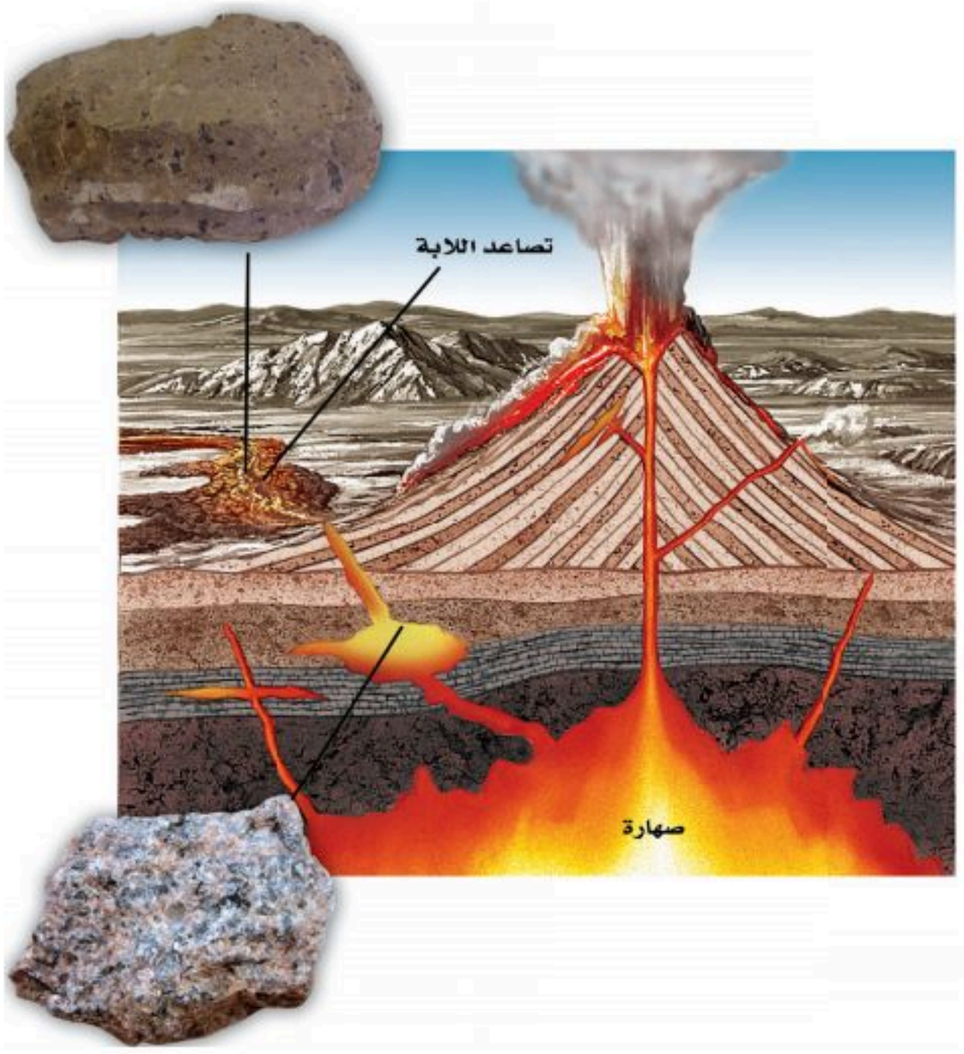
d. تحدث السمنتة وتُشكّل الصخور الرسوبية.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

اختبار مقنن

أسئلة الإجابات القصيرة

استعمل الشكل الآتي للإجابة عن الأسئلة **15** و **16**



15. ما نوع الصخر المبيَّن أسفل الصورة؟ أعط مثالًا على صخر شائع من هذا النوع، ووضح كيف يتكون هذا النوع.

16. ما نوع الصخر المبيَّن أعلى الصورة؟ أعط مثالًا لصخر شائع من هذا النوع، ووضح كيف يتكون هذا النوع.

17. ما الفرق بين طريقة تكون نوعي الصخور النارية؟

18. ما المقصود بأن المعدن يتكون طبيعيًّا، ومن أصل غير عضوي؟

19. لماذا تصنف بعض المعادن على أنها معادن نفيسة؟

استخدم الشكل الآتي للإجابة عن السؤالين **20** و **21**.



20. ما الذي تلاحظه في تشكّل الصخر الرسوبي أعلاه؟

21. هل تمثل هذه العملية التراصّ أم السمنتة؟ صف الفرق بين العمليتين.

22. كيف تُساعد دراسة طبقات الصخور الرسوبية وفهم كيفية تشكّلها علماءَ الأحافير في تعرُّف تاريخ الأرض؟

القراءة و الاستيعاب

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.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

اختبار مقنن

بعد قراءتك للنص أجب عن الأسئلة الآتية:

23. 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.

24. ماذا تستنتج من النص؟

a. تستمر البراكين في الثوران بمستوى ثابت من الشدة.

b. تحدث البراكين عند ظهر المحيط فقط.

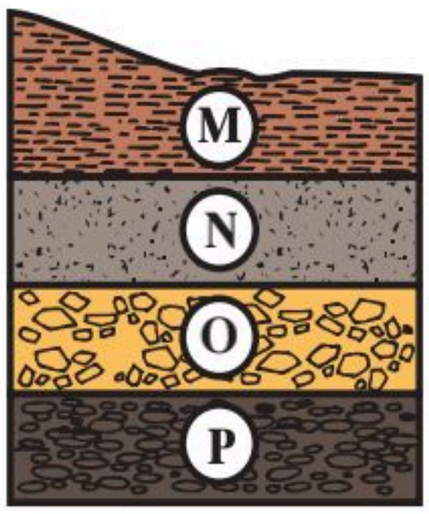
c. الروبيان يأكل الأسماك الميتة فقط.

d. هناك نشاط بركاني في مواقع مختلفة تحت سطح الماء.

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 25و 26



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

25. 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.

26. 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

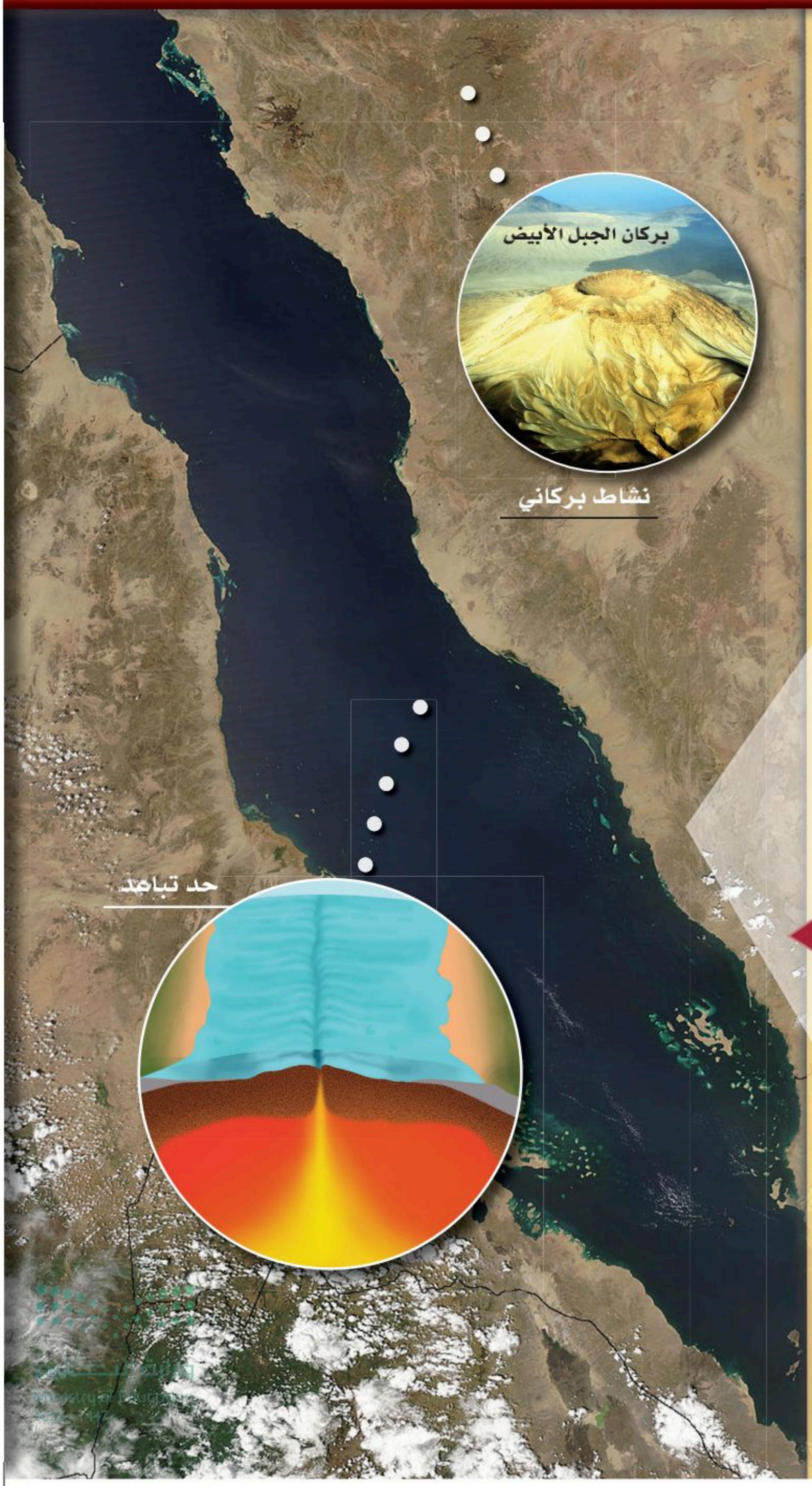
c. لقد انقرض النوع قبل أقل من 100,000 سنة مضت.

d. لقد اختفى النوع من المنطقة قبل 6 ملايين سنة تقريبًا.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

الفصل 5

الصفائح الأرضية وآثارها
Earth's Plates and their effects



الفكرة العامة تحدث معظم الأنشطة الجيولوجية عند حدود الصفائح، وتتشكل البراكين من الصهارة القادمة من باطن الأرض. وتنتج بعض الزلازل بفعل الحركة على طول الصدوع في القشرة الأرضية.

5–1 انجراف القارات

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

5–2 توسع قاع المحيط

الفكرة الرئيسة تتشكل القشرة المحيطية عند ظهر المحيط وتصبح جزءًا من قاعه.

5–3 حدود الصفائح وأسباب حركتها

الفكرة الرئيسة تتشكل كل من البراكين والجبال والأخاديد البحرية وتحدث الزلازل 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.

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 الشـــق يتوسع ببطء، ثم اندفعت فيه المياه من خليج عدن حتى تكوّن البحر الأحمر وخليجَا العقبة والسويس، واستمر البحر في التوسع بمعدل 2 cm كل عـــام، وهذا يعني أن مدينة جدة تبتعد أكثر فأكثر عن شرق إفريقيا وتتحرك في اتجاه الشمال الشرقي.



الخطوات

1. اقرأ نموذج الســـلامة في المختبر في دليل التجارب العملية.
2. حدّد المســـافة الفعلية بين مدينة جـــدة في المملكة العربية الســـعودية 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. اســـتنتج ما القوى التي أدت إلى ابتعاد شبه الجزيرة العربية عن قارة إفريقيا؟
2. احســـب المدة الزمنية التي يستغرقها البحر الأحمر ليزداد عرضه 100 km عن عرضه الحالي، إذا كان معدل توسعه 2 cm في العام الواحد.

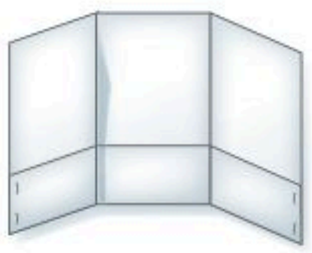
المطويات
منظمات الأفكار

حدود الصفائح

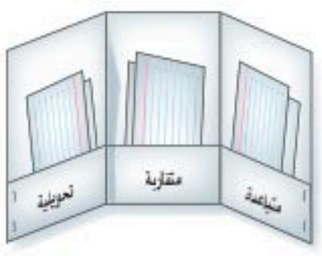
اعمل المطوية الآتيـــة للمقارنة بين أنواع حـــدود الصفائـــح والمعـــالم الجيولوجية المرتبطة معها.



الخطوة 1 اثن الطرف السفلي للورقة طوليًّا بمقـــدار 3 cm، ثم اضغط على الجزء المطوي إلى أعلى.



الخطوة 2 اثن الورقـــة إلى ثلاثة أجزاء متساوية.



الخطوة 3 ألصق الجزء المثني من الورقة مـــن الجوانـــب لعمل ثلاثة جيوب، وعنونهـــا على النحو الآتي: متباعدة، متقاربة، تحويلية.

استخدم هذه المطوية في أثناء دراســـة القسم 3-5، لخص الخصائص الجيولوجية لأنواع حدود الصفائح الثلاث والعمليات المرافقة لها على بطاقات معنونة، وضعها في الجيوب المناسبة لها.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

رابط الدرس الرقمي

www.ien.edu.sa

5-1

انجراف القارات

Drifting Continents

الأهداف

- **تتعرّف** الأدلــة التي جعلت العــالم فاجنــر يقــترح أن القارات قد تحركت.
- **تناقش** كيــف دعــم دليــل المناخ القديــم فرضية انجراف القارات.
- **توضــح** لماذا لم تحــظ فرضية انجراف القارات بالقبول في البداية.

مراجعة المفردات

الفرضيــة: تفســير لموقفٍ ما قابل للاختبار.

المفردات الجديدة

الانجراف القاري

بانجيا

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

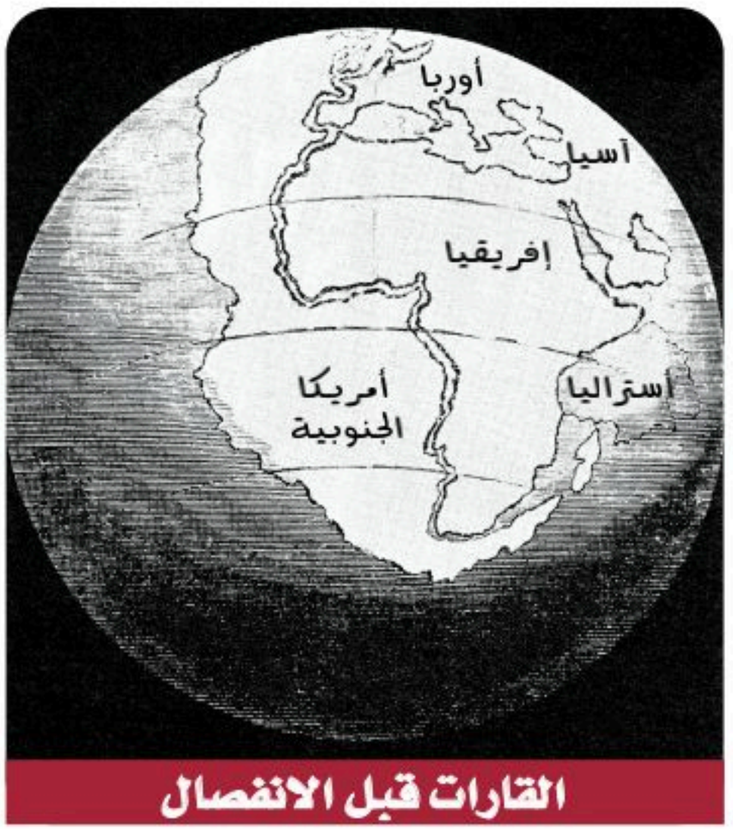
الربــط مع الحياة ما خصائص القطع التي تســتعملها في لعبة تركيب القطع (البازل)؟ يستعمل العلماء خصائص – منها الشكل والموقع – لكي تساعدهم على معرفة لماذا تتشابه حواف القارات وتتطابق على الرغم من تباعدها.

الملاحظات القديمة Early observation

باســتثناء الأحداث المفاجئة كالزلازل والبراكين والانزلاقات الأرضية، فإن معظم معالم ســطح الأرض لا تظهر تغيراً نسبياً واضحاً في أثناء حياة الإنسان. ومع ذلك فإن الأرض مــرت بتغيرات كثيرة عبر تاريخها الطويل الموثق في ســلم الزمــن 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 أوروبا وإفريقيا بســبب 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 مــن اقترح فكرة حركة القارات العالم الألماني ألفريد فاجنر Alfred Wegener في فرضيته العلمية التي قدمها عام 1912م إلى الأوساط العلمية آنذاك.

ماذا قرأت؟ اســتنتج ما الذي جعل رســامي 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.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

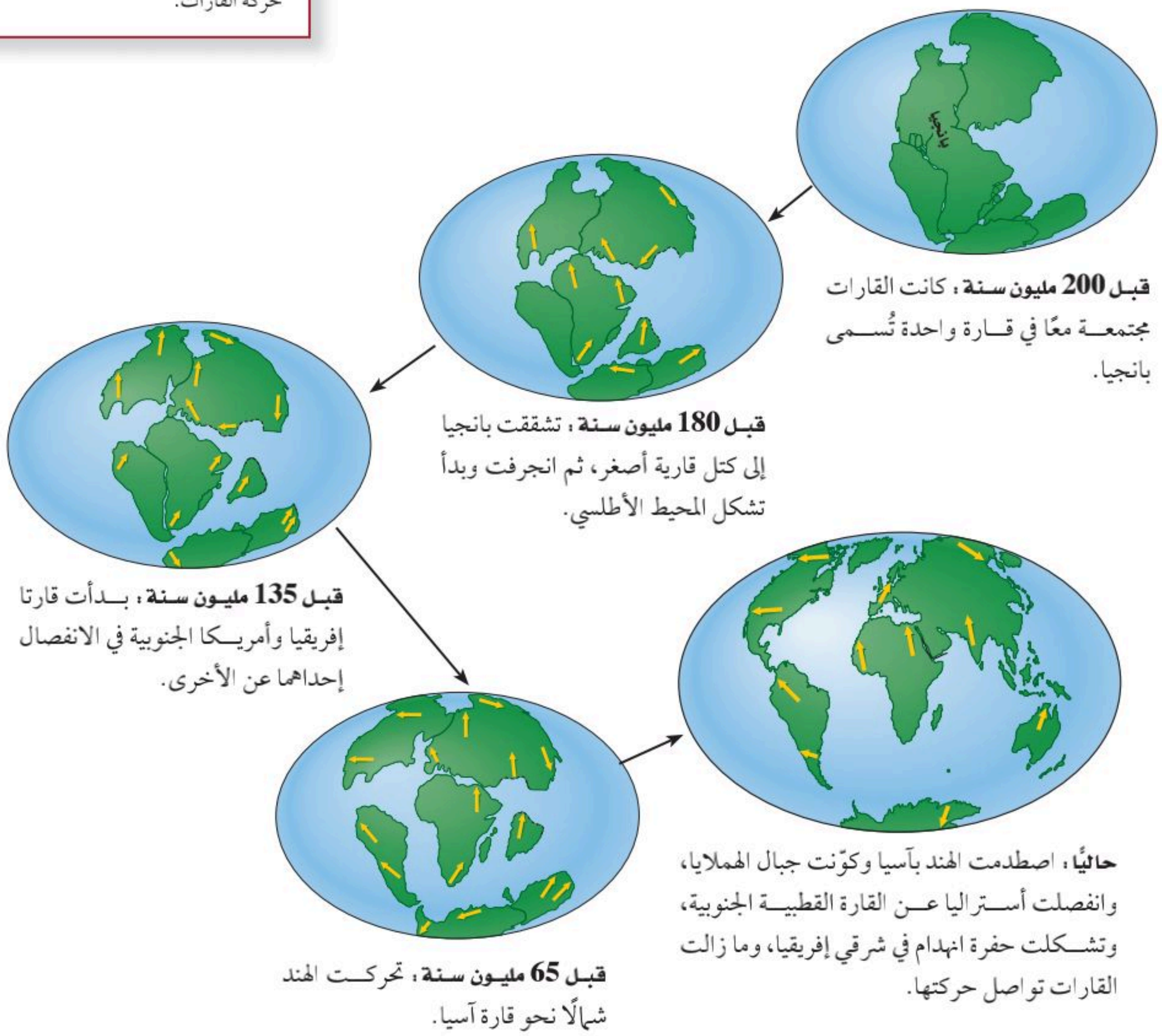
الانجراف القاري Continental Drift

طوّر العالم فاجنر فكرة تُسمى **الانجراف القاري Continental drift**، وفيها أن القارات كانت مجتمعة معًا في قارة واحدة ضخمة (القارة الأم أو الأصل) أُطلق عليها **بانجيا Pangaea**. وهي كلمة من أصل إغريقي تعني جميع اليابسة، واقترح أن هذه القارة بدأت في الانقسام قبل 200 مليون سنة، وانفصل بعضها عن بعض إلى أجزاء، ثم انجرفت هذه الأجزاء، واستمرت في الحركة ببطء حتى وصلت إلى مواقعها الحالية، كما في الشكل 2–5.

أدلة فاجنر على الانجراف القاري Wegener Evidences for Continental Drift يُعد ألفريد فاجنر أول عالم قدَّم أكثر من دليل على تطابق شواطئ القارات على جانبي المحيط الأطلسي. وقد جمع أدلة، صخرية ومناخية وأحفورية تدعم فكرته.

إثراء

يمكنك الرجوع للمُتحف الوطني الافتراضي للاطلاع على: فيلم عرض حركة القارات.



قبل 200 مليون سنة: كانت القارات مجتمعة معًا في قارة واحدة تُسمى بانجيا.

قبل 180 مليون سنة: تشققت بانجيا إلى كتل قارية أصغر، ثم انجرفت وبدأ تشكل المحيط الأطلسي.

قبل 135 مليون سنة: بدأت قارتا إفريقيا وأمريكا الجنوبية في الانفصال إحداهما عن الأخرى.

قبل 65 مليون سنة: تحركت الهند شمالًا نحو قارة آسيا.

حاليًا: اصطدمت الهند بآسيا وكوّنت جبال الهملايا، وانفصلت أستراليا عن القارة القطبية الجنوبية، وتشكلت حفرة انهدام في شرقي إفريقيا، وما زالت القارات تواصل حركتها.

الشكل 2–5 تنص فرضية فاجنر على أن القارات كانت مجتمعة معًا في قارة واحدة قبل 200 مليون سنة، ثم انجرفت حتى وصلت إلى مواقعها الحالية.

حدّد أجزاء بانجيا التي تشكلت منها القارتان الأمريكيتان الشمالية والجنوبية. متى كانتا متحدتين؟ ومتى انفصلتا؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

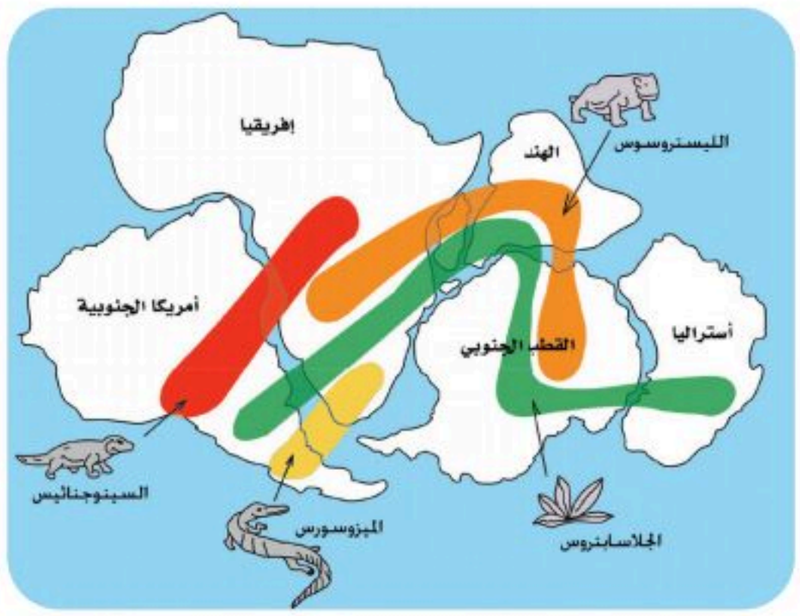


الشكل 3–5 استعمل ألفريد فاجنر التشابه بين أنواع الصخور والأحافير على جانبي المحيط الأطلسي دليلاً على أن القارات كانت مجتمعة معًا يومًا ما.

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

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.



الشكل 4–5 كانت القارات متصلة مع بعضها البعض قبل 200 مليون سنة وقد سميت بانجيا.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

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 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 جُرفت بعيداً.



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.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

قصور فرضية الإنجراف 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. 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.

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 تفسّر كيفية حركة القارات، وما يسبب حركتها.

فهم الأفكار الرئيسة

1. **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** مستعينًا **بالشكل 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.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

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.**

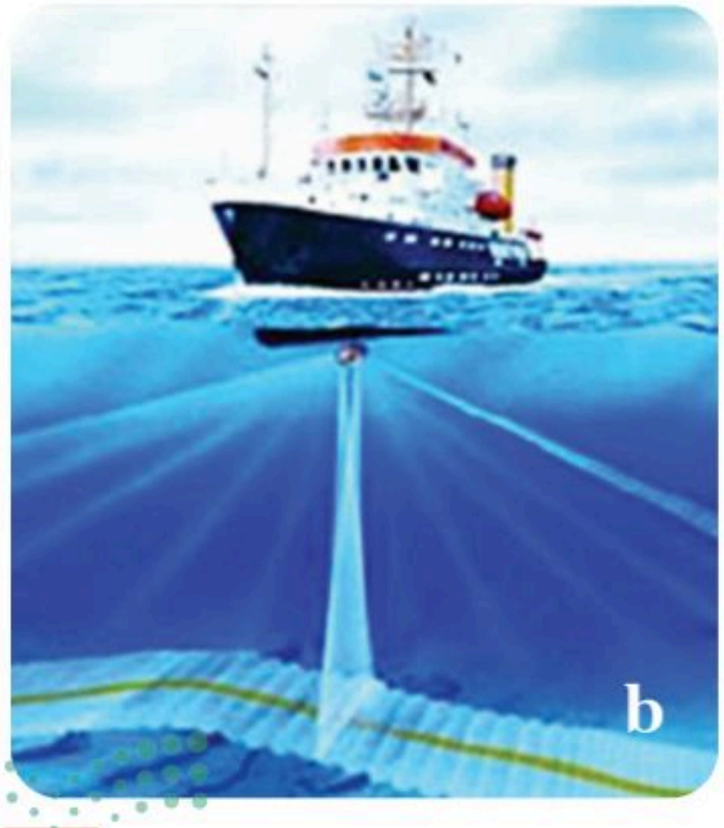
الربط مع الحياة هل قمت يومًا بعدّ الحلقات السنوية في جذع شجرة لمعرفة عمرها؟ يستطيع العلماء تقدير عمر قاع المحيط من خلال دراسة أنماط مشابهة.

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 التي استعملت لدراسة قاع المحيط، انظر **الشكل 5–7a**، 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 5–7b**، وقد مكّنت التطورات في مجال تقنية السونارِ العلماءَ من قياس عمق المياه، ثم رسم خريطة لتضاريس قاع المحيطات.





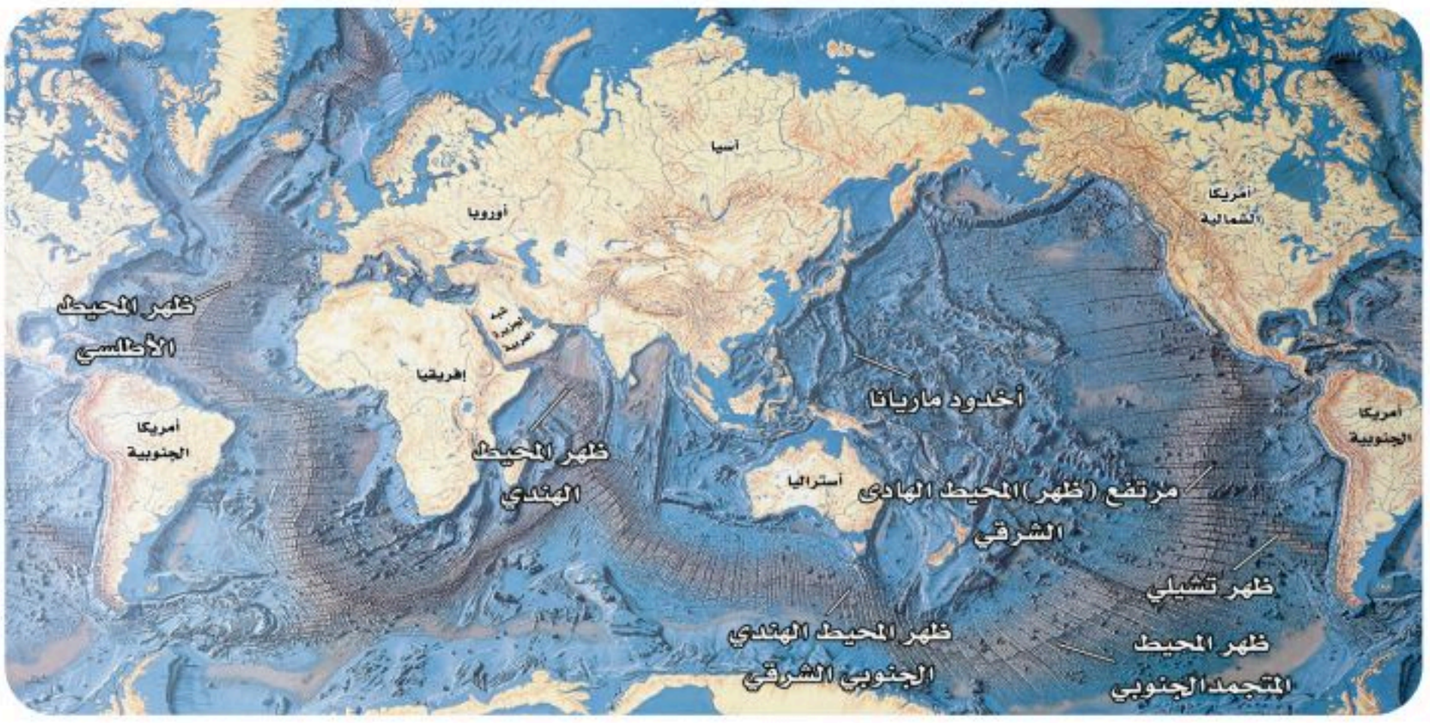
الشكل 5–7

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.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447



يوجد هذا الشكل مكبرًا في مرجعيات الطالب في نهاية الكتاب

الشكل 8–5 كشفت البيانات المسجلة بالسونار وجود ظهور المحيطات والأخاديد البحرية العميقة. حيث يكثر على امتدادهما الزلازل والبراكين.

تضاريس قاع المحيط Ocean-Floor Topography

أدهشت الخرائط التي رُسمت باستعمال بيانات جهازي قياس المغناطيسية والسونار العلماء، وساعدتهم على اكتشاف أن للمحيطات تضاريس، كما لليابسة. انظر **الشكل 8–5** 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 تقريبًا، 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 8–5**. 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.

المفردات

مفردة أكاديمية

الأخدود

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

المعنى اللغوي: شق مستطيل في الأرض.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

صخور ورسوبيات المحيطات
Ocean Rocks and Sediments

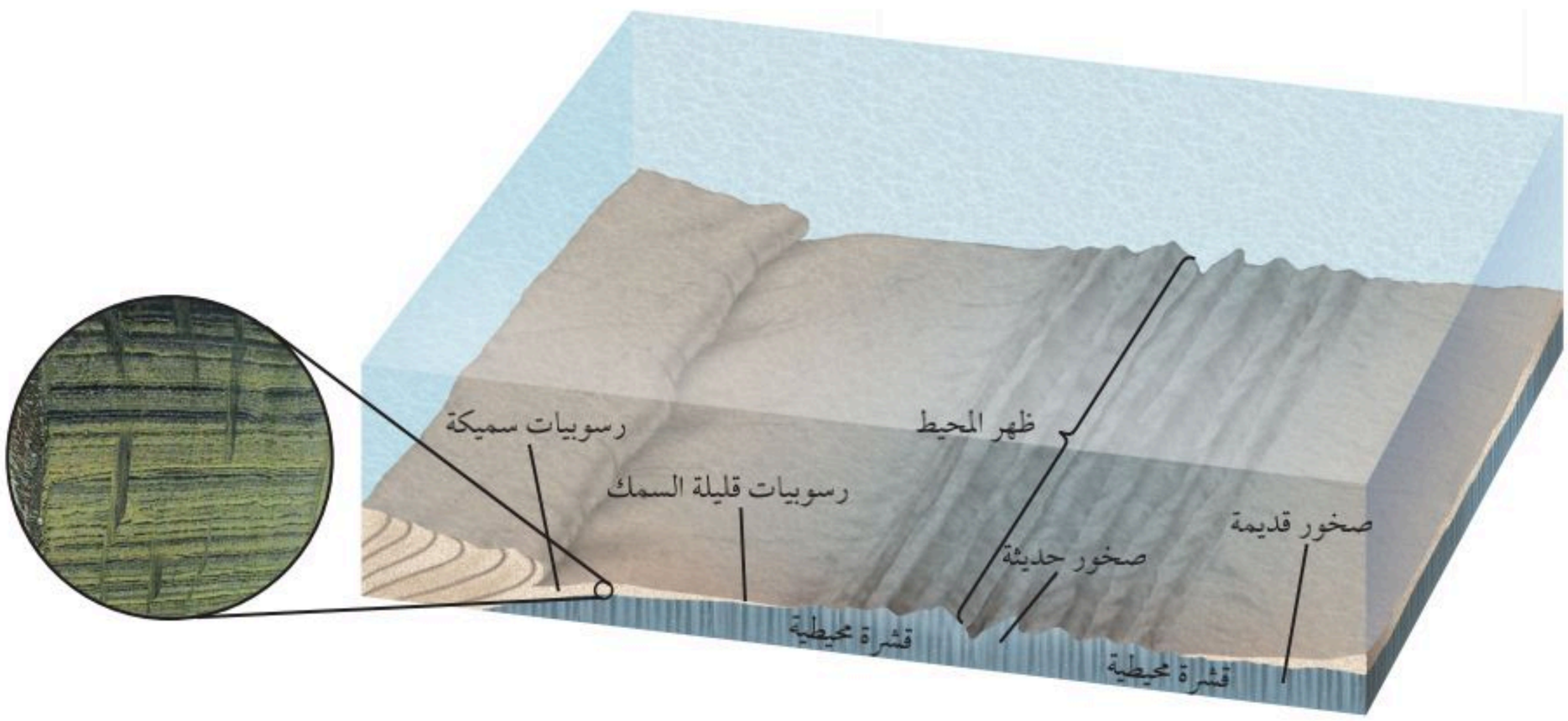
لم يكتفِ العلماء برسم خرائط لقاع المحيط، بل قاموا بجمع عينات من صخور قاع المحيط ورسوبياته وحلّلوها، وتوصلوا إلى اكتشافات مهمة، منها: الاكتشاف الأول: أن اختلاف أعمار الصخور عبر قاع المحيط وفق نمط معين يمكن توقعه؛ حيث تزداد أعمار صخور القشرة المحيطية كلما ابتعدنا عن ظهر المحيط نحو القارات، وبصورة متناظرة على جانبيه، انظر **الشكل 9–5**. 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 9–5**.

المهن في علم الأرض

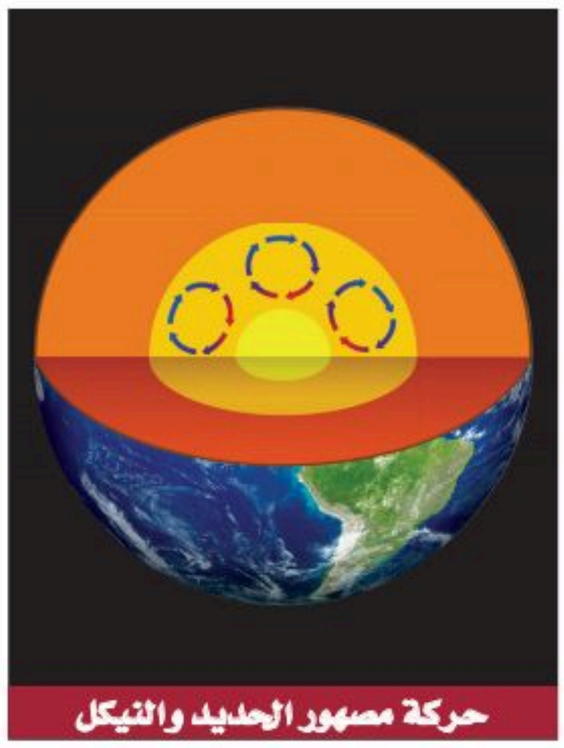
الجيولوجيا البحرية

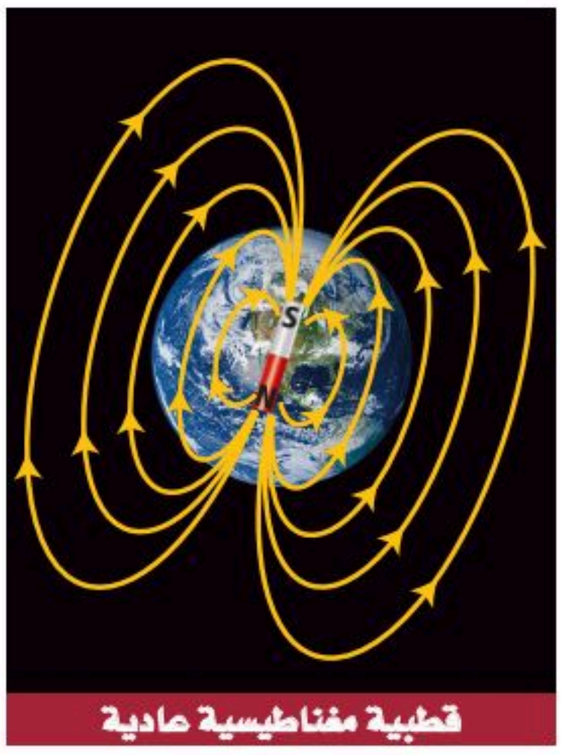
يتم من خلالها دراسة قاع المحيط لفهم العمليات الجيولوجية مثل حركة الصفائح الأرضية.



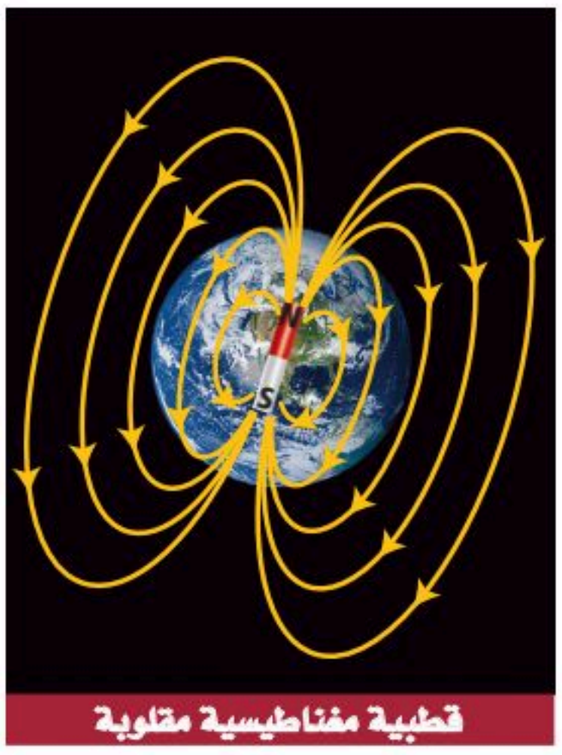
الشكل 9–5 كلما ابتعدنا عن ظهر المحيط ازداد كل من: عمر صخور قشرة المحيط، وسُمْك الرسوبيات.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447


حركة مصهور الحديد والنيكل



قطبية مغناطيسية عادية



قطبية مغناطيسية مقلوبة

الشكل 10–5 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 كهربائيًا، ينشأ عنه مجال مغناطيسي للأرض، انظر **الشكل 10–5**. 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.

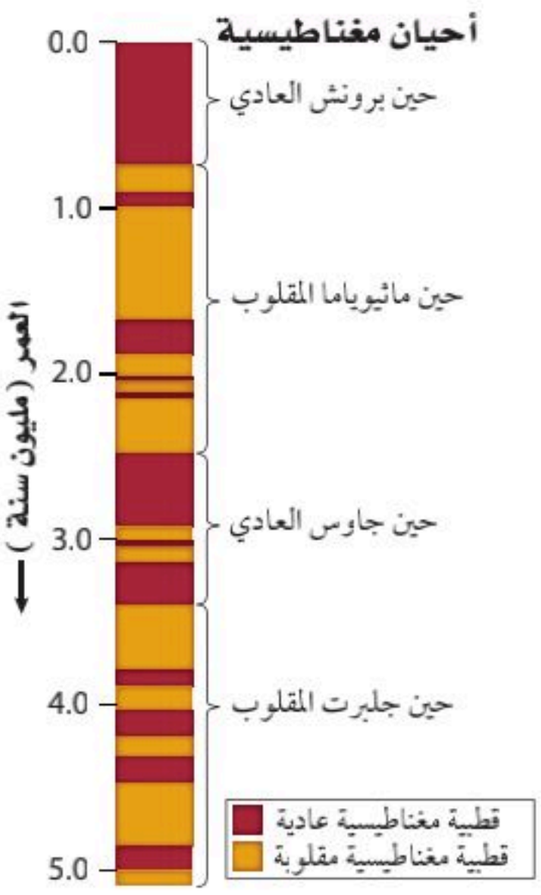
وعندما يتغير اتجاه حركة مصهور الحديد والنيكل في اللب الخارجي يحدث تغير في اتجاه سريان التيار الكهربائي، ومن ثم التغير في اتجاه الأقطاب المغناطيسية الأرضية. ويطلق على هذا قطبيةً مغناطيسيةً مقلوبةً، انظر **الشكل 10–5**. ويسمى تغير قطبية المجال المغناطيسي للأرض من عادية إلى مقلوبة **الانقلاب المغناطيسي Magnetic reversal**. وقد حدث الانقلاب المغناطيسي عبر تاريخ الأرض مرات عديدة.

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 11–5**.

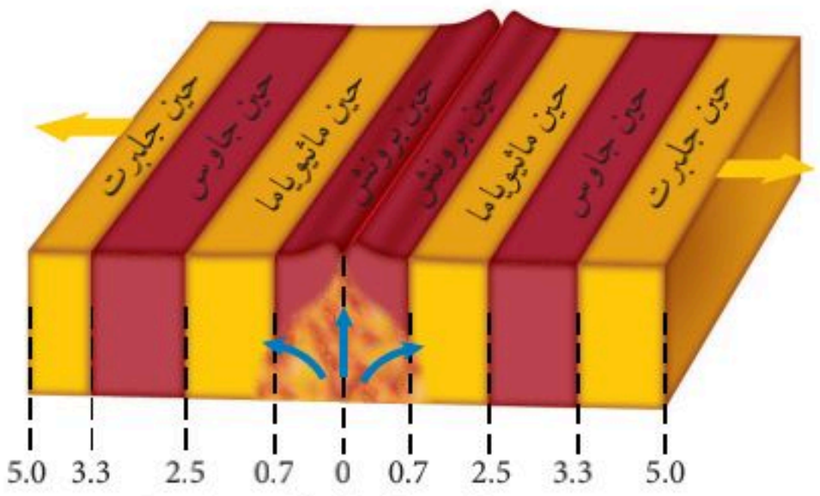
التماثل المغناطيسي Magnetic symmetry

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



الشكل 11–5 تتعاقب فترات القطبية المغناطيسية العادية مع فترات القطبية المغناطيسية المقلوبة، وتسمى التغيرات الطويلة في المجال المغناطيسي الأرضي (أحيانًا)، ومفردها حين، والتغيرات القصيرة (أحداثًا).

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

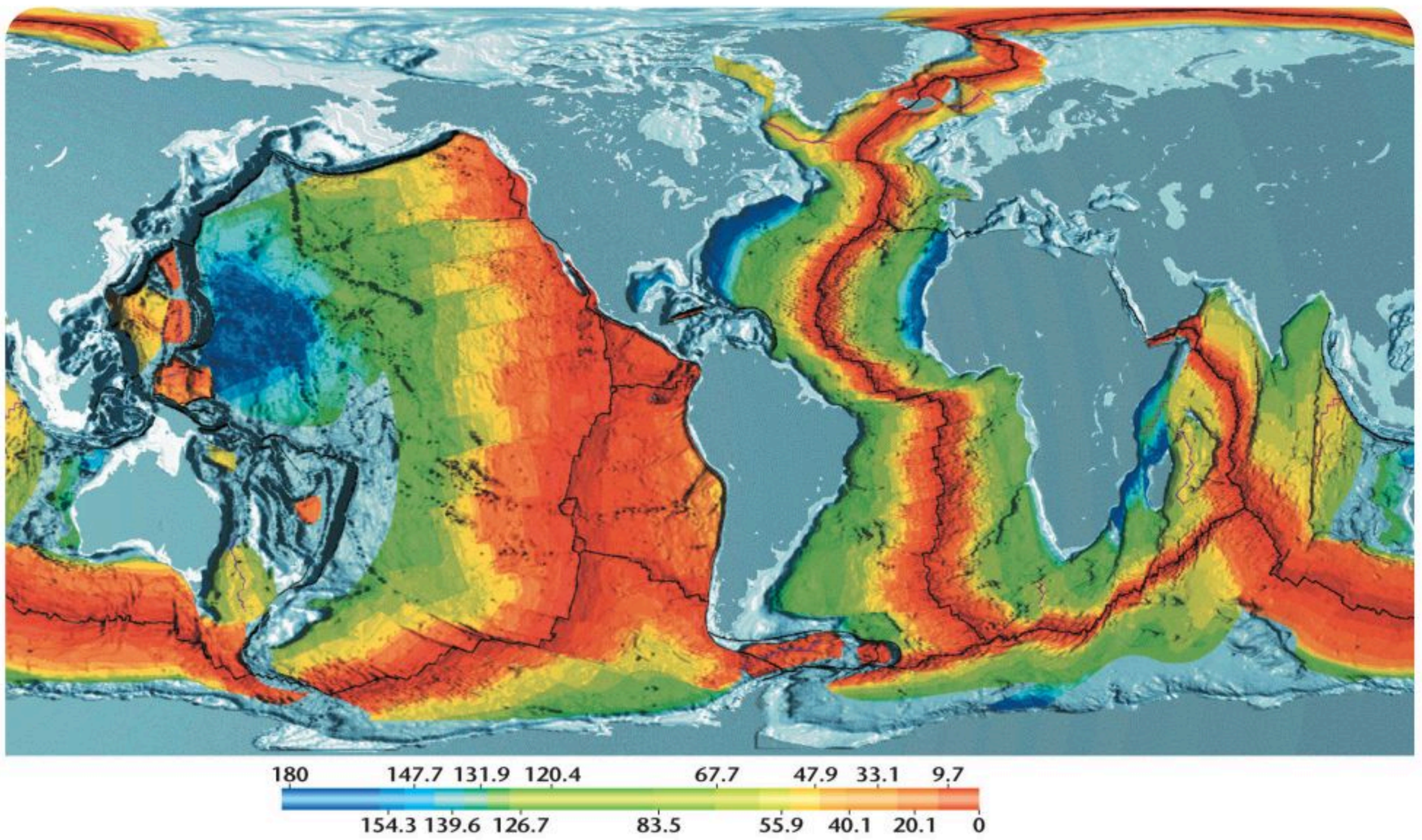


الشكل 12–5 سجلات القطبية العادية والمقلوبة للمجال المغناطيسي الأرضي في صخور قاع المحيط.

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 12-5**.

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، كما في **الشكل 13-5**. 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.



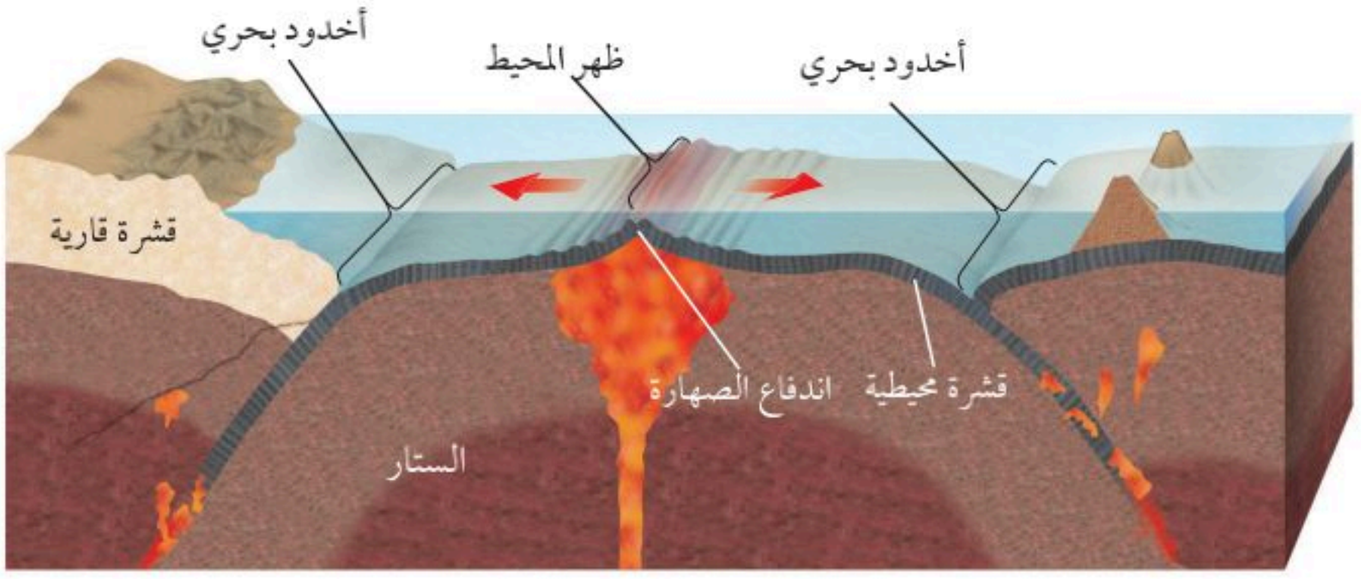
الشكل 13–5 تمثل كل حزمة لونية في خريطة تساوي أعمار قاع المحيط عمر قطاع من قشرة المحيط.

لاحظ. ما النمط الذي تلاحظه في خريطة تساوي العمر؟

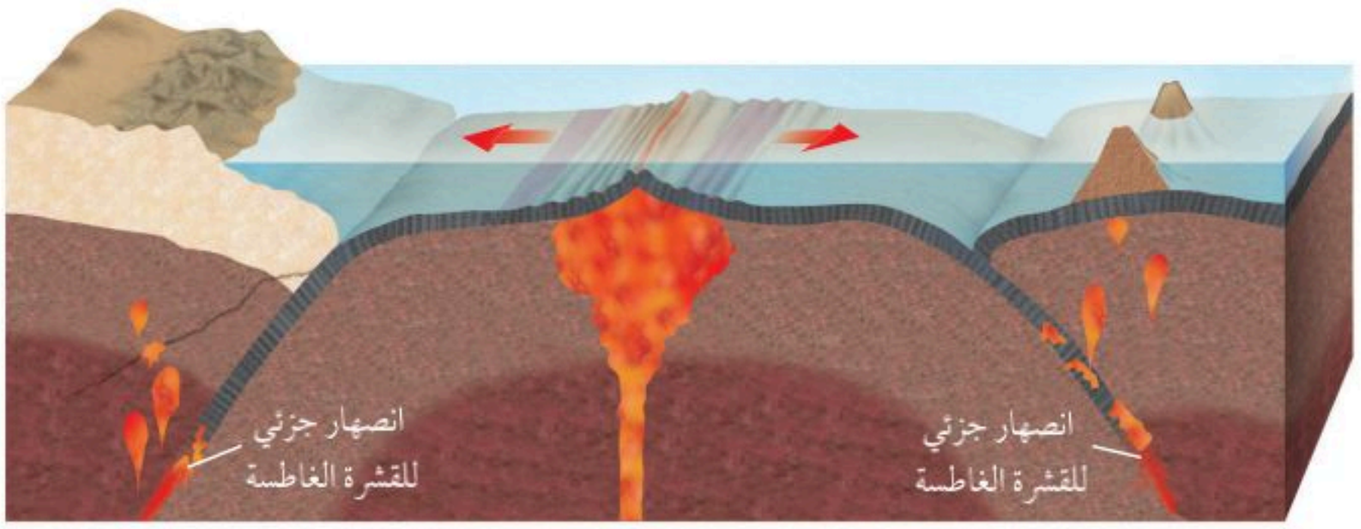
وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

توسع قاع المحيط Seafloor Spreading

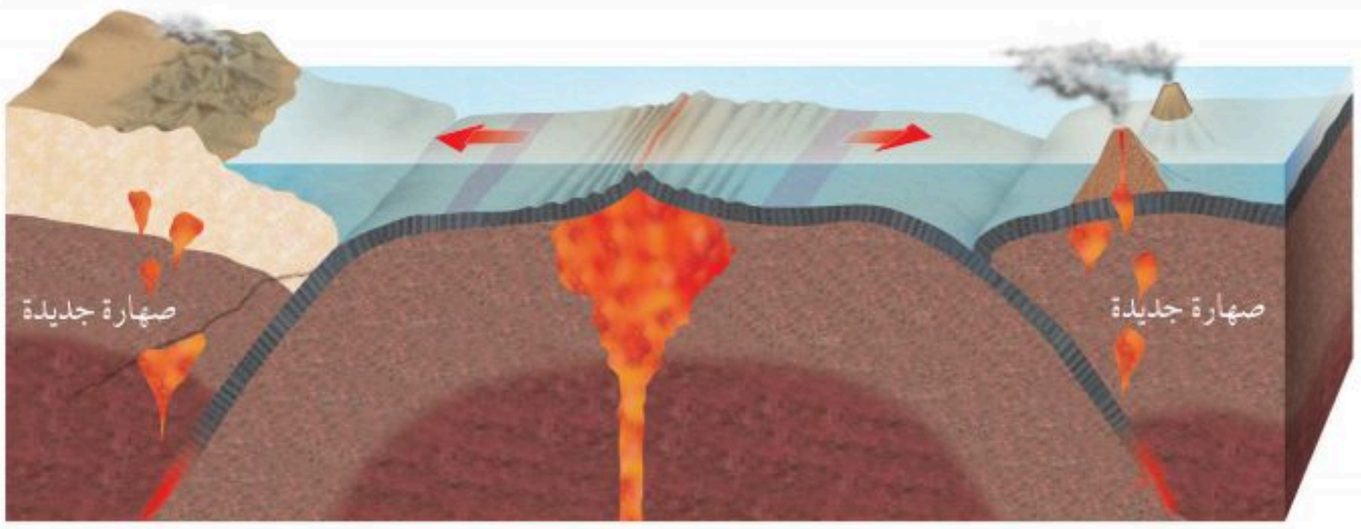
الشكل 14–5 بيانات تضاريس قاع المحيط ورسوبياته ومغناطيسيته القديمة قادت العلماء إلى اقتراح فرضية توسع قاع المحيط. وتوسُّع قاع المحيط عملية تتشكل من خلالها قشرة محيطية جديدة عند ظهور المحيطات، ثم تتحرك هذه القشرة ببطء بعيدًا عن مركز التوسع حتى تُطرح ويعاد تدويرها عند الأخاديد البحرية.



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.

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 14–5** 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 15–5** 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 15–5 تقع جزيرة أيسلندا بأكملها على مركز توسع ظهر المحيط الأطلسي؛ لذا يزداد حجمها باستمرار، فمثلاً تدفق 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 أوروبا.

تجربة عملية

المغناطيسية وظهور المحيطات

ارجع إلى دليل التجارب العملية على منصة عين الإثرائية

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. **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 11–5**، ما نسبة فترات القطبية المغناطيسية المقلوبة في آخر خمسة ملايين سنة

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

رابط الدرس الرقمي

www.ien.edu.sa

5-3

الأهداف

- **تصف** كيف تتشكل معالم الأرض بفعل حركة الصفائح الأرضية.
- **تقارن** بين أنواع حدود 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

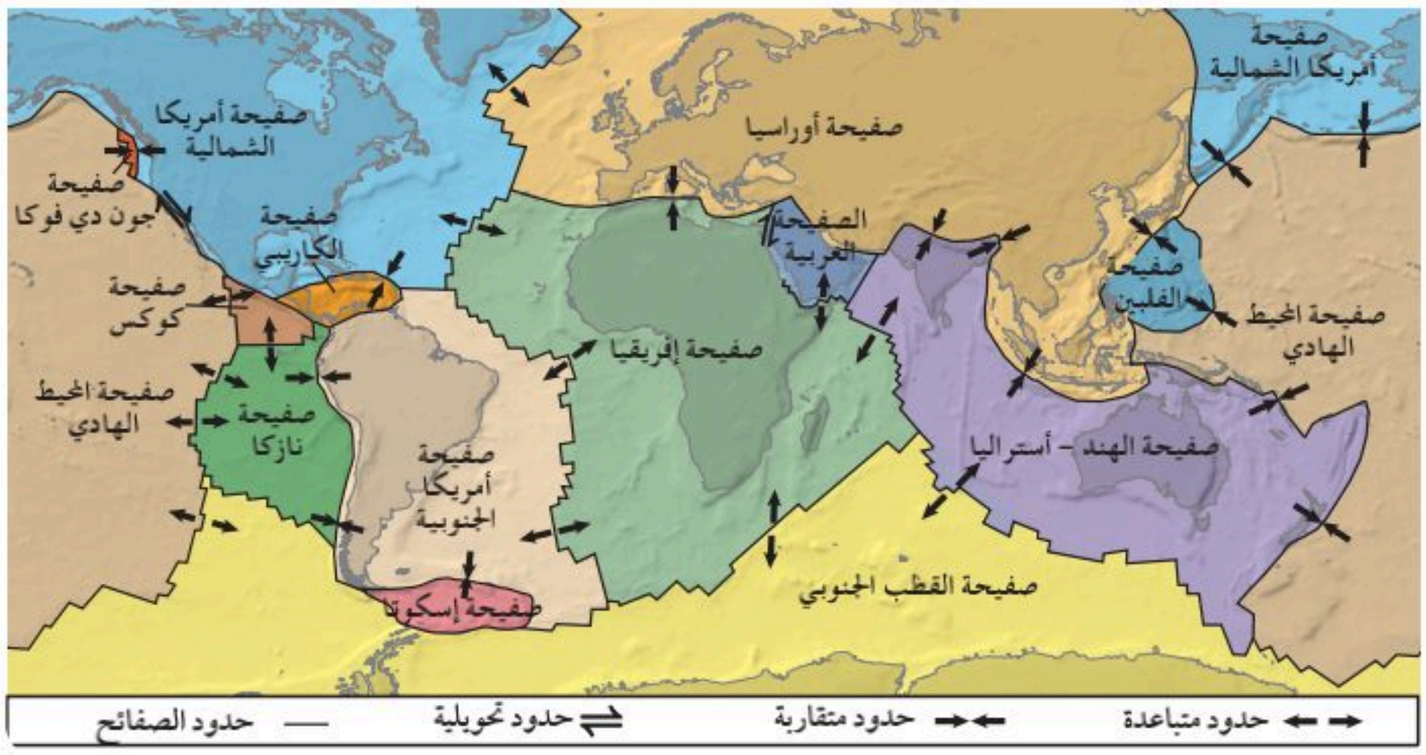
Plate Boundaries and Causes For motion

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 16–5** 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



الشكل 16–5 تتكون الصفائح الأرضية من القشرة الأرضية وأعلى الستار الصلب، وتتفاعل هذه الصفائح معًا عند حدودهما.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

عنـد الحدود المتباعدة، وتتحـرك أفقيًّا متحاذية عند الحـدود التحويلية (الانزلاقية).

الحدود متباعدة Divergent boundaries تسمى المناطـق التي تبتعد عندها الصفائح بعضها عـن بعض **الحدود المتباعدة Divergent boundaries**. وتوجد معظم الحـدود المتباعدة على امتداد قاع المحيط في **حفر الانهدام Rift valleys** التي تقع في وسط ظهر المحيط. وهي منخفض طولي ضيـق يتكون نتيجة تباعـد الصفائح بعضها عن بعض، وتبدأ في هذا المكان عملية توسـع قاع المحيط. وتتشكل القشرة المحيطيـة الجديدة في معظم الحالات عند الحدود المتباعدة، فضلاً عـن ارتباط هذه الحدود بالـبراكين والزلازل والتـدفق الحـراري الأرضـي المرتفـع نسبيًّا.

ماذا قـرأت؟ 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 تتشـكل حفرة الانهدام، ويوضح **الشـكل 17–5** حفرة الانهدام العظيم التي تتشكل حاليًّا في شرق إفريقيا، وقد تتطور في النهاية إلى حوض محيطي جديد.



الحدود المتباعدة

الشـكل 17–5 الحدود المتباعـدة هي الأماكن التي يحدث عندهـا انفصـال الصفائح؛ ويعـد ظهور المحيطات في قاع المحيط وحفر الانهدام في القارات - ومنها حفـرة الانهدام العظيـم في شرق إفريقيا- مثالاً على حدود التباعد.

تجربة

عمل نموذج لتشكُّل قاع المحيط

كيـف أدت الحـدود المتباعـدة إلى تشـكل جنـوب المحيط الأطلسي؟ أدت حدود التباعد قبل 150 مليون سنة إلى انقسـام 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. اسـتعمل **خريطة العالم** لإنشاء **نموذجين ورقيين** لقارتي أمريكا الجنوبية وإفريقيا.
3. ضع نموذجـي القارتين في وسـط **ورقة كبيرة**، وطابقهما معًا على طول سواحلهما الأطلسية.
4. خطـط بدقة حـول النموذجين باسـتعمال **قلم الرصاص**، وارسـم شـكل القارتـين، ثم أزل النموذجين واكتب تحتهما 150 مليون سنة.
5. ارسم خريطتين تبين إحداهما مرحلة تطور المحيط الأطلسي قبل 150 مليون سـنة، والأخرى تمثله في الوقـت الحالي. على أن يكون متوسـط 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؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

الحدود 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 18–5**. أما القشرة القارية فيتكون معظمها من الصخور الجرانيتية، وهي صخور فاتحة اللون وقليلة الكثافة نسبيًّا وتتكون من معادن الفلسبار، انظر **الشكل 18–5**. 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 عندما تقترب صفيحة محيطية من صفيحة محيطية أخرى، وتغوص 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.



البازلت



الجرانيت

الشكل 18–5 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.

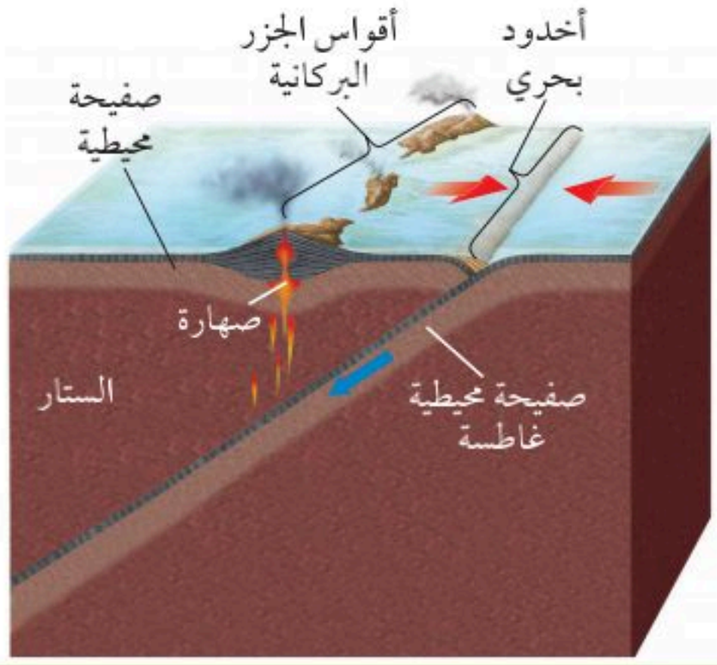
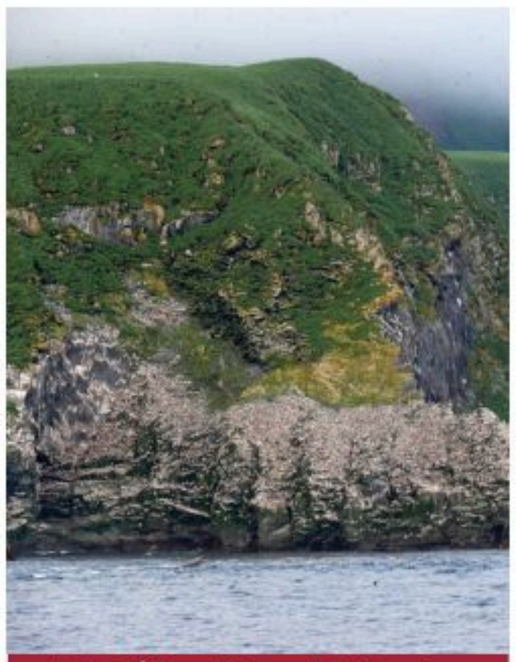
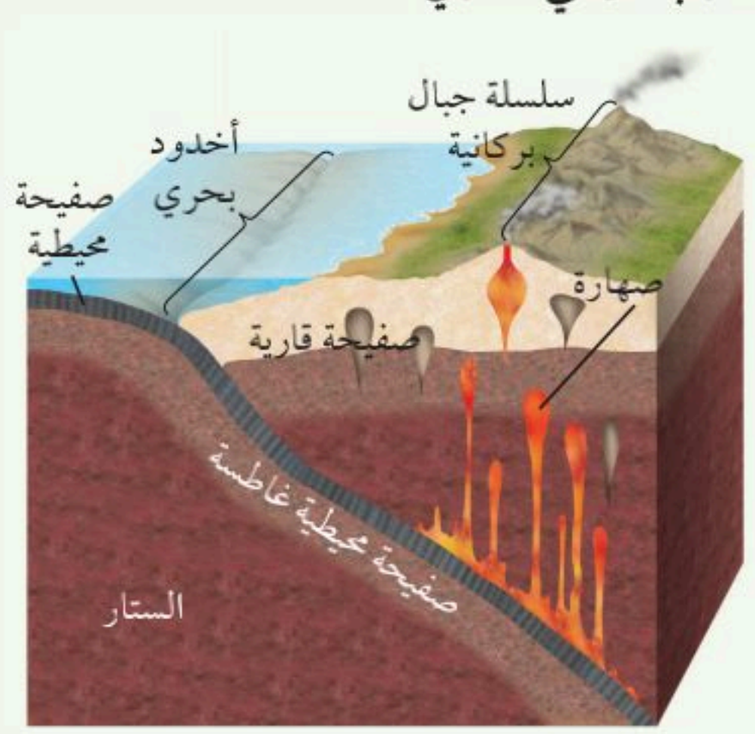
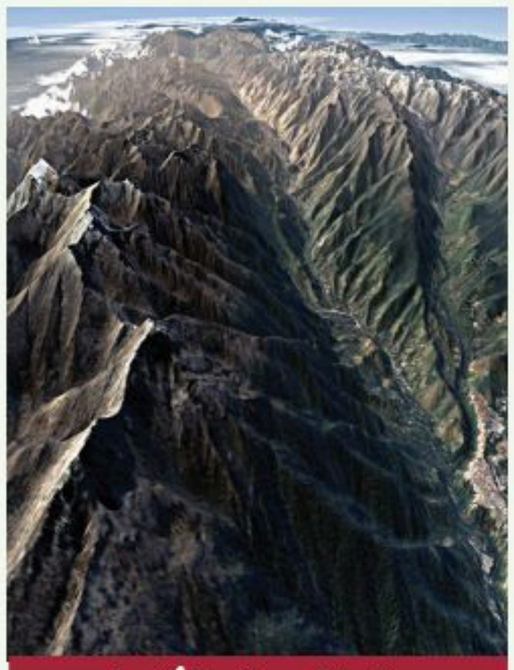
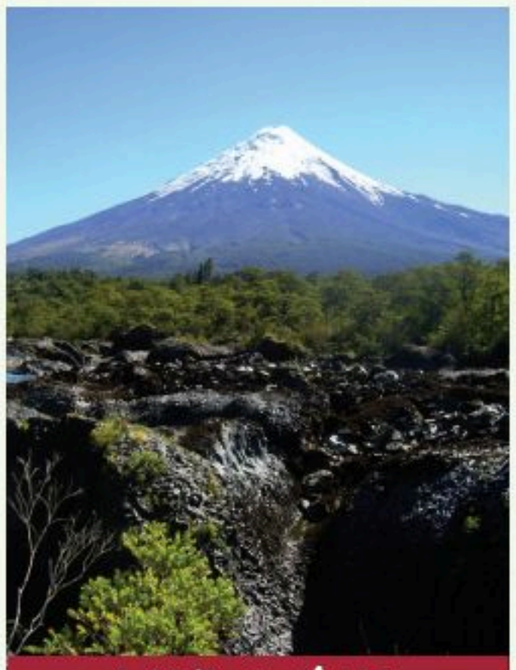
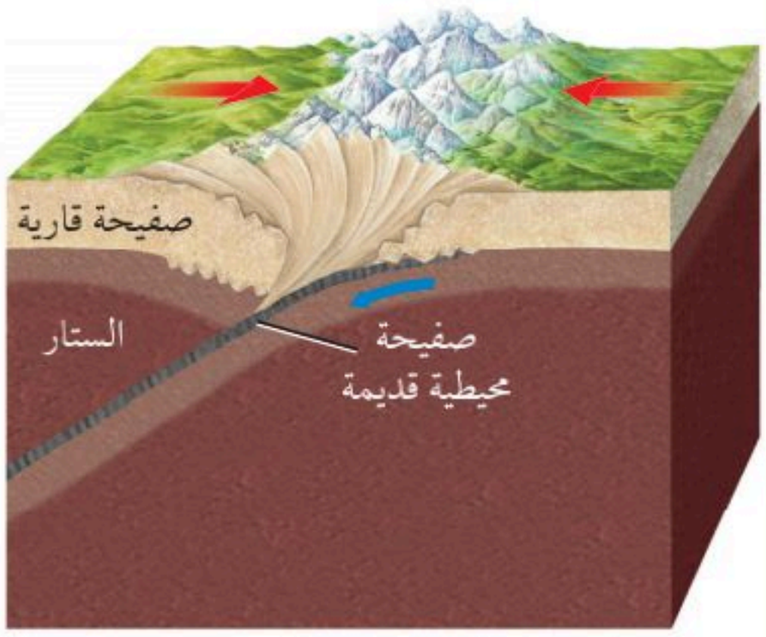
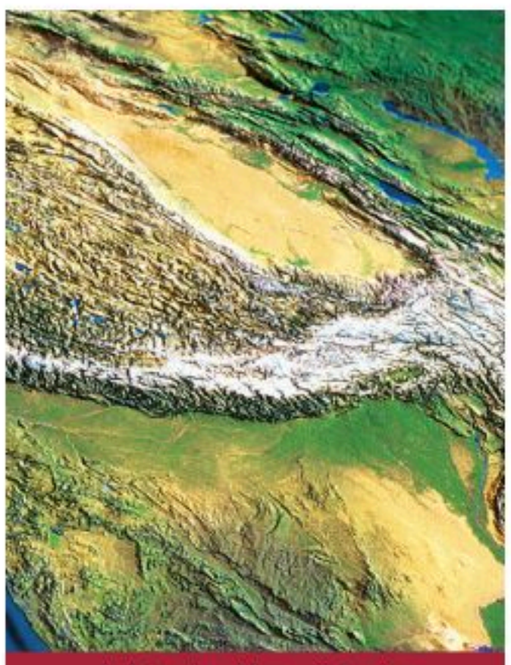
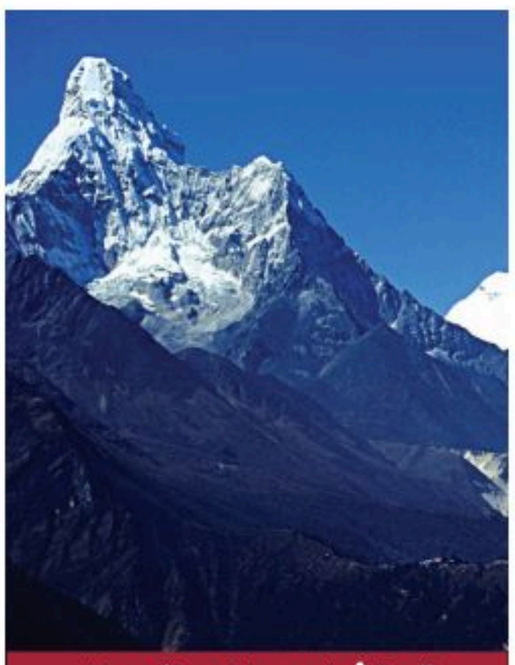
تجربة عملية

الزلازل ونطاق الطرح

ارجع إلى دليل التجارب العملية على منصة عين الإثرائية

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

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 - دبلان في نيبال

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

الحدود تحويلية (جانبية) Transform boundaries تسمى المنطقة التي تتحرك عندها صفيحتان أفقيًّا إحداهما بجانب الأخرى **الحدود التحويلية Transform boundaries**، كما في **الشكل 19–5**، 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.

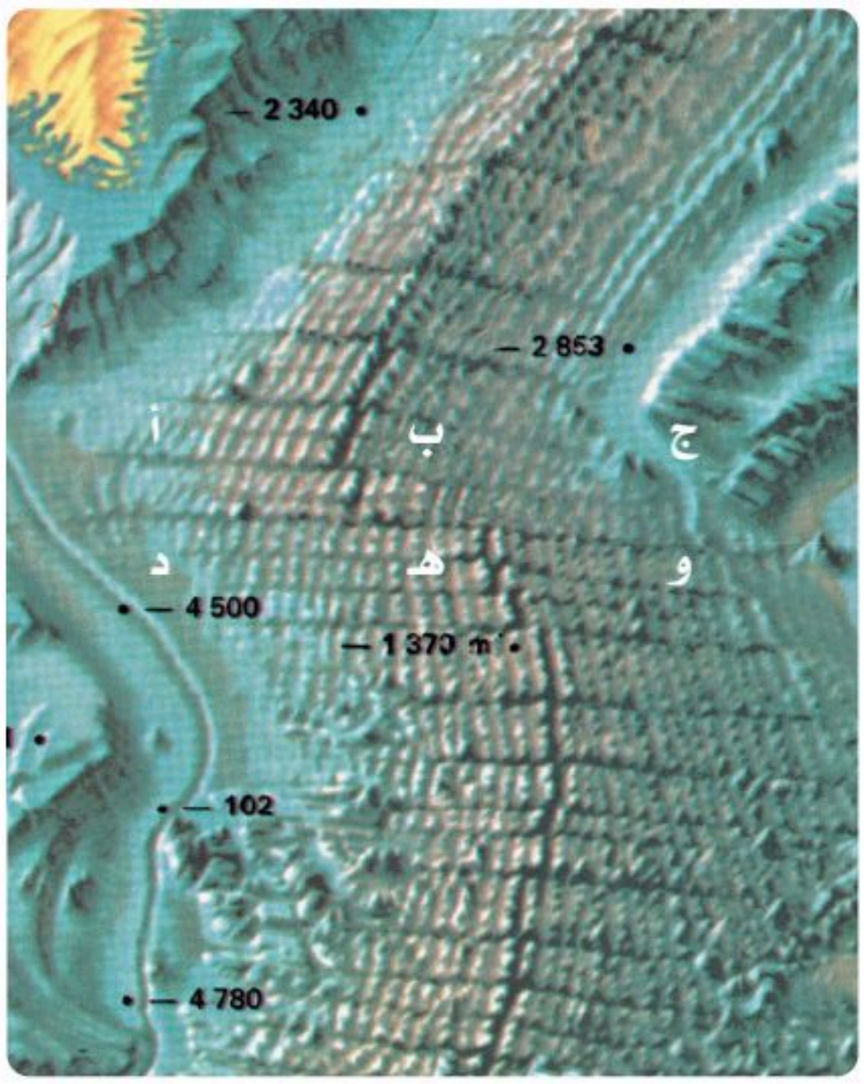
المطويات

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 وأوروبا. 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 وأوروبا الذي يقع في نطاق الكسر.
5. **حدّد** أقدم موقعين في القشرة المحيطية من النقاط الست.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447



حدود تحويلية

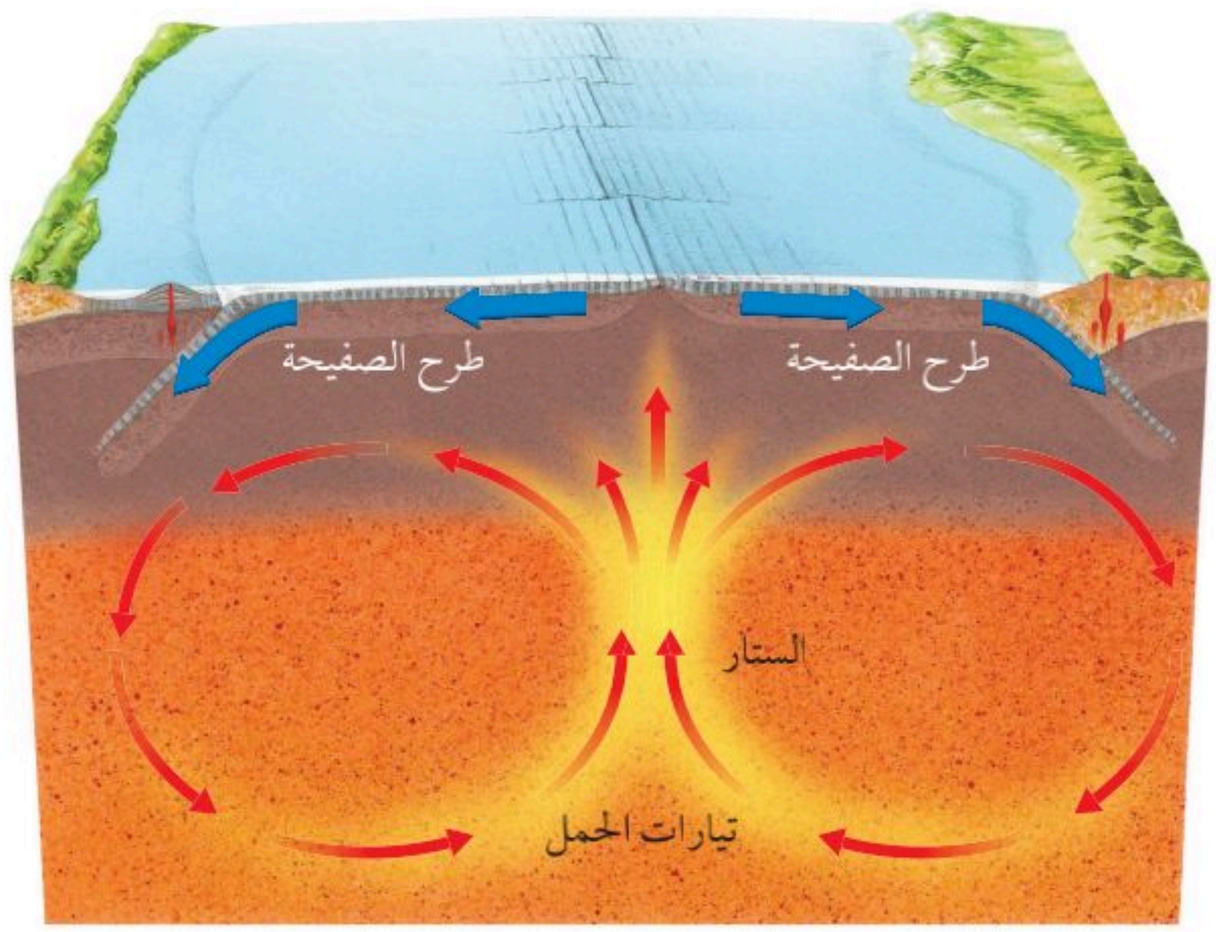
الشكل 19–5 تتحـرك الصفيحتان أفقيًّـا متحاذيتين على طـول الحدود التحويلية. الانثناء في السكة الحديدية ناتج عن حركة الصدع التحويلي.

أسباب حركة الصفائح Causes of Plate Motions

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

تيـارات الحمل Convection Currents يعتقد العلماء أن تيارات الحمل في الستار هي المسؤولة عن تحريك الصفائح. انظر **الشكل 20–5**، وتحدث تيارات الحمل على النحو الآتي: نتيجة لتسخين مناطق معينة في الستار تقل كثافة المواد المكونة لها فترتفع إلى أعلى وتحل محلها مواد من السـتار باردة نسبيًّا وأكبر كثافة، وتأتي من أسفل الصفائح الأرضية، حيث تغوص ببطء إلى أسفل.

تؤدي تيارات الحمل المسـتمرة 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 20–5 تؤدي تيارات الحمل التي تنشـأ في السـتار إلى حركة الغلاف الصخري (القشرة الأرضية وأعلى السـتار الصلب)، وتنقل الطاقة الحرارية من باطن الأرض إلى سطحها الخارجي.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

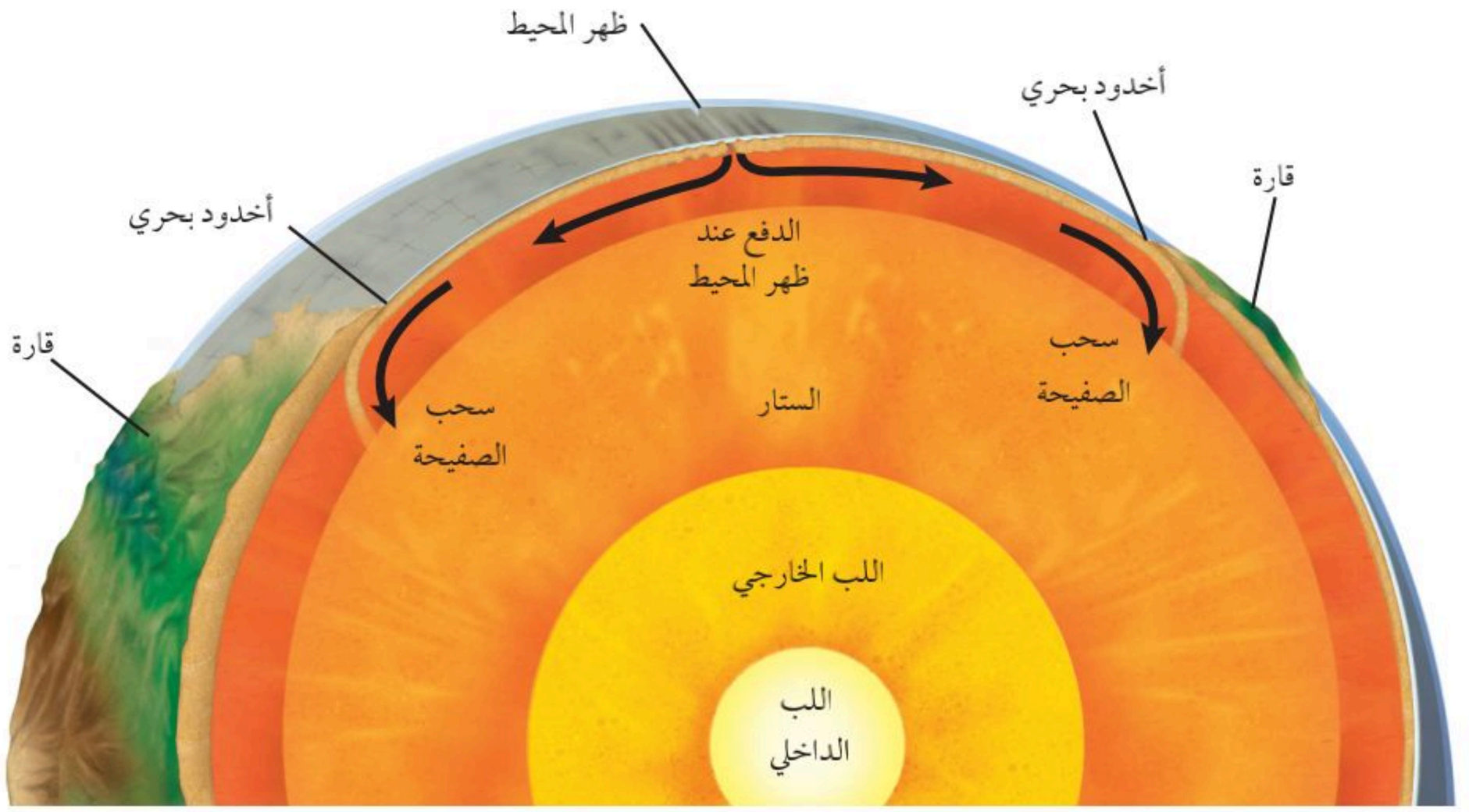
وعـلى الرغـم من أن تيـارات الحمل في السـتار تيـارات ضخمة قـد تمتد آلاف الكيلومترات، إلا أنها تتدفق بمعدلات تصل إلى بضعة سنتمترات في السنة، ويعتقد العلماء أن هذه التيارات تبدأ الحركة بسـبب سـحب الصفيحة الغاطسة إلى أسفل في الستار.

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

كيـف ترتبط حركات الصفائـح الأرضية المتقاربة والمتباعدة مـع تيارات الحمل في السـتار؟ تنتشر المواد الصاعدة إلى أعلى في تيارات الحمل لدى وصولها إلى الصفيحة الأرضية، لذا ينجم عنها قوى رأسـية وجانبية، مما يؤدي إلى رفع الغلاف الصخري وتشـققه عند الحدود المتباعدة، فترتفع المواد المصهورة من السـتار لتملأ التشققات هناك، ثم تتصلب مكوّنة قشرة محيطية جديدة.

أما الجزء الهابط من تيـار 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 **الشـكل 21–5**، وأن القشرة المحيطية القديمة نسـبيًّا تبرد كلما ابتعدت عن الحدود المتباعدة في مناطق ظهر المحيـط، وتصبح أكثر كثافة مقارنـة بالقشرة المحيطية الحديثـة الأقل كثافة، فتهبط مكونة الجوانب المنحدرة لظهر المحيط، ونتيجة لزيـادة وزن الجزء المرتفع والمنحدر



الشكل 21–5 الدفع عند ظهر المحيط وسحب الصفيحة عمليتان تؤديان إلى تحريك الصفائح الأرضية.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

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

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

التقويم 3–5

الخلاصة

- تقسم القشرة الأرضية والجزء العلوي الصلب من الستار العلوي إلى قطع صخرية ضخمة تسمى الصفائح الأرضية.
- تتحرك الصفائح الأرضية بسرعات بطيئة جدًا في اتجاهات مختلفة على سطح الأرض.
- تتباعد الصفائح الأرضية عند الحدود المتباعدة، وتتقارب عند الحدود المتقاربة، ويتحرك بعضها بمحاذاة بعض عند الحدود التحويلية (الجانبية).
- يتميز كل نوع من حدود الصفائح بمعالم جيولوجية محددة.
- تنتج حركة الصفائح الأرضية بفعل عمليتي: الدفع عند ظهر المحيط، وسحب الصفيحة.
- تيارات الحمل هي المسؤولة عن نقل الطاقة عبر حركة المواد الساخنة.
- تيارات الحمل هي المسؤولة عن حركة الصفائح الأرضية.

فهم الأفكار الرئيسة

1. **صف** كيف تتشكل معالم الأرض الرئيسة بفعل حركة الصفائح الأَرضية وعلاقتها بتيارات الحمل في الستار.
2. **لخّص** عمليات تقارب الصفائح الأرضية التي شكّلت جبال الهملايا.
3. **اعمل** قائمة بالمعالم الجيولوجية المرافقة لكل نوع من حدود الصفائح المتقاربة.
4. **حدّد** المعلم الجيولوجي الذي يوجد به معظم الحدود التحويلية.
5. **أكّد** على العلاقات بين كل من تيارات الحمل ومناطق ظهور المحيطات ونطاقات الطرح.
6. **صمم نموذجاً يوضح العمليات الحركية لكل من** الدفع عند ظهر المحيط وسحب الصفيحة.

التفكير الناقد

7. **اختر** أنواع حدود الصفائح الثلاث التي في الشكل 16–5، 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** كيف تُعَد تيارات الحمل مسؤولة عن ترتيب القارات على سطح الأرض؟

الكتابة في الجيولوجيا

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

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

الجيولوجيا والبيئة
Geology and the Environment

البحر الأحمر

سـمي البحر الأحمر بهذا الاسم لوفرة الطحالب الخضراء المزرقة التي تطفو على سـطحه، والتي تحتوي عـلى صبغة حمراء يمكن مشـاهدتها من ارتفاعات عالية. وقد بـدأ تكون البحر الأحمر في حين الإيوسين بسبب تباعد الصفيحتين العربية والإفريقية، وهو محيط وليد يتميز بنشاط زلزالي عند حوافه القارية ونشاط بركاني عند المرتفعات المحيطية في وسطه، مما ينتج عنه إضافة قشرة محيطية جديدة تقوم بزيادة مسافة التباعد بين الصفيحتين بمقدار 2 cm سنويًّا، كما يقدر طوله بحوالي 2000 km، وعرضه حوالي 300 km، وأعمق نقطة فيه حوالي 2000 m، وأعلى مد قد يصل تقريبا إلى 1m فقط، والمتوسط الإجمالي لدرجة حرارة مياه البحر الأحمر (22°C) والمتوسط الإجمالي لدرجة ملوحته 40 جزءًا في الألف.

ويتـم إجراء العديد من الدراسـات على البيئـة البحرية للبحر الأحمر، منها ما يتعلق بدراسـة التغيرات التـي تنتج على طول الساحل، ودراسة كل من الخواص الفيزيائية ومنها: اتجاه حركة التيارات وسرعتها، وحرارة مياه البحـر وملوحتها، وخواصه الكيميائية ومنها: تحديد العناصر المغذية ومسـتوى الأحماض؛ لمعرفة جودة المياه، وتحديد مسـتوى التلـوث ومصادره وتأثيره في صحة الشـعاب المرجانية، ومعالجة القضايا البيئية والتلوث البحري، وتأثير الحياة البشرية والمنشآت في ظل النمو الاقتصادي والتجاري والسياحي على المدن الساحلية.

ونظـرًا لموقع البحر الأحمر الاسـتراتيجي، ومقدراته الغنية فقد اختير ليكون أحد مشـاريع رؤية (2030) وهو مشروع «البحر الأحمر» الذي يستهدف الجزر الواقعة بين مدينتي الوجه وأملج، ويهتم هذا المشروع بسلامة النظام البيئي، وجماله في البحر الأحمر وعدم تأثره بأي شكل من الأشـكال، وإحدى توصيات ميثاق مشروع «البحر الأحمر» هي «التخفيف من انبعاثات غاز أكسيد



الكربون، والتلوث الضوئي والنفايات حفاظاً على الموقع لجميع الأجيال، ليصبح مشروع «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

ابحـث في النشـاط الجيولوجي الفريـد للبحر الأحمر، واكتب مقالاً يصف طبيعة البيئة البحرية للبحر الأحمر، وأصل نشأته.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

مختبر الجيولوجيا

عمل نموذج لتشكل قاع المحيط

خلفية علمية: 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.

سؤال: كيف أدّت الحدود المتباعدة إلى تشكّل جنوب المحيط الأطلسي؟

الأدوات

خريطة العالم
قلم رصاص
ورق

إجراءات السلامة

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. أُرسم خريطتين تبين إحداهما مرحلة تطور المحيط الأطلسي قبل 150 مليون سنة والأخرى تمثله في الوقت الحالي. على أن يكون متوسط معدل التوسع 4cm /y وبمقياس رسم 1cm=500km.

التحليل والاستنتاج

1. **قارن** الخريطتين اللتين رسمتهما 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؟.

شارك ببياناتك

راجع مع أقرانك ناقش نتائجك مع المجموعات الأخرى في الصف مع التركيز على وصف الاختلاف بين الخريطتين.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

الفصل 5

دليل مراجعة الفصل

الفكرة العامة تحدث معظم الأنشطة الجيولوجية عند حدود الصفائح، وتتشكل البراكين من الصهارة القادمة من باطن الأرض، وتنتج بعض الزلازل بفعل الحركة على طول الصدوع في القشرة الأرضية.

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** تتشكل القشرة المحيطية عند ظهر المحيط، وتصبح جزءاً من قاعه. • 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 المتباعدة حفرة الانهدام الحدود المتقاربة الطرح الحدود التحويلية الدفع عند ظهر المحيط سحب الصفيحة	**الفكرة الرئيسة** تتشكل كل من البراكين والجبال والأخاديد البحرية وتحدث الزلازل بين حدود الصفائح، وتؤدي تيارات الحمل في الستار إلى 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.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

الفصل 5

تقويم الفصل

مراجعة المفردات

ضع المصطلح الصحيح بدلاً من الكلمات التي تحتها خط:

1. تُسمى عملية غطس الصفائح الأرضية في الستار التباعد.
2. تُسمى الحدود الناجمة عن تقارب صفيحتين إحداهما من الأخرى الحدود التحويلية.
3. يتشكّل الأخدود داخل القارات بفعل الحدود المتباعدة.
4. جهاز يُستخدم لقياس التغيرات في المجال المغناطيسي للأرض جهاز السونميتر.
5. العملية التي تتشكل فيها قشرة محيطية جديدة من خلال اندفاع الصهارة عند ظهور المحيطات هي حفرة الانهدام.

عرّف المصطلحات الآتية بجمل تامة:

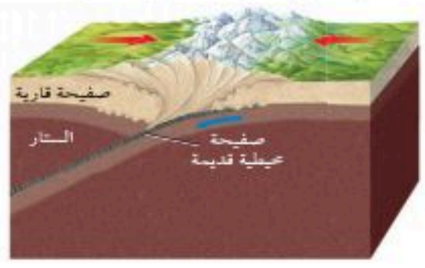
6. الصفيحة الأرضية.

حدّد ما هو مشترك بين كل مصطلحين في الجمل الآتية:

7. الحدود المتباعدة، الحدود التحويلية.

تثبيت المفاهيم الرئيسة

استعمل الشكل الآتي للإجابة عن السؤالين 8 و9.



8. ما نوع حدود الصفائح في الشكل أعلاه؟
   a. ظهر المحيط. c. حدود تحويلية.
   b. حدود قارية–قارية. d. حدود قارية–محيطية.
9. ما المعلم الجيولوجي الذي يتكون على طول هذا النوع من حدود الصفائح؟
   a. نطاقات الطرح. c. أقواس الجزر.
   b. أخاديد بحرية. d. جبال مطوية.
10. ما عمر القشرة المحيطية عمومًا؟

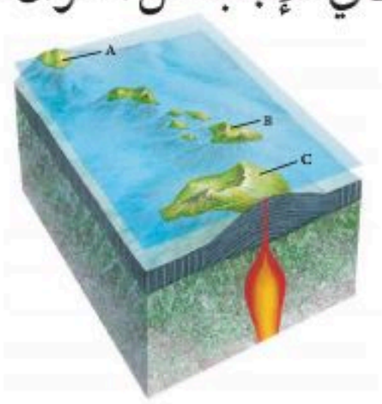
a. لها عمر القشرة القارية نفسه. c. أقدم من القشرة القارية.
b. أحدث من القشرة القارية. d. لم يحدد العلم عمرها.

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

أسئلة بنائية

12. فسّر ما وجده علماء المحيطات من ازدياد سُمك رسوبيات قاع المحيط بتزايد المسافة بعيدًا عن ظهر المحيط.
13. ميّز بين تولّد المجال المغناطيسي في لب الأرض والمغناطيسية المحفوظة في القشرة المحيطية.
14. حلّل لماذا توجد فروق بين حدود التقارب القاري –القاري وحدود التقارب المحيطي– المحيطي؟

استعمل الشكل الآتي للإجابة عن السؤال 15.



15. ميِّز ما أقدم جزيرة؟ وما الاتجاه الذي تتحرك فيه الصفيحة؟ فسر إجابتك.

التفكير الناقد

16. قارن بين فرضيتي الدفع عند ظهر المحيط وسحب الصفيحة.
17. فكر هل يبقى شكل الصفائح الأرضية وحجمها ثابتين مع مرور الزمن؟ وضح إجابتك.
18. توقّع. ماذا يمكن أن يحدث إذا لم يكن هناك صفائح أرضية؟

خريطة مفاهيمية

19. ارسم خريطة مفاهيمية مستعملًا المصطلحات الآتية:

نظرية حركة الصفائح، الحدود متباعدة، الحدود متقاربة، تقارب محيطي- محيطي، تقارب محيطي- قاري، تقارب قاري- قاري، الحدود تحويلية.

سؤال تحفيز

20. 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).

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

اختبار مقنن

اختيار من متعدد

استعمل الشكل الآتي للإجابة عن السؤال 1.

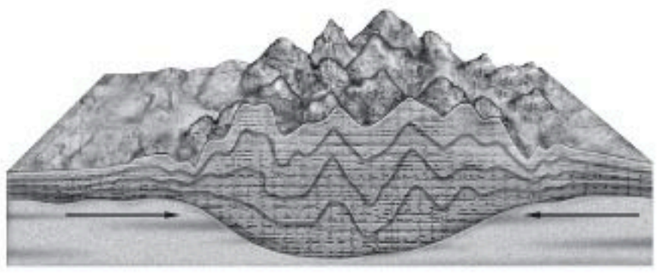


1. ما العملية التي يمثّلها الشكل أعلاه؟

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. c. سحب الصفيحة.

b. الدفع عند ظهر المحيط. 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:

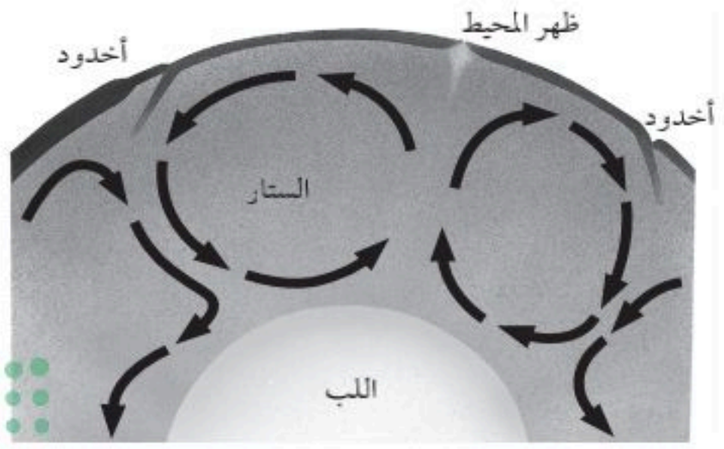
a. أخدود بحري عميق. c. حفرة انهدام.

b. انقلاب مغناطيسي. d. قشرة محيطية جديدة.

أسئلة الإجابات القصيرة

9. كيف تسبب تيارات الحمل حركة الصفائح؟

استعمل الشكل أدناه في الإجابة عن السؤالين10 و11.

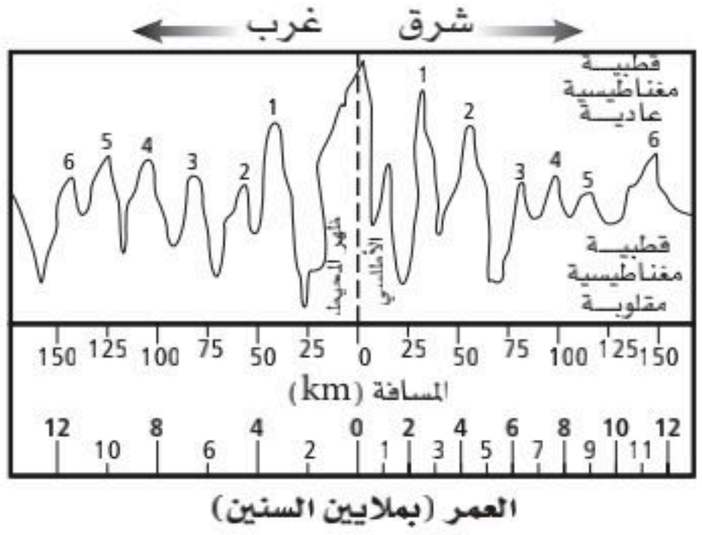


وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

اختبار مقنن

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؟
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

تشكيل الجبال

تشكيل الجبال هو عملية جيولوجية تحدث نتيجة لحركة الصفائح التكتونية والضغوط الداخلية في قشرة الأرض. تحدث هذه العملية بطرق مختلفة، حيث يمكن أن تنشأ الجبال نتيجة تصادم الصفائح القارية، مثلما حدث عند تصادم صفيحة الهند مع الصفيحة الأوراسية لتشكيل جبال الهيمالايا. كذلك يمكن أن تتشكل الجبال عند اندساس صفيحة محيطية تحت صفيحة قارية، مما يؤدي إلى رفع القشرة الأرضية وتكوين سلاسل جبلية مثل جبال الأنديز.

تؤدي التصدعات الناتجة عن تحرك الصفائح إلى تشكيل الجبال الصدعية، حيث تنشأ هذه الجبال من ارتفاع وانخفاض كتل الصخور بفعل الضغوط. كما يمكن أن تتشكل الجبال البركانية نتيجة لتراكم الحمم البركانية والمواد البركانية المتدفقة من البراكين، مثل جبال فوجي في اليابان.

تتأثر هذه العمليات بعوامل جيولوجية وجغرافية عديدة، مثل التآكل والتعرية، والتي تلعب دورًا كبيرًا في تشكيل التضاريس الجبلية النهائية على مر الزمن.

16. العملية الجيولوجية الأساسية التي تؤدي إلى تشكيل الجبال:

a. التآكل
c. انصهار الجليد
b. الرياح القوية
d. حركة الصفائح التكتونية

17. تشكلت جبال الهيمالايا:

a. **بتراكم الحمم البركانية**
b. بتآكل الصخور على مر الزمن
c. بالاندساس تحت صفيحة محيطية
d. بتصادم صفيحة الهند مع الصفيحة الأوراسية

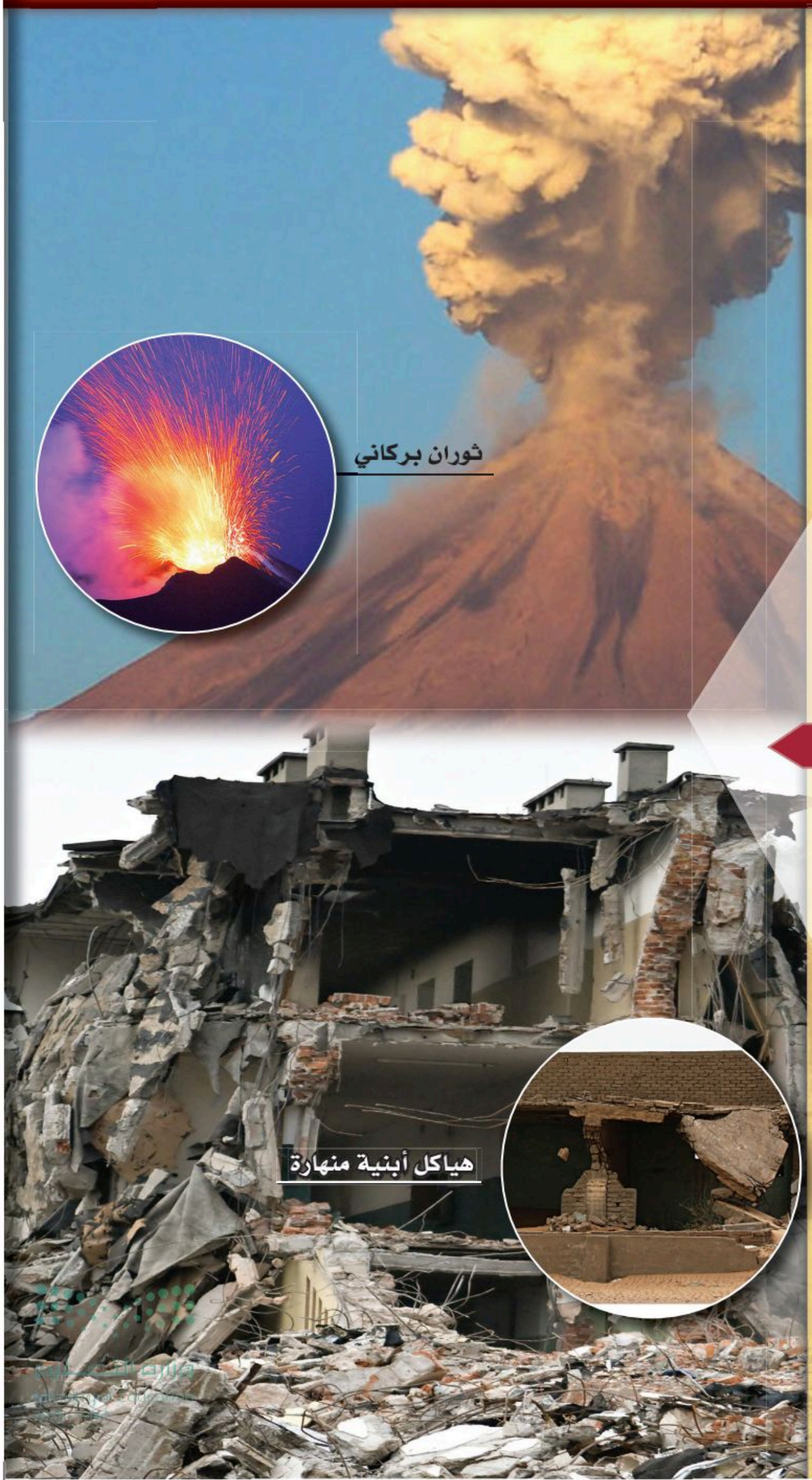
18. ما دور التآكل في تشكيل التضاريس الجبلية؟

a. يمنع تكون الجبال نهائيًا
b. يسبب انخفاض الجبال بشكل مستمر
c. يساعد في تشكيل الجبال عبر رفع كتل الصخور
d. يلعب دورًا في نحت وتشكيل التضاريس النهائية للجبال

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

الفصل 6

البراكين والزلازل
Volcanoes and Earthquakes



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.

6–3 الأمواج الزلزالية وبنية الأرض

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

6–4 قياس الزلازل وتحديد أماكنها

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

6–5 الزلازل والمجتمع

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

الحقائق الجيولوجية للبراكين والزلازل

- 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.
- تتعرض الأرض لأكثر من مليون زلزال في العام الواحد.
- معظم الزلازل ضعيفة جدًّا حيث لا نشعر بها.
- وقع زلزال بقوة 5.4 ريختر بمحافظة العيص التابعة لمنطقة المدينة المنورة عام 2009، ونتج عنه انهيار بعض المباني في ذات المنطقة، حيث قامت حكومتنا الرشيدة بصرف إعانات وتسكين للعائلات المتضررة.

نشاطات تمهيدية

تجربة استهلالية

ما الذي يجعل الصهارة ترتفع إلى أعلى؟

الصهارة صخور مصهورة توجد أسفل سطح الأرض. وسوف تمثل في هذا النشـاط حركة الصهارة في باطن الأرض بعمل نموذج "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. عـدَّ ببطء من 1 إلى 5، وفي أثنـاء 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** مـاذا حدث للزيـت قبل إضافـة الملح وبعده؟
3. **كوِّن فرضية** ما الذي يسبب صعود الصهارة إلى أعلى؟

المطويات
منظمات الأفكار

تصنيف البراكين

اعمـل المطوية الآتية لمسـاعدتك على تصنيف البراكين.



الخطوة 1 ضـع ورقتـين مـن دفترك إحداهمـا فـوق الأخرى، بحيـث تبعد إحداهما عن الأخرى 2 cm تقريبًا، كما في الشكل المجاور.



الخطوة 2 اثن الطرف السـفلي للورقتين لتكوين أربعة ألسنة متسـاوية. ثم اضغط بقوة على الجزء المطوي لتثبّت الألسـنة في أماكنها.



الخطوة 3 ثبّـت أوراق المطويـة معًا بالدبابيس، وعنون الألسـنة على النحو الآتي: أنواع البراكين (اللسان العلوي): الـبركان الدرعـي، الـبركان المركب، البركان المخروطي.

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

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

رابط الدرس الرقمي

www.ien.edu.sa

6-1

ما البركان؟ What is a Volcano?

الأهداف

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

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

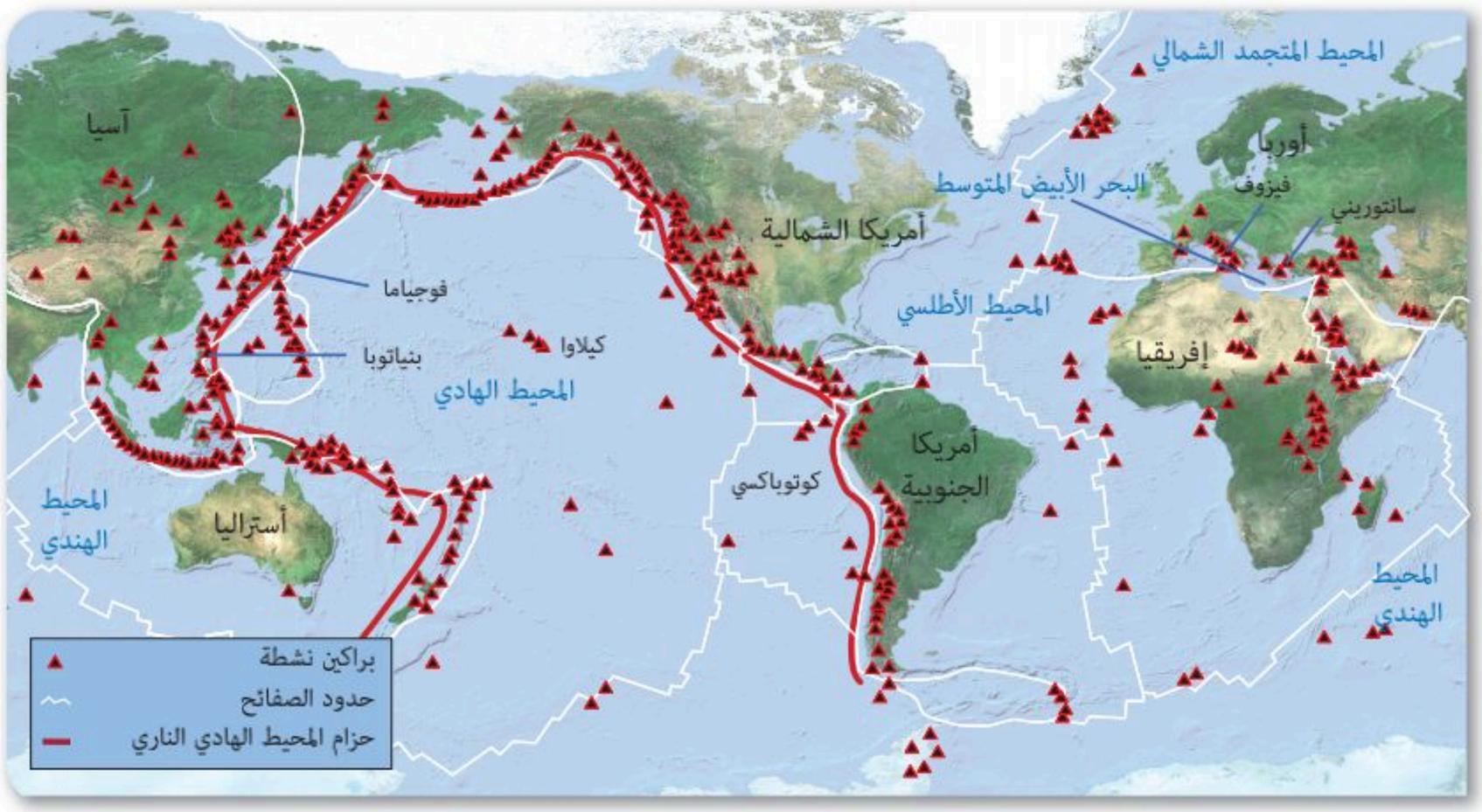
الفكرة الرئيسة ترتبط مواقع البراكين عمومًا مع حركة الصفائح.

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 جدًّا في باطن الأرض تنصهر أسهل إذا اختلطت بالمياه.

مناطق النشاط البركاني Zone of Volcanism

الصهارة مخلوط من الصخور المصهورة والبلورات المعدنية والغازات، وهي مصدر البراكين؛ إذ تصعد إلى أعلى نحو سطح الأرض بعد 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.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

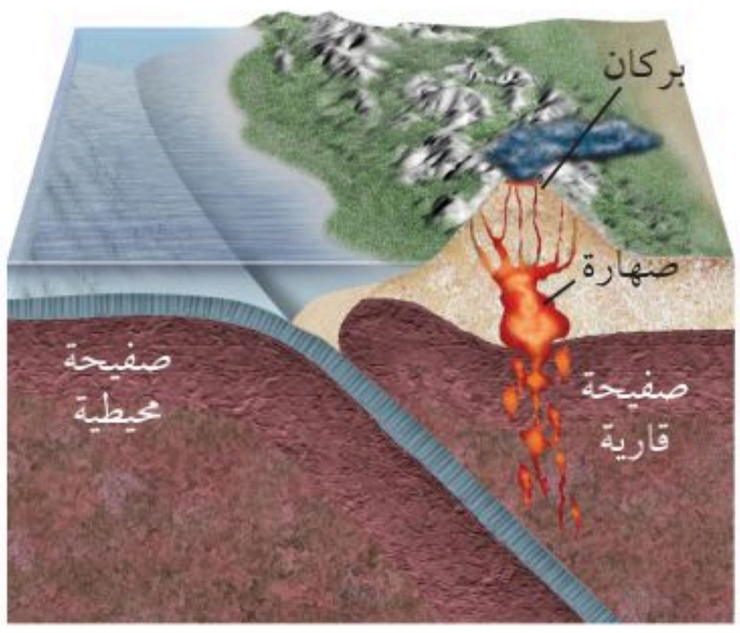
النشاط البركاني عند الحدود المتقاربة Convergent volcanism

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 2–6**.

مختبر تحليل البيانات

* بُني هذا النشاط على بيانات حقيقية

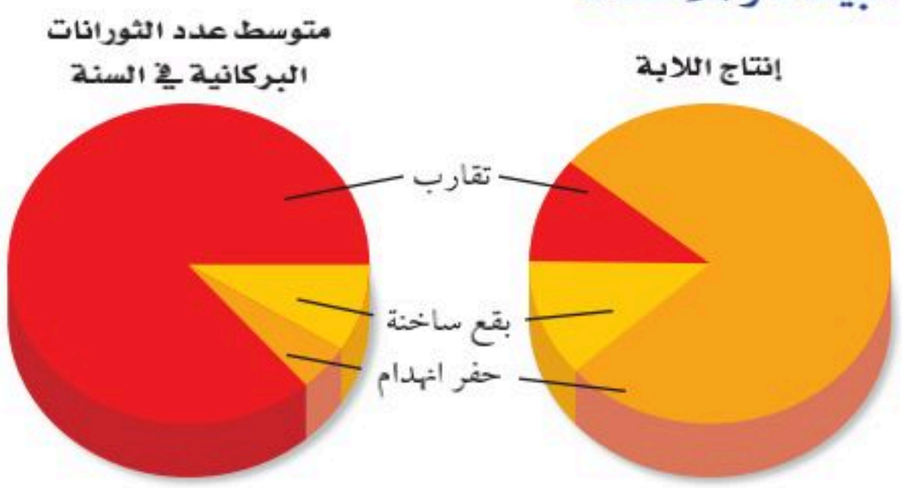
تفسير الرسم البياني

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

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447



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

النشاط البركاني عند الحدود المتباعدة Divergent volcanism

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.

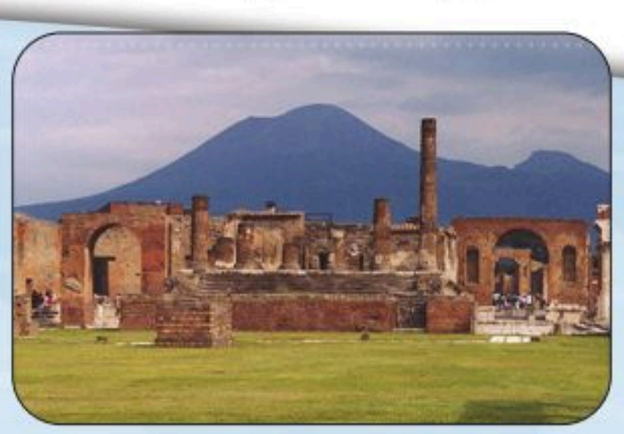
ماذا قرأت؟ وضح كيف تنشأ وسائد اللابة.

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.

تجربة عملية

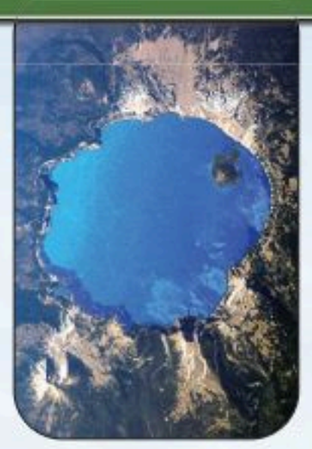
نمذجة تدفق اللابة

ارجع إلى دليل التجارب العملية على منصة عين الإثرائية



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

6000 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 حاليًّا باسم بحيرة الفوهة البركانية.

3000 قبل الميلاد

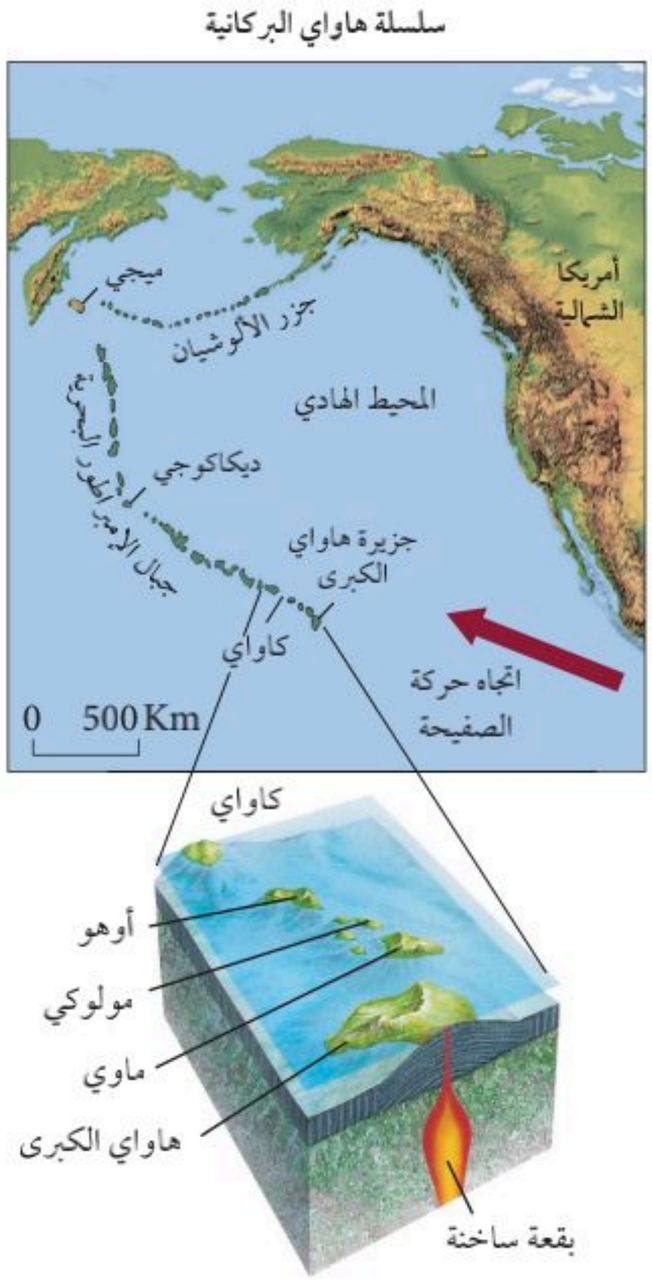
1630 قبل الميلاد تسبب انفجار بركان سانتوريني في اليونان في حدوث تسونامي ارتفاعه 200 m، مما أدى إلى اختفاء الحضارة المينوسية في جزيرة كريت.

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

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

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 Hotspots and plate motion توفر سلاسل البراكين التي تتشكل فوق البقع الساخنة الثابتة معلومات حول حركة الصفيحة الأرضية؛ إذ يمكن حساب سرعة حركة الصفائح واتجاهها، من خلال مواقع تلك البراكين. وتبين الخريطة في **الشكل 5–6** أن جزر هاواي تمثل الطرف الأول من سلسلة جبال هاواي البركانية، في حين يمثل جبل ميجي الطرف الآخر من السلسلة الأقدم 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

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

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

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447



الشكل 6–6 أدّى تراكم كميات هائلة من اللابة على السطح إلى تشكيل صخور بركانية بسماكات عالية، ثم تعرضت مع مرور الزمن إلى عمليـات 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، وتُسـمى هذه الكسور **الشـقوق Fissures**. بعد مرور مئات أو آلاف السنين تؤدي ثورانات هذه الشـقوق إلى تكوين سهول منبسطة تُسمى الهضاب، كما في **الشكل 6–6**. وتفقد طفوح البازلت، كما هو الحال في البراكين الأخرى، بخار الماء وغيره من الغازات عندما تخرج إلى سطح الأرض.

طفوح البازلت في الجزيرة العربية Basalt flood in arabia peninsula

تغطي طفـوح البازلت جزءاً كبـيراً من المنطقـة الغربية للصفيحـة العربية، تصل إلى $180000\ km^2$ على هيئة حزام واسع متقطع يمتد من الجمهورية اليمنية جنوبًا على طول سـاحل البحر الأحمر إلى المملكة الأردنية الهاشـمية، وحتى الجمهورية العربية السورية شـمالاً، انظر **الشكل 7–6**. ويعود تشّـكل هذا الحزام إلى الشقوق والصدوع المصاحبة لتكّون البحـر الأحمر، التي بدأت قبل 25 مليون سـنة، واسـتمرت إلى العصر الحالي؛ ويعتبر بركان حليات اللابة (جبل الملسـاء) والذي يبعـد عن المدينة المنورة بنحو 15كم باتجاه الجنوب الشرقي ويقع في الأطراف الشـمالية الشرقية لحـرة رهاط أحدث براكين المملكة العربية السعودية ثوراناً وتدفقاً. ويتشكل هذا البركان من أربعة مخاريط وفوهات بركانيـة، يطلق عليها حليات اللابة، خرجت منها الحمم البركانية عام 654هـ، وسـبق ثورانـه حركات زلزالية هزت المدينة المنورة، وتصف كتـب التاريخ هذا الثوران وصفاً دقيقاً وموثقاً بشهادة أهل المدينة المعاصرين لهذا الحدث التاريخي.

تركيب البركان Volcano Structure

اللابـة عبارة عن صهارة مـرّت من خلال تركيب يشـبه الأنبوب يسـمى **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. وباسـتمرار انسـياب اللابة وتراكمها مع الزمن يتكوّن جبل يسمى البركان.

المفردات

الاستعمال العلمي مقابل الاستعمال الشائع

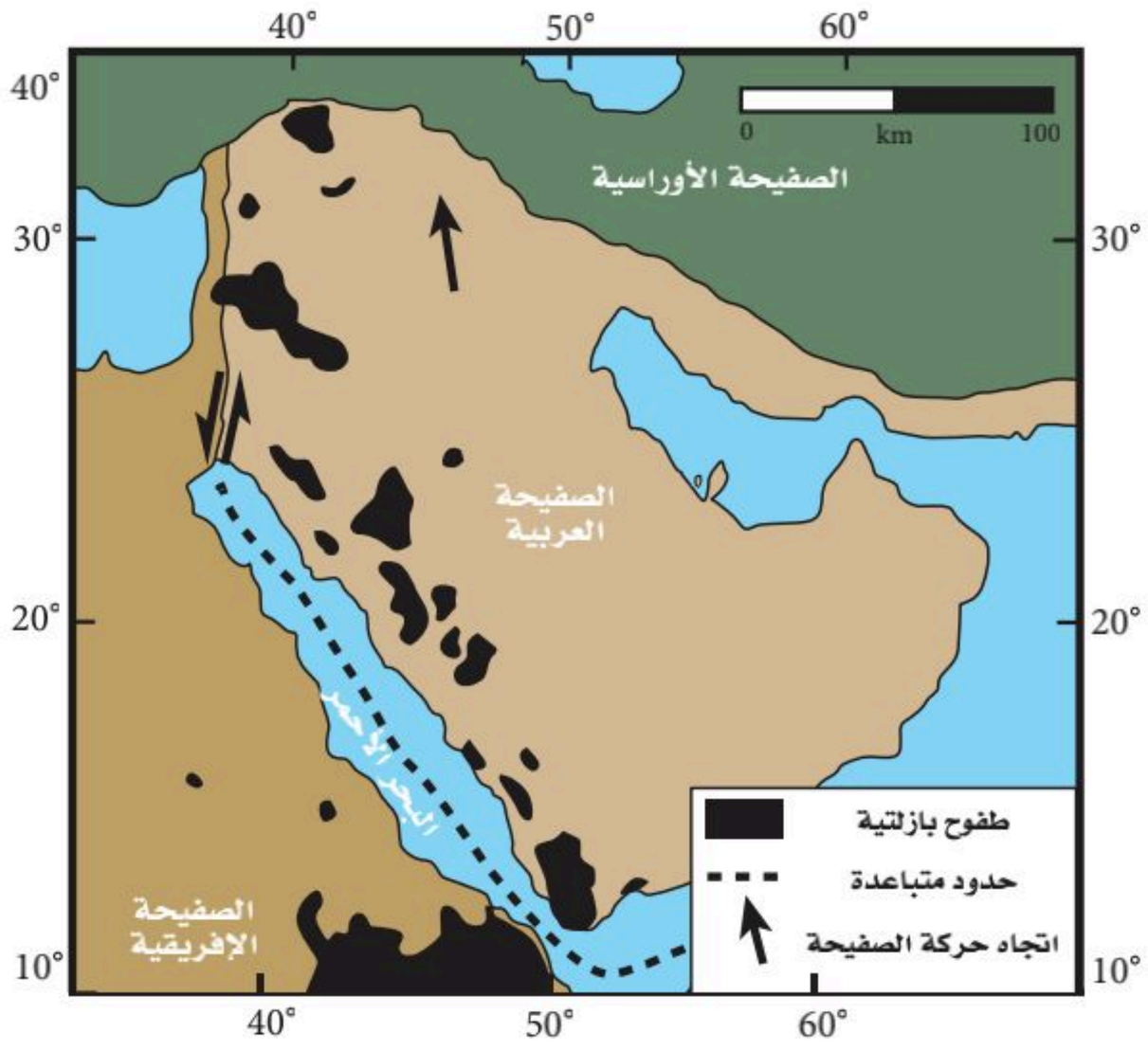
العصر الحالي

الاستعمال العلمي: العصر الجيولوجي الأخير، وهو العصر الرباعي.

الاستعمال الشائع: الوقت الحاضر.

الربط مع رؤية ٢٠٣٠
رؤيـة VISION 2030
المملكة العربية السعودية KINGDOM OF SAUDI ARABIA
مجتمع حيوي
• من أهداف الرؤية: حماية البيئة من الأخطار الطبيعية.

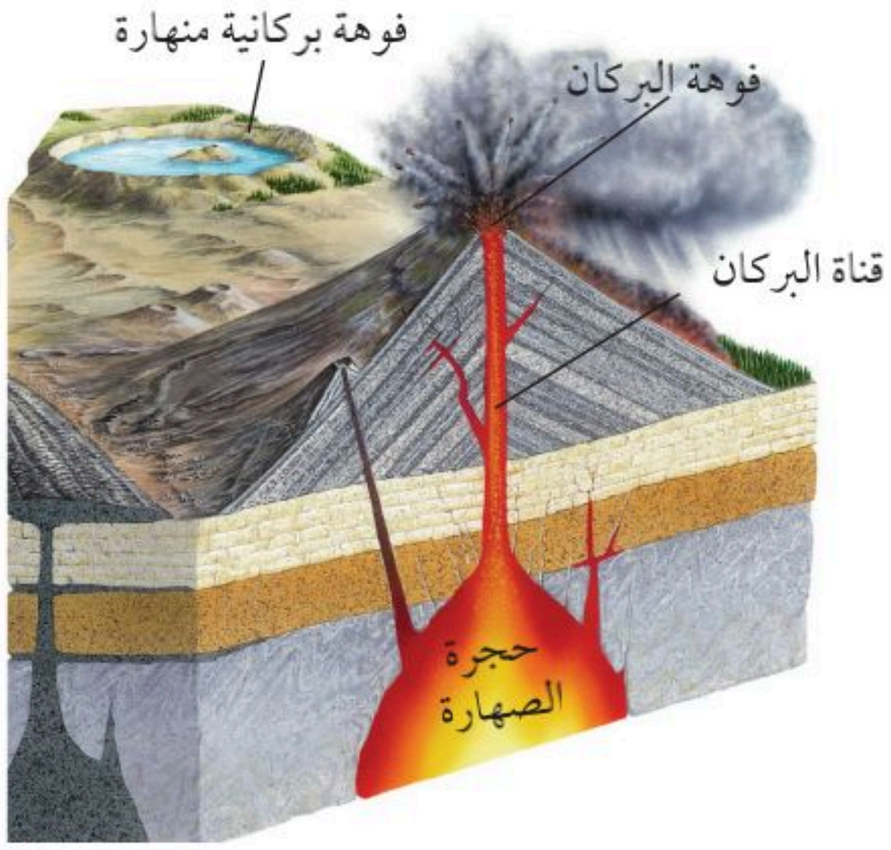
وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447



الشكل 7–6 طفوح البازلت (الحرّات) التي تغطي أجزاء من المنطقة الغربية من الجزيرة العربية، وقد تشـكلت بفعل تدفقات اللابة عبر الشقوق التي أصابت الصفيحة العربية في أثناء تشـكّل البحر الأحمر قبل 25 مليون سـنة، واسـتمر تشكل هذه البراكين إلى العصر الحالي.

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

وعـلى الرغم من أن قطر فوهـة 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 الفوهـة البركانية المنهـارة نتيجة انهيار قمة الـبركان أو جوانبـه بعد أن تُخـرج حجرة الصهارة الواقعة أسـفل الـبركان مكوناتها بفعل الثورانات البركانية الرئيسة، ولاحقًا قد يمتلئ السـطح المنهار بالميـاه، مما يؤدي إلى تشـكل بحيرات خلابة. ومن الفوهات البركانية المنهارة في المملكة العربية السعودية فوهـة الهتيمـة بالقرب من قـرية طابـة في منطقة حائل، انظر **الشكل 9–6**.



الشـكل 8–6 ترتفع الصهـارة إلى أعلى من باطـن الأرض مرورًا بالقناة، ومنها إلى السـطح من خلال العنق، مكوّنة البركان. وتسمى المنطقـة المحيطة بالعنق فوهة البركان، وقـد تتطور إلى فوهة بركانية منهارة عندما تنهار القشرة الأرضيـة في حالة وجود فراغ في حجرة الصهارة.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447



الشـــكل 9–6 تمثل فوهة الهتيمـــة في منطقة حائل إحدى الفوهـــات 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 توســعت 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 بـــورق A4، واثقبه ثقبًا صغيرًا باستعمال المقص من الجنب.
4. مرّر عنـــق البالون عبر الثقـــب، بحيث يكون البالون في داخـــل الصندوق، وأدخل الأنبوب المطاطي في عنـــق البالون، وثبتهـــما **باللاصق**، وانفخ البالـــون من خلال النفـــخ بالأنبوب، وأغلق البالون بالمشبك.
5. صبّ ستة أكواب من **الرمل** على البالون.
6. كوّن من **الرمل** شـــكلاً على صورة بركان، وقد تحتـــاج إلى تغيير كمية الرمـــل ونوع الصندوق للتوصل إلى النتيجة المرجوة.
7. انزع المشـــبك لإخراج الهواء مـــن البالون، ثم لاحظ كيف تتشـــكل 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 معـــالم الفوهة البركانية المنهارة ومعالم الفوهة البركانية.
3. **استنتج** كيف يختلف شـــكل الفوهة البركانية المنهارة باختلاف مقدار النفخ في البالون؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

أنواع البراكين Types of Volcanoes

يعتمد مظهر البركان على عاملين، هما: نوع المـواد المكوّنة للبركان، ونوع الثورانات البركانية التي تحدث. وبناءً على هذين العاملَيْن، هناك ثلاثة أنواع رئيسـة من البراكين تختلف في الحجم والشكل والمكوّنات، انظر **الجدول 1–6**.

البراكين الدرعية Shield volcanes: البركان الدرعي **Shield volcano** يتكون عندما تتراكم طبقات من اللابة في أثنـاء الثورانات البركانية الهادئة، وهو من أكبر أنواع البراكين،مثل جبل عناز في حرة عويرض ذو الانحدار القليل والقاعدة شبه الدائرية، ويعد بركان حليات اللابة (جبل الملساء) بحرة رهاط من البراكين الدرعية، انظرا لجدول 1–6.

البراكين المخروطية Cinder cones: تتشـكل البراكين المخروطية **Cinder cones** عندمـا تعود المواد البركانية الصغيرة الحجم المقذوفـة في الهواء إلى الأرض، وتتراكم حول فوهة البركان. وتمتـاز البراكين المخروطية بأنها شـديدة الانحدار، وعادة ما تكـون 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 مكونـة من قطع لابة متصلبة في أثناء ثورانات عنيفة متعاقبة مع طبقات من اللابة انسـابت إلى أسـفل قبل أن تتصلب، وتكـون البراكين المركبة عمومًا مخروطية الشـكل، مع وجود منحدرات مقعرة الشـكل، وحجمها أكبر كثيرًا من البراكين المخروطية. وبسـبب طبيعتها المتفجرة فإنها تشـكّل خطرًا على الإنسان والبيئة. ومن الأمثلة عليها بركان جبل القدر في حرة خيبر شـمال المدينة المنورة، كما في **الجدول 1–6**.

المهن في علم الأرض

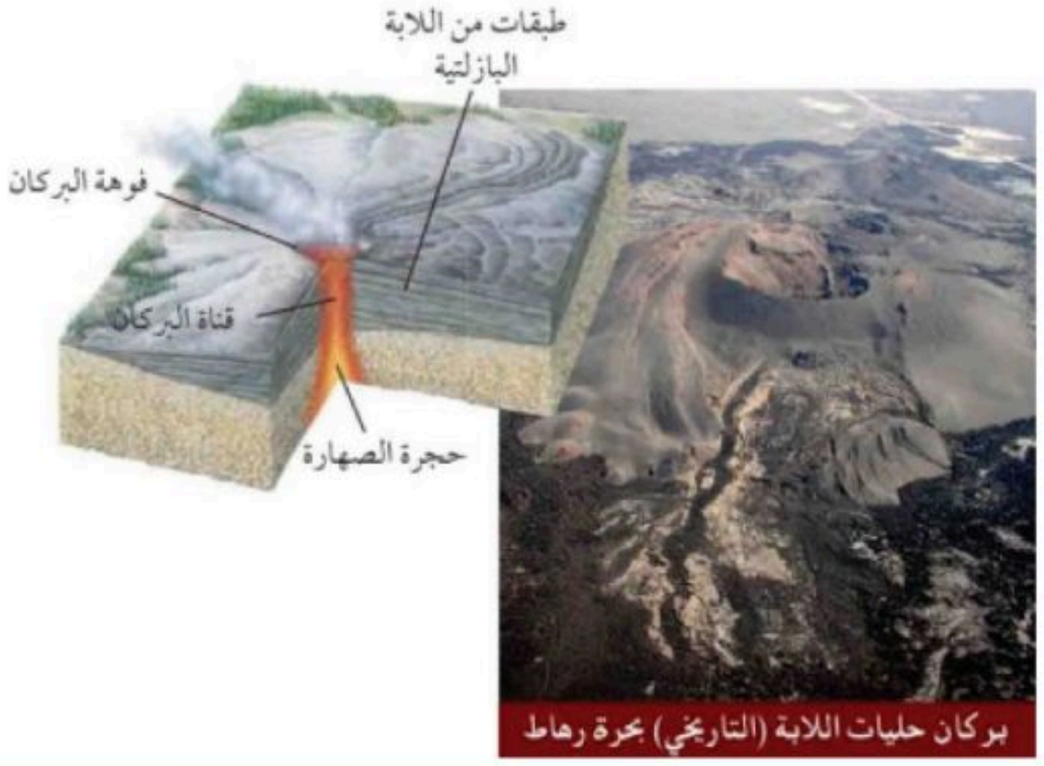
عالم البراكين.

يُسمى العالم الذي يدرس الثورانات البركانية وطفوح اللابة والصهارة وظـروف تكونها عـالم البراكين. ويـدرس العلماء في الميدان البراكين النشـطة، 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

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

البراكين المخروطية

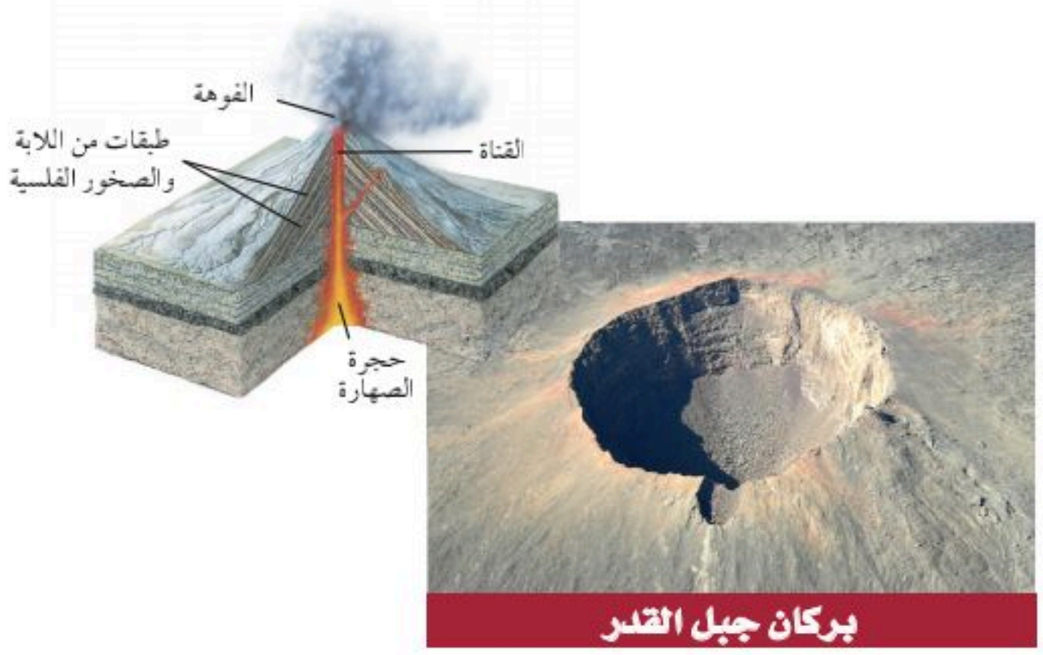
- أصغر أنواع البراكين الثلاثة.
- شديدة الانحدار وشكلها مخروطي.
- تتألف عادة من اللابة البازلتية.
- ثوراناتها عنيفة.
- تتشكل عادة على أطراف البراكين الكبيرة الحجم.



بركان في حرة الشاقة

البراكين المركّبة

- أكبر كثيرًا من البراكين المخروطية.
- تشكّل جبالاً طويلة وشامخة.
- 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. **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 الشكل 7–6.

التفكير الناقد

5. **قوّم** 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).

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

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.

الضغط Pressure يزداد الضغط بزيادة العمق بسبب زيادة وزن الصخور، إلا أن زيادة الضغط تؤدي إلى رفع درجة الانصهار، 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.


جبل إتنا


جبل سانت هيلين

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.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

مكوّنات الصهارة Composition of Magma

تُحدّد مكوّنات الصهارة شـــدة ثوران الـــبركان، وكيفية تدفق اللابة عـــلى ســـطح الأرض. فـــما العوامل التي تحـــدد هذه المكوّنات؟ اســـتطاع العلماء تحديد العوامـــل التي تتحكم في مكونات الصهارة وهي: تفاعلها مع صخور القشرة الأرضية التي تعلوهـــا، ودرجة حرارتهـــا، والضغط الواقـــع عليها، وكميات الغازات الذائبة فيها، ومحتواها من الســـليكا. ويُعد العامل الأخير مـــن أكثر العوامل تأثيرًا. ويرى العلماء أن هذه العوامل تســـاعدهم على معرفة ســـلوك 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.

اللزوجـة Viscosity تُســـمى الخاصية الفيزيائية التي تصف مقاومة المواد للتدفق **اللزوجـــة Viscosity**. وتؤثر كل من درجة حرارة الصهارة ومحتواها من السليكا في لزوجتها. وعمومًا تزداد لزوجة الصهارة بانخفـــاض درجة حرارتها. أمـــا زيادة محتوى الصهارة من الســـليكا فيجعلها كثيفة القوام ولزجة. وتؤدي زيادة لزوجة الصهارة إلى زيـــادة احتفاظها بالغازات الذائبة، فلا تسمح لها بالانفلات بســـهولة، لذا تنتج ثورانات بركانية متفجـــرة. وعمومًـــا، إذا كان محتوى الصهارة من الســـليكا منخفضًا انخفضت لزوجتها، وكانت خفيفة القوام، وتتدفق بسرعة ويسر، كما في العسل الســـاخن، كما أنها تُنتج ثورانات هادئة غير مصحوبـــة بانفجارات. وتتكـــون البراكين الناتجة مـــن صخور بازلتية كما في حَرّة كشـــب غـــربي المملكة. انظر **الشكل 11–6**.

ماذا قرأت؟ أيهما أكثر لزوجة: الماء أم العسل؟



الشكل 11–6 بركان حَرّة كشب غربي المملكة العربية السعودية.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

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 12–6** 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 13–6** 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.

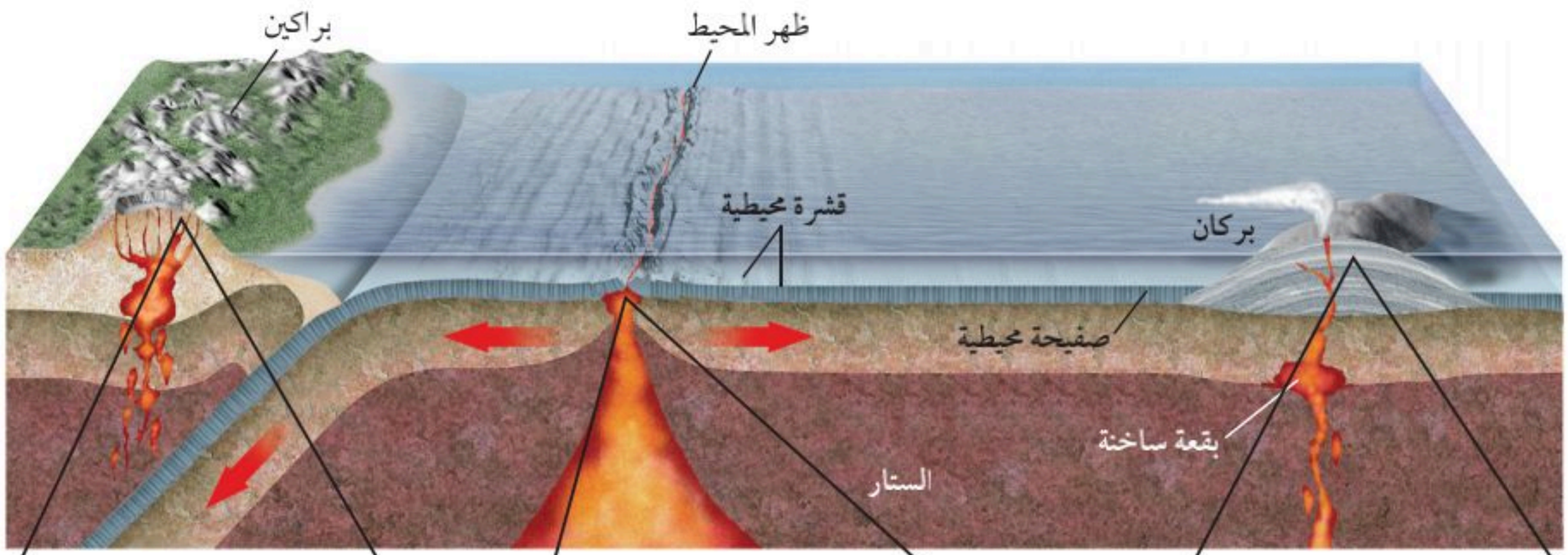
صهارة ريوليتية Rhyolitic magma تتكون الصهارة الريوليتية عندما تمتزج الصهارة الصاعدة إلى أعلى مع صخور القشرة القارية العلوية الغنية بالسليكا والماء، وتتكون من الكمية نفسها من السليكا المكوّنة لصخر الجرانيت التي تزيد على 60%، وتؤدي لزوجتها المرتفعة إلى جعلها تتدفق ببطء، كما أن لزوجتها المرتفعة أيضًا مع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



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

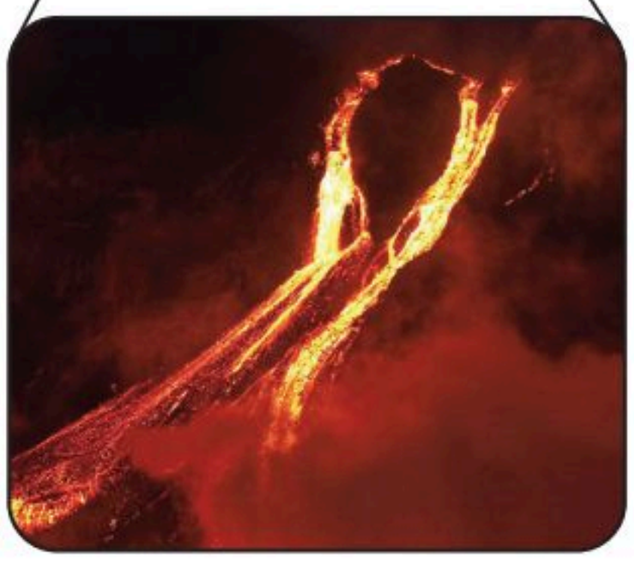
وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

الثورانات البركانية Volcanic Eruptions









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

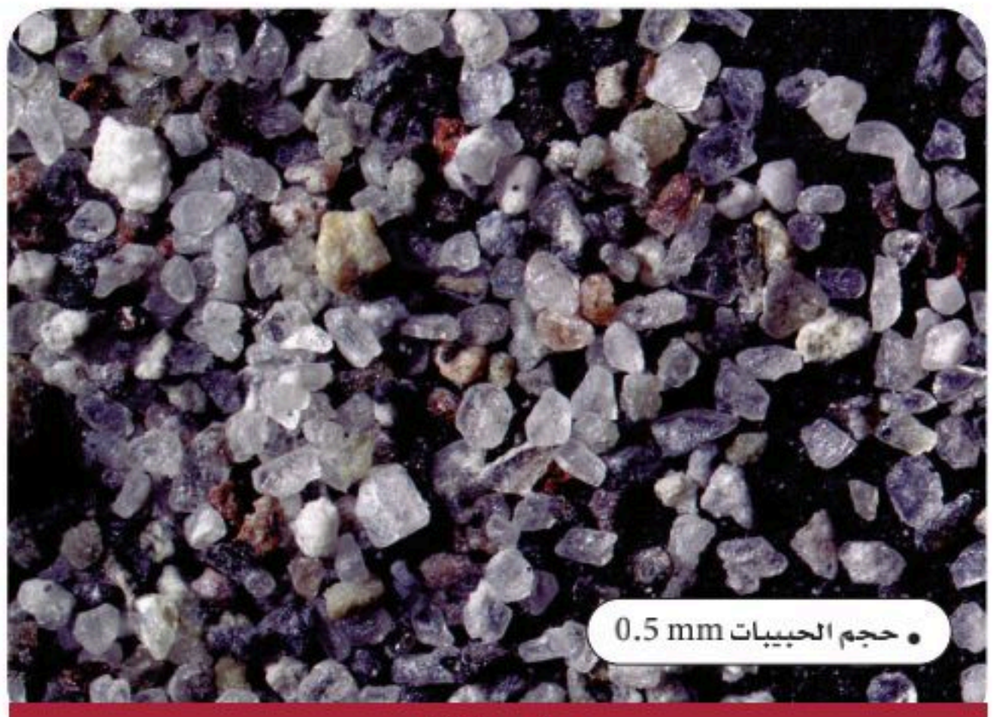
أكثر أنواع اللابة شيوعًا هي اللابة الوسادية التي تتكون عند الحدود المتباعدة على امتداد القشرة المحيطية، وتنساب في قاع المحيط وتكوّن كتلًا على شكل وسائد عندما تبرد.

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.

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

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447



رماد بركاني



كتلة بركانية

الثورانات البركانية المتفجرةُ Explosive Eruptions

عندمـا تكون اللابة في القناة لزجـة جدًّا فإنها لا تتدفق من فوهة الـبركان بحُرّية، بل تتراكـم فيها الغازات إلى أن تخرج في صورة انفجـارات عنيفة، حيث تُقذف اللابة مع الصخور في الهواء. وتسـمى المواد التي تقذفها البراكين **المقذوفـات البركانية الصلبة tephra**. وربـما تكون المقذوفـات البركانية الصلبة قطعًا من اللابـة تصلّبت في أثناء وجودها في الهواء، أو قطعًا من قشرة أرضية حملتها الصهارة معها قبل ثورانها. وتصنف المقذوفات البركانية الصلبة بحسـب حجمها؛ فالقطع الصغـيرة التي يقل قطرها عن 2 mm تُسمى رمادًا بركانيًّا، وتُسمى المقذوفات البركانية الأكبر من ذلك كتلاً بركانية. انظر **الشـكل 14–6**، وقد يبلغ ارتفاع بعض الكتل البركانيـة مترًا، وقد يصل حجم بعضها إلى حجم سيارة. وتنثر الثورانات البركانية المتفجرة الضخمة كميات هائلة من المقذوفـات 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 **الشـكل 15–6** 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.

الشـكل 14–6 يُعـد الرمـاد البركاني أصغـر المقذوفـات البركانيـة الصلبة من حيـث الحجم، في حـين أن الكتلة البركانية هـي مثال على أكبر صنف من المقذوفات البركانية الصلبة.

قارن بين هذين النوعين من المقذوفات البركانيـة الصلبة. ما الشيء المشـترك بينهما؟

تجربة عملية

تحليل أخطار كوارث البراكين

ارجع إلى دليل التجارب العملية على منصة عين الإثرائية



الشـكل 15–6 ثـار بركان جبل بيناتيوبو في الفلبين عام 1991م فأطلـق كميات هائلة من الرماد البركاني تراكمت في طبقة الستراتوسفير، مما أدى إلى انخفاض درجة حرارة الأرض لمدة سنتين.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447



بركان بيلي عام 1902م



تدفق الفتات البركاني

الشكل 16–6 أدى 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 16–6** 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. **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.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

علم الأرض والتقنية

مرصد هاواي البركاني

كيلاوي من البراكين الدرعيــة في جزيرة هاواي، وهو أحد البراكين الأكثر نشــاطًا وخطــورة. ويقوم العلماء بمراقبة الظــروف المحيطة بهذا الــبركان. 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 المتحركــة التي تبلغ درجة حرارتها 1170 °C. للحصول على القيــاس المباشر لدرجة الحرارة، أو لجمع العينات الجيولوجية عــلى العلماء تحمل درجات الحرارة المرتفعة وتوخي الحذر في أثناء سيرهم ومتابعة خطواتهم. ويتم جمــع العينات في ظروف خاصــة؛ حيث تجمع في أوعية مقاومــة للحرارة، وتبرد مباشرة بوضعها في وعاء فيه ماء لمنع تلــوث العينات بالهواء المحيط. ولكي يحمي العلماء أنفســهم من الأجواء المحيطة بهم فإنهم يرتدون ملابس خاصة، ويصطحبون معداتهم كاملة، كما توضحه الصورة.

النشــاط الزلزالي يســبق ثوران البراكين غالبًا نشاط زلزالي، ويعد أحد المؤشرات على حدوث ثوران بركاني؛ حيث يلجــأ العلــماء إلى توزيع أجهزة رصــد الزلازل (السيزمومتر) حول فوهة البركان، وفي مناطق قريبة منه لرصد النشاط الزلزالي.

العينات الغازية يجمع العلماء في مرصد هاواي البركاني عينات من الغــازات المنبعثة من فوهات البراكين لمعرفة نسبة غازي ثاني أكسيد الكبريت وثاني أكسيد الكربون. وتشــير الزيادة في انبعاث غازي ثاني أكســيد 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 يســتعمل العلماء أداة تسمى عداد المســافة الإلكترونية لمســاعدتهم على رصــد البراكين الأرضية والتنبؤ بثورانها. ففي أثناء صعود الصهارة نحو ســطح الأرض قد يحدث ميلان للسطح أو انخفاض أو انتفاخ بسبب ما تشــكله الصهارة من الضغوط في أثناء صعودها.

ويقوم العلماء في مرصد هاواي البركاني بتسجيل البيانات باســتمرار، وإجراء التجارب، وتناقلهــا 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 الطرائــق التــي يتبعها العلماء لتوقــع وقت ثوران البركان وحجمه ونوعه. ولمزيد من المعلومات يمكنك تصفح مواقع الإنترنت الموثوقة. لخّص معلوماتك وشــارك ببياناتك زملاءك في الصف.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

رابط الدرس الرقمي

www.ien.edu.sa

6-3

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.

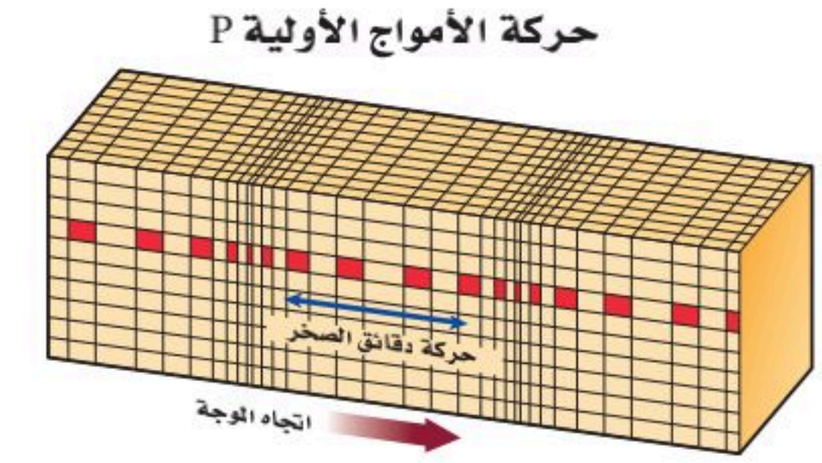
الأمواج الأولية Primary waves يطلق عليها أيضًا أمواج P. تعمل **الأمواج الأولية Primary Waves** على تضاغط الصخور وتخلخلها في نفس اتجاه حركتها، انظر **الشكل 17–6**. لاحظ من الشكل أن حجم الصخر المشار إليه بالمربعات الحمراء الصغيرة يتغير مع مرور الأمواج الأولية فيه. وتشبه الحركة التضاغطية للأمواج الأولية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

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

الأمـواج الثانوية Secondary waves يطلق عليهـا أيضًا أمواج S. وسـميت **الأمواج الثانوية Secondary Waves** لأنهـا أبطـأ مـن الأمواج الأولية، وهي ثاني الأمـواج الزلزالية وصولاً إلى محطة الرصد. وتُسـبب الأمـواج الثانوية في أثناء حركتها حركة جسيمات الصخر عموديًّا على اتجاه حركتها، كما في **الشـكل 17–6**، وتشـبه الحركة الموجية في الحبل؛ حيث تنتقل عموديًّا إلى أعلى وإلى أسـفل من أحد طرفيه إلى الطرف الآخر. وتسمى كل من الأمواج الأولية والثانوية **الأمواج الجسمية Body waves**؛ لأنها تنتقل داخل الأرض.

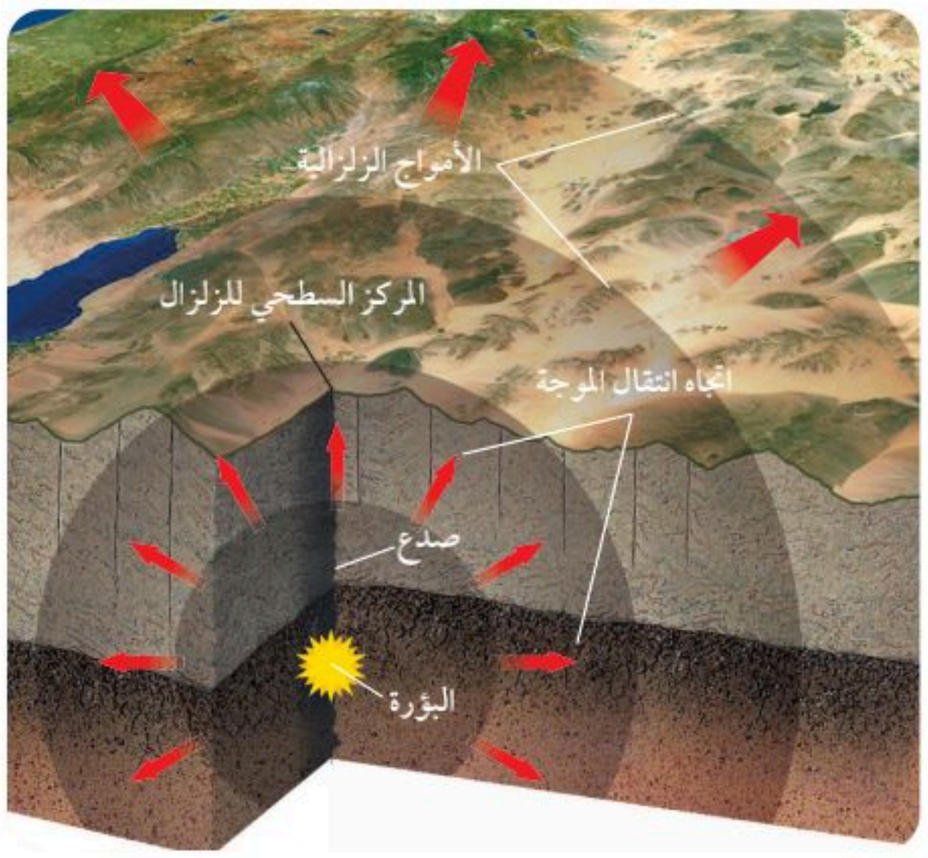
الأمـواج السـطحية Surface waves تنتقل **الأمواج السـطحية Surface waves** على سـطح الأرض فقط، وهي أبطأ الأمواج الزلزالية، لذلك فهي ثالـث الأمواج وصـولًا إلى محطـة الرصد وتتسبب في حركة جسيمات سطح الأرض حركة جانبيـة إلى أعـلى وإلى أسـفل كحركـة الأمواج البحرية، كـما في **الشـكل 17–6**. وتعد من أكثر الأمـواج الزلزاليـة تدميرًا؛ لأنها تسـبب معظم أنـواع الحركة، كما أنها تسـتغرق وقتًا أطول لتعبر الصخور.

نشـأة الأمواج الزلزاليـة Generations of seismic waves تنشـأ أولى الأمواج الزلزالية الجسـمية في نقطـة الكـسر في صخـور القشرة الأرضيـة، وتنتـشر منهـا في جميـع الاتجاهات، وتسـمى هذه النقطة **بؤرة الزلزال Focus**، وتقع في معظم الأحيان على عمق يبلغ عدة كيلومترات أسـفل سـطح الأرض. أما النقطة التي تقع على سـطح الأرض مباشرة فوق البؤرة فتسمى **المركز السـطحي للزلزال Epicenter** **الشـكل 18–6**، وتنشـأ الأمـواج الزلزالية السـطحية عن المركز السطحي للزلزال، وتنتشر منها على سطح الأرض.



الشكل 17–6 تمتاز الأمواج الزلزالية بنوع الحركة التي تسببها للصخور التي تمر فيها؛ حيث تكون حركة جسـيمات الصخر إلى الأمام وإلى الخلـف 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.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

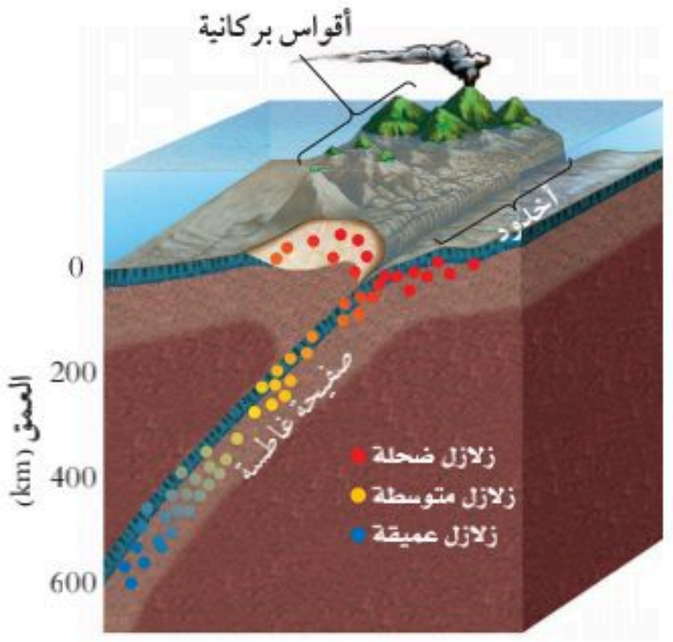


الشكل 18–6 بؤرة الزلزال هي النقطة التي ابتدأ عندها تشكُّل الكسر في الصدع. وتسمى النقطة التي تقع على سطح الأرض مباشرة فوق البؤرة المركَزَ السطحيَّ للزلزال.

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

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 19–6**، إلى ثلاثة أنواع: الزلازل الضحلة التي تنشأ على عمق أقل من 70 km، والزلازل المتوسطة التي تنشأ على عمق 300 km–70، والزلازل العميقة التي تنشأ على عمق 700 km–300.

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



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

مقياس الزلزال ومخططه
Seismometer and Seismogram

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

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



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

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

جميعًا تتضمــن إطارًا مثبتًا في الأرض، وكتلة معلقة على نابض أو سلك، كما في **الشكل 21–6**.

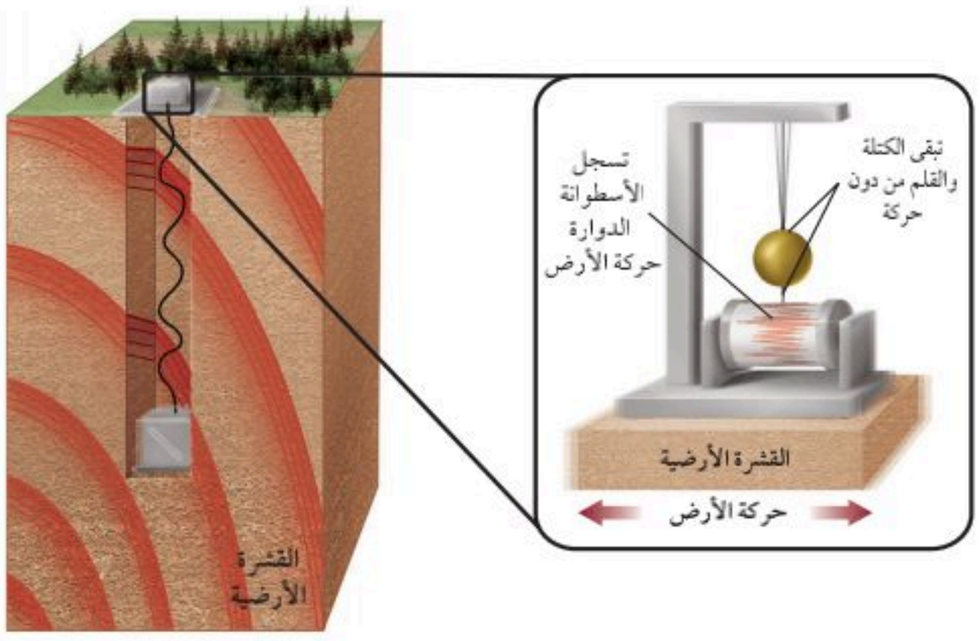
عندما يحــدث الزلزال تبقى الكتلــة والقلم في أثناء حدوث الاهتــزاز من دون حركة بســبب القصور الــذاتي، فيتم تســجيل حركــة الكتلة بالنســبة إلى الإطار عــلى أداة للتســجيل كالورقة، أو تُســجل مباشرة على أقراص حاســوبية. ويســمى السجل الــذي يتم الحصول عليــه من الســيزمومتر **مُخَطّط الزلزال (الســيزموجرام) seismogram**، ويوضح **الشكل 22–6** جزءًا من السيزموجرام.

وتســتخدم في الوقت الحــاضر أجهــزة حديثة لرصد الزلازل وتحليلها؛ حيث تســتخدم الأقمار الاصطناعية في نقــل البيانات من محطات الرصــد الزلزالي إلى باقي المحطات في العالم. ويتم اســتخدام برمجيات حديثة في تحليل البيانات وتحديد مواقع الزلازل وقوتها ويستخدم الحاسب الآلي في تخزينها.

ماذا قرأت؟ لخص الفرق بين الســيزمومتر والسيزموجرام.

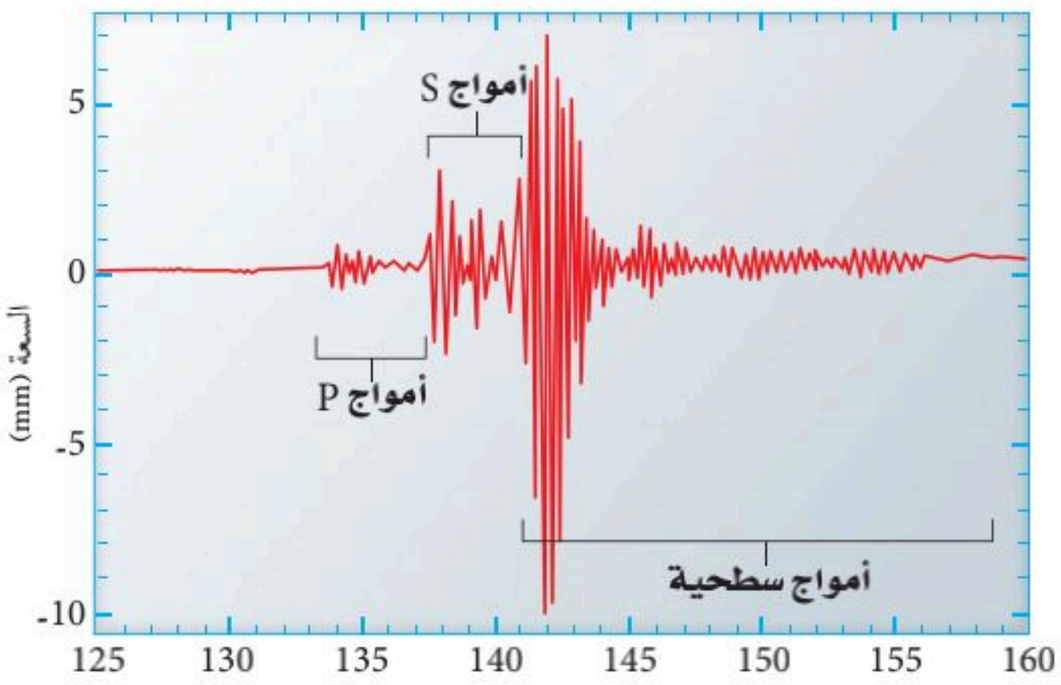
البُعد عن المركز السـطحي للزلزال Distance from the epicenter

لاحــظ مــن **الشــكلين 22–6** و **23–6** أن أمــواج P هــي أول الأمــواج الزلزالية وصولاً إلى محطات الرصد، ويليها الأمواج الثانوية، وأخــيرًا الأمواج الســطحية. يلاحظ أن الفرق الزمني بين منحنيي P و S في **الشــكل 23–6** يزداد كلما زاد البُعد عن المركز الســطحي للزلزال، أي أن فــرق زمنَــي الوصول بين أمــواج P و S في الســيزموجرام يكون أكبر في المحطات البعيدة عن المركز الســطحي للزلزال مقارنة بالمحطات القريبة. ويُســتعمل هذا الفرق الزمني في حساب بُعد المركز الســطحي للزلزال عن محطة الرصد التي ســجلت الزلزال.



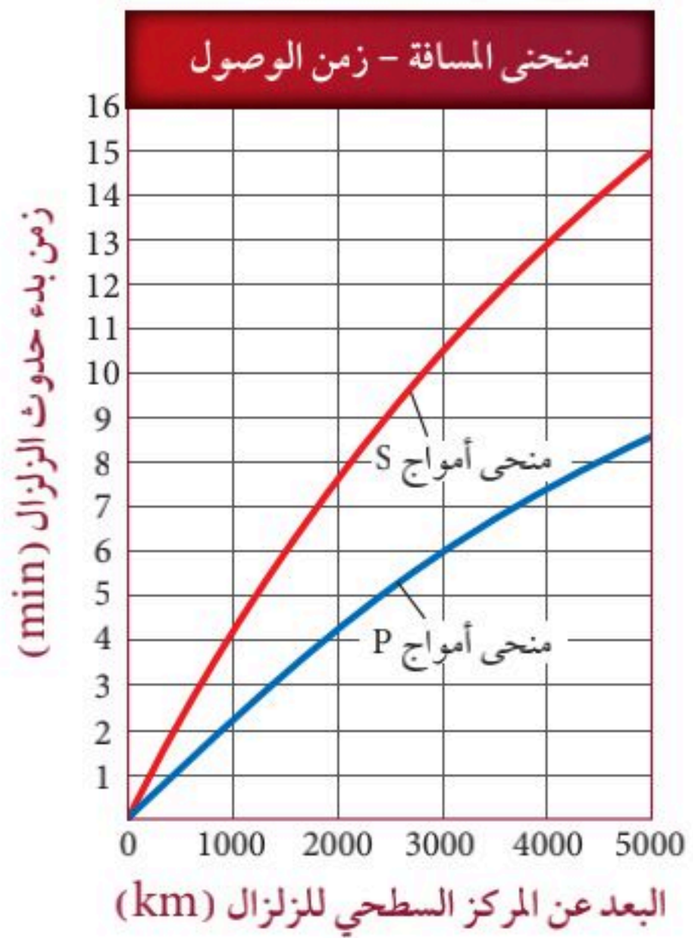
الشكل 21–6 في الإطار جهاز سيزمومتر قديم مثبت في الأرض. عندما يحدث الزلزال يتحرك الإطار بينما تبقــى الكتلة المعلقة وملحقاتها دون حركة، فيُسجل الكتلة والقلم الحركة النسبية للإطار.

قارن ذلك بأجهزة الاستقبال والإرسال الحديثة.



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

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447



الشكل 23–6 تظهر منحنيات المسافة – زمن الوصول للأمواج الزلزالية أن الفترات الزمنية التي تستغرقها أمواج P و S للوصول إلى محطات رصد الزلازل مختلفة 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؟

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.

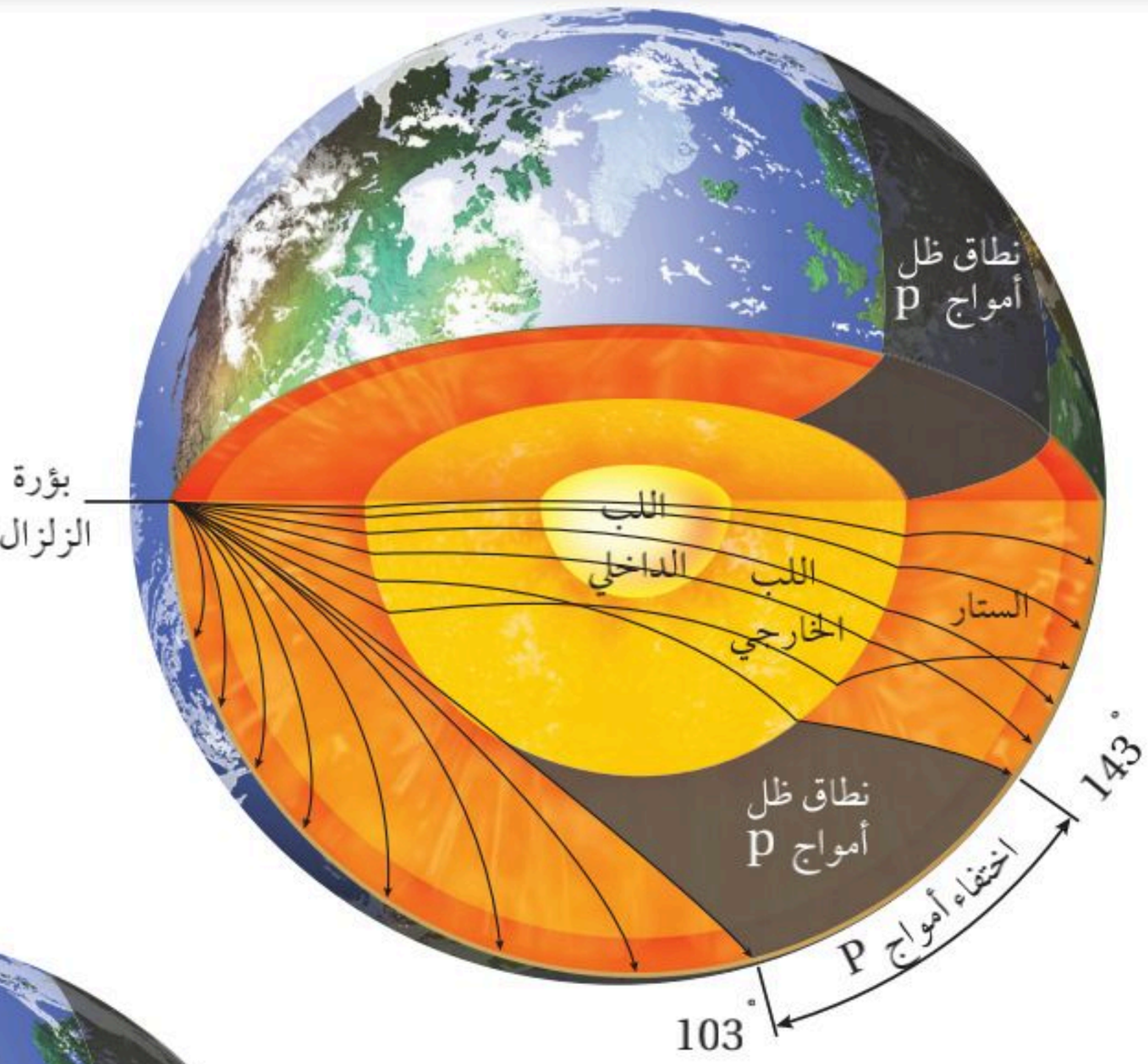
مكونات الأرض Earth's composition يوضح **الشكل 24–6** أن الأمواج الزلزالية يتغير مسارها وسرعتها عندما تواجه حدودًا فاصلة بين طبقتين مختلفتين في مكوناتهما، وبذلك استطاع العلماء أن يحددوا سُمك طبقات الأرض ومكوناتها بمقارنة سرعة الأمواج الزلزالية مع القياسات التي حصلوا عليها في المختبرات لأنواع مختلفة من 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.

بنية الأرض الداخلية Earth's internal structure تتغير سرعة الأمواج الزلزالية واتجاهها عندما تواجه موادّ مختلفة في باطن الأرض. لاحظ من **الشكل 25–6** 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.

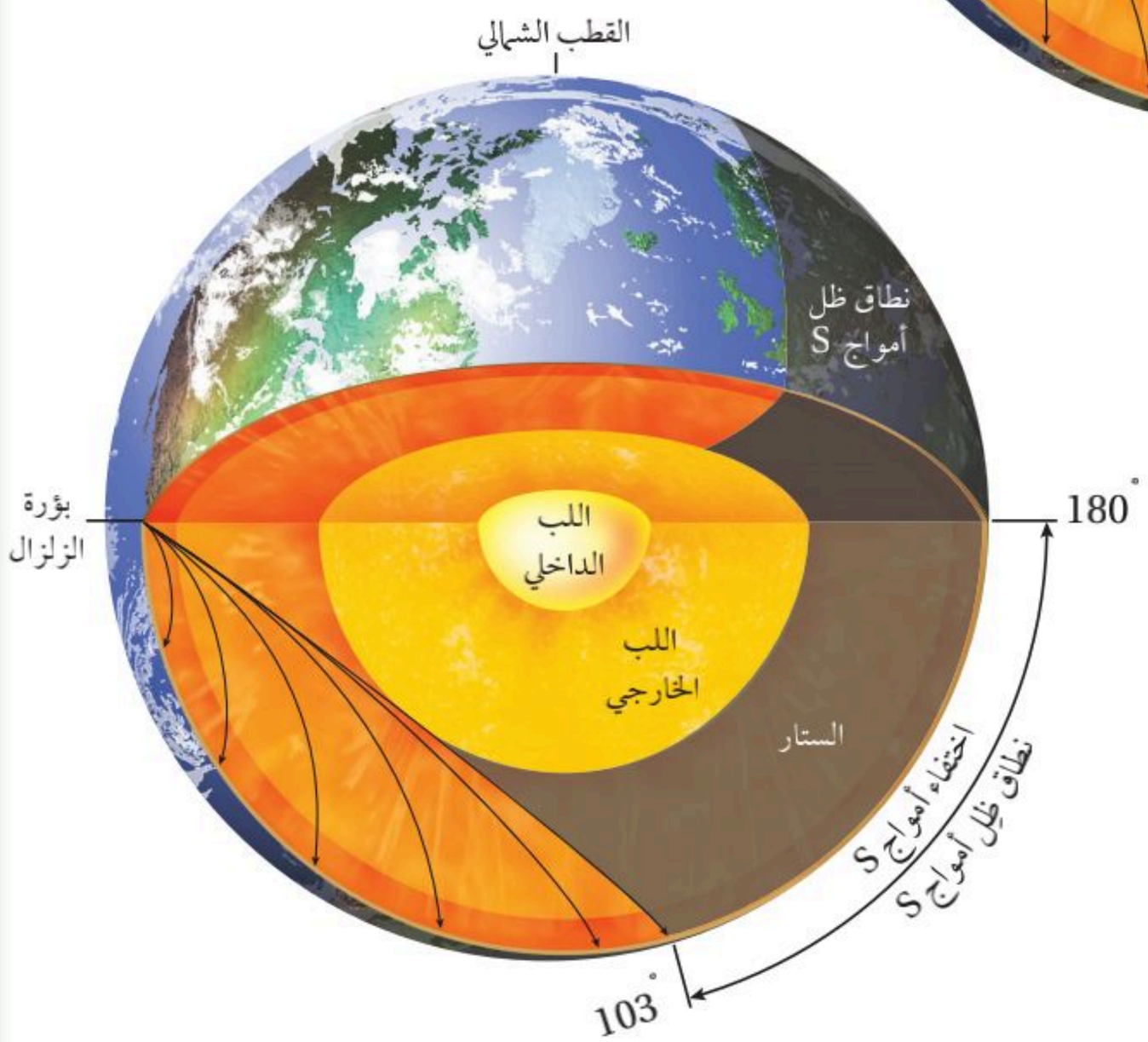
وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

الأمواج الزلزالية Seismic Waves

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

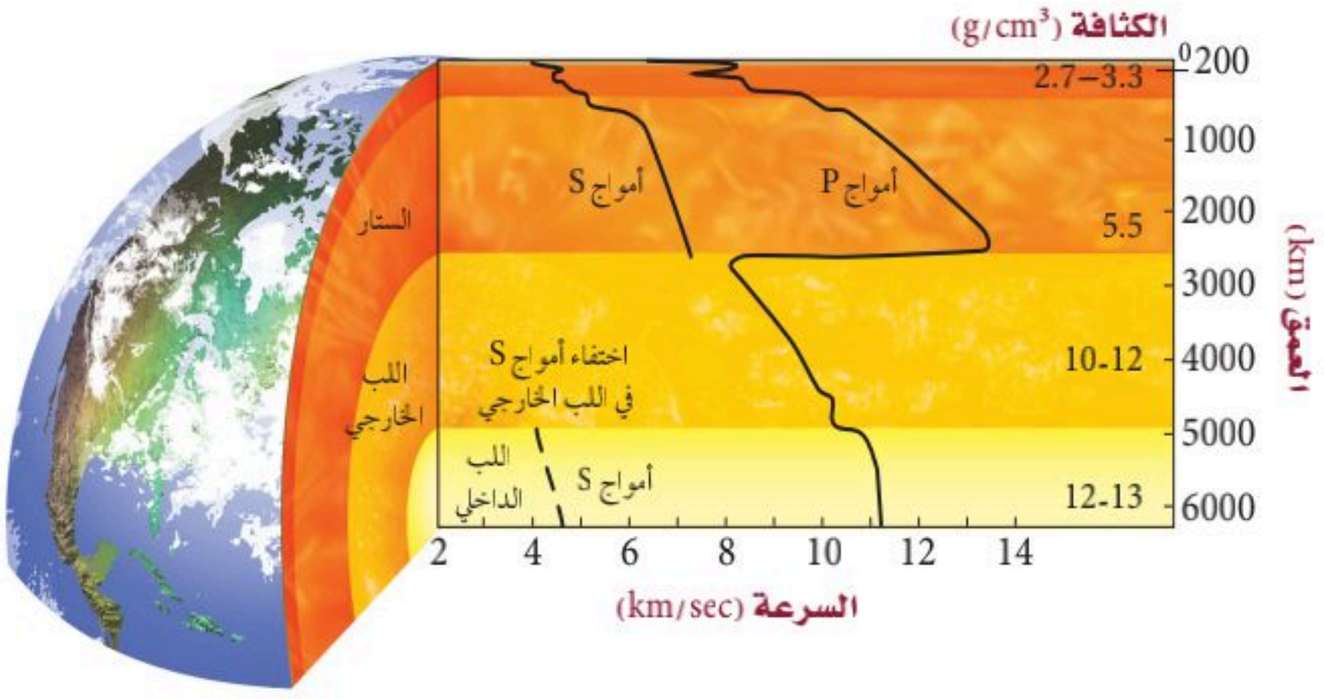


لأن أمواج S لا تمر من خلال اللب الخارجي للأرض السائل، لذلك فإنها لا تظهر ضمن نطاق يسمى ظل أمواج S على بعد زاويّ يتراوح بين $180^\circ - 103^\circ$ عن المركز السطحي للزلزال.



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

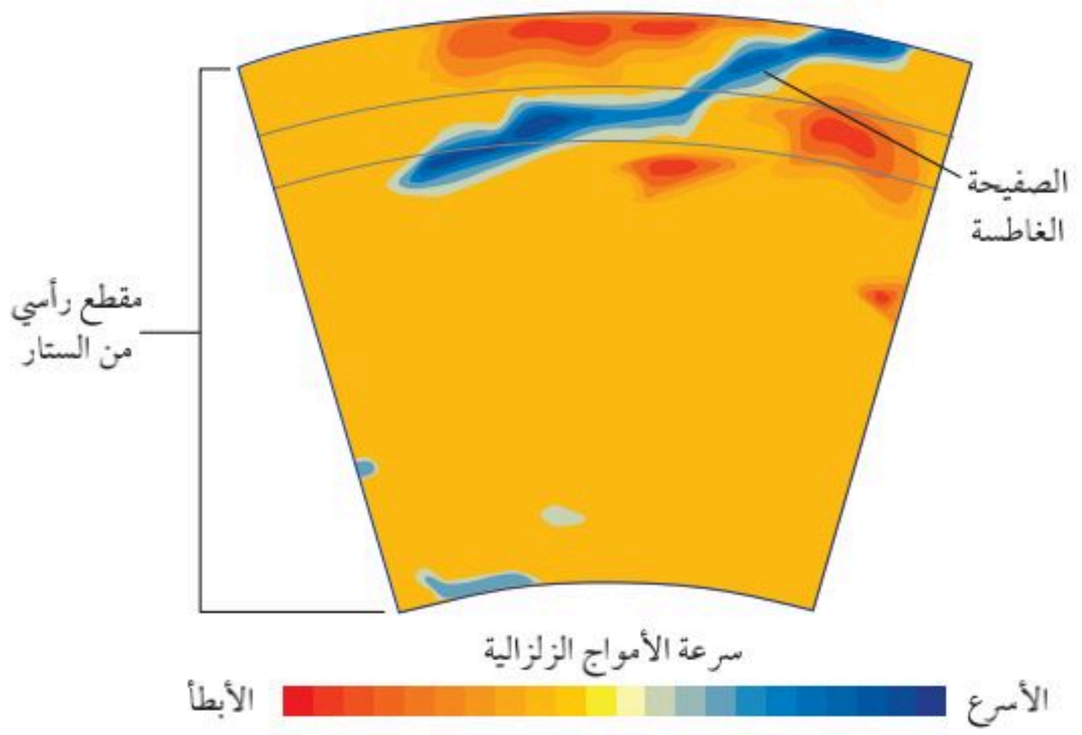
وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447



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

ماذا يحدث 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، يمكن الحصول على صور لبنية الأرض الداخلية تتضمن بعض التراكيب، ومنها الصفيحة الغاطسة التي تتضح في **الشكل 26–6**. ويمكن تشبيه هذه الصور بالصور الملتقطة بالأشعة السينية.



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

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

التقويم 3–6

الخلاصة

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

فهم الأفكار الرئيسة

1. **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 22–6** 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.

رابط الدرس الرقمي

www.ien.edu.sa

6-4

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 27–6** دمارًا سببه زلزال قوته 7.6 درجة على مقياس رختر.



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

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

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 2–6** مقياس ميركالي المعدل. ويمكنك استعمال المعلومات الواردة في هذا الجدول لتقدير شدة الزلازل الذي في **الشكل 28–6**.



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

الجدول 2–6 مقياس ميركالي المعدل

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

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

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.

تحديد موقع الزلزال Locating an Earthquake

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

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

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

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

تجربة عملية
رصد الزلازل
ارجع إلى دليل التجارب العملية على منصة عين الإثرائية

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

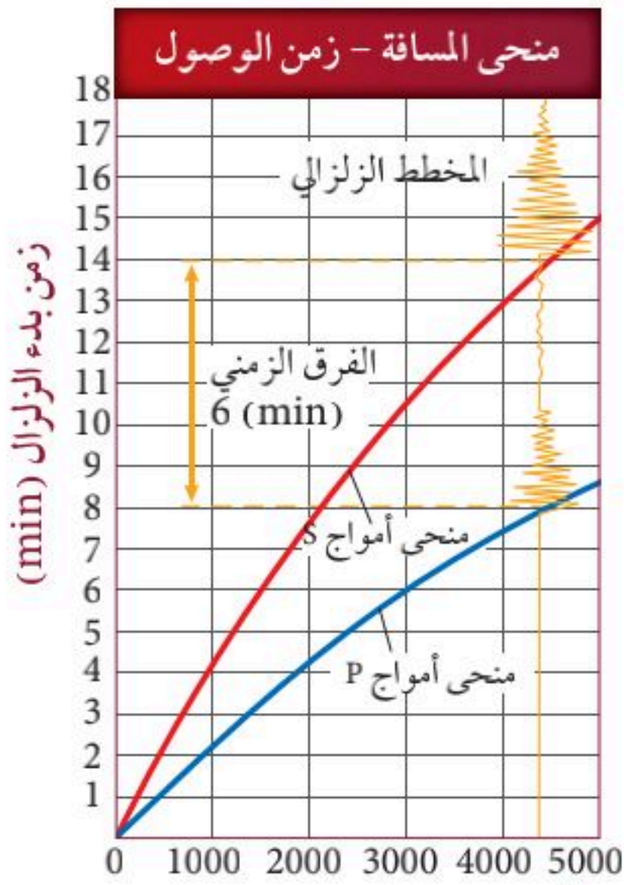
يحلل علـــماء الزلازل بيانات مخططـــات زلزالية عديدة لتحديـــد موقع المركز السطحي للزلزال، فبحســـاب المسافة بين المركز السطحي للزلزال وبين محطة الرصد يحدد العلماء بُعد المركز السطحي بدقة، ولكن هذا لا يُحدد الاتجاه الذي يقع المركز الســـطحي فيه بالنســـبة إلى محطة الرصد. ويمكن التعبير عن ذلك بدائرة مركزها محطة الرصد ونصف قطرها بُعد المركز الســـطحي عن المحطة. ولـــو مثّلنا بُعد المركز عن محطة أخرى بدائرة ثانية، فســـوف تتقاطع الدائرتان في نقطتين، ولا نعرف أيهما يقع المركز الســـطحي فيه. ولو مثّلنا بُعد محطة ثالثة بدائرة ثالثة، فعندئذ تتقاطع الدوائر الثلاث في نقطة، وتمثل هذه النقطة المركز السطحي، انظر **الشكل 30–6**.

زمـن حـدوث الزلـزال Time of an earthquake يوفر الفرق الزمني بين وصول الأمواج الزلزالية في الســـيزموجرام معلومـــات حول بُعد المركز السطحي، كما يستعمل علماء الزلازل الســـيزموجرام في معرفة زمن حدوث الزلزال في البؤرة بدقة. ويتم تحديد الزمن باســـتعمال جـــدول، كما هو الحال في منحنى المســـافة–زمن الوصول في **الشكل 23–6**. تسجل محطات الرصد في الســـيزموجرام زمن وصول أمواج P وأمواج S بدقة متناهية، ويســـتطيع العلماء قـــراءة الزمن الذي اســـتغرقته أمواج P وS من المركز الســـطحي إلى محطة الرصد باســـتعمال رســـوم بيانية كالتي في **الشـــكل 23–6**. فعلى سبيل المثـــال، افترض أن الســـيزموجرام ســـجل زمـــن وصول أمـــواج P في تمام الســـاعة 10:00 صباحًا باســـتعمال منحنى المســـافة–زمن الوصول، ويمكن اســـتخراج قيمة المســـافة التي قطعتها أمواج P في 8 دقائق، وهي 4500 km، فهـــذا يعني أن الزلزال قـــد حدث عند البـــؤرة في الســـاعة 09:52 صباحًا.

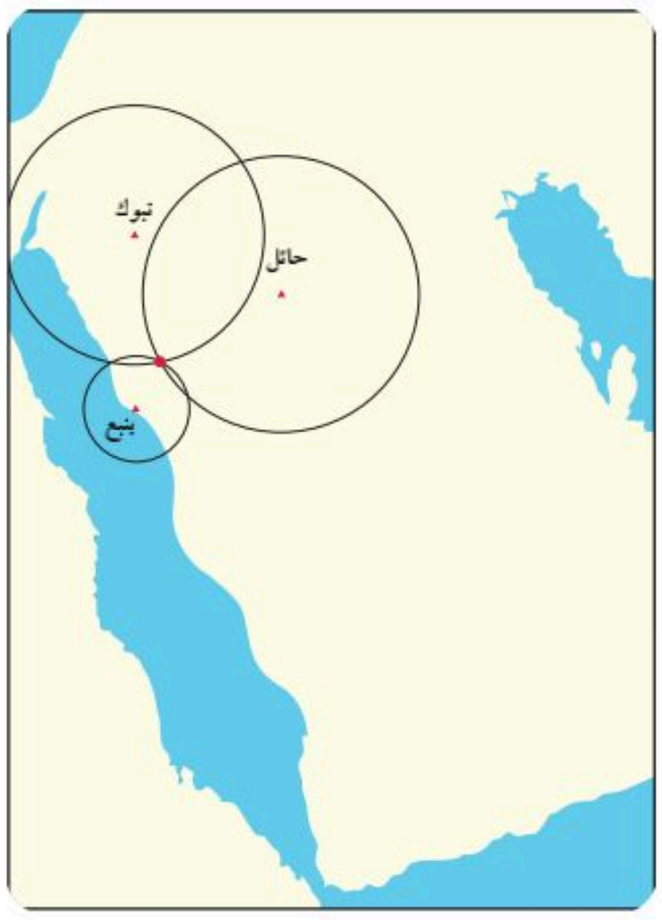
مـاذا قرأت؟ اعمـل قائمة بالمعلومات التي يتضمنها المخطط الزلزالي (السيزموجرام).

الأحزمة الزلزالية Seismic Belts

جمع علماء الزلازل على مر الســـنين 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 عشـــوائية؛ بل تحدث معظم الزلازل على طول أحزمة ضيقة تفصل بين مناطق كبيرة لا نشـــاط زلزالي فيها أو يحدث فيها قليل من الزلازل ســـميت **أحزمة الزلازل seismic belts**.



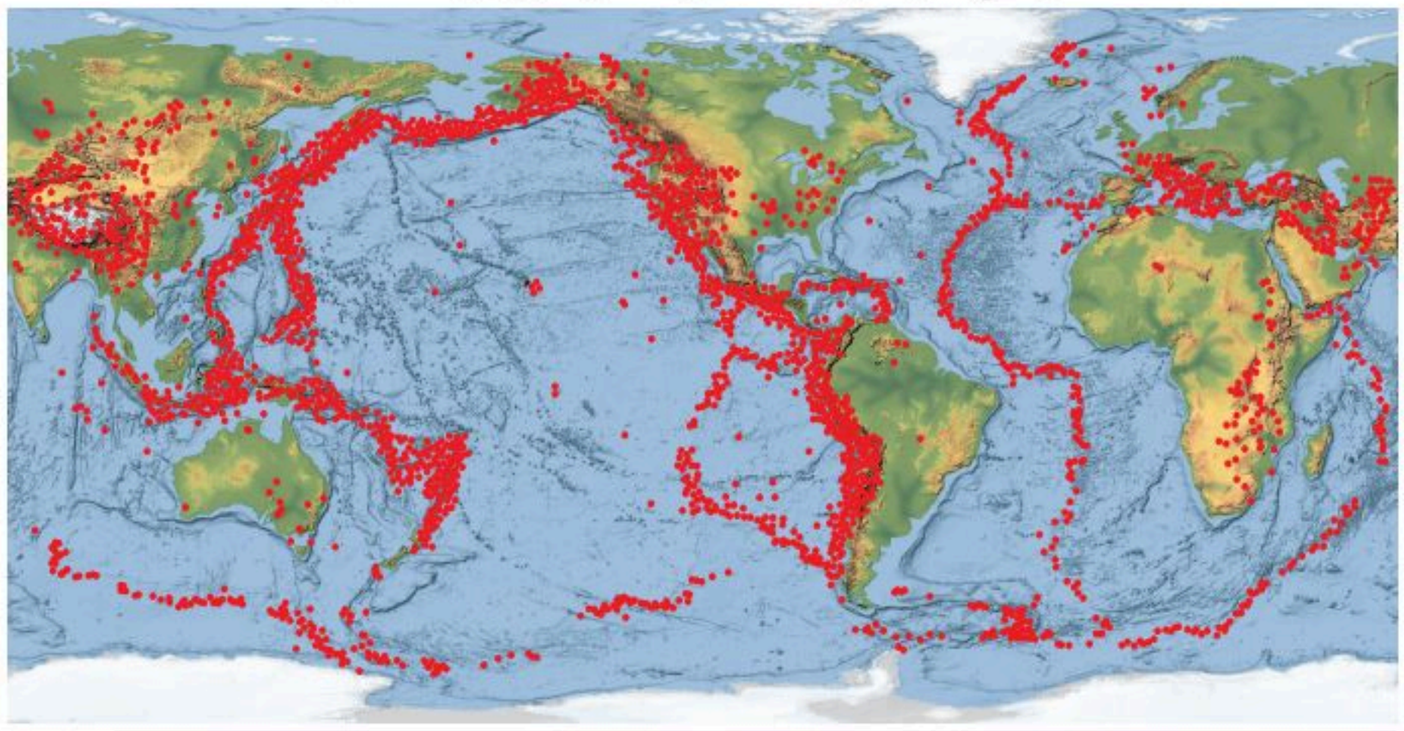
الشكل 29–6 يبين منحنى (المسافة–الزمن) الوصول هذا بيانات زلزالية لزلزال ما.



الشكل 30–6 لتحديد موقع المركز الســـطحي للزلزال يحـــدد العلماء مواقع محطـــات الرصد على خريطة، ويرســـمون حول كل محطة دائرة مركزهـــا المحطة ونصـــف قطرها بُعـــد المركز السطحي عن المحطة، وتتقاطع الدوائر جميعها في نقطة تمثل المركز السطحي للزلزال.

حدد من الشـــكل المرفق موقع المركز السطحي للزلزال.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447



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

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

يُلاحظ من **الشكل 31–6** أن الزلازل تحدث في أحزمة ضيقة، وتنطبق معظم الزلازل مع حدود الصفائح الأرضية. هناك 80 % من زلازل الأرض ضمن حزام المحيط الهادي، و 15% ضمن حزام البحر الأبيض المتوسط، وهذان الحزامان هما نطاقا طرح؛ حيث تلتقي صفيحتان معًا، وتغوص 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.

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 25–6**) 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.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

التقويم 4–6

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. **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 6-31**

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؟

رابط الدرس الرقمي

www.ien.edu.sa

6-5

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 32–6**؛ لأن الخرسانة مادة هشة قليلة المرونة بينما الهياكل الخشبية أكثر مرونة.



الشكل 32–6 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.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447



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

انهيار المنشآت Structural failure يحدث في كثير من المناطق المعرضة للزلازل انهيار للمباني عندما تهتز الأرض من تحتها؛ وفي بعض الحالات، قد تنهار الجدران الداعمة في الطابق الأرضي فتتسبب في انهيار الطوابق العليا، وسقوطها فوق الطوابق السفلية، فيتشكل حطام يشبه مجموعة من الألواح، لذا تسمى هذه العملية تراصّ الألواح ويوضح **الشكل 33–6** دماراً مأساوياً ناتجاً عن هذا النوع من انهيار المنشآت، والذي وقع في جمهورية هاييتي، في عام ٢٠١٠م كذلك حدث زلزال مدمر بتاريخ(2023/ 2/ 6م) في الجنوب الشرقي من تركيا على امتداد صدع الأناضول بقوة (7.8) على مقياس ريختر ، وذلك بسبب اصطدام الصفيحة العربية بالصفيحة الأوراسية؛ مما أدى الى حدوث دمار كبير في المنشآت، وخسائر في الأرواح؛ حيث قدر عدد المتوفين في الزلزال الى أكثر من 55000 متوفى، وأعداد كبيرة من الجرحى، ووصل تأثير هذا الزلزال إلى عدد من الدول؛ مثل سوريا، العراق، الأردن، و لبنان ومصر.

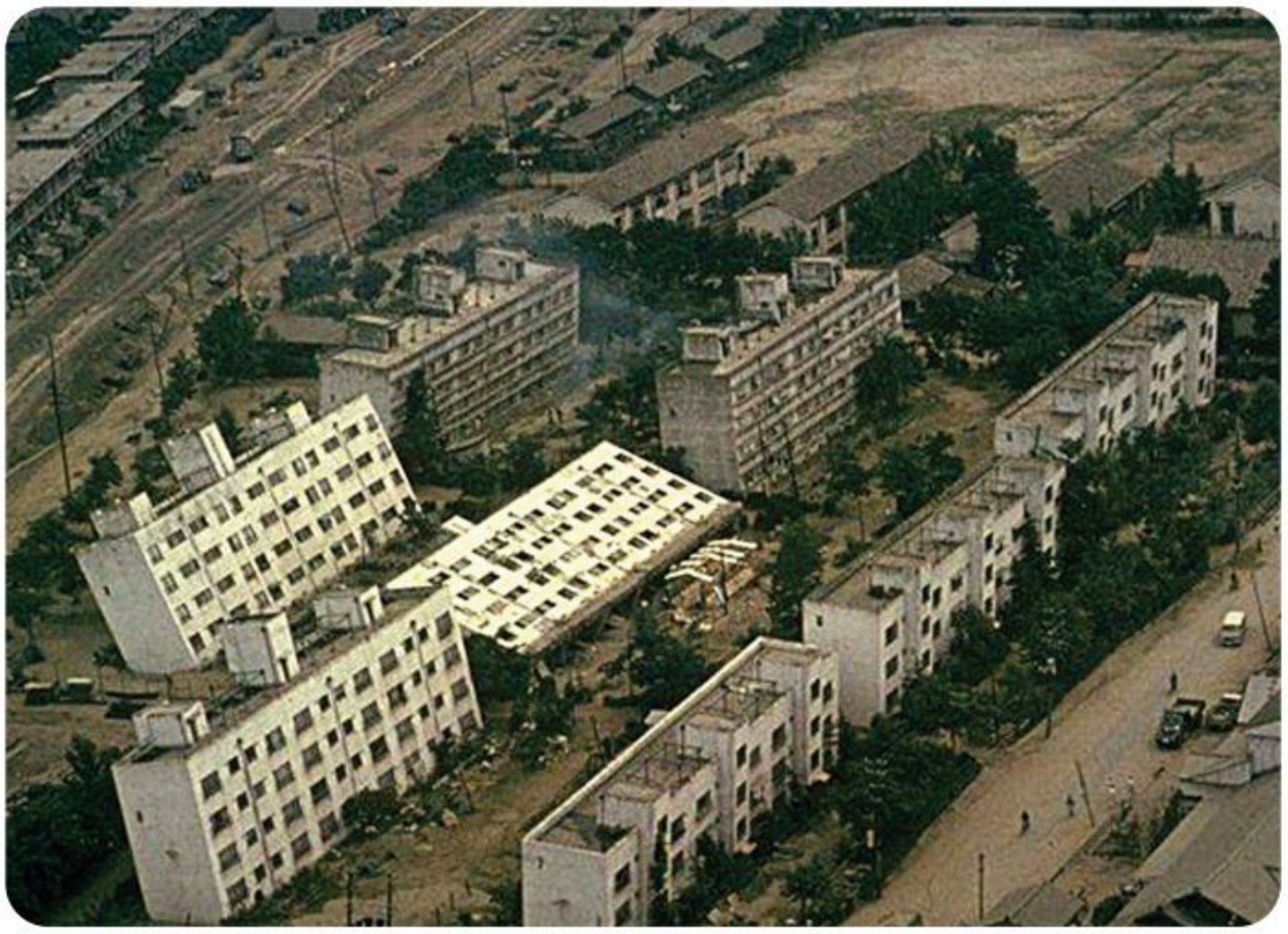
ماذا قرأت؟ وضح كيف يتشكل «تراصّ الألواح» عند حدوث زلزال؟

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 34–6**.



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

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447



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

تجربة عملية

تقرير نشرة إخبارية عن الزلازل

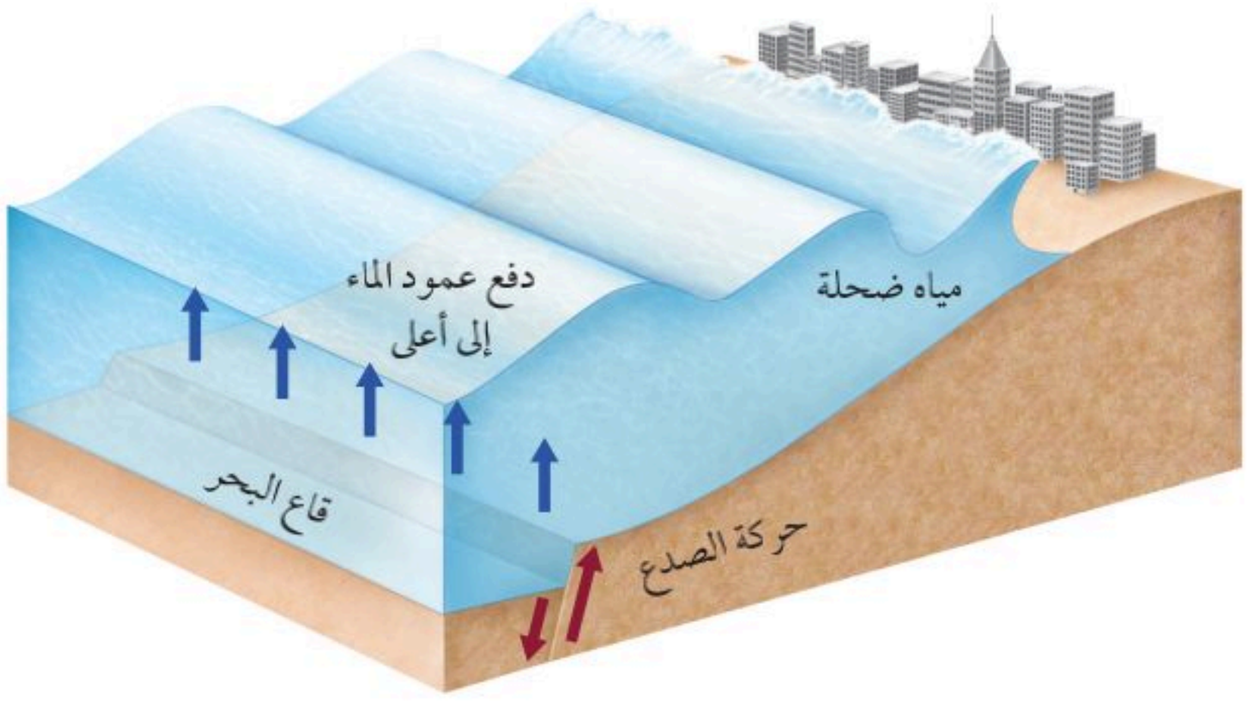
ارجع إلى دليل التجارب العملية على منصة عين الإثرائية

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 35–6** مباني مائلة بسبب تسييل التربة تحتها في أثناء الزلزال.

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

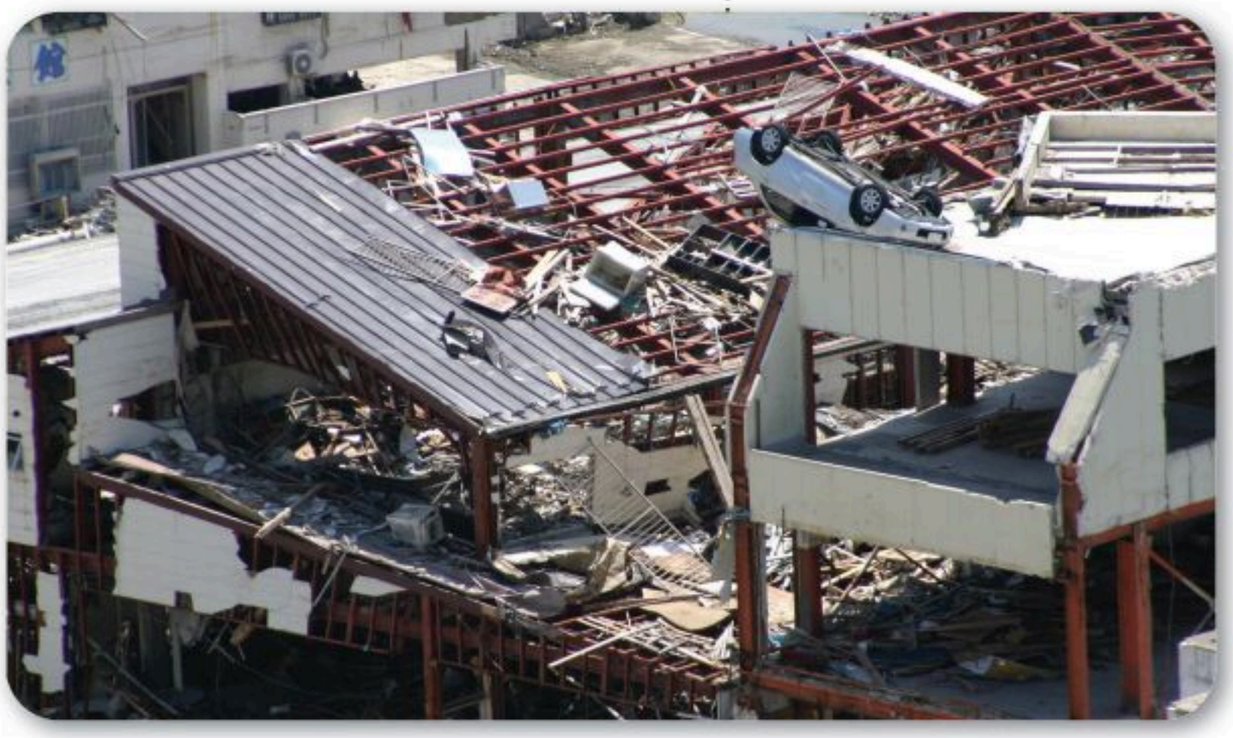
بالإضافة إلى مخاطر الانزلاقات الأرضية، فإن نوع المادة المكونة لسطح الأرض أثّر في شدة الزلزال في المنطقة؛ إذ تتضخم الموجات الزلزالية في بعض المواد الطرية، ومنها الرواسب المفككة، بينما تخفت في الصخور الأكثر صلابة، ومنها الجرانيت.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447



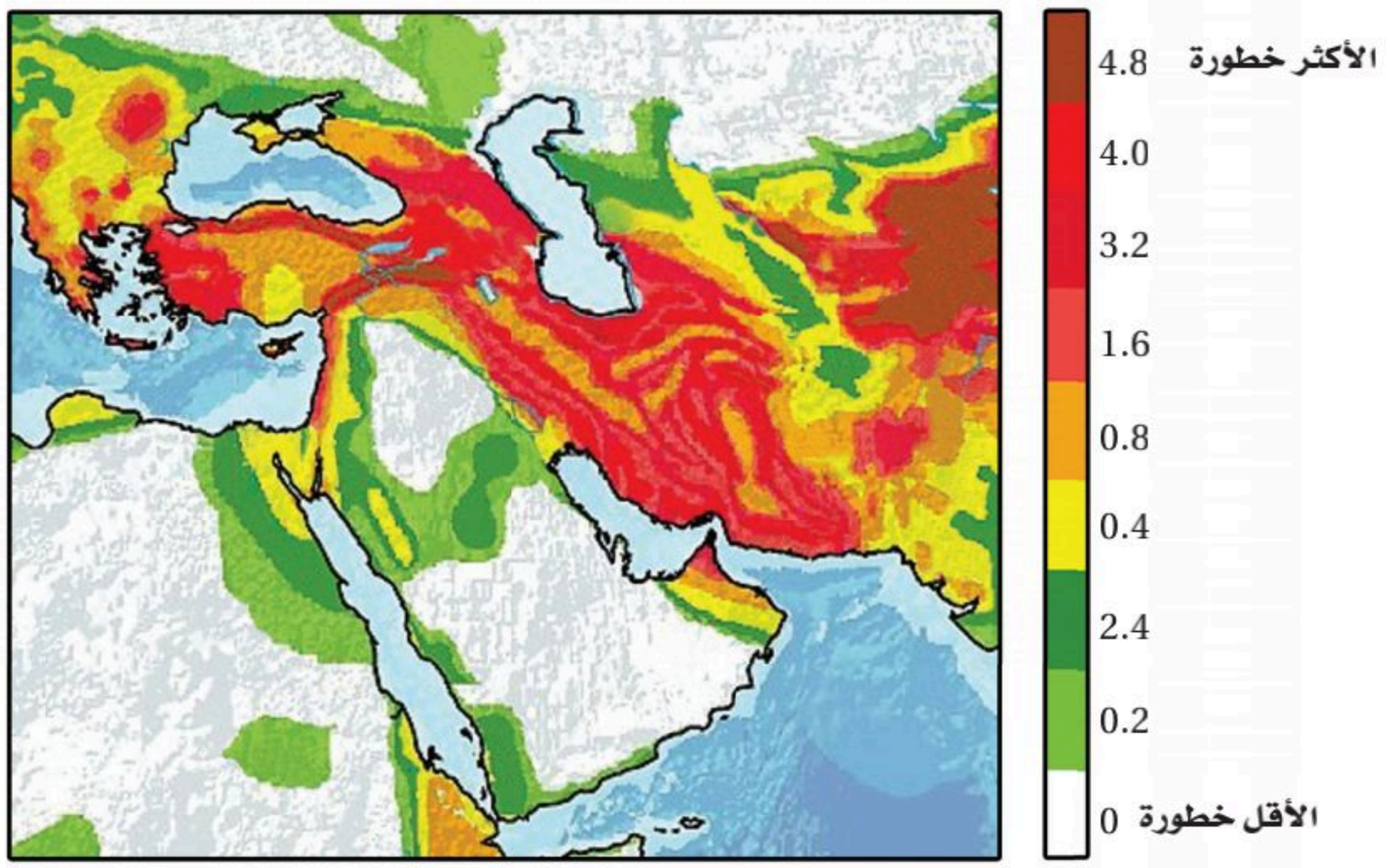
الشكل 36–6 يتكون التسونامي عندما يسبب الصدع تحت الماء إزاحة عمود الماء فوق قاع المحيط إلى أعلى.

تسونامي Tsunami نوع آخر من مخاطر الزلازل. **وتسونامي Tsunami** موجة محيطية كبيرة تتولد بفعل حركات رأسية لقاع البحر في أثناء حدوث زلزال، وتسبب هذه الحركة إزاحة المياه الواقعة فوق منطقة الصدع المسبب للزلزال إلى أعلى، فينتج عنها قمم ومنخفضات على سطح الماء، كما في **الشكل 36–6**، حيث تكون هذه الأمواج في البداية في صورة موجة طويلة 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 37–6** أثر ذلك الحدث الكارثي. ومن الآثار السلبية لتسونامي – بالإضافة إلى تدمير المباني والمنشآت – تلويث المياه السطحية كالأنهار والبحيرات وآبار المياه العذبة، كذلك قد تعمل على تقليل مستوى المياه الجوفية وجفاف الآبار.



الشكل 37–6 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.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447



الشكل 38–6 تشمل مناطق الخطر الزلزالي الكبير مناطق عدة، منها اليابان وتركيا وإيران.

حدد موقع المناطق ذات الخطر الزلزالي الأكبر على الخريطة، ثم حدد منطقتك على الخريطة 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 38–6** 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.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

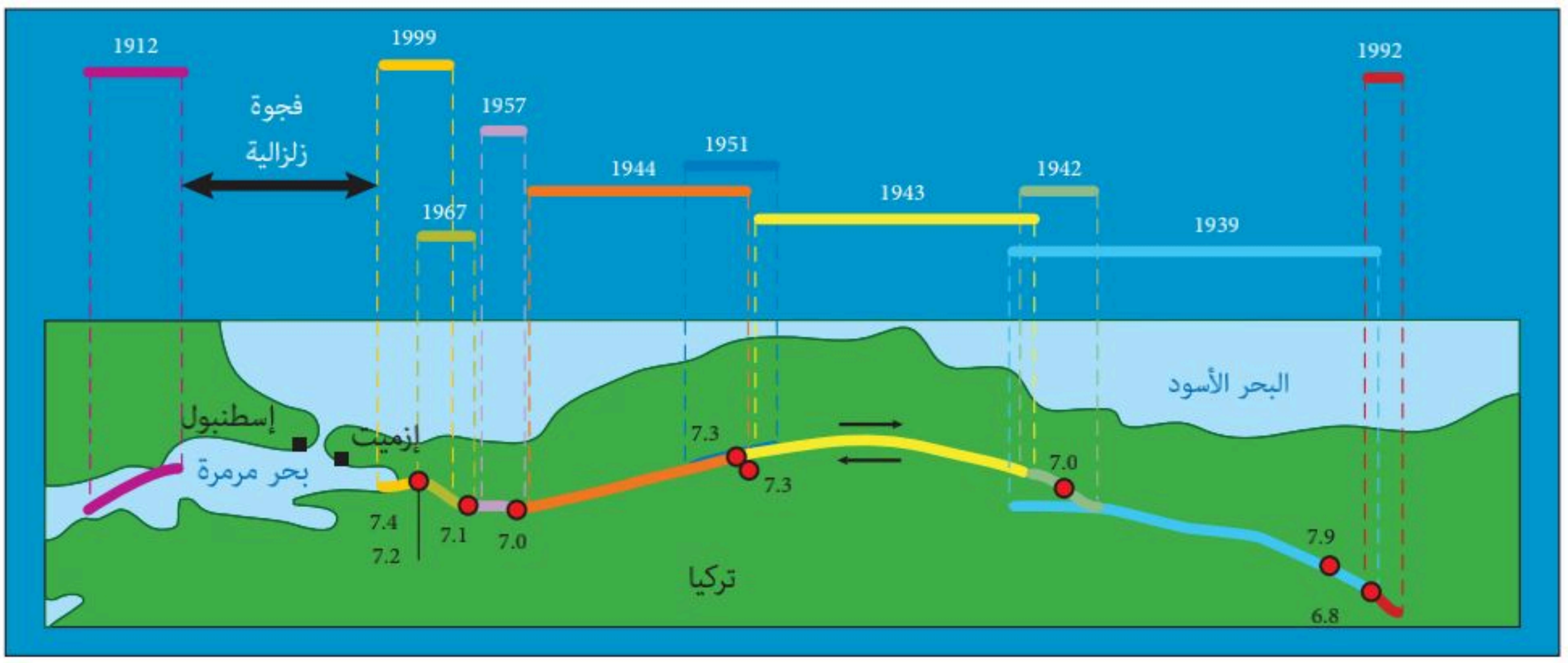


الشكل 39–6 استعملت هذه المنصة لحفر بئر بعمق 2.3 km في المنطقة. وبعد الانتهاء من حفر البئر، تم توصيلها بالأجهزة لتسجيل البيانات في أثناء الهزات الكبرى والصغرى. ويهدف هذا المشروع إلى فهم آلية حدوث الزلازل، وسبب حدوثها. وتساعد هذه المعلومات العلماء على توقع متى تحدث الزلازل.

معدلات التكرار Recurrence rate يمكن أن تشير معدلات تكرار الزلازل التي تحدث على طول الصدع إلى ما إذا كان الصدع يولد زلازل مماثلة على فترات منتظمة أم لا. فلو أخذنا على سبيل المثال معدلات تكرار الزلازل على طول صدع سان أندرياس في ولاية كاليفورنيا بالولايات المتحدة الأمريكية فسنجد أن سلسلة من الزلازل بقوة 6 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 39–6**، لقياس الزلازل في حالة وقوعها. وفي سبتمبر 2004 م، وقع زلزال قوته 6 على مقياس رختر. وقد جمعت بيانات هائلة عن هذا الزلزال قبل وبعد وقوعه، ووجد أن هذه المعلومات التي تم الحصول عليها ذات قيمة في توقع حدوث الزلازل المتكررة في المستقبل والاستعداد لها في جميع أنحاء العالم.

ماذا قرأت؟ استنتج أهمية دراسة معدلات تكرار الزلازل.

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 40–6** خريطة الفجوات الزلزالية الصدع يعبر شمال تركيا؛ حيث التاريخ الطويل للزلازل التي تقع على طول الصدع الكبير الموضح أدناه.

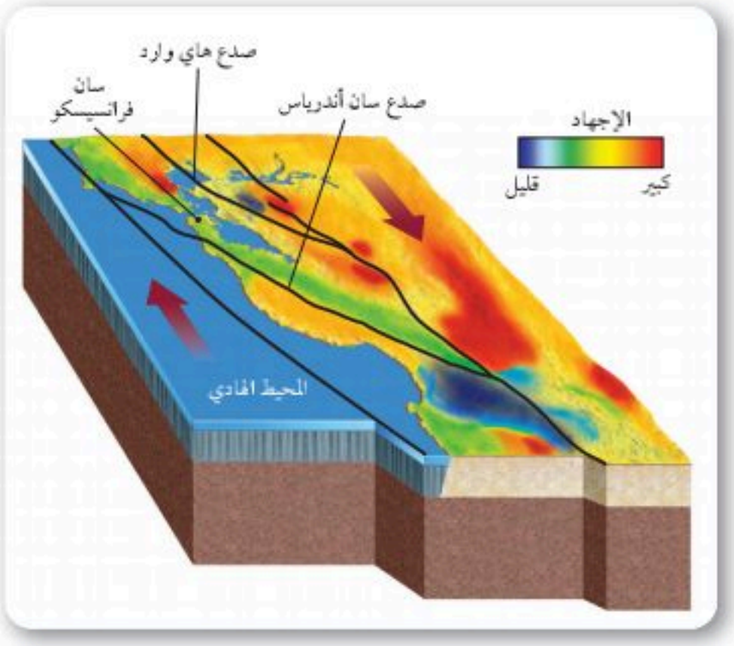


الشكل 40–6 وقع زلزالان عامي 1912م و 1999م على جانبي مدينة إسطنبول التي يبلغ عدد سكانها 18 مليون نسمة، حيث تركت الزلازل حول المدينة فجوة زلزالية تشير إلى احتمال وقوع زلزال في المنطقة.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

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 41–6**، آخذين في حسبانهم الفترة الزمنية بين زلزال وآخر لنفس الصدع.



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

وضح. لماذا يعد تراكم الجهود في المناطق مهمًّا؟

التقويم 5–6

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. **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.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

الزلازل والمجتمع

دروس من الماضي

زلزال بومرداس مايو 2003م الساعة 7:44 مساءً يوم الأربعاء. خرج سكان الجزائر العاصمة والمدن المحيطة بها – وخصوصًا ولاية بومرداس، التي تقع على بعد 50 km تقريبًا شرقي العاصمة – من منازلهم في حالة فزع شديد وقد انهارت مبانٍ عديدة على من فيها، بعد أن 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 بومرداس 2003م

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.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

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.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

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 عمومًا مع حركة الصفائح. • تتضمن عملية النشاط البركاني جميع العمليات التي تصعد فيها الصهارة والغازات إلى سطح الأرض. • توجد معظم البراكين على اليابسة ضمن حزامي البراكين 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.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

الفصل 6

دليل مراجعة الفصل

المفردات	المفاهيم الرئيسة
6–3 الأمواج الزلزالية وبنية الأرض	
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 تصور بنية الأرض الداخلية. • أنواع الأمواج الزلزالية ثلاثة: أولية وثانوية وسطحية. • مقياس الزلازل (السيزمومتر) جهاز يستقبل الأمواج الزلزالية، ويسجلها على المخطط الزلزالي (السيزموجرام). • استطاع العلماء أن يحددوا المركز السطحي للزلازل من الفرق الزمني بين زمني وصول أمواج P وأمواج S. • تتغير سرعة واتجاه كل من أمواج P وأمواج S عندما تواجه حدودًا فاصلة بين مواد مختلفة. • يمكن الحصول على صورة مفصّلة عن مكونات الأرض الداخلية من خلال تحليل الأمواج الزلزالية التي تعبرُ باطن الأرض.
6–4 قياس الزلازل وتحديد أماكنها	
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. • 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.
6–5 الزلازل والمجتمع	
تسييل التربة تسونامي فجوة زلزالية تراكم الجهد	**الفكرة الرئيسة** يمكن معرفة احتمال حدوث الزلزال من خلال دراسة تاريخ المنطقة زلزاليًا، ومعرفة أين وكيف تتراكم الإجهادات بسرعة. • يعتمد توقع حدوث الزلازل على التاريخ الزلزالي وقياسات الجهود المتراكمة في الصخور. • تسبب الزلازل الدمار من خلال توليد اهتزازات يمكنها إحداث هزات في سطح الأرض. • يمكن أن تسبب الزلازل انهيار المنشآت والانزلاقات الأرضية، وتسييل التربة والتسونامي. • الفجوات الزلزالية أجزاء من صدع نشط لم تتعرض لزلازل كبيرة منذ فترة طويلة من الزمن.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

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. يوصف الدمار الذي يسببه الزلزال باستعمال مقياس العزم الزلزالي.
4. الزلزال الذي يحدث تحت الماء ويسبّب حركة الماء إلى أعلى يؤدي إلى حدوث الأمواج الزلزالية.

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.

اختر المصطلح المناسب لكل من الجمل الآتية:

7. تجمُّع من الصهارة يقع أسفل الصفيحة، ولا يقع عند حدودها، ويتكوَّن بسبب اندفاع عمود من الصهارة في الستار في موقع ثابت ويحدث عنده البركان.
8. بركان تتدفق منه اللابة بسرعة وسهولة، ولزوجته وانحداره قليلان.
9. يسمى المقياس الذي يقيس كلًّا من كمية الطاقة المنبعثة من الزلزال وسعة الأمواج الزلزالية مقياسَ _____.
10. يحدث _____ عندما تسبب الاهتزازات الزلزالية تسييلَ المواد الأرضية تحت السطحية، وتجعلها تسلك سلوك الرمال المتحركة.
11. يُسمى نوع الأمواج الزلزالية الذي لا يمر خلال اللب الخارجي للأرض _____.

حدّد ما هو مشترك بين كل مصطلحين في الجمل الآتية:

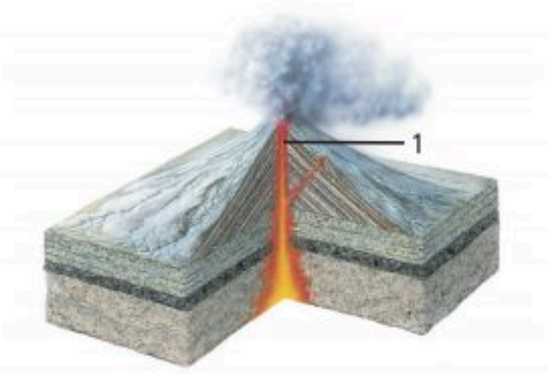
12. الرماد البركاني، الكتلة البركانية.
13. فوهة البركان المنهارة، فوهة البركان.

وضح العلاقة بين المصطلحات الآتية في كل زوج مما يأتي:

14. البؤرة، المركز السطحي للزلزال.
15. الأمواج الثانوية، الأمواج السطحية.
16. مقياس رختر، مقياس العزم الزلزالي.

تثبيت المفاهيم الرئيسة

استعمل الشكل الآتي في الإجابة عن السؤالين 17 و18.



17. ما نوع البركان في الشكل أعلاه؟

a. درعي. c. طفح بازلتي.

b. مركب. d. مخروطي.

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

a. فوهة البركان. c. فتحة البركان.

b. قناة البركان. d. حجرة الصهارة.

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

a. الجرانيت. c. التربة والرسوبيات المفككة.

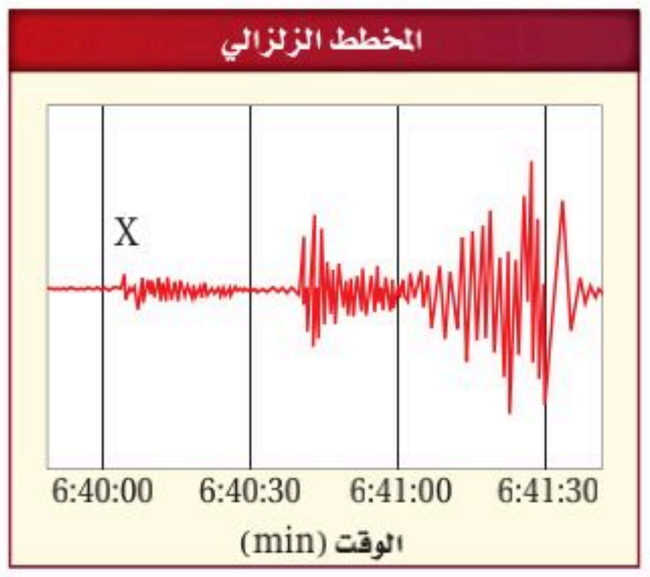
b. الصخر المتحول. d. اللابة.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

الفصل 6

تقويم الفصل

أجب عن الأسئلة 20–21 مستعينًا بالرسم أدناه.



20. ما نوع الموجة الزلزالية المشار إليها بالرمز x؟

a. أمواج p.
c. أمواج S.
b. أمواج سطحية.
d. أمواج قص.

21. ما زمن وصول الأمواج السطحية؟

a. 6:40:00
c. 6:40:33
b. 6:40:05
d. 6:41:10

22. 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.

أسئلة بنائية

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.

التفكير الناقد

25. **ارسم** المكونات الرئيسة للسيزمومتر.

26. **صمّم** منزلًا بحيث يبقى هيكله سليمًا في حالة وقوع زلزال. حدد معالمه مبيِّنا كيف ستحميه من دمار الزلزال؟

خريطة مفاهيمية

27. 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.

28. 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

29. تنبأ ماهي العوامل التي تحفز حدوث الهزات الارتدادية؟

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

اختبار مقنن

اختيار من متعدد

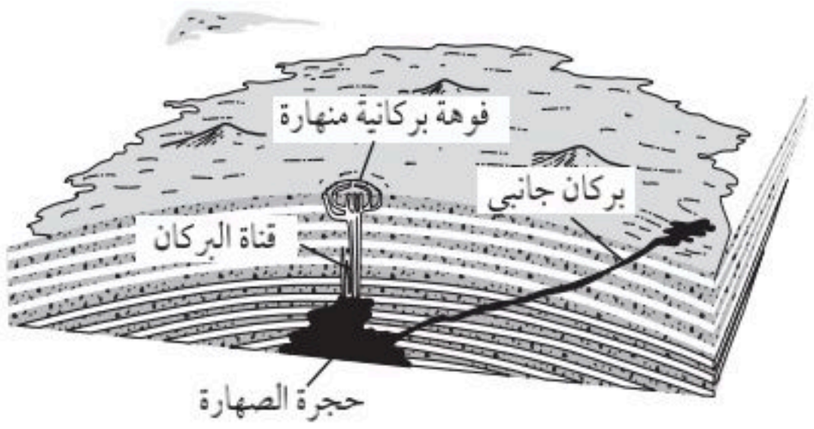
1. ما نوع البركان الذي يمثل أكبر خطر على الإنسان والبيئة؟
a. الدرعي.
b. المركب.
c. المخروطي.
d. الطفوح.

2. كيف يؤثر زيادة الضغط المحصور في درجة انصهار الصخور؟
a. تزداد درجة الانصهار.
b. تقل درجة الانصهار.
c. تثبت درجة الانصهار.
d. تزداد درجة الانصهار ثم تقل.

3. متى تتكون البراكين الدرعية؟
a. عندما تتراكم طبقات من اللابة بعضها فوق بعض خلال الثورانات البركانية غير العنيفة.
b. عندما تتعاقب طبقات صخرية صلبة ناتجة عن ثورانات بركانية عنيفة مع طبقات تكونت من ثورانات بركانية هادئة.
c. عندما تعود المواد البركانية الصغيرة الحجم المقذوفة في الهواء إلى الأرض، وتتراكم حول فوهة البركان.
d. عندما يكوّن عمود من الصهارة في الستار 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 مستوى التهديد الذي يحتمل أن يسببه تطور هذا البركان للإنسان؟
a. منخفض؛ لأنه بركان تكوّن من تراكم طبقة فوق أخرى، في أثناء ثورانات هادئة غير متفجرة.
b. منخفض؛ لأنه بركان تكوّن من تعاقب طبقات من اللابة مع طبقات من الرماد البركاني.
c. متوسط؛ لأنه بركان صغير تكوّن من ثوران جزء من الصهارة، ومن ثم تراكم هذا الجزء حول الفوهة.
d. مرتفع؛ لأنه بركان ذو ثوران متفجر.

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

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

اختبار مقنن

استعمل الجدول الآتي للإجابة عن السؤالين 8 و 9.

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

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

a. مرتين. c. 32 مرة.

b. 10 مرات. d. 1000 مرة.

9. 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.

10. أبطأ الموجات الزلزالية وصولًا إلى محطات الرصد الزلزالي:

a. الموجات الأولية. c. الموجات الثانوية.

b. الموجات السطحية. d. الموجات الجسمية.

11. 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.

12. 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.

13. ما المقياس الذي يستعمل في قياس شدة الزلازل؟

a. رختر c. مقياس ميركالي المعدل

b. مقياس العزم الزلزالي d. السيزموجرام

أسئلة الإجابات القصيرة

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

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

استعن بالخريطة الآتية للإجابة عن الأسئلة 16 – 17.



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

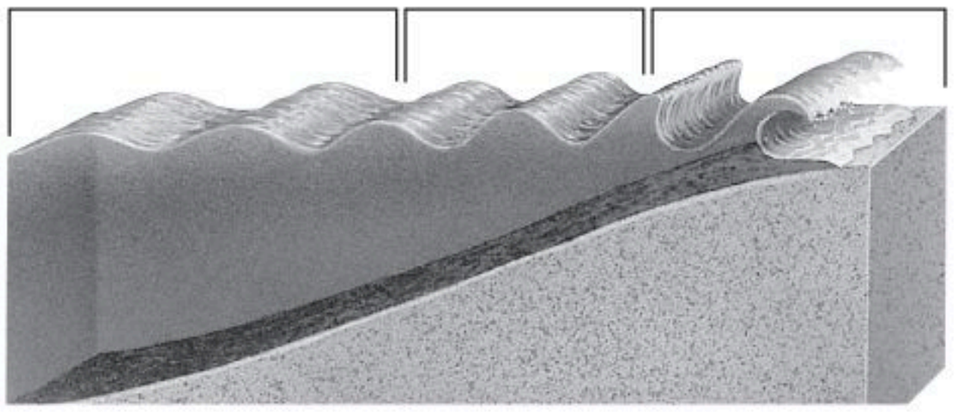
وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

اختبار مقنن

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

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

استعمل الشكل أدناه للإجابة عن السؤالين 19 و20.



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

20. 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.

21. ماذا يمكن أن نستنتج بعد قراءة النص السابق؟

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

b. لا تستطيع الحيوانات التنبؤ بالزلازل.

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

d. الحيوانات تتنبأ بالزلازل منذ قرون.

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

a. الحركة العنيفة للأسماك.

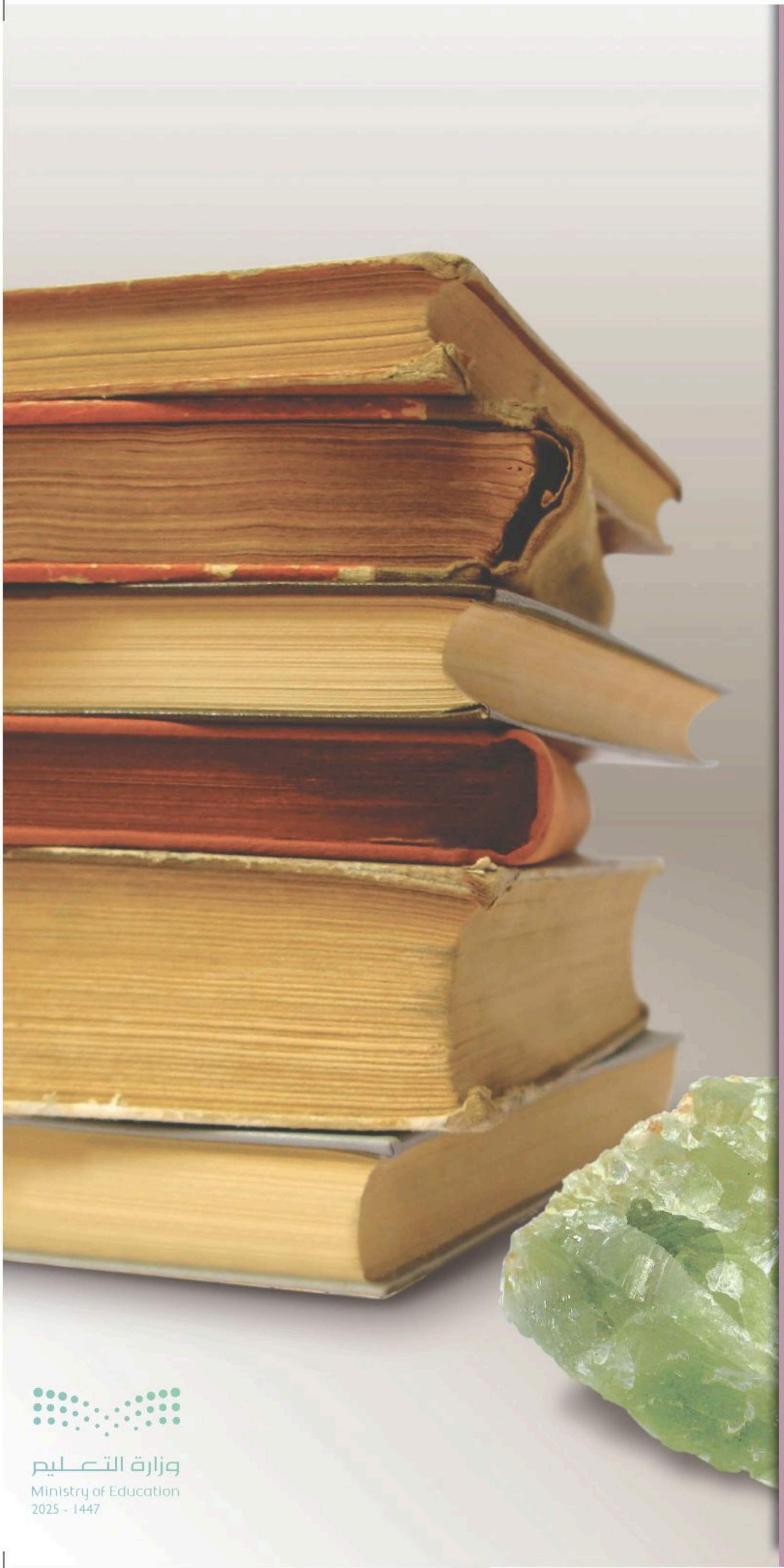
b. هجرة النحل لخلاياه.

c. وضع الدجاج للبيض.

d. هجرة الثعابين لجحورها.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

مرجع الصيدلية



وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

قائمة المحتويات

Reference Tables — الجداول المرجعية:

- Minerals with Metallic Luster — صفات المعادن ذات البريق الفلزي
- Minerals with Nonmetallic Luster — صفات المعادن ذات البريق اللاّفلزي
- Properties of Rocks — خواص الصخور
- Planetary fact sheets — صحيفة الحقائق الكوكبية

Reference Maps — الخرائط المرجعية:

- المعادن الفلزية في المملكة العربية السعودية
- Metallic Minerals in the Kingdom of Saudi Arabia
- Oceanic Ridge Map — خريطة ظهور المحيطات
- Plate Boundaries — حدود الصفائح
- Geology of the Arabian Peninsula — جيولوجية شبه الجزيرة العربية
- Seismic Station Locations — مواقع محطات الرصد الزلزالي
- Global Earthqake Epicenter Locations — مواقع المراكز السطحية للزلازل في العالم

Reference Geological Features — المعالم الجيولوجية المرجعية

- Harrats in Kingdom of Saudi Arabia — الحرات في المملكة العربية السعودية
- industrial minerals in Kingdom of Saudi Arabia — المعادن الصناعية في المملكة العربية السعودية

Glossary — المصطلحات

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.
الكروماىت 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 ممغنطًا.
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.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

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.**
الكورندم 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 الكورندم الأحمر حجر كريم (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	يستعمل في صناعة الأجهزة 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 $(Mg, Fe)_2 SiO_4$	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	يستعمل في صناعة: الزجاج، الأجهزة الإلكترونية، المذياع، الحواسيب، الساعات، 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.**

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 2mm — $\frac{1}{16}$ ، 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، وبشكل رئيس من بقايا النباتات.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

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 لمعانًا 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.

الجدول -4 صحيفة الحقائق الكوكبية

	عطارد	الزهرة	الأرض	القمر	المريخ	المشتري	زحل	اورانوس	نبتون
الكتلة (10^{24}kg)	0.330	4.87	5.97	0.073	0.642	1898	568	86.8	102
القطر (km)	4879	12,104	12,756	3475	6792	142,984	120,536	51,118	49,528
الكثافة (kg/m^3)	5429	5243	5514	3340	3934	1326	687	1270	1638
الجاذبية (m/s^2)	3.7	8.9	9.8	1.6	3.7	23.1	9.0	8.7	11.0
سرعة الإفلات (km/s)	4.3	10.4	11.2	2.4	5.0	59.5	35.5	21.3	23.5
فترة الدوران حول المحور (ساعة)	1407.6	−5832.5	23.9	655.7	24.6	9.9	10.7	−17.2	16.1
طول اليوم (ساعة)	4222.6	2802.0	24.0	708.7	24.7	9.9	10.7	17.2	16.1
المسافة من الشمس (10^6km)	57.9	108.2	149.6	*0.384	228.0	778.5	1432.0	2867.0	4515.0
الحضيض (10^6km)	46.0	107.5	147.1	*0.363	206.7	740.6	1357.6	2732.7	4471.1
الأوج (10^6km)	69.8	108.9	152.1	*0.406	249.3	816.4	1506.5	3001.4	4558.9
الفترة المدارية (Days)	88.0	224.7	365.2	*27.3	687.0	4331	10.747	30.589	59.800
السرعة المدارية (km/s)	47.4	35.0	29.8	*1.0	24.1	13.1	9.7	6.8	5.4

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

جداول مرجعية

	عطارد	الزهرة	الأرض	القمر	المريخ	المشتري	زحل	اورانوس	نبتون
الميل المداري (Degrees)	7.0	3.4	0.0	5.1	1.8	1.3	2.5	0.8	1.8
الانحراف المركزي (المداري)	0.206	0.007	0.017	0.055	0.094	0.049	0.052	0.047	0.010
ميل المحور (Degrees)	0.034	177.4	23.4	6.7	25.2	3.1	26.7	97.8	28.3
متوسط درجة الحرارة (C)	167	464	15	−20	−65	−110	−140	−195	−200
ضغط السطح (bars)	0	92	1	0	0.01	غير معروف	غير معروف	غير معروف	غير معروف
عدد الأقمار	0	0	1	0	2	95	146	28	16
هل له حلقات؟	لا	لا	لا	لا	لا	نعم	نعم	نعم	نعم
هل له مجال مغناطيسي؟	نعم	لا	نعم	لا	لا	نعم	نعم	نعم	نعم

فترة الدوران (ساعات) - هو الوقت الذي يستغرقه الكوكب لإكمال دورة واحدة بالنسبة لنجوم الخلفية الثابتة (لا علاقة لها بالشمس). تشير الأرقام السالبة إلى دوران رجعي (للخلف بالنسبة إلى الأرض).

طول اليوم (ساعات) - متوسط الوقت بالساعات لانتقال الشمس من موضع الزوال في السماء عند نقطة في خط الاستواء، والعودة إلى الموضع نفسه.

المعادن الفلزية في المملكة العربية السعودية

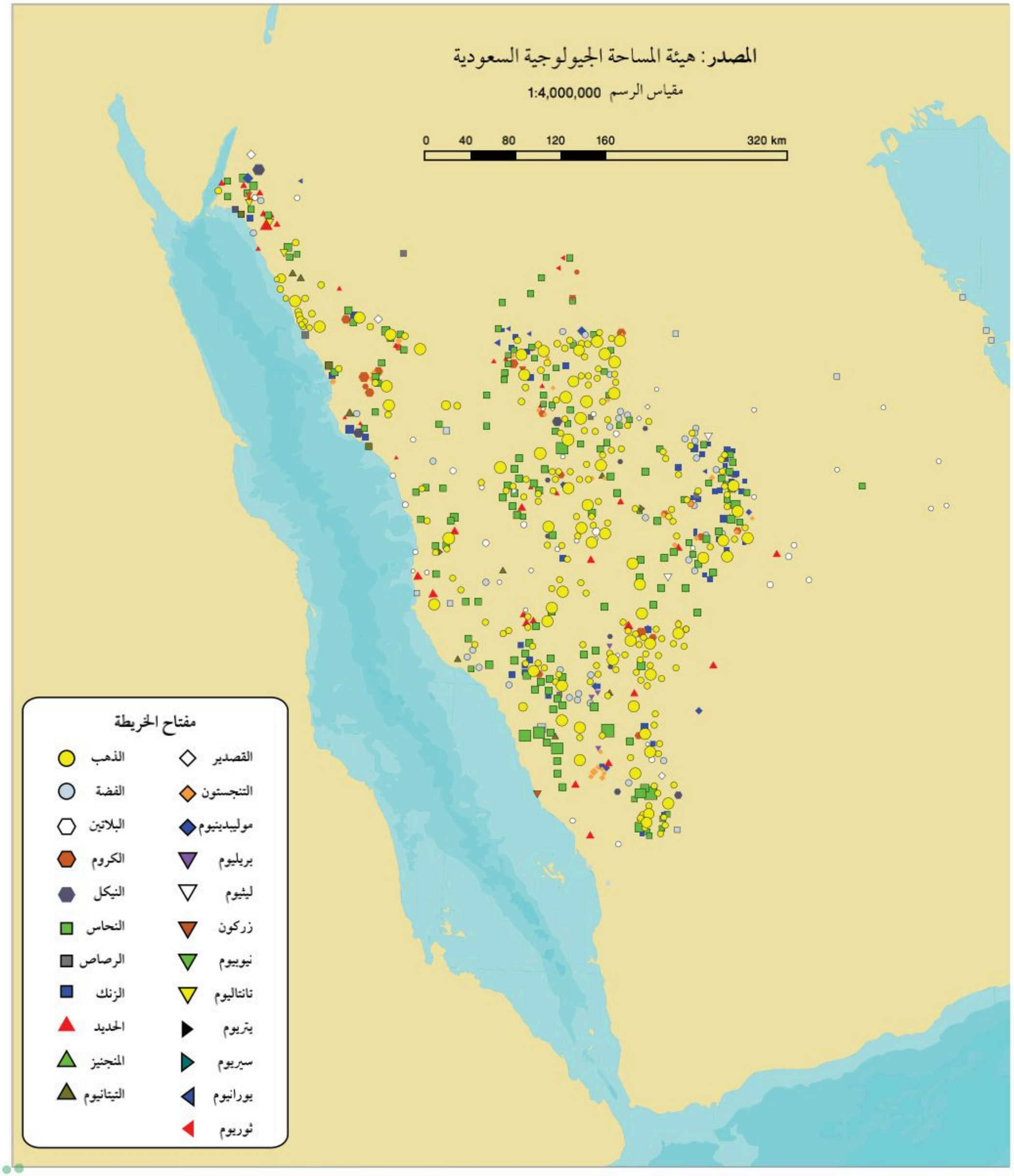
تصاحب العديدُ من المعادن الفلزية والخامات الاقتصادية أنواعًا محددة من الصخور. فالذهب مثلًا يتواجد عادةً في عروق الكوارتز المصاحبة لصخور الجرانيت أو لصخور الديورايت والجرانوديورايت، ويوجد كذلك في الصخور البركانية الغنية بالسيليكا. بينما تصاحب خامات الكوبالت والنيكل والتيتانيوم الصخورَ النارية القاعدية 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.

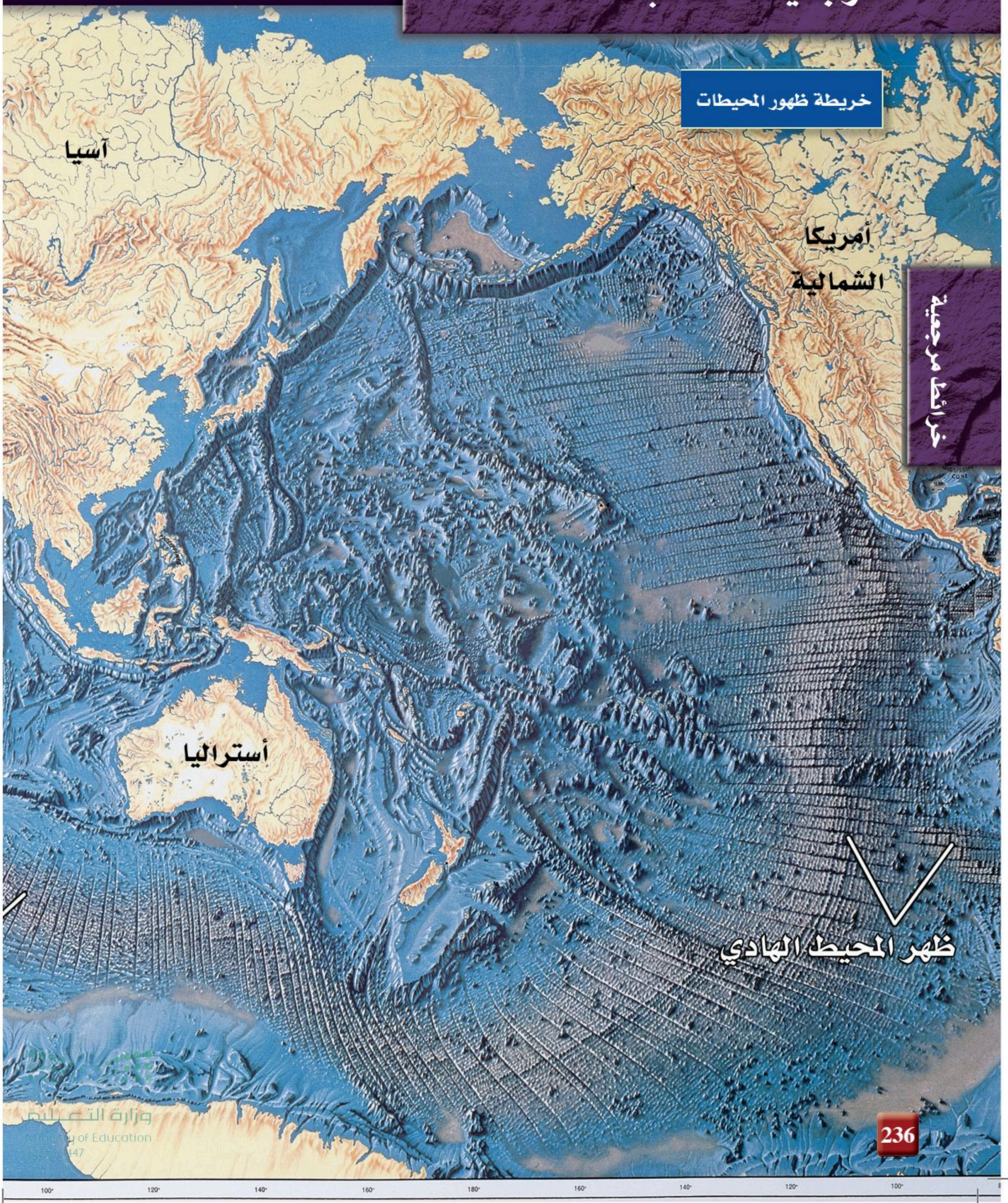
وكانت بداية التنقيب عن المعادن الاقتصادية في المملكة عام 1930م، عندما طلب المغفور له الملك عبد العزيز آل سعود من الجيولوجي الأمريكي توثيشل التنقيب عن النفط والمعادن الاقتصادية في أراضي المملكة، وقد أكد هذا الجيولوجي تواجد الذهب في منطقة الحجاز. ومن ثم بدأ التنقيب عن الذهب واستغلاله من منجم مهد الذهب 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.


خرائط مرجعية


المصدر: هيئة المساحة الجيولوجية السعودية
مقياس الرسم 1:4,000,000
0 40 80 120 160 320 km
مفتاح الخريطة
الذهب
الفضة
البلاتين
الكروم
النيكل
النحاس
الرصاص
الزنك
الحديد
المنجنيز
التيتانيوم
القصدير
التنجستون
موليبدينيوم
بريليوم
ليثيوم
زركون
نيوبيوم
تانتاليوم
يتريوم
سيريوم
يورانيوم
ثوريوم

خريطة ظهور المحيطات



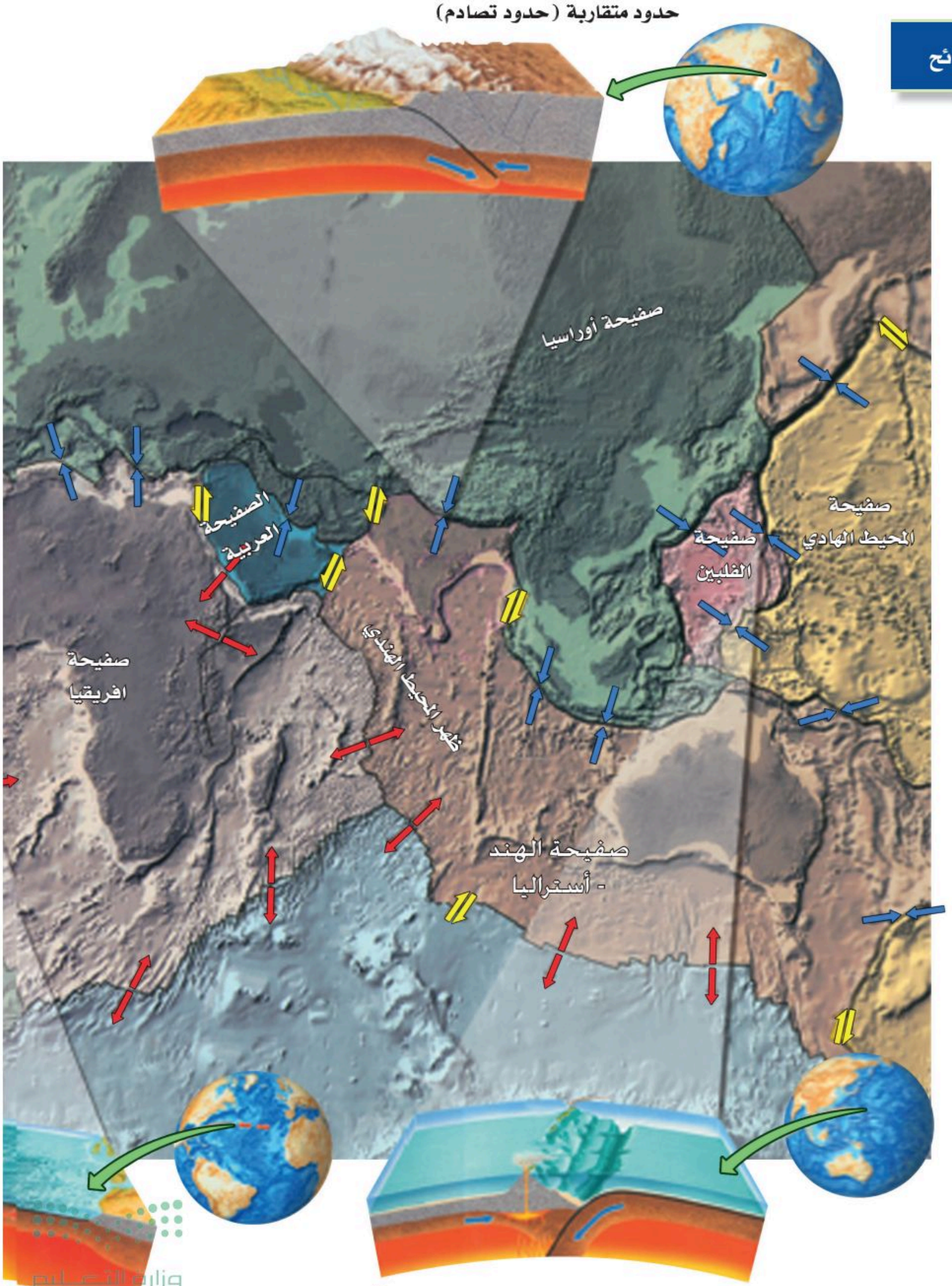
خرائط مرجعية

وزارة التعليم
Ministry of Education

خرائط مرجعية

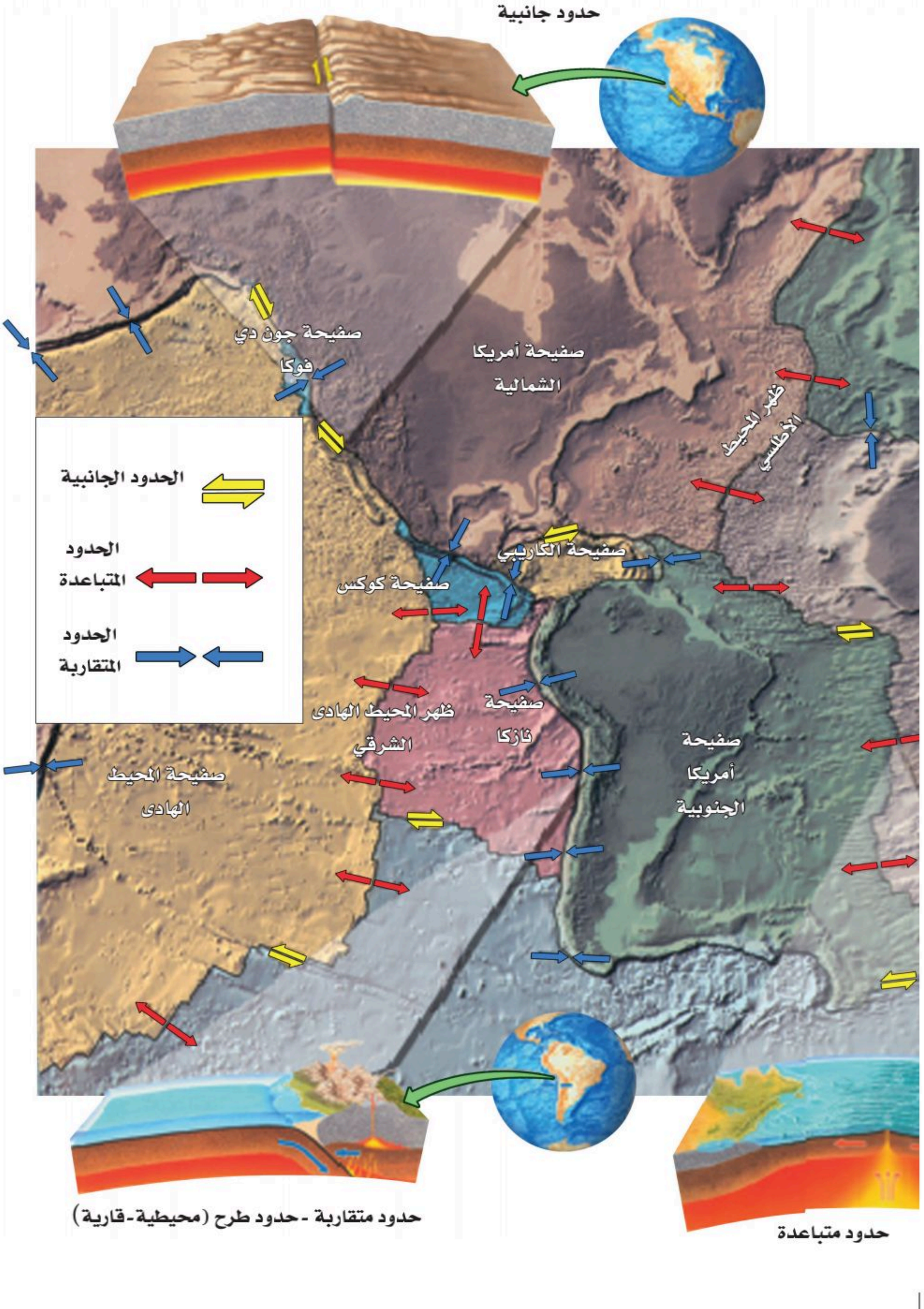


حدود الصفائح



وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

خرائط مرجعية



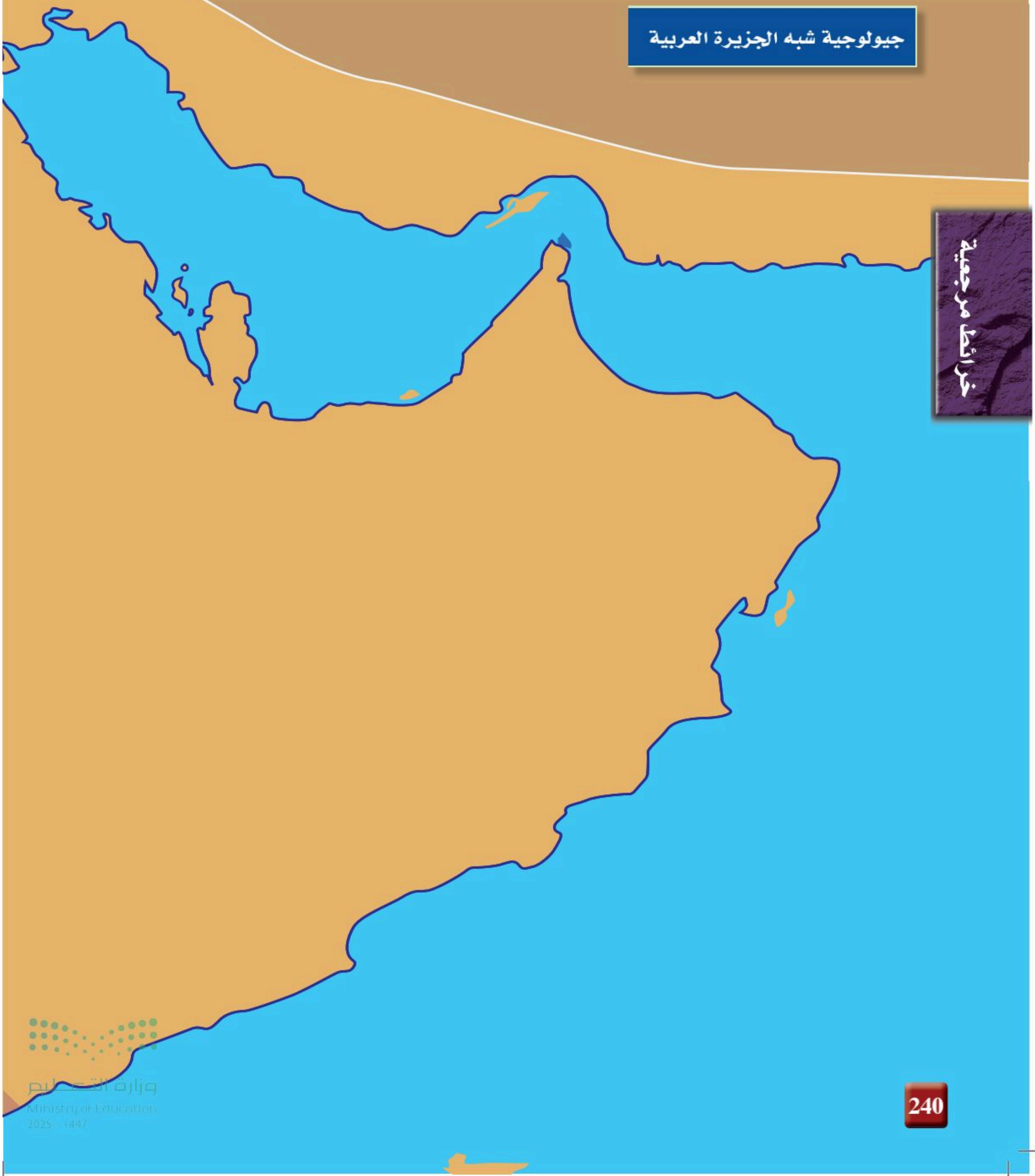
حدود متقاربة - حدود طرح (محيطية-قارية)

حدود متباعدة

مرجعيات الطالب

جيولوجية شبه الجزيرة العربية

خرائط مرجعية



وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

خرائط مرجعية

صخور بركانية (حرات)

الصفيحة الإفريقية

صخور الدرع العربي

الصفيحة العربية

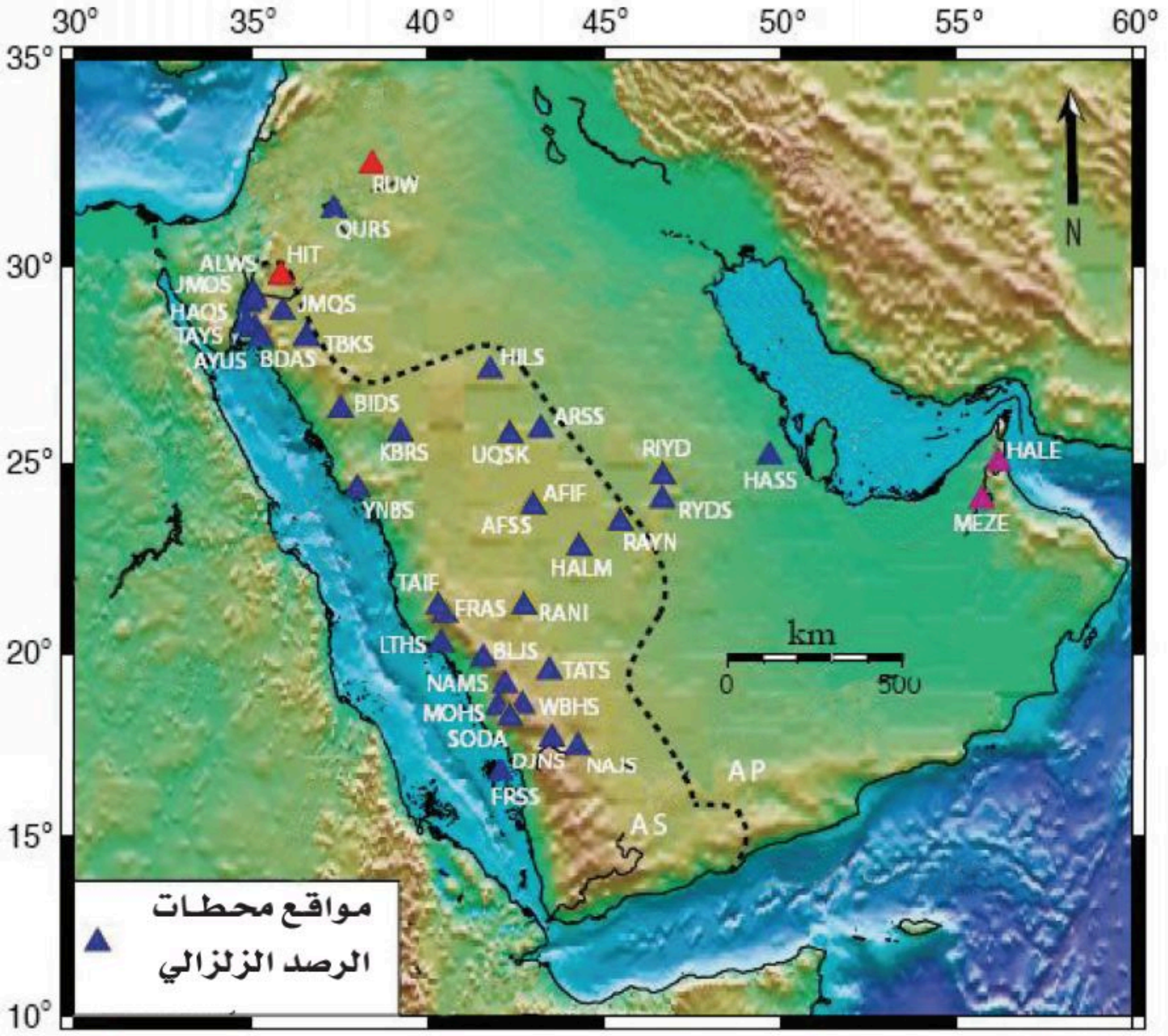
الصفيحة الأوراسية

Km 0 200

ml 0 200

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

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

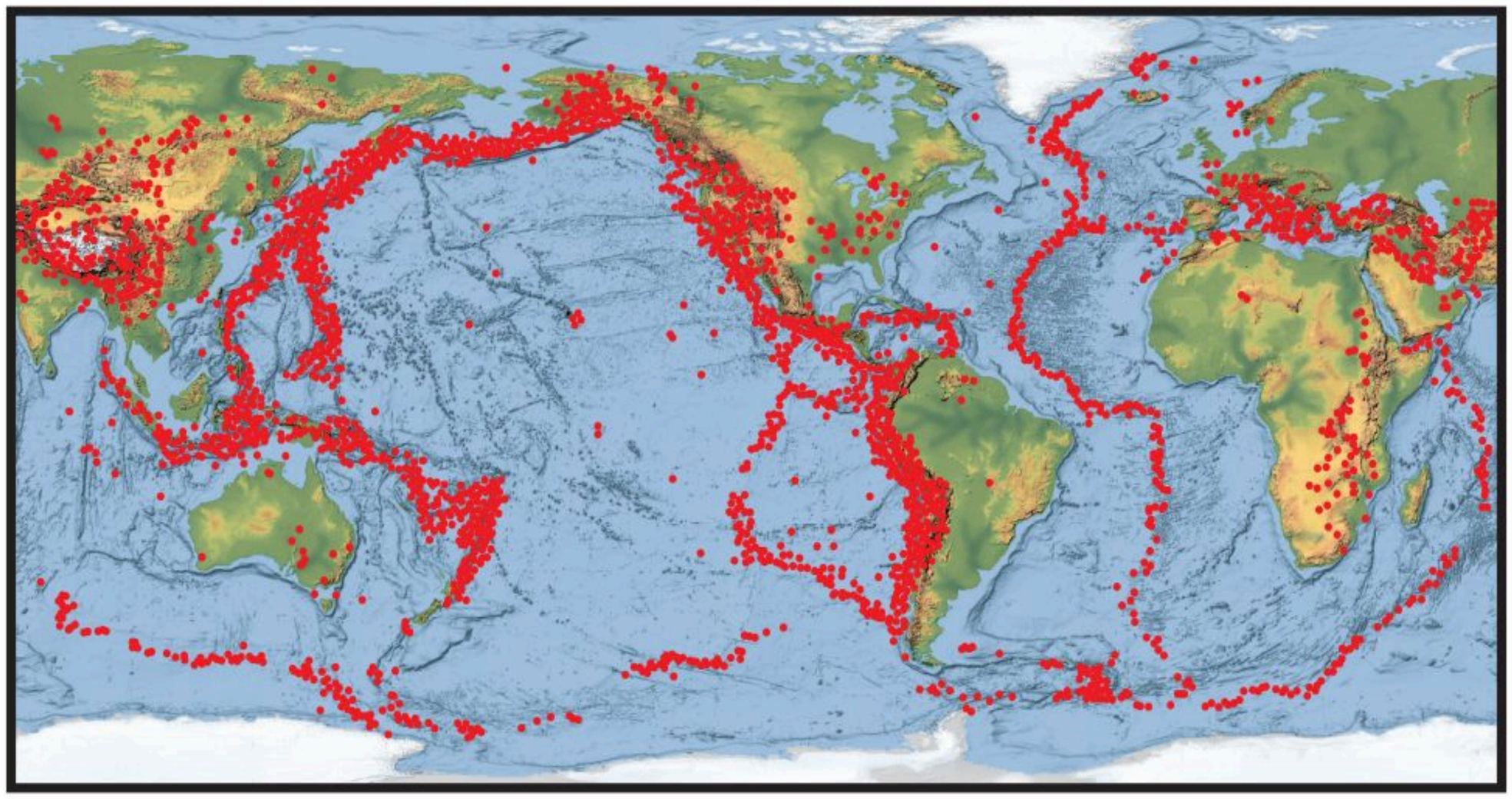
مقاس الهزات	يناير	فبراير	مارس	أبريل	مايو	يونيو	يوليو	أغسطس	سبتمبر	أكتوبر	نوفمبر	ديسمبر	المجموع
أقل من 1	426	409	415	348	499	424	442	526	457	503	361	276	5086
1-2	589	362	397	273	327	272	248	216	194	197	177	153	3405
2-3	68	44	88	38	66	23	27	27	23	23	23	27	477
3-4	2	3	11	2	5	2	2	2	0	4	2	1	36
4-5	0	0	0	0	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

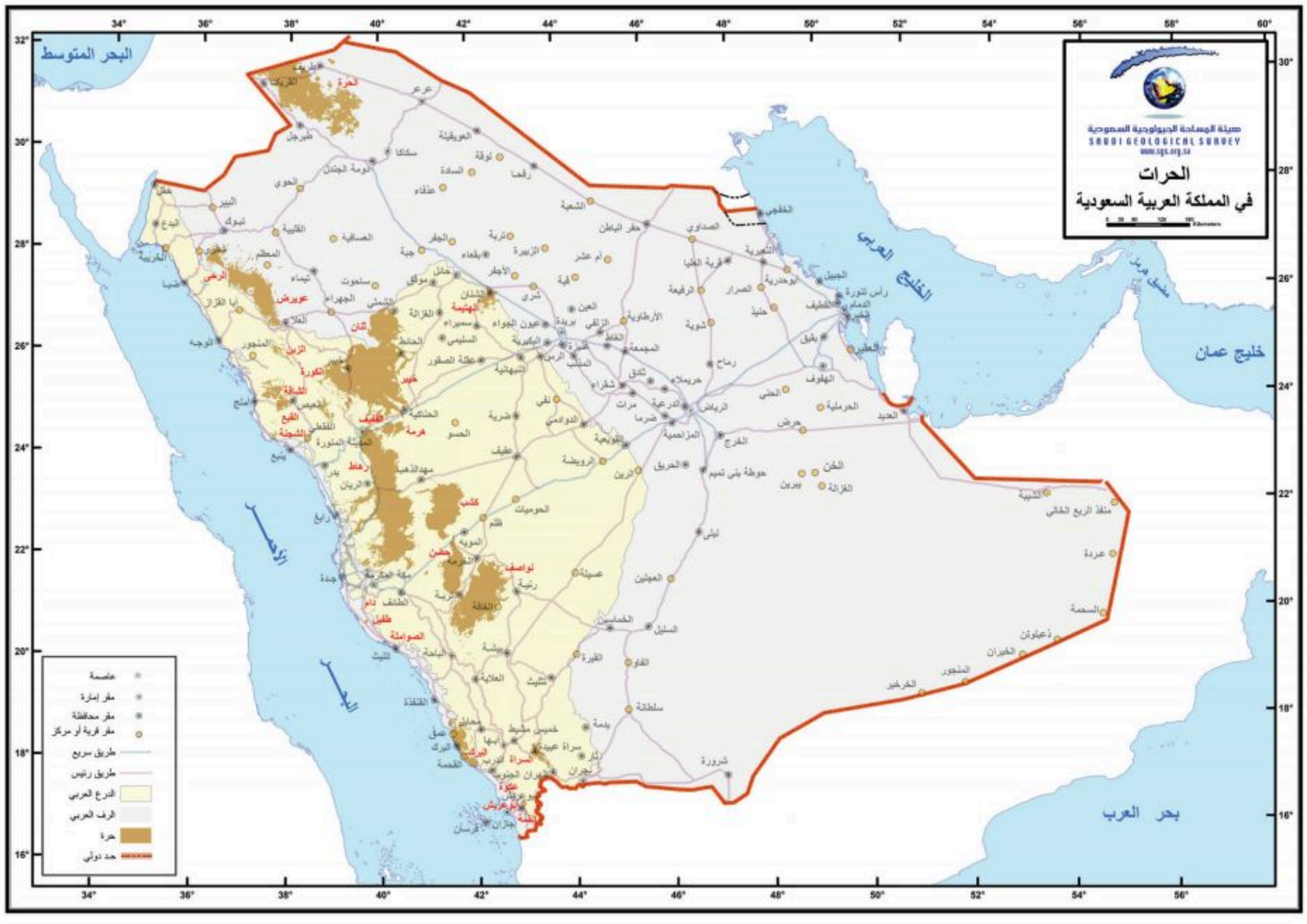
وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

خرائط مرجعية

مواقع المراكز السطحية للزلازل في العالم



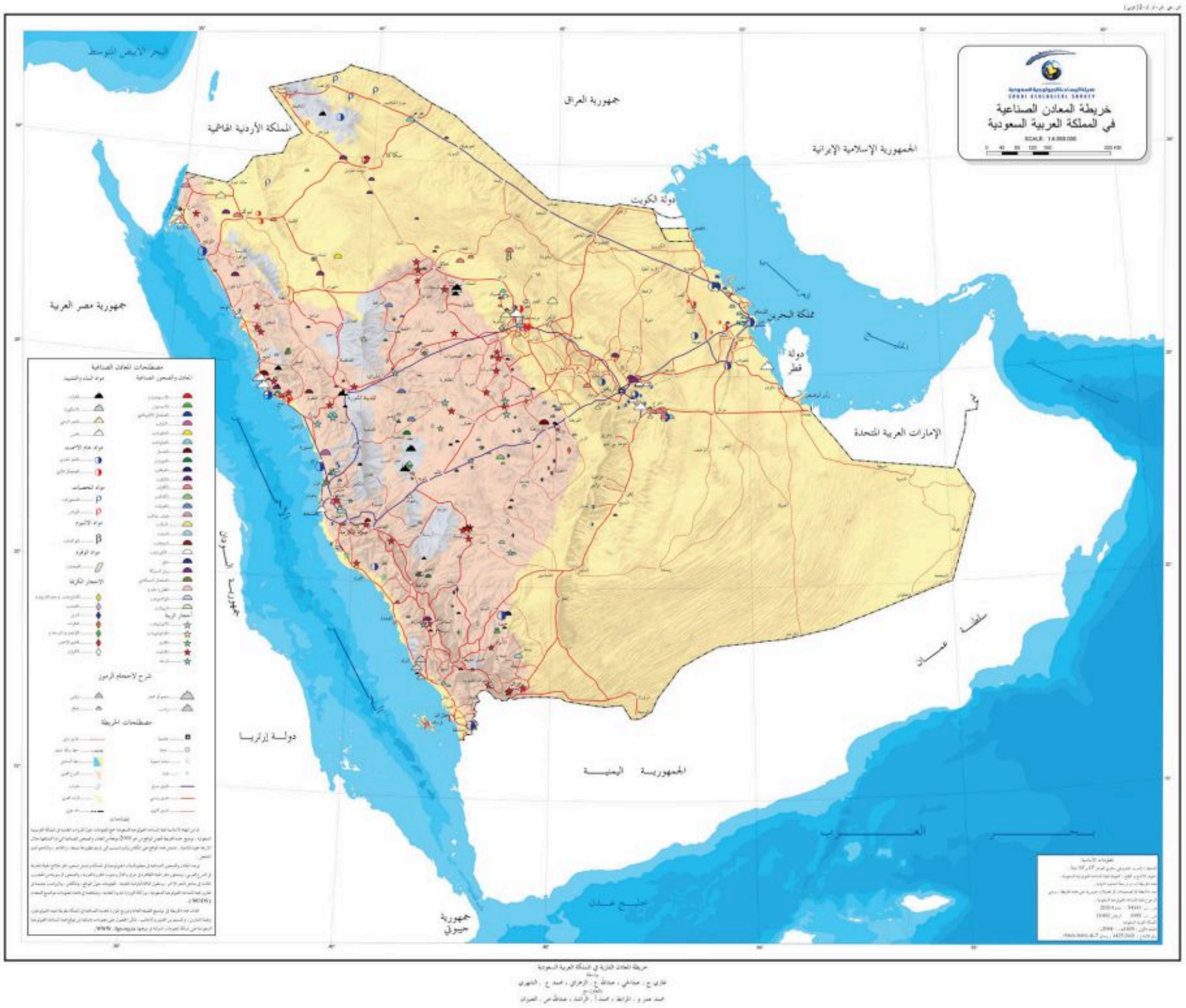
توزيع الحرّات في المملكة العربية السعودية



المعالم الجيولوجية
المرجعية

المصدر: هيئة المساحة الجيولوجية السعودية

خريطة المعادن الصناعية في المملكة العربية السعودية



مسرد المصطلحات

(أ)

الأحجار الكريمة gems: معـــادن ثمينة ونادرة وجميلة، وصلبـــة ومقاومة للخـــدش 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 ينكســر بسهولة على طول مســتوى واحد أو أكثر، حيث يكون الترابط الذري ضعيفًا.

أحزمـة الزلازل Seimic belts: مناطق على سطح الكرة الأرضية تتركز فيها الأنشـــطة الزلزالية، وتكون مصاحبة لحدود الصفائح الأرضية.

أخـدود بحري Ocean trench: انخفاض كبير شـــديد الانحـــدار في قاع المحيط، يتكون بســـبب طرح صفيحة محيطية أسفل صفيحة أخرى.

الأمـواج الأوليـة Primary waves: موجـــات أوليـــة تعمل على تضاغـــط الصخور وتخلخلها في اتجاه حركتها، ويرمز لها بالرمز (P).

الأمواج الثانوية Secondary waves: موجات زلزالية تســـبب حركة دقائق الصخور عموديًا على خط انتشار الموجة، ويرمز لها بالرمز (S).

الأمواج الجسـمية Body waves: موجات زلزالية تنتقل داخـــل الأرض، وتنقســـم إلى موجـــات أولية، وموجات ثانوية.

الأمـواج الزلزاليـة Seismic waves: اهتـــزازات ســـطح الأرض في أثناء حدوث زلزال.

الأمواج السطحية Surface waves: أبطأ الأمواج الزلزالية، تتحرك فقط على ســـطح الأرض، وتسبب حركة جسيمات سطح الأرض حركة جانبية وحركة من أعلى إلى أسفل.

الانجـراف القـاري 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.

الانقلاب المغناطيسي Magnetic reversal: تغيّر قطبية المجال المغناطيسي للأرض من مغناطيسية عادية إلى مغناطيسية مقلوبة.

(ب)

بانجيـا Pangaea: قارة قديمة كانت تضمّ جميع القارات الحالية، وبدأت في التفكك قبل 200 مليون سنة.

بـؤرة الزلـزال Focus: نقطة الكـــسر في صخور القشرة الأرضيـــة التي تنشـــأ منهـــا الأمـــواج الزلزالية الجسمية.

الـبركان الدرعـي Shield volcano: بـــركان كبـــير ذو انحدار بسيط، يتكون من تراكم طبقات من لابة بازلتية تكونت بفعل ثورانات بركانية هادئة (غير متفجرة).

الـبركان المخروطي Cinder cone: بركان صغير شديد الانحدار، تكوّن بفعل ثورانات بركانية متفجرة، حيث تراكمت المقذوفـــات البركانية حول عنق البركان.

الـبركان المركـب Composite volcano: بـــركان مخروطي الشـــكل تقريبًا ذو منحـــدرات مقعرة، يتكون من طبقات من الحطـــام البركاني تكونت بفعـــل ثورانات بركانيـــة متفجـــرة متعاقبة، مع طبقات من اللابة تكونت بفعل ثورانات بركانية هادئة.

البريـق luster: الكيفية التـــي يعكس بها المعدن الضوء

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

مسرد المصطلحات

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.

البعد الحضيضي Perihelion: أقرب مسافة فاصلة بين الشمس و الكواكب.

البعد الأوجي Aphelion: أبعد مسافة فاصلة بين الشمس و الكواكب.

(ت)

التبلور الجزئي fractional crystallization: عملية تبلور بعض المعادن في الصهير في درجات حرارة مختلفة تؤدي إلى إزالة بعض العناصر منه فتتغير مكوناته الكيميائية.

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 بالتماس Contact Metamorphism: أحد أنواع التحول، يحدث عندما تُلامس مواد مصهورة صخورًا صلبة، ويكون تأثيرها محدودًا ومحليًا.

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.

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.

التصخر lithification: عمليات فيزيائية وكيميائية تحوِّل الرسوبيات إلى صخور رسوبية.

التطبق bedding: معلم ترسيبي للصخور الرسوبية، ويعد المعلم الرئيس لها، وهو وجودها على هيئة طبقات رسوبية أفقية يتراوح سمكها بين بضعة ملمترات إلى عدة أمتار.



وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

مسرد المصطلحات

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.

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.

التوازن الهيدروستاتيكي Hydrostatic Equilibrium: هو توازن قوة الجاذبية الداخلية و قوة الضغط الخارجية للنجم.

تساوي العمر Isochron: هو خط وهمي على الخريطة يصل بين نقاط لها العمر نفسه.

(ث)

ثقب أسود Black Hole: جسم كثيف بشكل هائل وتكون جاذبيته قوية جدًا و لا يمكن للمادة أو الإشعاع الهروب منه.

(ج)

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.

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.

الحشود النجمية Star Cluster: تجمعات تحتوي على مئات الألوف من النجوم.

(خ)

الخام ore: صخور تحتوي على معادن يمكن استخلاص فلز أو أكثر منها بصورة اقتصادية بالتعدين.

(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.

(ر)

الرسوبيات sediment: قطع صغيرة من الصخور تحركت وترسبت بفعل المياه أو الرياح أو الجليديات أو الجاذبية.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

مسرد المصطلحات

(س)

سحب الصفيحة Slab pull: عمليــة تكتونية مرتبطة مع تيارات الحمل في ســتار الأرض، حيث يُسحب طرف الغلاف الصخري إلى نطــاق الطرح بفعل وزن الصفيحة الغاطسة.

سعة الموجة الزلزالية Amplitude: ارتفــاع الموجة الزلزاليــة الأكبر. و الزيــادة الواحدة على مقياس رختر تمثل زيادة في سعة الموجة قدرها 10أضعاف.

سلاسل تفاعلات باون Bowen's Reaction Series: نمط ثنائي التفرع يمثل كيفية تبلور المعادن من الصهارة بترتيب متسلسل يمكن توقعه.

السمنتة cementation: عملية ترسّب معادن ذائبة في المياه الجوفية، بين حبيبات الصخور الرسوبية، مما يســبب تلاحم الحبيبات معًا مشكِّلة صخرًا صلبًا.

السيليكات silicate: المعادن التي تحتوي الأكسجين والسيلكون مع وجود -على الأغلب- عنصر آخر أو أكثر.

السديم الكوكبي Planetary Nebula: منطقــة من الغاز والغبار الكوني تكونت من الطبقات الخارجية المقذوفة عند نقطة نهاية نجم منخفض الكتلة.

سرعة الهروب Escape Velocity: هــي السرعة اللازمة لجسم ما للدخول في مســار على شكل قطع مكافئ حول كوكب ما ثم الهروب من جاذبيته.

(ش)

الشقوق Fissures: كسور طويلة في القشرة الأرضية.

(ص)

الصخر البازلتي basaltic rock: صخر ناري غامق اللون يحوي قليلًا من الســيليكا، ويتكون في غالبيته من البلاجيوكليــز والبيروكســين،وهو مثل الجابرو، ولونه غامق.

الصخر الجرانيتي granitic rock: صخــر 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.

الصخــور الرسوبيــة الفتاتــية clastic sedimentary rocks: أكثر أنواع الصخور الرســوبية شــهرة، تتشــكّل من تصخر الرسوبيات الفتاتية المفككة، وتتراكم على سطح الأرض، وتصنّف وفقًا لأحجام حبيباتها.

الصخور الرسوبية الكيميائية Chemical sedimentary rocks: تتكون بفعل ترســب المــواد 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.



وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

مسرد المصطلحات

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.

الصخور فوق القاعدية Ultra-basic Rocks: صخور نارية تقل فيها نسبة السيليكا عن 40% ومن أشهر صخورها صخر البريدوتيت.

(ط)

الطرح Subduction: عملية غطس صفيحة أرضية تحت صفيحة أرضية أخرى.

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

الطاقة المظلمة The Dark Energy: هي قوة خفية مجهولة المنشأ تشكل 65% من محتوى الكون.

(ظ)

ظهر المحيط Ocean ridge: سلسلة جبلية تحت سطح الماء تمتد في جميع قيعان المحيطات، ويبلغ طولها 80000 km تقريبًا، وتحتوي على أحدث البراكين الخامدة.

(ع)

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

علم الفلك Astronomy: العلم المعني بدراسة الأجرام السماوية.

علم الفيزياء الفلكية Astrophysics: مجال فرعي لعلم الفلك. يستخدم قوانين الفيزياء لوصف التغير في طبيعة الأجرام السماوية وأنشطتها المختلفة في جميع أطوال الطيف الكهرومغناطيسي.

علم الكون Cosmology: العلم المعني بدراسة نشأة الكون وتطوره.

علوم الفضاء Space science: العلم المعني باستكشاف الفضاء والمهمات الفضائية.

عمر الكون The Age of the universe: هو الزمن المنقض منذ وقوع الانفجار العظيم.

العمالقة الحمراء Red Giant: نجوم ذات حجم هائل بقطر أكبر من الشمس ب 15–45 مرة.

(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.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

مسرد المصطلحات

(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.

قزم أبيض White Dwarf: مجموعة من النجوم ذات درجات حرارة شديدة ولمعان منخفض وحجم صغير جدًا بقطر يتراوح من عدة آلاف إلى 10 آلاف كيلومتر.

قزم أسود Black Dwarf: جرم على شكل رماد بارد داكن من الكربون ناتج عن نهاية عمر القزم الأبيض.

قانون كبلر الأول Kepler's First Law: ينص قانون كبلر الأول على أن الكواكب تدور حول الشمس في مدارات على شكل قطع ناقص، وتقع الشمس في إحدى بؤرتيه.

قانون كبلر الثاني Kepler's Second Law: ينص قانون كبلر الثاني على أن الخط الوهمي الواصل بين الكوكب والشمس يرسم مساحات متساوية في الفضاء في أزمنة متساوية.

قانون كبلر الثالث Kepler's Third Law: ينص قانون كبلر الثالث على أن مربع مدة دورة الكوكب حول الشمس تتناسب مع مكعب نصف طول المحور الأكبر لمداره.

القمر الصناعي Satellites: مركبات صممت لتدور في مدارات حول الجرم السماوي ولها عدة وظائف بحسب مداراتها .

(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)

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.

المعدن mineral: مادة طبيعية صلبة غير عضوية، 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.



وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

مسرد المصطلحات

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

مقياس الزلزال Seismometer: جهاز حساس يتم الكشف به عن الاهتـزازات الناجمة عن الأمواج الزلزالية.

مقياس العزم الزلزالي Moment magnitude scale: مقيـاس لقياس قوة الزلـزال، اعتمادًا على حجم الكسر في الصدع، وصلابـة 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.

مستعر أعظم Supernova: أحد المراحل النهائية للنجوم ذات الكتل العالية، وهو انفجار النجم بمشـهد عظيم قاذفًا جميع عناصره إلى الفضاء.

المجرة Galaxy : مجموعات هائلـة من النجوم والغاز والغبار المرتبطة ببعضها بفعل الجاذبية.

المركبات الفضائية Spacecraft : هـي أنظمة مصممة ومبنية للعمل في الفضاء تختلف أنواعها باختلاف مهامها.

محطة الفضاء Space Station : مركبة مصممة من عدة وحدات معملية و معيشية يتناوب على العمل فيها رواد فضاء لعدة أشهر، وتدور حول الأرض في المدار الأرضي المنخفض.

مركبة الفضاء المأهولة Manned Space Vehicles: مركبات فضاء يقودها رواد فضاء، ويقومون بعدة تجارب عبر معامل صممت لعدة أغراض، وعند اكتمال مهمتهم يعـودون إلى الأرض عن طريق نفس المركبة .

مركبة الفضاء غير المأهولة Unmanned Space Vehicle: مركبات استطلاع تقترب من الجرم سواء كان كوكبًا، أو قمرًا، أو كويكبًا.

مادة لاحمة Cementingmateril: مـادة معدنيـة (لاحمة) تتواجد بين حبيبات الصخور الرسوبية فتسـاعد على التحامها مع بعضها البعض، مثل السيليكون أو الكالسيت أو أكسيد الحديد.

(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 نفسـه أو من معادن مختلفة.

النسيج الفقاعي vesicular texture: المظهر الإسفنجي للصخر؛ وينتج عن خروج الغازات من اللابة.

النشاط البركاني Volcanism: جميع العمليات المرتبطة مع تفريـغ الصهارة والماء السـاخن والبخار من باطن الأرض.

نظريـة الانفجار العظيم The Big Bang Theory: فـي لحظة معينة منـذ ما يقارب مـن أربعة عشر مليار سـنة كانت المادة والطاقـة الموجودة مركزة في منطقة حجمها متناهٍ فـي الصغر وجميع قوى الطبيعة متحدة.

وزارة التعليم
Ministry of Education
2025 - 1447

النجم The Star: جرم غازي متألق تتولد الطاقة في باطنه بواسطة تفاعلات الاندماج النووي.

النجوم المزدوجة Binary Stars: نجمان مرتبطان جاذبيًا، يدوران حول بعضهما.

النجوم النيترونية Neutron Stars: نجوم كثيفة جدًا يبلغ قطرها المتبقي حوالي 16 كيلومتر فقط، وتدور بسرعة 20–50 مرة في الثانية حول نفسها.

(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.

الوسط بين النجوم interstellar medium: مناطق بين النجوم تتكون من الغاز والغبار بكثافة مختلفة.

(هـ)

الهرم الرباعي الأوجه (هرم السيليكا) tetrahedron: جسم هندسي صلب محاط بأربعة أوجه من مثلثات متساوية الأضلاع على شكل هرم.

