وزارة التربيـــة والتعليـــم والتعليـــم العالـــي
Ministry of Education and Higher Education
State of Qatar • دولـــة قطـــر

علوم الأرض والبيئة

كتاب الطالب

المستوى الثاني عشر

EARTH AND ENVIRONMENTAL SCIENCE

STUDENT BOOK

GRADE 12

الفصل الدراسي الأول
FIRST SEMESTER

طبعة 1445 - 2023

وزارة التربيـــة والتعليـــم والتعليـــم العالـــي
Ministry of Education and Higher Education
State of Qatar • دولـــة قطـــر

© وزارة التربية والتعليم والتعليم العالي في دولة قطر

يخضع هذا الكتاب لقانون حقوق الطباعة والنشر، ويخضع للاستثناء التشريعي المسموح به قانونًا ولأحكام التراخيص ذات الصلة.

لا يجوز نسخ أي جزء من هذا الكتاب من دون الحصول على الإذن المكتوب من وزارة التربية والتعليم والتعليم العالي في دولة قطر.

تمّ إعداد الكتاب بالتّعاون مع شركة تكنولاب.

التأليف: فريق من الخبراء بقيادة الدكتور توم سو وبالتّعاون مع شركة باسكو العلميّة.

التّرجمة: مطبعة جامعة كامبريدج.

النشيد الوطني

قَسَـمًا بِمَـنْ رَفَـعَ السَّـمَاءْ قَسَـمًا بِمَـنْ نَشَـرَ الضِّـيَاءْ
قَطَـرٌ سَتَبْـقَى حُـرَّةً تَسْمُـو بِـرُوحِ الأَوْفِـيَـاءْ
سِـيرُوا عَـلَى نَـهْـجِ الأُلَـى وَعَـلَى ضِيَـاءِ الأَنْبِـيَاءْ
قَطَـرٌ بِقَـلْـبِي سِـيرَةٌ عِـزٌّ وَأَمْجَـادُ الإِبَـاءْ
قَطَـرُ الرِّجَـالِ الأَوَّلِـين حُمَـاتُنَـا يَـوْمَ النِّـدَاءْ
وَحَمَـائِـمٌ يَـوْمَ السَّـلاَمْ جَـوَارِحٌ يَـوْمَ الفِـدَاءْ

وزارة التربيـــة والتعليـــم والتعليـــم العالـــي
Ministry of Education and Higher Education
State of Qatar • دولـــة قطـــر

المراجعة والتّدقيق العلميّ والتّربويّ

إدارة المناهج الدّراسيّة ومصادر التّعلّم

خبرات تربويّة وأكاديميّة من المدارس

الإشراف العلميّ والتربويّ

إدارة المناهج الدّراسيّة ومصادر التّعلّم

علوم الأرض والبيئة

المقدّمة

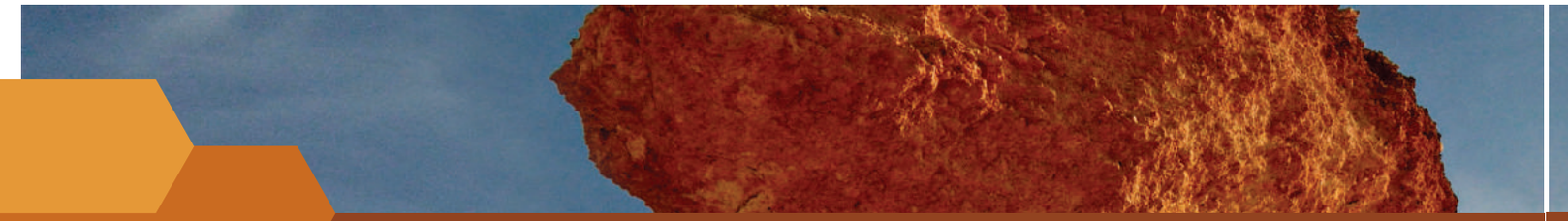
يعدّ كتاب الطّالب مصدرًا مثيرًا لاهتمام الطلّاب من ضمن سلسلة كتب العلوم لدولة قطر، فهو يستهدف جميع المعارف والمهارات الّتي يحتاجون إليها للنّجاح في تنمية المهارات الحياتيّة وبعض المهارات في الموادّ الأخرى.

وبما أنّنا نهدف إلى أن يكون طلّابنا مميّزين، نودّ منهم أن يتّسموا بما يأتي:

- البراعة في العمل ضمن فريق.
- امتلاك الفضول العلميّ عن العالم من حولهم، والقدرة على البحث عن المعلومات وتوثيق مصادرها.
- القدرة على التّفكير بشكلٍ ناقدٍ وبنّاء.
- الثّقة بقدرتهم على اتّباع طريقة الاستقصاء العلميّ، عبر جمع البيانات وتحليلها، وكتابة التّقارير، وإنتاج الرّسوم البيانيّة، واستخلاص الاستنتاجات، ومناقشة مراجعات الزّملاء.
- الوضوح في تواصلهم مع الآخرين لعرض نتائجهم وأفكارهم.
- التّمرّس في التّفكير الإبداعيّ.
- التّمسّك باحترام المبادئ الأخلاقيّة والقيم الإنسانيّة.

يتجسّد في المنهج الجديد العديد من التّوجّهات مثل:

- تطوير المنهج لجميع المستويات الدّراسيّة بطريقة متكاملة، وذلك لتشكيل مجموعة شاملة من المفاهيم العلميّة الّتي تتوافق مع أعمار الطّلاب، والّتي تسهم في إظهار تقدّمهم بوضوح.
- مواءمة محتوى المصادر الدّراسيّة لتتوافق مع الإطار العامّ للمنهج الوطنيّ القطريّ بغية ضمان حصول الطّلّاب على المعارف والمهارات العلميّة وتطوير المواقف (وهو يُعرف بالكفايات) ممّا يجعل أداء الطّلاب يصل إلى الحدّ الأقصى.
- الانطلاق من نقطة محوريّة جديدة قوامها مهارات الاستقصاء العلميّ، ما أسّس للتّنوّع في الأنشطة والمشاريع في كتاب الطّالب.
- توزّع المعرفة والأفكار العلميّة المخصّصة لكلّ عام دراسيٍّ ضمن وحدات بطريقة متسلسلة مصمّمة لتحقيق التّنوّع والتّطوّر.



- تعدّد الدّروس في كلّ وحدة، بحيث يعالج كلّ درس موضوعًا جديدًا، منطلقًا ممّا تمّ اكتسابه في الدّروس السّابقة.
- إتاحة الفرصة للطّلّاب، في كلِّ درسٍ، للتّحقّق الذّاتيّ من معارفهم ولممارسة قدرتهم على حلّ المشكلات.
- احتواء كلّ وحدة على تقويم للدّرس وتقويم الوحدة الّتي تمكِّن الطّلّاب والأهل والمدرّسين من تتبّع التّعلّم والأداء.

العلوم مجموعة من المعارف الّتي تشمل الحقائق والأشكال والنّظريّات والأفكار. ولكنَّ العالِم الجيّد يفهم أنّ «طريقة العمل» في العلوم أكثر أهمّيّة من المعرفة الّتي تحتويها.

سوف يساعد هذا الكتاب الطُّلّاب على تقدير جميع هذه الأبعاد واعتمادها ليصبحوا علماء ناجحين وليواجهوا مجموعة واسعة من التّحدّيات في حياتهم المهنيّة المستقبليّة.

مفتاح كفايات الإطار العام للمنهج التّعليمي الوطني لدولة قطر

- الاستقصاء والبحث
- التّعاون والمشاركة
- التّواصل
- التّفكير الإبداعيّ والناقد
- حلّ المشكلات
- الكفاية العددية
- الكفاية اللغويّة

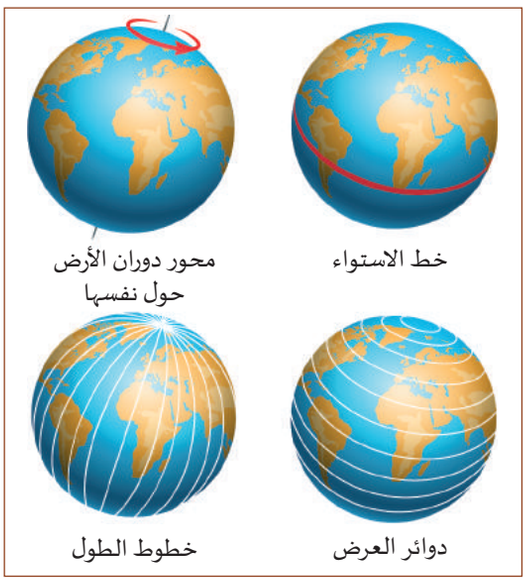
علوم الأرض والبيئة

ماذا ستتعلّم من هذا الكتاب

الصّفّ 12

الفصل الدراسي 1

تُشكّل الخرائط جزءًا مهمًّا من فهم الأنسان لكوكبنا، وهي موضوع الوحدة الأولى. كانت الخرائط الورقية قبل نظام تحديد المواقع العالمي (GPS)، شائعة الاستخدام إلى حدّ بعيد. لكنّنا اليوم نشهد الاستخدام الأوسع للخرائط الإلكترونية. وإذا أردنا تحديد موقع ما على سطح الأرض الكروي نستخدم دوائر العرض وخطوط الطول. فمدينة الدوحة مثلًا تقع على دائرة العرض°25.29 شمالًا وخط الطول°51.53 شرقًا. وخلال دوران الأرض حول نفسها يتطابق كل 15° من خطوط الطول مع ساعة واحدة من فرق الوقت المحلّي. ومن الجدير بالذكر أنّ الخرائط المسطّحة تُظهِر المسافة، بينما تُظهر الخرائط الطبوغرافية الارتفاع. يتمثّل شكل التضاريس بخطوط الارتفاع الثابتة.

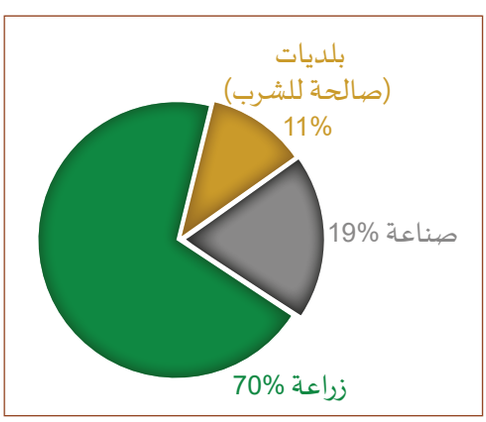


تُحدّد المواقع بواسطة دوائر العرض وخطوط الطول.

تبحث الوحدة الثانية في تاريخ كوكب الأرض الطويل الذي تكونّ منذ 4.5 مليارات سنة. حيث يُطلق على الأربعة مليارات سنة الأولى من مقياس الزمن الجيولوجي اسم ما قبل الكمبري. يتزامن دهر الحياة الظاهرة الذي بدأ منذ 540 مليون سنة، مع أوائل الأحافير. وقد تمّ تحديد الحقبات الجيولوجية بالأحداث الكبرى التي ظهرت في سجلّ الأحافير والصخور كالانقراضات الجماعية. وتُسهم دراسة السجلّ المُدوّن في طبقات الصخور في فهمنا لتاريخ الأرض الطويل.

تتحدّد حقبات تاريخ الأرض بظهور الأنواع واختفائها المُدوّنَين في السجلّ الأحفوري.

يدور موضوع الوحدة الأخيرة من الفصل الدراسي الأوّل حول المياه، التي تُعد ضرورية لكل أشكال الحياة. تشكّل مياه المحيطات المالحة 97.5% من المياه على سطح الأرض. وتتضمّن 2.5% المتبقية المياه العذبة المتوفّرة في الجليد والمياه الجوفية والأنهار والبُحيرات. تتحرّك المياه باستمرار في دورة الماء من خلال عمليات كالهطول والجريان السطحي. ويستخدم الكثير من الناس المياه الجوفية التي تُعتبر مصدرًا قيّمًا لكنّه محدود، يُستخرج من خزّانات المياه الجوفيّة.

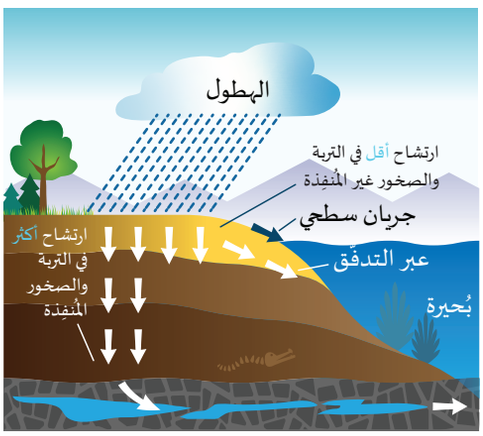


تستهلك الزراعة معظم المياه العذبة التي يستخدمها البشر.

بعض أقسام هذا الكتاب

الرّسوم التّوضيحيّة

مفاهيم مهمّة وبيانات وأمثلة على كلّ فكرة جديدة معروضة من خلال الإيضاحات المُفصَّلة والشروحات.



أسئلة للمناقشة

كيف تستمرّ الأنهار في التدفّق لفترة طويلة بعد توقّف الأمطار؟

أسئلة المناقشة تزوّد طلّاب الصفّ بفرصة مناقشة المفاهيم والمعلومات.

شريط الأفكار المهمّة

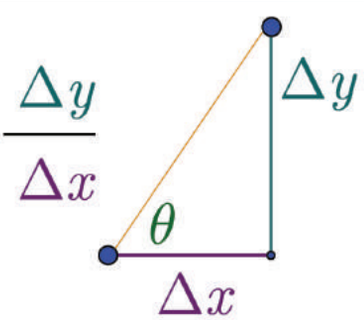
الأنهار والبُحيرات هما المصدر الرئيس للمياه العذبة.

تحديد النقاط الرئيسة وتذكُّرها.

العلاقات والمعادلات

تقديم العلاقات والمعادلات من خلال المُتغيّرات وتحديد قياسها بشكل واضح.

$$\text{الانحدار} = \frac{\Delta y}{\Delta x}$$



العلم والعلماء

تمّ تطوير معارفنا العلميّة على مدى أكثر من ثلاثة آلاف عام. تُطلعنا هذه المقالات على إلهام الإنسان وتبصُّرِه في التعامُل مع العلم والتكنولوجيا.

الوحدة 1: التضاريس ورسم خرائط الأرض

ضوء على العلماء

محمد الإدريسي: (1100-1165)

الشكل 1-46 محمد الإدريسي.

محمد بن محمد بن عبد الله بن إدريس الإدْريسي الحسني الطالبي (**الشكل 1-46**): لُقّب بأبي عبد الله، وعاش ما بين (1100م و1165م). وهو واحدٌ من الأدارسة أي: عاش في نهاية عصر الأدارسة. ويُعدّ الشريف الإدريسي واحدًا من أهم أدارسة المغرب الأقصى. قضى الإدريسي حياته ما بين الرحلات الجغرافية وتأليف الكتب، حتى كانت وفاته في سبتة. برع في كثير من العلوم والفنون، وتجوّل في كثير من أنحاء أوروبا وصولًا إلى ساحل المحيط الأطلسي الفرنسي، وجمع معلومات من الشرق الأقصى من التجّار والمستكشفين المسلمين.

رسم الإدريسي خريطة مفصّلة عُرفت باسم "نزهة المشتاق في اختراق الآفاق" (**الشكل 1-47**)، وأصبحت الخريطة الأكثر شهرة في عالم القرون الوسطى. نسخها رسامو الخرائط من دون تغيير لمدة ثلاثمئة سنة.

ألهم الأدريسي الجغرافيَّين ابن بطوطة وابن خلدون. وكان كتابه الذي وصف عجائب الدنيا من أوائل الكتب العربية المطبوعة. وجاءت ترجمة العنوان اللاتيني على النحو الآتي: "كتاب الرحلات الممتعة إلى بلاد بعيدة"، أو "نزهة المشتاق في اختراق الآفاق".

علوم الأرض والبيئة

الأنشطة والمراجعة والتّقويم

الصّفّ 12

الفصل الدراسي 1

الأنشطة

التدرُّب العملي من خلال المُختبر والمشاريع البحثيّة وسواها من الأنشطة تساهم في ترسيخ معاني الأفكار الجديدة وتطوُّر العمل المخبري.

الوحدة 1: التضاريس ورسم خرائط الأرض

نشاط 1-2 النموذج الطبّوغرافي

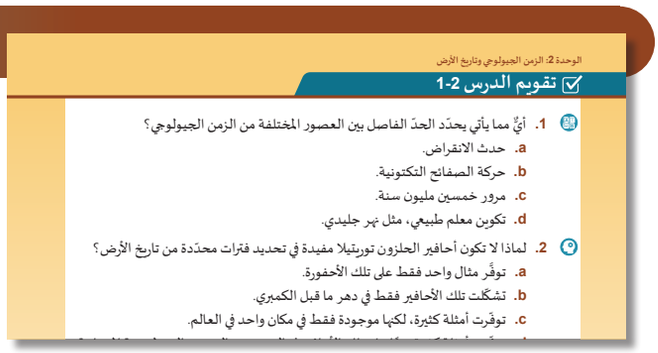
سؤال الاستقصاء	هل يمكنك بناء نموذج مصغّر من خريطة طبّوغرافية، أو رسم خريطة طبّوغرافية من نموذج؟
المواد المطلوبة	طبقات من الرغوة أو الكرتون أو مواد بناء، خريطة طبّوغرافية، علبة بلاستيكية شفّافة بغطاء شفّاف، نموذج مُصغّر.

خطوات التجربة

1. إذا كان لديك نموذج مصغّر (**الشكل 1-43**) تستطيع استخدامه لرسم خريطة طبّوغرافية.
   a. ضع النموذج في داخل العلبة. ضع الغطاء فوق

تقويم الدّرس

يتميّز كلّ درس بعرض يحتوي على الأسئلة التي تُغطّي جميع المفاهيم والمعلومات في هذا الدرس.


الوحدة 2: الزمن الجيولوجي وتاريخ الأرض

تقويم الدرس 2-1

1. أيٌّ مما يأتي يحدّد الحدّ الفاصل بين العصور المختلفة من الزمن الجيولوجي؟
   a. حدث الانقراض.
   b. حركة الصفائح التكتونية.
   c. مرور خمسين مليون سنة.
   d. تكوين معلم طبيعي، مثل نهر جليدي.
2. لماذا لا تكون أحافير الحلزون توريتيلا مفيدة في تحديد فترات محدّدة من تاريخ الأرض؟
   a. توفّر مثال واحد فقط على تلك الأحفورة.
   b. تشكّلت تلك الأحافير فقط في دهر ما قبل الكمبري.
   c. توفّرت أمثلة كثيرة، لكنها موجودة فقط في مكان واحد في العالم.

مراجعة الوحدة

عرض ملخّص قصير عند نهاية كلّ وحدة، وهو مرجع سريع للأفكار والمُصطلحات الرئيسة.

الوحدة 1

مراجعة الوحدة

الدرس 1-1: دوائر العرض وخطوط الطول

- **النجم القطبي Polaris** هو النجم الوحيد في السماء الذي لا يبدو أنه يتحرّك مع دوران الأرض، لأنه يتطابق مع امتداد محور دوران الأرض تقريبًا. سبب ذلك أنّ زاويته فوق الأفق في نصف الكرة الشمالي تتطابق مع دائرة عرض المكان الذي يُلاحَظ منه.
- تُعرَف **دوائر العرض Latitude** أيضًا باسم **المُتوازيات Parallels**، وهي حلقات من خطوط وهمية تقسم كُلًّا من نصفَي الكرة إلى 90 درجة شمالًا وجنوبًا، كما تقاس من خط الاستواء عند الدرجة 0.
- يتطلّب تحديد موقع ما على سطح الأرض وجود **نقطة مرجعية Reference point**. يمكن استخدام

تقويم الوحدة

زوّدت كلّ وحدة بمجموعة من الأسئلة ذات الخيارات المتعدّدة كعيّنة تُعِدُّ الطالب لاختبار نموذجي.

تقويم الوحدة

اختيار من مُتعدِّد

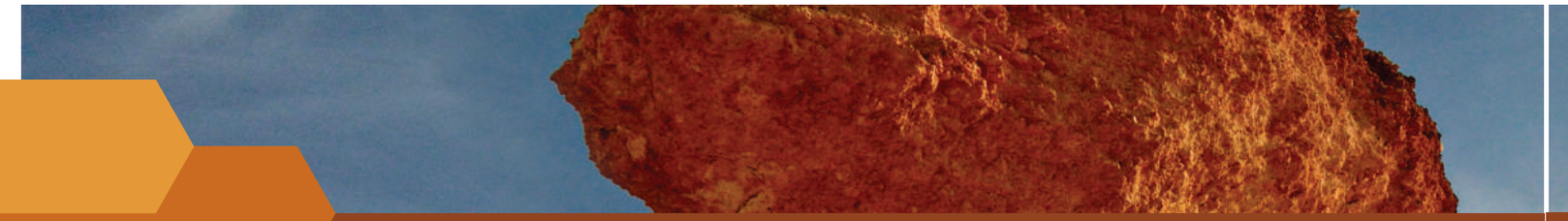
1. أيٌّ من الوحدات الآتية هي الأكثر فائدة عند الحديث عن تاريخ الأرض؟
   a. الحقبة
   b. السنة
   c. القرن
   d. الألفية
2. أي مما يأتي يتدرّج من الزمن الأقصر إلى الأطول؟
   a. الحقبة، العصر، الحين، العهد
   b. العهد، الحقبة، العصر، الحين
   c. العهد، الحين، العصر، الحقبة

أسئلة الإجابة القصيرة

أسئلة الإجابة القصيرة وأسئلة الإجابة المطوّلة بُنيتا على مُستويات ثلاثة من الصعوبة في نهاية كلّ وحدة.

25. اذكر السبب الرئيس الذي يجعل خرائط التضاريس تُبالغ في بيانات الارتفاع، مقارنة ببيانات المسافة الأفقية.
26. * ما التقنية التي تستخدمها خرائط الأقمار الصناعية لنظام تحديد المواقع العالمي، للإشارة إلى الاختلافات الصغيرة في الارتفاع؟
27. * ما هما ميزتا استخدام النماذج المصغّرة لإظهار تضاريس الأرض؟
28. يبيّن **الشكل 1-52** صورة قمر صناعي عالية الدقّة للكثبان الرملية، المماثلة لكثبان قطر. أنشئ رسمًا تخطيطيًا طبوغرافيًا لأحد الكثبان الرملية، مُبيّنًا الجانب الشديد الانحدار والجانب القليل الانحدار.

الشكل 1-52 صورة قمر صناعي عالية الدقة للكثبان الرملية.



مخطّط المادة

الوحدة 1 التضاريس ورسم الخرائط Topography and Mapping the Earth

يتم استبدال الخطوط المستقيمة في شبكة الإحداثيات التي تُمثّل سطح الأرض بدوائر العرض وخطوط الطول. حيث تُحدّد دوائر العرض الموقع باتّجاه شمال - جنوب، وتُحدّد خطوط الطول الموقع باتّجاه شرق - غرب. وتمّ تحديد الساعة الواحدة من المناطق الزمنية بـ 15 درجة من خطوط الطول. ويعمل نظام تحديد المواقع العالمي (GPS) على تحديد الموقع بدوائر العرض وخطوط الطول.

تعني التضاريس شكل سطح الأرض. يتمحور هذا الدرس حول كيفية قياس تضاريس سطح الأرض ووصفها، على خرائط طبوغرافية مسطّحة. حيث تمثّل خطوط الكنتور على خريطة طبوغرافية خطوط الارتفاع الثابتة. عندما تتقارب خطوط الكنتور يكون الانحدار شديدًا، وعندما تتباعد تكون الأرض مسطّحة أكثر.

الوحدة 2 الزمن الجيولوجي وتاريخ الأرض Geologic Time and Earth's History

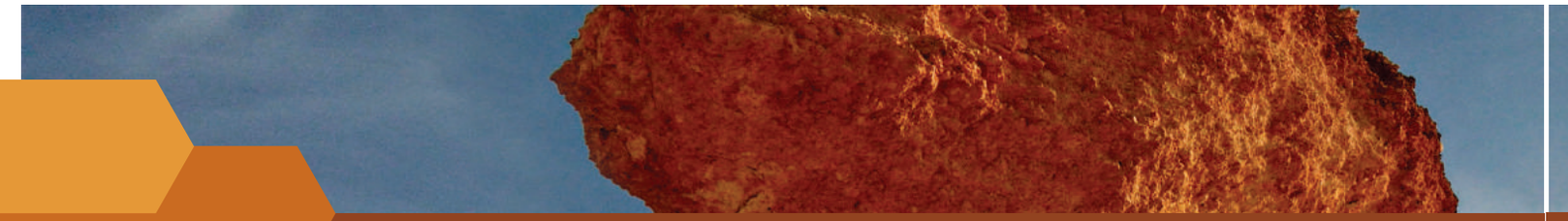
يزيد عمر الأرض عن 4.5 مليارات سنة. ونحن نتعلّم عن تاريخ الأرض من خلال الأحداث المُدوّنة في طبقات الصخور. حيث تتحدّد الحقبات الرئيسة من خلال الأحداث المُدوّنة في هذا السجلّ، كالانقراضات الجماعية التي تتمثّل بتغيّرات مفاجئة في الأحافير.

تعني قراءة تاريخ الأرض تأويل طبقات الصخور. حيث تكون طبقات الصخور القديمة عادةً تحت الطبقات الأحدث. مع ذلك تغيّر الكثير من الأحداث الجيولوجية وضعية الطبقات، كالطيّات التي تنتج عن تكتونية الصفائح والزلازل والبراكين.

الوحدة 3 الماء Water

بينما تغطّي المياه 71% من سطح الأرض، تشكّل المياه العذبة فقط 2.5%، تجمّد ثُلثاها في الأغطية الجليدية القطبية والأنهار الجليدية. تتشكّل المياه الجارية من الهطول، وتجري سطحيًّا في الجداول والأنهار والبُحيرات. لكن يتسرّب بعضها إلى باطن الأرض لتغذية خزّانات المياه الجوفية، وهي خزّانات مياه في الصخور المساميّة تقع تحت سطح الأرض. ويُعرف مخزون المياه بأنّه التوازن بين دخول المياه إلى خزّان المياه الجوفية وضخّها منه للاستخدام البشري، في الغالب، كالري ومياه الشرب.

تتشكّل خزّانات المياه الجوفية عندما تتوضّع طبقات الصخور المساميّة فوق الصخور غير النافذة. وغالبًا ما يحدث ذلك في التشكيلات الجيولوجية المسمّاة بالطيّات المُحدّبة. يتم تعريف جيولوجية قطر بطيّة محدّبة تسمّى قوس قطر. توجد خزّانات المياه الجوفية المحصورة بين طبقتَين غير نافذتَين تعلوها إحداهما وتقع تحتها الطبقة الثانية. أمّا خزّانات المياه الجوفية غير المحصورة فلا تعلوها طبقة غير نافذة. تضخ الكثير من الآبار المياه من الخزّانات غير المحصورة تلك. ويُحدّد مُستوى المياه الجوفية بمنسوب المياه في خزّان مياه جوفية غير محصور. ينخفض مستوى المياه الجوفية عندما تُستخرج منها كمّيات من المياه أكبر مما يدخل إليها. ومتى انخفض مستوى المياه الجوفية إلى مستوى أدنى من قاع البئر لا تعود البئر قادرة على إنتاج الماء.



جدول المحتويات

الوحدة 1 التضاريس ورسم خرائط الأرض 2

الدّرس 1-1 دوائر العرض وخطوط الطول 4

الدّرس 1-2 التضاريس 14

الوحدة 2 الزمن الجيولوجي وتاريخ الأرض 32

الدّرس 2-1 الزمن الجيولوجي 34

الدّرس 2-2 تفسير الأنماط الجيولوجية 45

الوحدة 3 الماء 66

الدّرس 3-1 مخزون المياه 68

الدّرس 3-2 خزّانات المياه الجوفية 81

الوحدة 1
التضاريس ورسم خرائط الأرض
Topography and Mapping the Earth

في هذه الوحدة

الدّرس 1-1: دوائر العرض وخطوط الطول ES1201

الدّرس 1-2: التضاريس ES1202

الوحدة 1

مقدّمة الوحدة

متى كانت آخر مرة استخدمْتَ فيها خريطة ورقية؟ مهما تكن إجابتك، يمكننا القول إنّنا اليوم أصبحنا نعتمد في الملاحة على نظام تحديد المواقع العالمي GPS، ونكاد ننسى الخرائط الورقية. مع ذلك، تبقى الخرائط جزءًا مهمًا من تاريخ البشرية. ففي العام 1116 سافر فتًى مسلم يُدعى محمّد الإدريسي عبر شمال أفريقيا والأندلس (أسبانيا حاليًا) وعمد إلى تسجيل رحلاته، ليصبح إنجازه ذاك أهم خريطة في عالم ما قبل الثورة الصناعية. تحدّث الإدريسي إلى التجّار القادمين من الشرق الأقصى والفايكنج من الدول الإسكندنافية مستخدمًا لغة الرياضيات وعلم الفلك ورسم الخرائط، وقام برسم صورة (خريطة) تتضمّن تفاصيل، من اللافت للنظر أنها دقيقة وفقًا لمعايير اليوم.

يناقش الدرس الأول طرائق وضع علامات على الأرض تتيح للآخرين العثور على المسارات والطرق، وصولًا إلى العالم الجديد.

يوضّح الدرس الثاني كيفية رسم الأودية والأنهار والجبال على تلك الخرائط.

الأنشطة والتجارب

1-1 رسم خرائط المدن القطَرية

2-1 نموذج للتضاريس

الدّرس 1-1

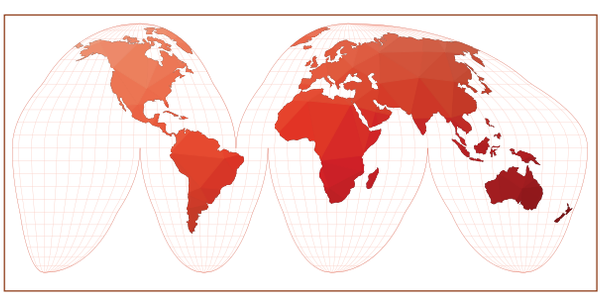
دوائر العرض وخطوط الطول
Latitude and Longitude

لا شكّ أنك رأيت خرائط تصف المواقع على الأرض، وكلّها خرائط مسطّحة! لكنّها جميعًا تشوّه حقيقة سطح الأرض الكروي.

يظهر على خريطة إسقاط مركاتور (**الشكل 1-1**) أنّ جرينلاند أكبر من أستراليا، مع أنّ العكس هو الصحيح في الحقيقة! نتج الخطأ من خلال رسم خرائط السطح الكروي للأرض على سطح مستوٍ. ومع أن الأبعاد على امتداد خطّ الاستواء صحيحة، إلّا أنّها تتمدّد بشكل متزايد مع دوائر العرض الأخرى، ويزداد هذا التمدّد كلما اقتربنا من القطبَين.

أصبحت إسقاطات الخرائط الأخرى أدق، لكن ظل فهمها صعبًا. يبيّن إسقاط جود هومولوزين مساحات حقيقية، لكنه يقسم السطح إلى شرائح (**الشكل 1-2**).

الشكل 1-1 تشوُّه الأبعاد قرب القطبَين في خريطة إسقاط مركاتور.



الشكل 2-1 خريطة إسقاط جود هومولوزين.

مخرجات التّعلُّم

ES1201.1 يصف دوائر العرض ويحدد الموقع الثابت لأماكن ذات أهمية يكون موقعها فوق خط الاستواء أو تحته.

ES 1201.2 يصف خطوط الطول ويفهم العلاقة بين وقت الظهيرة المحلي وتوقيت جرينتش.

ES 1201.3 يحدد موقعًا في دولة قطر بناءً على دقائق وثواني دوائر العرض وخطوط الطول.

المفردات

Latitude	دوائر العرض
Parallels	المتوازيات
Polaris	النجم القطبي
Southern Cross	الصليب الجنوبي
Reference point	النقطة المرجعية
Longitude	خطوط الطول
GPS	نظام تحديد المواقع العالمي

إنشاء طريقة للبحث عن الكنز

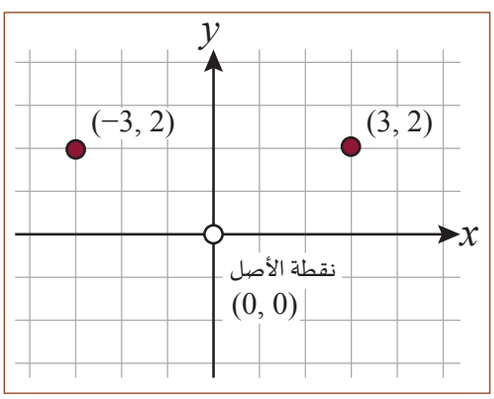
كيف نحدّد المواقع بدقّة على سطح الأرض؟

يحتاج الجيولوجيون إلى طريقة لوضع علامات على أماكن وجود الخامات والرواسب المعدنية. ويحتاج العلماء الذين يقومون بالعمل الميداني أيضًا إلى طرائق لتحديد مواقع الدراسة. حتى أنّ بعض القراصنة وضعوا خرائط (**الشكل 1-3**) تمكّنهم من إيجاد الكنوز المخفية أو المدفونة، في وقت لاحق.

الشكل 1-3 خريطة الكنز.

نفّذ نشاط البحث عن الكنز في الصف:

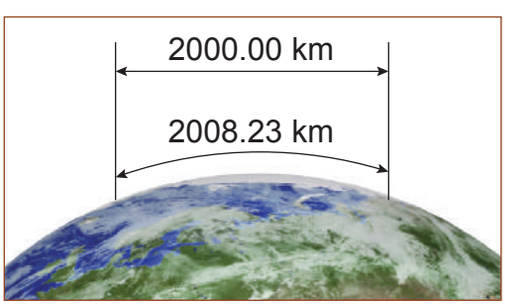
- اعمل في مجموعة صغيرة، وحدّد شيئًا ما في غرفة الصف ليكون "كنزك".
- صمّم نظام شِفرة لتحديد موقع "الكنز" الخاص بك.
- اشرح نظام الشّفرة الخاصّ بك لمجموعة أخرى بحيث تتمكّن من العثور على كنزك.
- ناقش مزايا الطرائق المختلفة وعيوبها.



الشكل 1-4 نظام إحداثيات x-y.

يُتَّبع في الرياضيات نظام مُبتكر للإحداثيات على مسطّح، يُستخدم فيه المحوران السيني والصادي x و y. يتمّ تحديد النقاط على المسطّح بالنسبة إلى نقطة الأصل التي لها الإحداثيّان (0 و 0). وتُحدّد الإشارة الموجبة أو الإشارة السالبة لإحداثيَّ النقطة في أي رُبع تقع من الأرباع الأربعة التي يُحدّدها المحوران x و y، على الرسم البياني. يبيّن **الشكل 1-4** النقطة (2 و 3)التي تقع في الربع الأوّل إلى يمين المحور y وفوق المحور x، والنقطة (2 و 3-) التي تقع في الربع الثاني، إلى يسار المحور y وفوق المحور x.

إذا كانت الأرض مسطّحة، يكون بإمكاننا استخدام الإحداثيَّين x-y. افترض القدماء أن الأرض مسطّحة ورسموا خرائطهم بناء على ذلك. ومع أنهم لم يتّبعوا طريقة دقيقة لقياس المسافات الطويلة فقد جاءت خرائطهم المسطّحة دقيقة بدرجة كافية في ذلك الوقت.

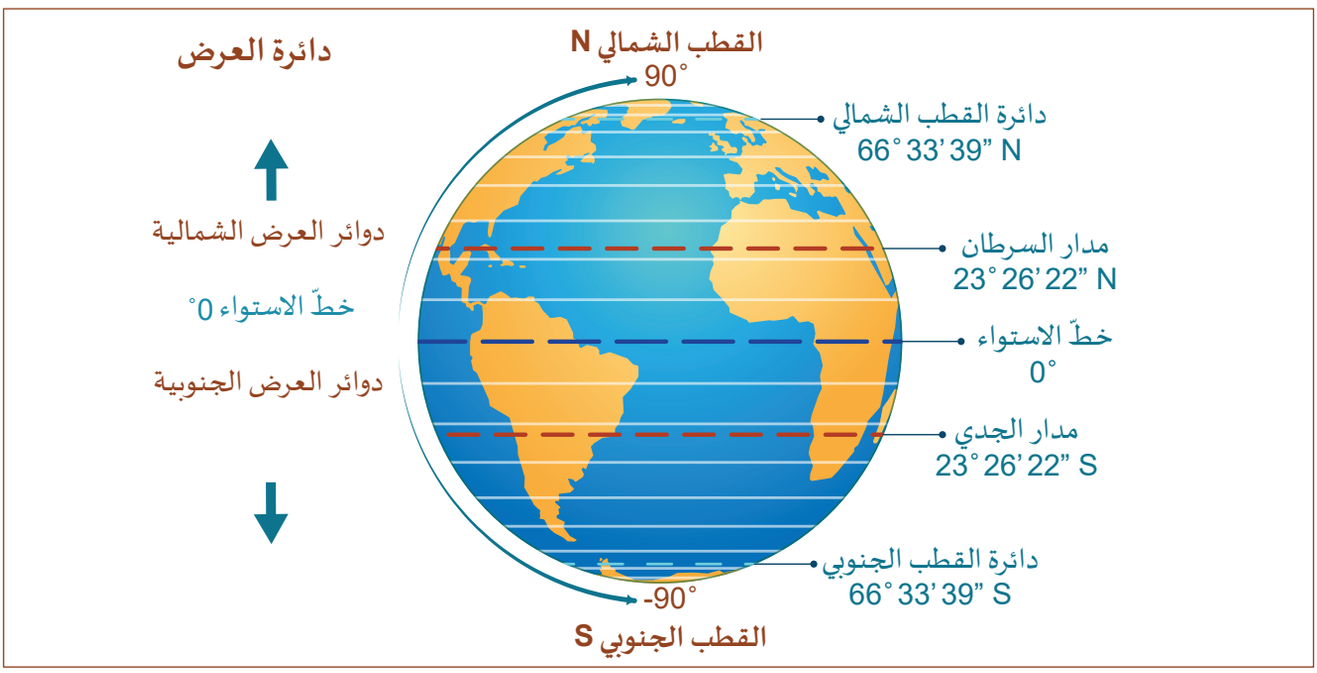


الشكل 1-5 الاختلاف في المسافة بين خريطة مسطّحة وسطح الأرض المنحني.

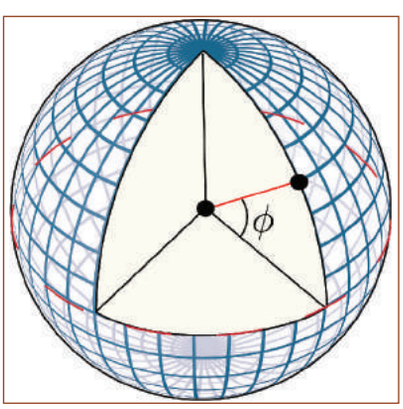
أصبحت أجهزة رسم الخرائط الحديثة، مثل نظام تحديد المواقع العالمي (GPS)، قادرة على تحديد مسافة 2000 km بدقّة متر واحد. فإذا أردتَ أن تمضي في رحلة طولها 2000 km على أرض مُسطّحة، يكون الخطأ في تحديد وجهتك بمقدار 8.23 km من سطح الأرض المنحني (**الشكل 1-5**)!

دوائر العرض

تتشكّل شبكة الإحداثيات على سطح الأرض من خطوط ودوائر تُسمّى "خطوط الطول" و"دوائر العرض"، بدلًا من الخطوط المستقيمة. تقيس **دائرة العرض Latitude** الموقع على امتداد اتّجاهَي الشمال والجنوب. تجدر الإشارة أن "دوائر العرض" دوائر تخيّلية عُيّنت على سطح الأرض بالتوازي مع خطّ الاستواء (**الشكل 1-6**). تُسمّى الدوائر شمال خطّ الاستواء دوائر العرض الشمالية والدوائر الواقعة جنوب خطّ الاستواء دوائر العرض الجنوبية.



الشكل 1-6 دوائر العرض أو "المتوازيات" تلتف حول الأرض.



الشكل 1-7 "الزاوية" ϕ، بين خطّ الاستواء ودائرة العرض.

يتم تحديد دوائر العرض، التي تُعرف أيضًا باسم **المتوازيات Parallels**، بالزاوية ϕ شمال خطّ الاستواء أو جنوبه (**الشكل 1-7**). يتمّ قياس زوايا دائرة العرض بالدرجات (°) والدقائق (') والثواني ("). تبعد كل دائرة عرض عن الأخرى 111 كيلومترًا على سطح الأرض. يحدّد خط الاستواء بأنه دائرة العرض صفر درجة (0). تقع مدينة الدوحة عاصمة قطر على دائرة عرض N "9.98 '17 °25 وتُقرأ على النحو الآتي: "خمس وعشرون درجة، وسبع عشرة دقيقة و9.98 ثانية دائرة عرض شمالية".

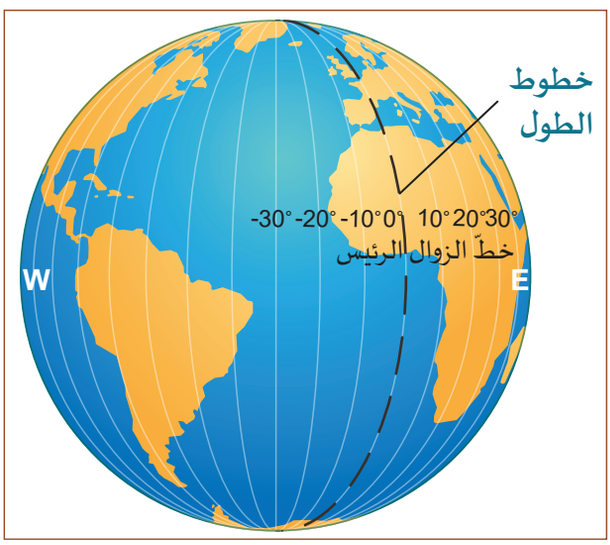
تُشكّل دائرة العرض عاملًا رئيسًا في تحديد مناخ المنطقة.

- تتلقّى دوائر العرض الاستوائية أشعة الشمس المباشرة، وهي تمتدّ بين دائرة العرض "22 '26 °23 الجنوبية ودائرة العرض "22 '26 °23 الشمالية.
- تتلقّى دوائر العرض بعد دائرة العرض "39 '33 °66 شمالًا أو جنوبًا، القليل جدًا من أشعة الشمس. ولاتُشرق في أفقها الشمس، خلال أقصر نهار في أيام الشتاء، ويعمّ الظلام على مدار 24 ساعة في اليوم.

خطوط الطول والمناطق الزمنية

تقيس خطوط الطول الموقع باتِّجاهي الشرق والغرب وتكون متعامدة مع دوائر العرض. تمرّ جميعها عبر القطبَين، وهي متساوية الطول. تختلف بذلك عن دوائر العرض التي تصبح أصغر فأصغر مع زيادة دائرة العرض. يُطلق على خطّ الطول الذي يمتد من قطب إلى آخر تسمية **"خط الزوال" Meridian**.

تحدّد خطوط الطول بالدرجات، التي تبلغ 360 درجة في محيط الأرض الكامل. تم تحديد خط زوال رئيس هو خطّ طول الدرجة صفر (0). وهو يمرّ عبر مدينة جرينتش في إنجلترا. تقاس زاوية خطوط الطول بمقدار 180 درجة باتجاه الشرق من خط الزوال الرئيس، و180- درجة باتجاه الغرب **(الشكل 1-8)**.



الشكل 1-8 خطوط الطول وخطّ الزوال.

تدور الأرض بمقدار 15 درجة من خطوط الطول كلّ ساعة (360 درجة كل 24 ساعة). أي موقع من الأرض تقف فيه، وتظهر الشمس في أعلى موقع من السماء، يكون فيه "الوقت ظهرًا"، بغضّ النظر عن الفترة من السنة. لذلك يمكن تحديد خطوط الطول من خلال المقارنة بين "الظهر" بتوقيتك المحلّي، والوقت عند خطّ الزوال الرئيس.

يستطيع قبطان سفينة مثلًا أن يحدّد خطوط الطول من خلال استخدام كرونومتر (ساعة) مضبوط وفق توقيت جرينتش (GMT) **(الشكل 1-9)**. افترض أن القبطان لاحظ الشمس في أعلى موقع لها في السماء (وقت الظهر المحلّي)، عندما كانت القراءة على الكرونومتر تُسجّل 5:00 مساءً بتوقيت جرينتش. هذا يعني أن سفينته قد أبحرت غربًا، واختلف توقيت مكانها بمقدار 5 ساعات عن توقيت جرينتش. بما أن معدّل دوران الأرض 15° لكل ساعة، فسوف يكون خط الطول لموقعه عندها 75- درجة.

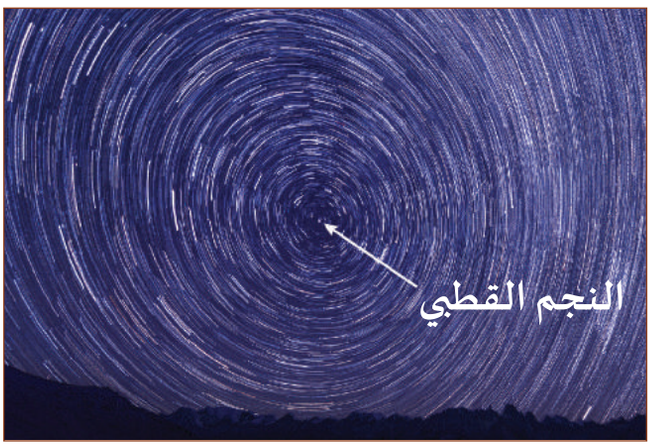
الشكل 1-9 كرونومتر بحري.

تقسم خطوط الطول (كل 15 درجة) الأرض بشكل طبيعي إلى 24 منطقة زمنية. عند السفر من الغرب إلى الشرق، يزداد التوقيت المحلّي بمقدار ساعة لكل 15 درجة من خطوط الطول. وينقص بالمقدار نفسه عند السفر من الشرق إلى الغرب. تمّ عقد اتّفاق هدفه الحفاظ على تناسق التاريخ، ينصّ أن يكون خطّ التاريخ الدولي عند خطّ الطول 180 درجة الذي يمر عبر المحيط الهادئ، ويُنصّف الطريق حول العالم من خطّ الزوال الرئيس. يعني ذلك أنّ العبور من الشرق إلى الغرب يزيد التاريخ يومًا واحد.

النجم القطبي

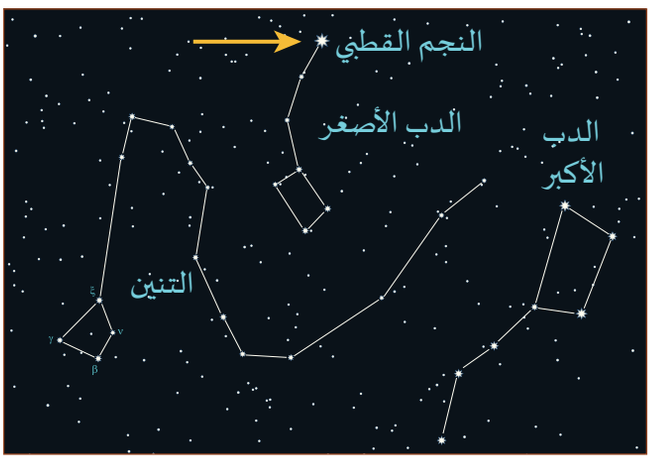
إذا راقبت السماء لمدة 24 ساعة، تكون قد درت أنت والأرض دائرة واحدة كاملة تحت النجوم الثابتة. تبدو النجوم وكأنها تشكّل دوائر، باستثناء نجم واحد يبدو أنه لا يتحرّك أبدًا (**الشكل 1-10**). يُسمّى هذا النجم المركزي، **النجم القطبي Polaris**.

يتطابق موقع النجم القطبي إلى حدّ بعيد مع محور دوران الأرض حول نفسها. وهو أكثر النجوم لمعانًا في مجموعة نجوم الدبّ الأصغر (Ursa Minor) (**الشكل 1-11**). يشغل النجم القطبي الموقع نفسه من السماء على مدار السنة، وعلى امتداد ساعات الليل. يظل في الموقع نفسه أيضًا خلال النهار، لكن لا يمكن رؤيته عندئذ إلا خلال الكسوف الكلّي للشمس.



الشكل 1-10 صورة بتقنية الفاصل الزمني لحركة النجوم.

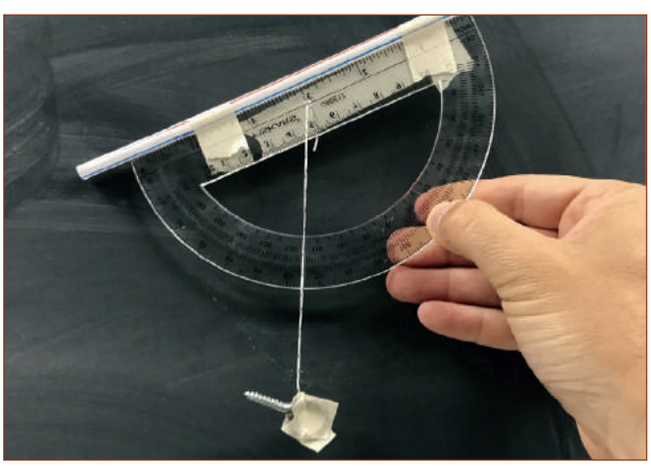
عندما تتّجه جنوبًا نحو خطّ الاستواء، تقلّ الزاوية بين النجم القطبي والأفق شيئًا فشيئًا. عند خطّ الاستواء، يصبح النجم القطبي على خط الأفق عند درجة ارتفاع صفر.



الشكل 1-11 النجم القطبي، في كوكبة الدبّ الأصغر.

كان الرحّالة قبل استخدام أدوات الملاحة الحديثة، يحدّدون دائرة العرض من زاوية النجم القطبي فوق الأفق. وكانوا يجدون سهولة في القياس، الذي يتمّ باستخدام جهاز رؤية بسيط ووزن معلّق ومنقلة (**الشكل 1-12**).

يفتقر نصف الكرة الجنوبي إلى نجم ساطع مشابه للنجم القطبي. لكن تُستخدم الكوكبة المعروفة **بالصليب الجنوبي Southern Cross** بطريقة مشابهة ، حيث يشير تتبّع خطوط النجوم الأربعة اللامعة في الكوكبة إلى القطب الجنوبي السماوي.



الشكل 1-12 أداة قياس الزاوية.

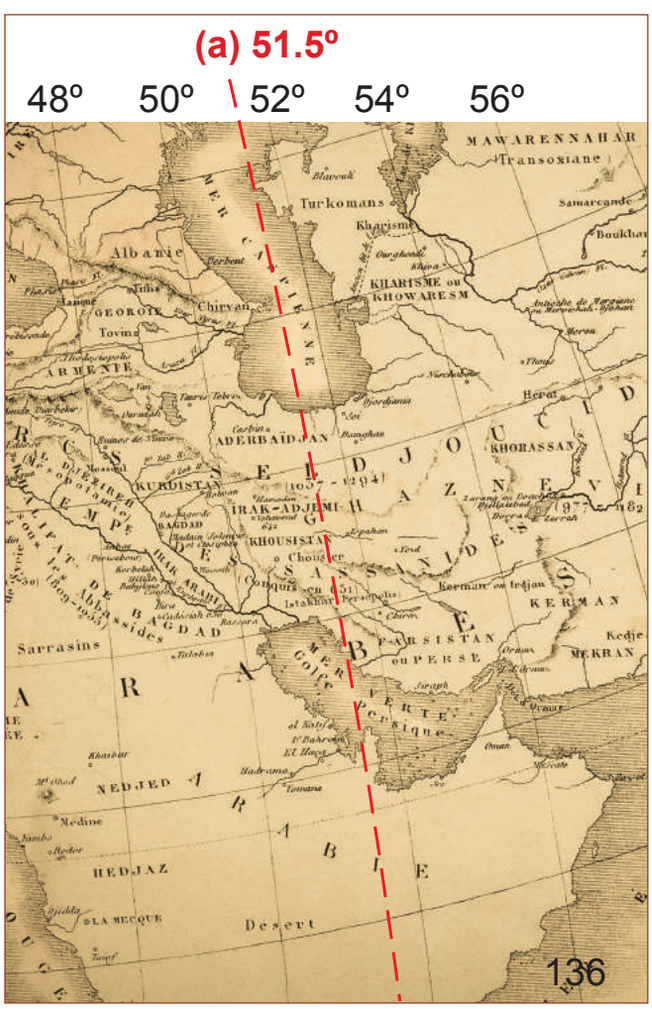
رسم خرائط موقع

يرجع الفضل في صُنع الخرائط إلى رسّامي الخرائط، الذين يجعلون منها في الغالب أدوات استراتيجية مهمّة للدول، وقد يحصدون من خلالها شهرة واسعة (**الشكل 1-13**). صحيح أنّهم يضفون لمساتهم الفنية على الخريطة، لكنَّهم جميعًا يتّبعون قواعد معيّنة عندما يصنعون خريطة.

- تُحدّد مساحة منطقة الخريطة المقياس المناسب.
- إذا كانت مساحة المنطقة كبيرة، تُرسم خطوط الطول أو دوائر العرض كل 10 درجات.
- قد يتمّ رسم المناطق الأكثر تفصيلًا بخطوط طول أو دوائر عرض كل درجتَين.
- يمكنك تحديد المسافة الفاصلة بين الخطوط من خلال النظر إلى مقياس رسم الخريطة المدوّن عند أحد أطرافها.
- يوضّح **الشكل 1-14** خطوط الطول كل درجتَين من 48 درجة إلى 58 درجة خط طول شرقًا.
- إذا كنت ترغب في تحديد الموقع بين تلك الخطوط، فإنّ عليك أن تحسب خطّ الطول الفعلي.
- مثال: تتمركز دولة قطر على خط الطول 51 درجة شرقًا تقريبًا، الذي يقع في منتصف المسافة بين خطَّي 50 درجة و 52 درجة.

كيف تجد موقعًا على الخريطة باستخدام دوائر العرض وخطوط الطول؟

الشكل 1-13 خريطة لشبه الجزيرة العربية تعود إلى القرن الثامن عشر.



الشكل 1-14 تفصيل من خريطة شبه الجزيرة العربية العائدة إلى القرن الثامن عشر.

خريطة دولة قطر

الشكل 1-15 خريطة خطوط الطول ودوائر العرض لدولة قطر.

تشتمل خريطة قطر في **الشكل 1-15** على خطوط طول ودوائر عرض مرسومة بفاصل 24 دقيقة. تذكّر أن هناك 60 دقيقة في كل درجة. تُظهر نظرة فاحصة إلى مقياس الخريطة (**الشكل 1-16**) خطّ الطول 50 درجة 48 دقيقة. تنقلك إضافة '24 إلى خطّ الطول التالي 51 درجة 12 دقيقة. ويتوسَّط المسافَة بين هذين الخطَّيْن على الخريطة خطُّ الطول 51 درجة.

الشكل 1-16 قراءة تفاصيل مقياس خريطة قطر.

نشاط 1-1 رسم خريطة المُدن القطَرية

سؤال الاستقصاء	هل يمكنك تحديد مواقع المُدن في قطَر بناءً على بيانات خطوط الطول ودوائر العرض؟
الموادّ المطلوبة	خريطة فارغة للدولة تبيّن دوائر العرض وخطوط الطول، خريطة العالم لدوائر العرض وخطوط الطول.

المنطقة	دوائر العرض	خطوط الطول
الدوحة	25° 15'N	51° 35'E
الجميلية	25° 37'N	51° 05'E
الخور	25° 41'N	51° 30'E
الوكرة	25° 10'N	51° 40'E
الرويس	26° 08'N	51° 12'E
دخان	25° 25'N	50° 50'E
مسيعيد	25° 0'N	51° 33'E
راس ركن	26° 10'N	51° 20'E
أم باب	25° 12'N	50° 48'E

إجراء المختبر

1. حدّد المدن على الخريطة باستخدام القيَم المتوفّرة لخطوط الطول ودوائر العرض.
2. استخدم خريطة خطوط الطول ودوائر العرض العالمية، لتجد مواقع ثلاث مدن رئيسة وتُسجّلها.
3. أعطِ إحداثيات خطوط الطول ودوائر العرض هذه لزميلك في الصف، واطلب إليه تحديد المدن التي اخترتها.
4. ابحث عن المواقع الفعلية لخطوط الطول ودوائر العرض للمدن عبر الإنترنت.

أسئلة

a. أيّ تقنية صمَّمتَ لتحسب تلك المواقع المُدرَجة بين الخطوط على الخريطة؟
b. لماذا تكون قياسات خطوط الطول ودوائر العرض التي بحثت عنها على خريطة محلّية أكثر تفصيلًا من تلك التي وجدتها عند استخدام خريطة العالم؟

التحديد الحديث للمواقع العالمية

يمكنك استخدام نظام تحديد **المواقع العالمي بالأقمار الصناعية (GPS)** لتجد موقعك أينما كنت في المدينة.

يستخدم هذا النظام الدقيق شبكة من الأقمار الصناعية (**الشكل 1-17**). ويتمّ التواصل مع ثلاثة أقمار صناعية على الأقل وفي الوقت نفسه لتحديد موقعك.

الشكل 1-17 نظام GPS من الأقمار الصناعية.

تُتَّبع هذه التكنولوجيا في لعبة عالمية تُسمّى الجيوكاشينج (ابحث عن الكنز). تعتمد الجيوكاشينج على مبدأ "اخفِ وابحث"، حيث يخبّئ الناس أشياء صغيرة، ويستخدم الباحثون خطوط الطول ودوائر العرض المذكورة للعثور عليها.

إذا حاولت استخدام الجيوكاشينج، أو البحث عن إحداثيات موقع ما، فسوف تعثر على خطوط الطول ودوائر العرض المعطاة بالدقائق والثواني.

وتُفيد المعلومات التالية لتحديد موقع أكثر دقّة:

- كل درجة من دوائر العرض تساوي 111 كيلومترًا من المسافة.
- كل دقيقة من دائرة العرض تساوي $\frac{1}{60}$ من تلك المسافة، أو 1.85 km.
- كل ثانية من دائرة العرض تساوي $\frac{1}{3600}$ من تلك المسافة، أو 30.8 m.

يُسهم إعطاء دائرة عرض بالدرجات والدقائق والثواني في وصول الشخص ضمن نطاق 30 مترًا من الهدف. كانت مثل هذه الطريقة فعّالة في تحديد الموقع، عندما كانت السفن في عرض البحر تبحث عن ميناء آمن. وبات مطلوبًا اليوم شيء أكثر دقّة لعمل GPS، تُستخدم لذلك طريقتان فعّالتان:

1. إعطاء خطّ الطول أو دائرة العرض مع الإشارة إلى كسور الثانية: "25° 15' 7.235.
2. إعطاء موقع خطّ الطول أو دائرة العرض بكسور من الدرجة فقط: 25.2527132 درجة. تُستخدم هذه الطريقة بدقة واحد من مليون من الدرجة، وهي تبسّط طرائق رياضية لحساب المسافة بين نقطتين (أو أكثر).

تقويم الدرس 1-1

1. في أيّ اتجاه كنت تسافر عندما لاحظت، كلّما توقّفت، أن النجم القطبي يقترب أكثر فأكثر من الأفق؟

   a. الشرق
   b. الغرب
   c. الشمال
   d. الجنوب

2. أيٌّ من هذه الاختراعات يتيح لك أفضل فرصة لتحديد خط الطول في رحلة بحرية، قبل اختراع الرادار وأنظمة تحديد الموقع؟

   a. ساعة دقيقة تعمل على قارب متأرجح.
   b. فتحة خاصة تسمح للركاب برؤية الخارج في أثناء عاصفة ما.
   c. موقد مرتكز على محور بحيث لا يُفرغ الفحم الساخن أثناء العاصفة.
   d. بوصلة سفينة دقيقة تشير إلى القطب المغناطيسي الشمالي من أي موقع في عرض البحر.

3. بناءً على الخريطة **(الشكل 1-18)**، ما إحداثيات مدينة دخان؟

   a. دائرة العرض: " 29.46 '25 °25 غربًا
      خطّ الطول: " 56.17 '46 °50 شمالًا
   b. دائرة العرض: " 29.46 '25 °25 جنوبًا
      خطّ الطول: " 56.17 '46 °50 شرقًا
   c. دائرة العرض: " 29.46 '25 °25 شرقًا
      خطّ الطول: " 56.17 '46 °50 جنوبًا
   d. دائرة العرض: " 29.46 '25 °25 شمالًا
      خطّ الطول: " 56.17 '46 °50 شرقًا

الشكل 1-18 الشاطىء الغربي لدولة قطر.

4. لماذا يبدو النجم القطبي ثابتًا في سماء الليل، في حين أنّ جميع النجوم الأخرى تبدو وكأنها تتحرّك؟

5. تغطّي درجات خطوط الطول 360 درجة كاملة، مع 180 درجة شرق خطّ الزوال (جرينتش) و180 درجة أخرى غرب خط الزوال، لماذا يوجد 180 درجة من دوائر العرض (90° شمالًا و90° جنوبًا)؟

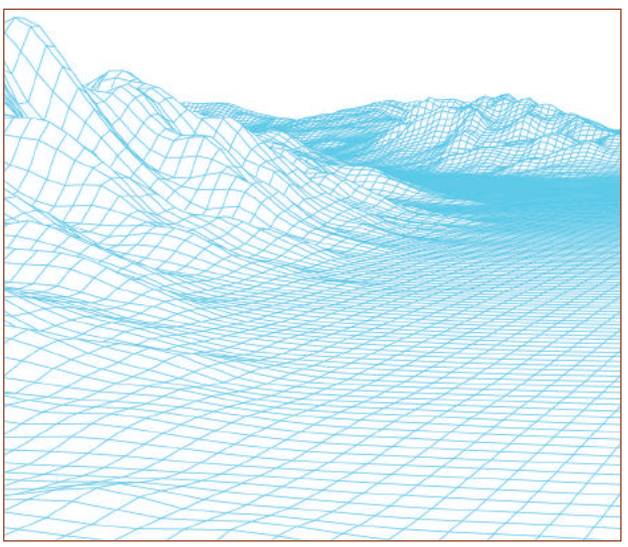
6. تخيّل أنك قبطان سفينة، ولاحظت أن ساعة السفينة المضبوطة حسب توقيت جرينتش GMT تبيّن أن الساعة 3:00 بعد الظهر عندما تكون الشمس في أعلى موقع لها (الظهر) في موقعك المحلّي. ما خطّ الطول لموقعك؟

7. لماذا تعتمد المسافة بين خطوط الطول على دائرة العرض الخاصّة بك؟

الدّرس 1-2

التضاريس
Topography

لا شكّ أن سطح الأرض ليس مسطّحًا، والدليل على هذه الحقيقة البسيطة هو الجبال والأودية والمحيطات. غدت التكنولوجيا المتاحة لرسم خرائط الأرض أكثر تفصيلًا من أيّ وقت مضى في تاريخ البشرية. وبدت الصور التي يتم تصميمها بواسطة الكمبيوتر واقعية إلى حدّ بعيد يصعب عنده تمييز الواقع من الخيال (**الشكل 1-19**). تمّ اختيار كلمة التضاريس لوصف المظهر الخارجي للسطح. وهذا الدرس يتمحور حول وصف التضاريس على سطح الأرض، وكيفية قياسها على خرائط مسطّحة.



الشكل 1-19 عرض ثلاثي الأبعاد بالكمبيوتر للمناظر الطبيعية.

مخرجات التّعلُّم

ES1202.1 يوضح مفهوم خطوط القيم المتساوية لدرجة الحرارة، والضغط الجوي، والارتفاع.

ES1202.2 يحدّد منحدر تلة واتجاه مجرى النهر بناءً على خريطة كنتورية.

ES1202.3 يحدّد تضاريس، كالجبال والأودية، ومعالم كالأنهار والسبخات.

المفردات

خطوط التساوي	Isolines
متساويات الارتفاع	Isoheights
الخريطة الكنتورية	Contour map
التضاريس	Topography
الانحدار	Slope

معلومات في الأبعاد الثلاثية

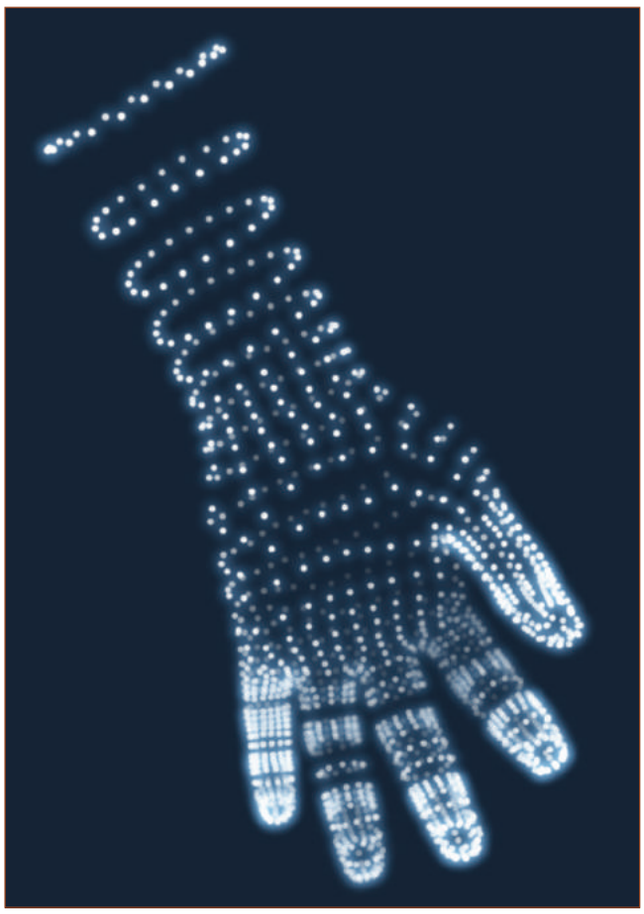
ماذا يعني "3D" في الواقع؟

كيف يتمّ صنع صور ونماذج ثلاثية الأبعاد؟ وكيف تُستخدَم؟

أصبحت القدرة على تمثيل الشكل الحقيقي للأجسام المادية بدقّة، أمرًا ضروريًّا في الكثير من التطبيقات. فأولئك الذين ينفّذون الرسوم المُتحرّكة على الكمبيوتر يستخدمون واحدة من التقنيات الثلاثية الأبعاد.

إذا أراد شخص تمثيل اليد، يرتدي قفّازًا مغطّى بأضواء صغيرة. ثمّ يتمّ تنسيق كل ضوء مع موقع نقطة المُطابقة على نموذج ثلاثي الأبعاد لليد. وعندما تتحرّك اليد الحقيقية، يتبعها نموذج اليد على الكمبيوتر (**الشكل 1-20**).

- هل استخدمت معدّات الواقع الافتراضي وكنت جزءًا من الفيديو؟
- هل سبق أن لعبت ألعاب فيديو تستشعر حركة يدَيك أو عينَيك؟



الشكل 1-20 التقاط فيديو ليد.

الشكل 1-21 سطح ذو كنتورات طبقية وخريطة كنتورية.

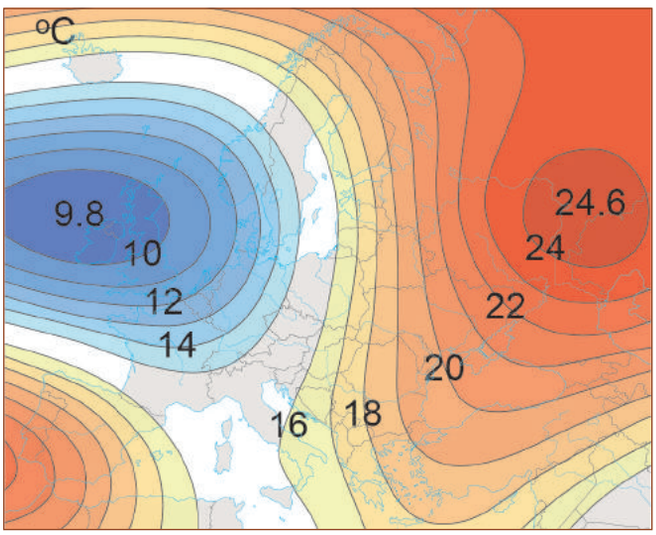
تمّ منذ آلاف السنين تمثيل المعالم الطبيعية في خرائط، بعد دراسة طبقاتها. يقيس رسّامو الخرائط ارتفاع الأرض في نقاط مختلفة، ثمّ يحوّلون الارتفاعات التي قاسوها إلى خرائط تُظهر شكل المعالم الطبيعية، وتُسمّى الخرائط الطبوغرافية (**الشكل 1-21**).

خطوط التساوي

خطوط التساوي Isolines تمثيل رسميّ لخطوط كونتور متساوية القيمة. وهي تُستخدم لتمثيل قيَم ثلاثية الأبعاد على مسطّح ثُنائي الأبعاد.

مُتساويات الحرارة Isotherms

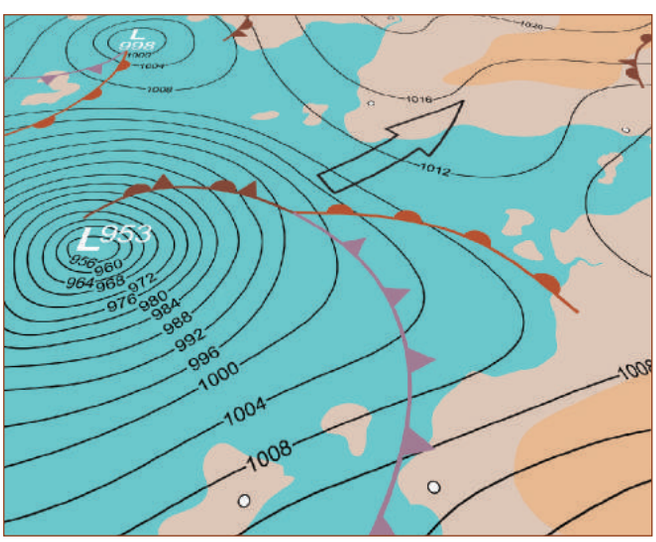
خطوط تُستخدم لتمثيل مناطق مُتساوية في درجة الحرارة. يمثّل مقياس كلّ خط إجمالي نطاق درجة الحرارة الموضَّح. أُدرِجت على خريطة الطقس (**الشكل 1-22**)، منطقة باردة تبلغ درجة حرارتها 9.8 درجات مئوية، ومنطقة حارّة تبلغ درجة حرارتها 24.6 درجة مئوية. تُغطّي خريطة مُتساويات الحرارة كامل نطاق درجة الحرارة. لا تكون خطوط التساوي كلّها مُرقّمة، بل يمكن تحديد القيمة من خلال المقياس.



الشكل 1-22 مُتساويات الحرارة بالدرجة المئوية.

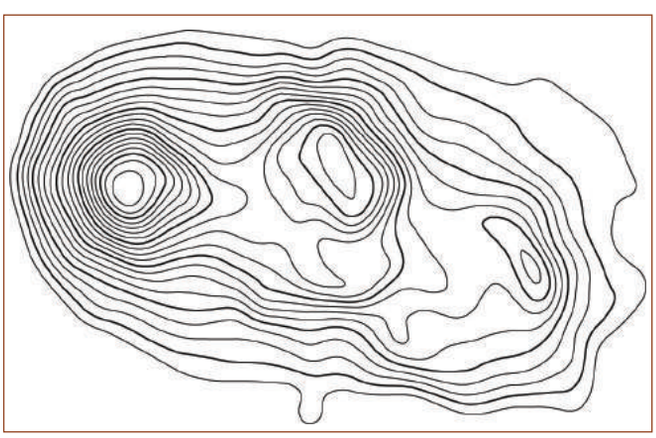
متساويات الضغط الجوي Isobars

خطوط (التساوي) تمثّل مناطق متساوية في الضغط الجوي. وأيّ موقع في الخريطة يكون على خطّ 1008 مثلًا سوف يعطي قراءة ضغط جوي من 1008 ملي بار (**الشكل 1-23**). تتحرّك متساويات الضغط الجوي مع التغيّرات في الطقس. وسوف يشاهد شخص يقطن في المكان نفسه زيادة أو نقصانًا في الضغط الجوي كلّما تحرّكت خطوط متساويات الضغط الجوي عبر موقعه.



الشكل 1-23 متساويات الضغط الجوّي بالملّي بار.

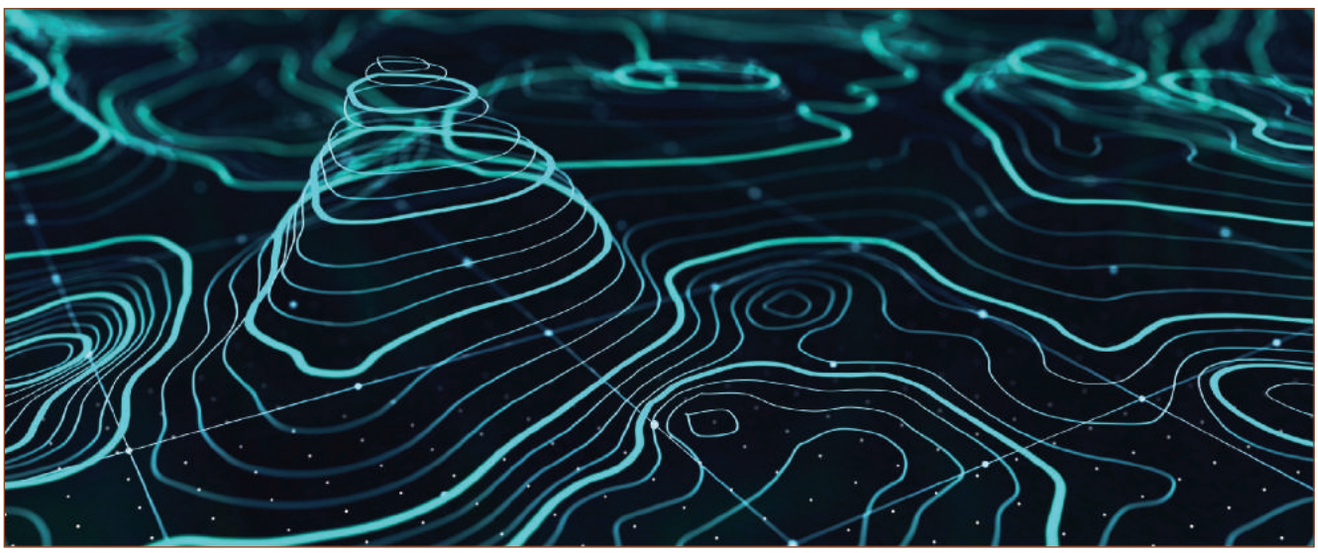
خطوط الكنتور (متساويات الارتفاع) Isoheights خطوط تمثّل الارتفاعات المتساوية. **الارتفاع Elevation** هو علوّ نقطة من اليابسة عن مُتوسّط مستوى سطح البحر. تكون كل النقاط الواقعة على خط كنتور واحد (متساوي الارتفاع) بذات الارتفاع. يوضّح **الشكل 1-24** مجموعة نموذجية من متساويات الارتفاع (خطوط الكنتور). قد يكون هذا تلًا أو واديًا، وفقًا لما يكون عليه الارتفاع الأعلى أو الأدنى في المركز. تتراوح وحدات متساويات الارتفاع (خطوط الكنتور) بين عدة سنتيمترات ومئات الأمتار.



الشكل 1-24 متساويات الارتفاع (خطوط الكنتور). ليس لها وحدات.

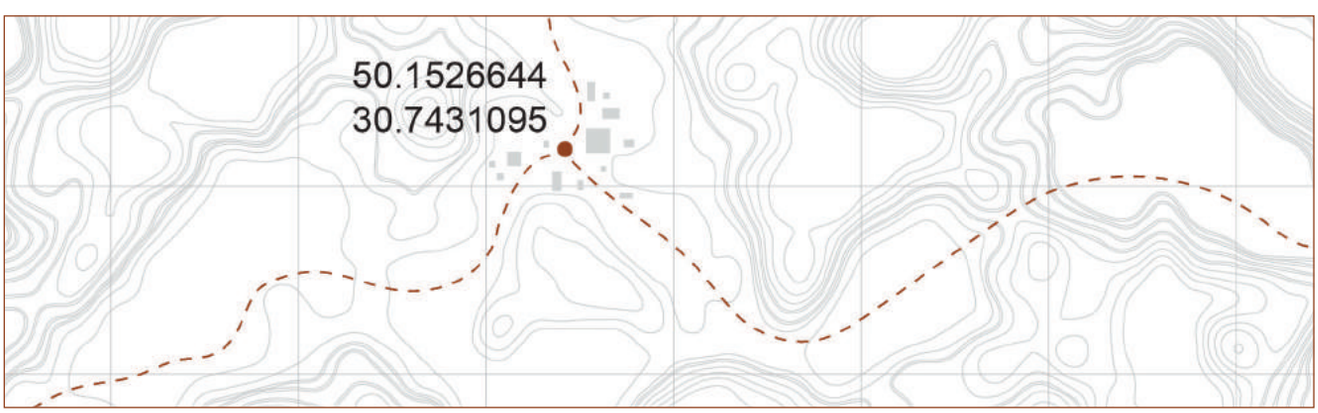
التضاريس

التضاريس Topography أو الطبّوغرافيا هي الوصف التفصيلي لمنطقة معيّنة من سطح الأرض بعناصرها الطبيعية والاصطناعية. تُستخدَم متساويات الارتفاع (خطوط الكنتور) بطريقة تقليدية لرسم خريطة طبوغرافية لتضاريس المنطقة (**الشكل 1-25**).



الشكل 1-25 تُستخدم متساويات الارتفاع (خطوط الكنتور) لرسم خريطة تضاريس المنطقة.

تُظهر الخرائط الطبوغرافية مُتساويات الارتفاع (خطوط الكنتور) للأرض، وهي وسيلة مهمّة للكثير من فروع العلوم والمهندسين ومخطّطي المدن والطرق السريعة ومطوّريها، والمتجوّلين والمخيّمين وعمال المناجم وعمال البناء والمسافرين والمسّاحين والجيولوجيين، والأشخاص الذين يستخدمون الجيوكاشينج (**الشكل 1-26**).



الشكل 1-26 موقع للجيوكاشينج GPS على خريطة طبّوغرافية.

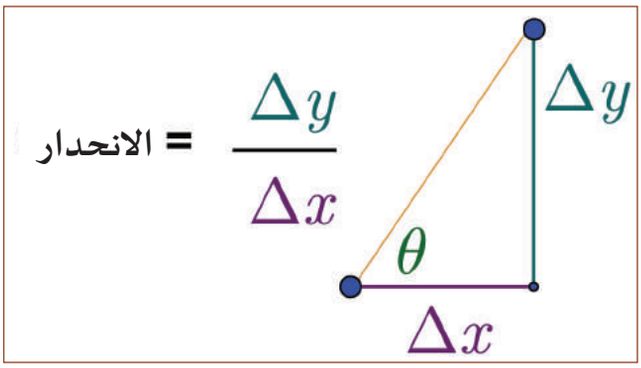
يتمّ تحديد الفرق بين متساويات الارتفاع (خطوط الكنتور) على الخريطة الطبّوغرافية من خلال النظر إلى خطَّيْن مُرقَّمَين من خطوط الكنتور عليها. يوضّح **الشكل 1-27** الخطَّيْن المرقَّمين 1750 و 2000، مع 4 أسطُر بينهما. يكون المقياس لهذه الخريطة إذًا خطَّ تساوٍ واحدًا لكلّ 50 وحدة ارتفاع.

الشكل 1-27 مقياس خطوط الكنتور.

الانحدار (المَيل)

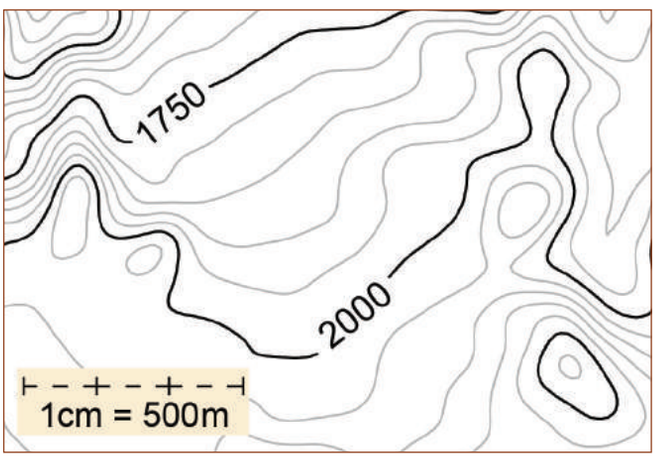
الانحدار (المَيل) Slope هو نسبة التغيُّر في الارتفاع، مقارنة بالمسافة الأفقية المقطوعة (**الشكل 1-28**).

- يُشار إلى التغيّر في الارتفاع بالرمز Δy. ويُعرف ذلك أيضًا باسم "العلو".
- يُشار إلى المسافة الأفقية التي تقطعها بالرمز Δx. ويُعرَف ذلك أيضًا باسم "المدى".



الشكل 1-28 معادلة الانحدار.

تشير الخريطة الطبوغرافية إلى التغيُّر في الارتفاع (العلوّ) باستخدام مقياس متساويات الارتفاع (خطوط الكنتور). افترض أن هذه الخريطة تحتوي على وحدات أمتار، يعني ذلك أنّ كل خطّ يمثّل تغيُّرًا في الارتفاع مقداره 50 m. تتضمّن الخريطة أيضًا مفتاحًا يشير إلى المسافة الأفقية (المدى) التي يمثّلها كل سنتيمتر على الخريطة (**الشكل 1-29**). هنا، كلّ 1 cm يمثّل 500 m من المدى.

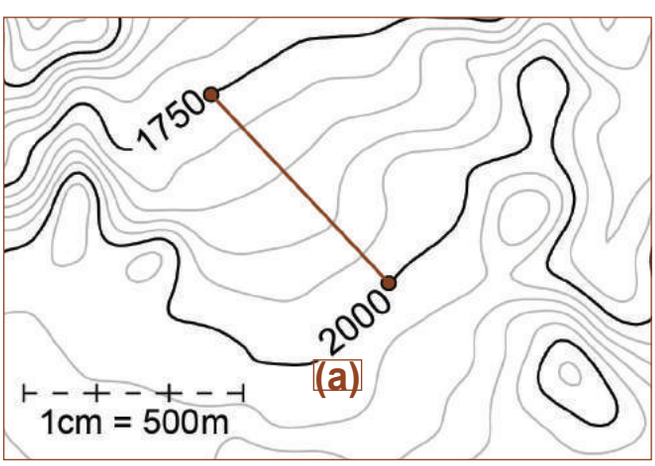


الشكل 1-29 المقياس الأفقي لهذه الخريطة 500 م لكل 1 سم.

احسب المَيل على خريطة طبّوغرافية (الشكل 1-30):

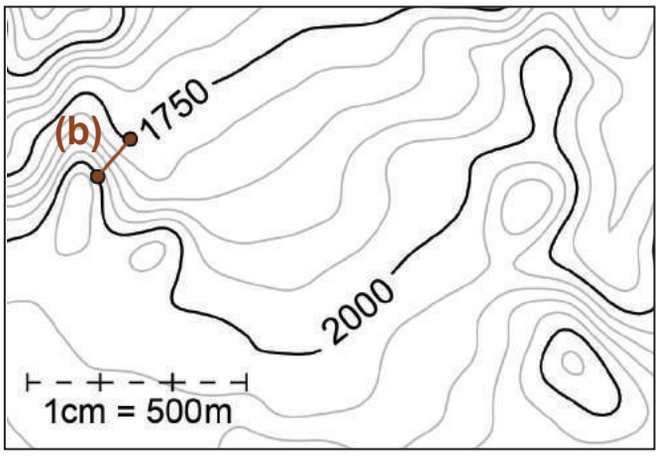
1. حدّد مسارك بين علامتَي ارتفاع (**الشكل 1-30 a**)، وحدّد التغيُّر الكلّي في الارتفاع للرحلة. ستذهب هذه الرحلة من علامة 1750 m إلى علامة 2000 m، أي إنَّ فرق الارتفاع هو 250 m.
2. قس الآن المسافة الأفقية على الخريطة. افترض أن المسافة هي 4.5cm. يشير المفتاح إلى مسار أفقي $(4.5\ \text{cm} \times 500\ \frac{\text{m}}{\text{cm}}) = 2250\ \text{m}$
3. سيكون مَيل هذه الرحلة بقيمة $(\frac{250\ \text{m}}{2250\ \text{m}}) = 0.11$.

كلّما صغر الرقم، أصبح مَيل التلّ قليلًا.



الشكل 1-30 مَيل المسار (a).

زيادة الانحدار (المَيل)



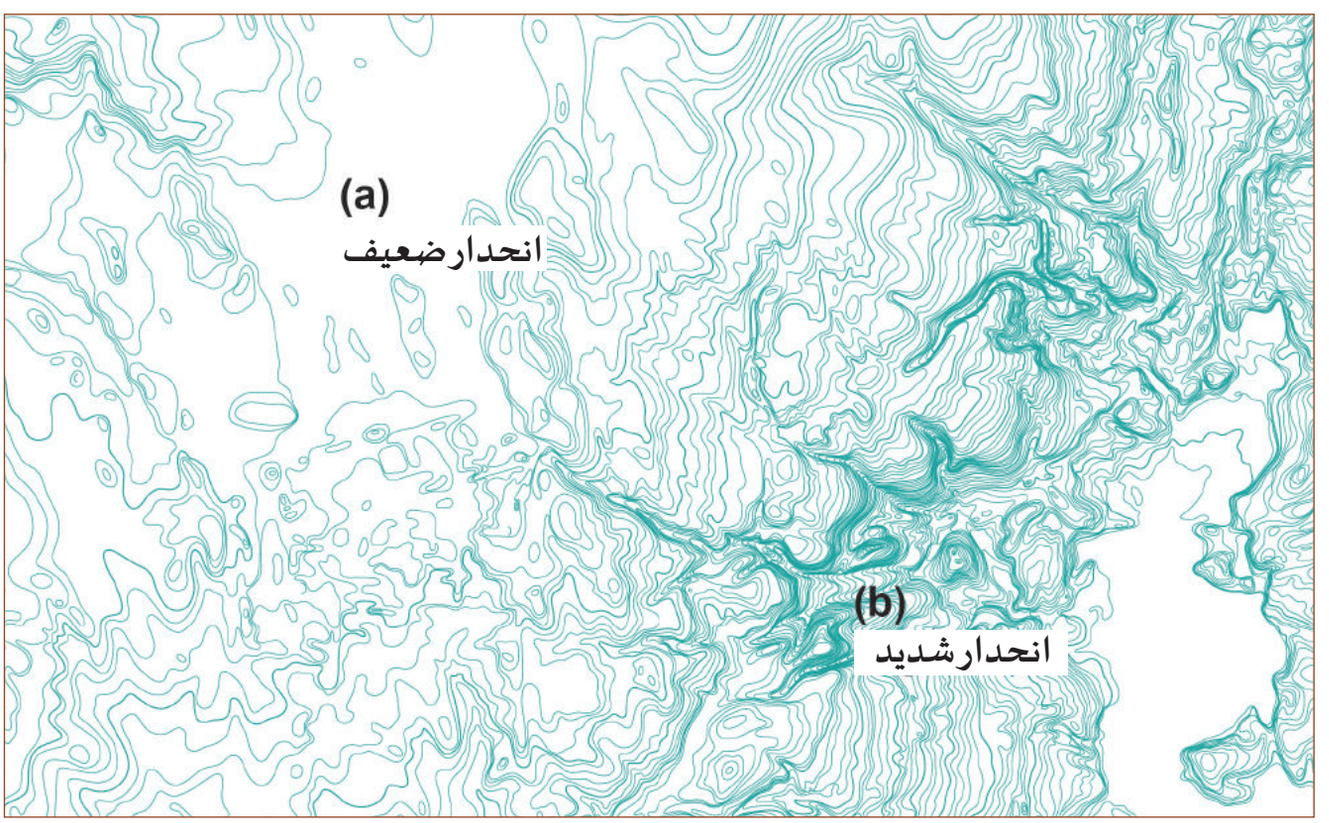
الشكل 1-31 انحدار المسار (b).

يوضّح **الشكل 1-31** مسارًا مختلفًا (b) قد يكون أكثر صعوبة.

1. لا يزال فرق الارتفاع من 1750 m إلى 2000 m، هو نفسه (250 m)، كالرحلة الأولى.
2. مع ذلك، فإنك تقيس على الخريطة المسافة الأفقية 0.8 cm، بمدى 400 m فقط ($0.8\ \text{cm} \times 500\ \frac{\text{m}}{\text{cm}}$).
3. سيكون مَيل هذا المسار 0.625.

كلّما ازدادت قيمة المَيل، ازداد انحدار التلّ.

كلّما تقاربت خطوط الكنتور (متساويات الارتفاع) على الخرائط الطبّوغرافية، ازداد انحدار التلّ. وكلّما تباعدت متساويات الارتفاع، قلّ انحداره (**الشكل 1-32**).



الشكل 1-32 خريطة طبّوغرافية توضّح الانحدار الضعيف (a) الانحدار الشديد (b).

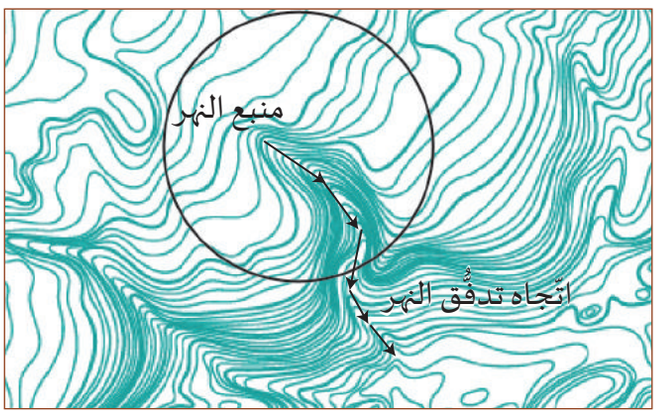
لا بُدّ من توفُّر مقياس خطوط الكنتور (متساويات الارتفاع) ومفتاح للمسافة الأفقية من أجل فهم الخريطة الطبّوغرافية. قد يُمثّل **الشكل 1-32** سلسلة جبلية مرتفعة، أو مَعْلَمًا صغيرًا في حديقتك. تتوفّر في بعض الأحيان، أدلّة على الخريطة تساعدك على تحديد ما يتمّ رسمه عليها.

التعرية المائية

تعمل المياه الجارية على نحت التربة في قاع النهر. وقد تحفر قنوات عميقة في جانب الجبل، وتتدفّق دائمًا إلى أسفله، حيث يقع النهر في الجزء الأقلّ ارتفاعًا من التضاريس الطبيعية. ويكون منبع النهر هو النقطة الأكثر ارتفاعًا فيه، ومع تقدُّم النهر يقل الارتفاع فيكون مجرى النهر دائمًا أقلّ ارتفاعًا من ضفتيه (**الشكل 1-33**).

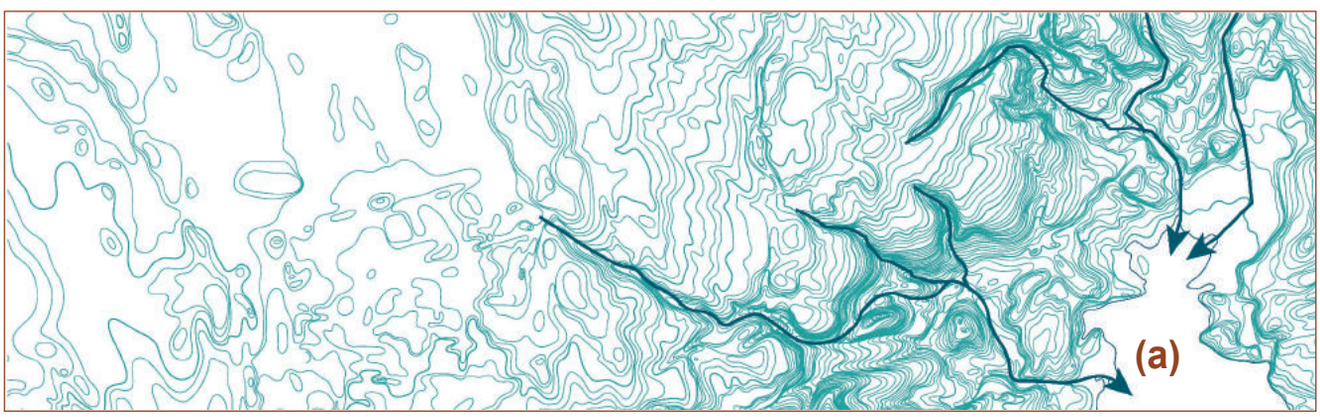
الشكل 1-33 نهر يتدفّق إلى أسفل التل الأكثر انخفاضًا من ضفّتَي النهر.

تظهر على الخريطة الطبوغرافية آثار تعرية هذا النهر كنتوءات أو حلقات على الخريطة الكنتورية (**الشكل 1-34**). تتشكّل خطوط الكنتور كحلقة باتّجاه منبع النهر، ثم تبدأ، مع اتّجاه مجرى النهر، بالتباعُد. يعني ذلك أن اتّخاذ خطوط الكنتور شكل حلقة يدلّ على اتّجاه منبع النهر الذي يكون بعكس اتجاه تدفُّق النهر.



الشكل 1-34 "حلقة" تعرية نهرية.

يوضّح **الشكل 1-35** كيف تُرسم مسارات النهر



الشكل 1-35 مسارات الأنهار والجداول التي تنتهي ببُحيرة (a) أو جسم مائي.

للإشارة إلى تدفُّق المياه، أو المسار الذي ستتّخذه المياه خلال موسم الأمطار. اربط رؤوس الحلقات وتابعها إلى أسفل النهر. يمكنك أن ترى أن البقعة (a) لها ارتفاع واحد، وقد تكون بُحيرة أو أي جسم مائي آخر.

يزوّدنا هذا الأمر بمعلومات عن المنطقة المرسومة على الخريطة، لكننا نظلّ على جهل بمقياس الخريطة الطبوغرافية بدون مفتاح ومقياس ارتفاع.

المعالم الطبوغرافية

كيف تعرف الفرق بين الجبل والوادي على خريطة طبّوغرافية؟

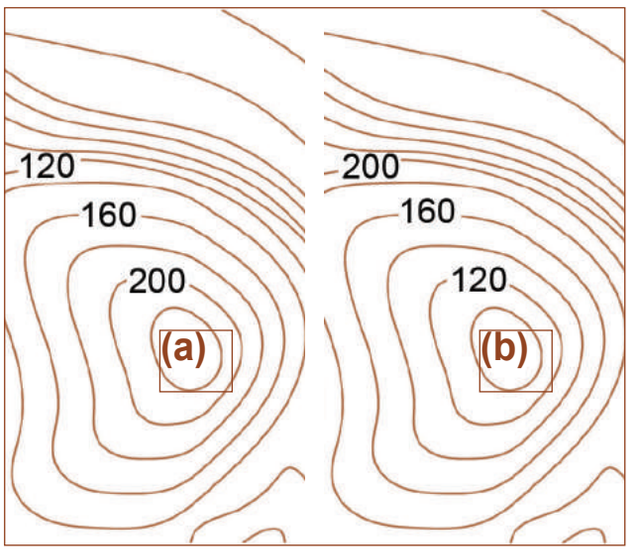
تُشير قراءة المقياس على خريطة طبوغرافية إلى بنية التضاريس التي تراها.

- يدلّ **الشكل 1-36 a** على أن خطوط الكنتور تزداد في الارتفاع، ما يعني أن معلم التضاريس (a) هو تلّ أو جبل.
- يبيّن **الشكل 1-36 b** واديًا، لأن خطوط الكنتور تتناقص كلما اقتربت من النقطة (b).

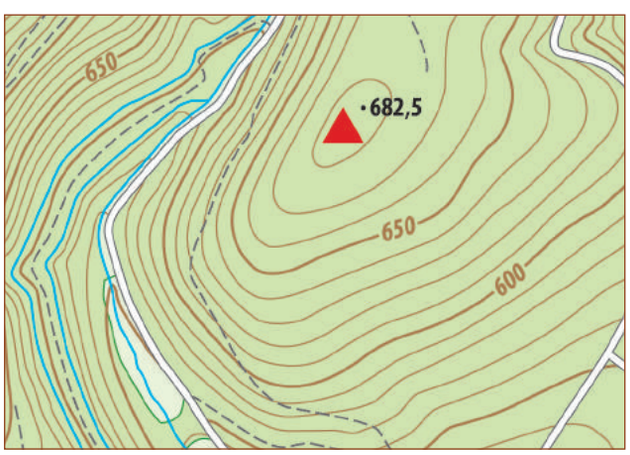
يمكنك تقدير الارتفاع عند النقطة (a). فموقعها أعلى من خط الكنتور 220، وليس هناك خط كنتور 240. ممّا يعني أن ذلك التلّ يقع بين هاتَين القيمتَين.

يُشار إلى قمم الجبال المهمَّة على الخريطة الطبوغرافية التقليدية بمثلّث صغير، مع ارتفاعاتها الدقيقة. يبيّن **الشكل 1-37** قمّة جبلية ترتفع 682.5 m عن مستوى سطح البحر. لاحظ أن المسافة الرأسية بين خطوط الكنتور المتجاورة تبلغ 10 m.

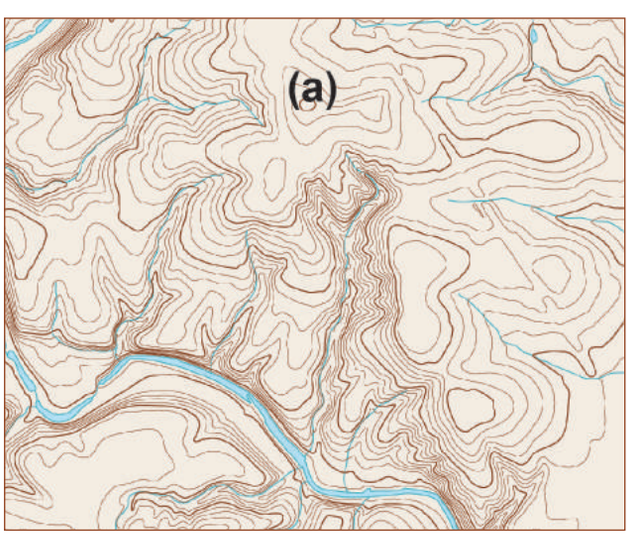
إذا أظهرت الخريطة الطبوغرافية امتداد نمط تعرية المياه الجارية المميّز من دون أي مقياس، يكون بإمكانك تحديد الجبل أو الوادي. لا يحتوي **الشكل 1-38** على مقياس، ولكن من الواضح أن النقطة (a) جبل أو تلّ، لأن نمط التعرية يُظهِر حركة انحدار المياه بعيدًا عن النقطة، ما يجعلها تشغل أعلى ارتفاع ظاهر.



الشكل 1-36 تل (a)، وادٍ (b).



الشكل 1-37 قمّة جبلية محددة الارتفاع.



الشكل 1-38 أنماط التعرية.

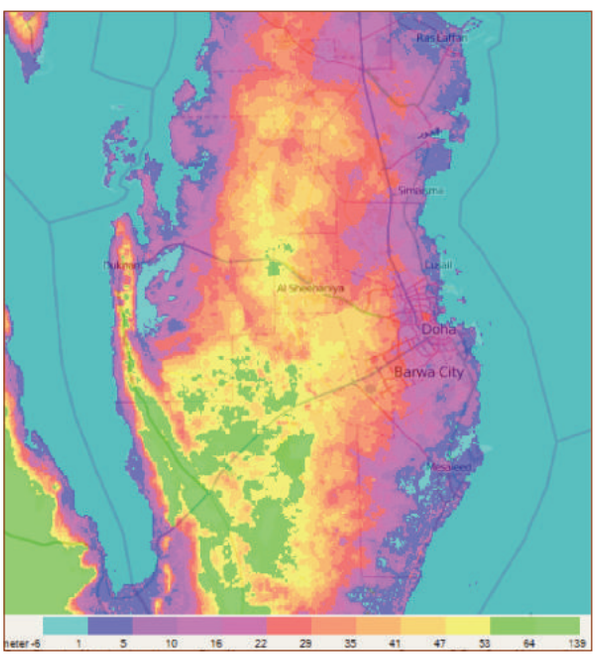
طرائق أخرى لرسم الخرائط

تتوفّر أنواع كثيرة من صيَغ الخرائط الطبوغرافية المختلفة، ولكنَّ الأكثر شيوعًا منها هي المعروفة باسم "خرائط التضاريس".

- تشير خرائط التضاريس (**الشكل 1-39**) إلى التبايُن في الارتفاع، باستخدام التلوين والتظليل بدلًا من خطوط الكنتور (متساويات الارتفاع).
- تُظهر خرائط التضاريس ارتفاعًا مُبالغًا فيه، يصل إلى خمسة أو عشرة أضعاف القيَم الحقيقية، لتوضيح التبايُن في الارتفاعات. افترض أن الأرض قد ارتفعت 100 m على مسافة أفقية من 10km. هذا يعني أنّ التغيُّر في الارتفاع على خريطة تمثّل 100 km سيكون 0.1% فقط من المسافة الأفقية المُمثّلة على الخريطة. لذلك يلجأ راسم الخرائط، بهدف جعل التغيُّر في الارتفاع أكثر وضوحًا، إلى ضرب الارتفاعات بعشرة.
- قد يشير التلوين أيضًا إلى متغيّرات أخرى، مثل مراكز التجمُّعات السكّانية.

تتوفّر أنواع أخرى من الخرائط تستخدم الألوان للإشارة إلى الارتفاعات المختلفة. وقد أصبح ممكنًا مع نظام تحديد المواقع العالمي عبر الأقمار الصناعية (GPS)، الحصول على قياسات دقيقة جدًّا للارتفاعات، وتعيين الاختلافات الصغيرة جدًّا بينها. يوضّح (**الشكل 1-40**) المعالم الطبوغرافية المنخفضة، مثل السبخات، والتي تكون على ارتفاع يتراوح بين متر ومترَين من منطقة المد العالي لمياه البحر، وتُمثَّل بألوان تختلف قليلًا عن لون المحيطات. لا يتّضح ذلك في الخريطة الطبوغرافية العادية، لكن يسهل تمييز السبخات عن مياه البحر باستخدام ألوان مختلفة.

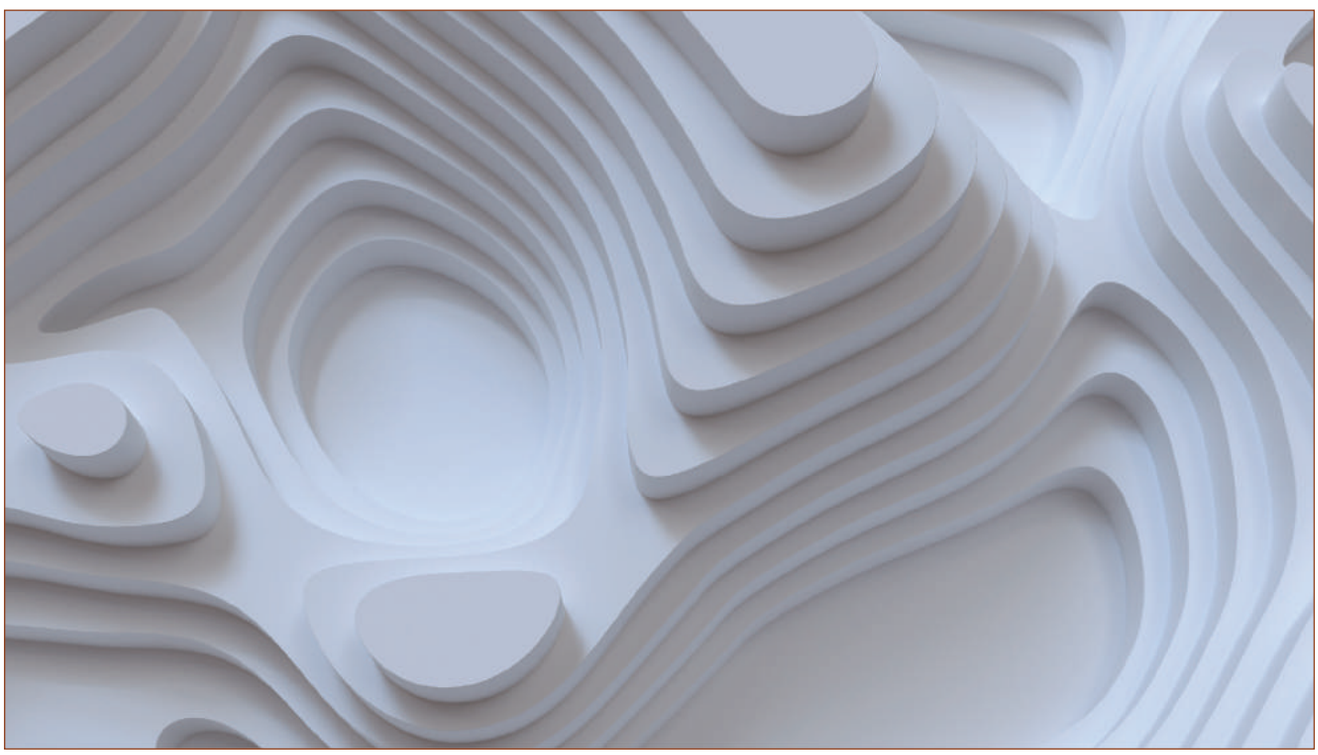
الشكل 1-39 خريطة تضاريس قطَر باستخدام التلوين والتظليل.



الشكل 1-40 خريطة ارتفاع بالألوان.

نماذج مصغّرة

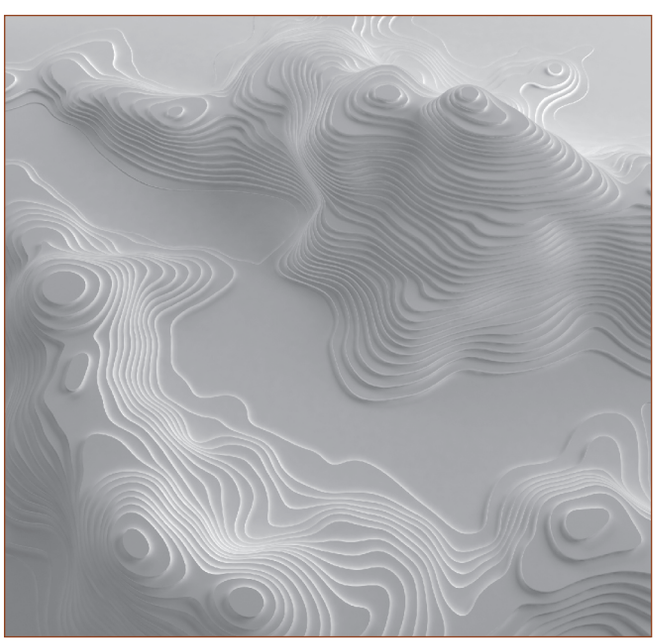
لا تزال النماذج المصغّرة للخرائط الطبّوغرافية تُصنع منذ أكثر من 2000 عام. يظلّ هذا التمثيل المرئيّ للتضاريس مفيدًا للتخطيط العسكري الاستراتيجي ولتنمية المدينة. ولا يزال المهندسون المعماريون يستخدمون هذه النماذج وسيلة يظهرون لزبائنهم من خلالها ملاءمة مبانيهم للمناظر الطبيعية الخلّابة، التي يحاولون إظهار ما أمكنهم منها.



الشكل 1-41 طبقات رغوية تمثّل خطوط الكنتور على نموذج مصغّر.

يمكن بناء نموذج مصغّر باستخدام طبقات من الرغوة، حيث تمثّل كل طبقة خط كنتور مُحدَّدًا (**الشكل 1-41**). يتمّ ببساطة تحديد كلّ متساوي ارتفاع على الرغوة وقصّه، مما يسمح ببناء كل طبقة بدقّة مُذهِلة.

- يمكن زيادة دقّة النموذج باستخدام تقسيمات أصغر بين خطوط الكنتور (**الشكل 1-42**).
- يمكن اعتماد طبقة تمثّل كل 10 m من خطوط الكنتور، بدلًا من اعتماد طبقة لكل 20 m.
- تُعطي نماذج الكمبيوتر مستويات دقّة أعلى من النماذج المادّية .



الشكل 1-42 نموذج عالي الدقّة.

نشاط 1-2 النموذج الطبّوغرافي

سؤال الاستقصاء	هل يمكنك بناء نموذج مصغّر من خريطة طبّوغرافية، أو رسم خريطة طبّوغرافية من نموذج؟
الموادّ المطلوبة	طبقات من الرغوة أو الكرتون أو مواد بناء، خريطة طبّوغرافية، علبة بلاستيكية شفّافة بغطاء شفّاف، نموذج مُصغّر.

خطوات التجربة

1. إذا كان لديك نموذج مصغّر (**الشكل 1-43**) تستطيع استخدامه لرسم خريطة طبّوغرافية.
   a. ضع النموذج في داخل العلبة. ضع الغطاء فوق العلبة ثم ارسم خطوطًا حول النموذج على الغطاء الشفّاف.
   b. صُبّ ماء ملوّنًا في العلبة إلى مستوى سنتيمتر واحد، ثم ضع الغطاء فوق العلبة وارسم خطوطًا على محيط النموذج غير المُغطّى بالماء.
   c. استمرّ في إضافة 1 cm من الماء وارسم خطوطًا على محيط النموذج حتّى يمتلىء كلّيًا بالماء. ثم انقُل رسم الخريطة الطبّوغرافية من الغطاء إلى قطعة من الورق.

الشكل 1-43 النموذج المصغّر.

2. قم ببناء نموذج مصغّر لخريطة طبّوغرافية.
   a. قم بقص الخريطة الطبوغرافية على امتداد أكبر متساوي ارتفاع منها.
   b. ارسم حدود الخريطة التي قمت بقصها على الرغوة، أو الكرتون، وقم بقصّها من الحدود التي رسمتها عليها، وبذلك تكون قد أتممت الطبقة الأولى من النموذج ألمصغّر.
   c. قم بقص الخريطة على امتداد ثاني أكبر متساوي ارتفاع منها.
   d. ارسم حدود الخريطة التي قمت بقصّها على الرغوة، وقم بقصّها من الحدود التي رسمتها عليها لتجهّز الطبقة الثانية من النموذج المُصغّر.
   e. كرّر الخطوات. عندما تنتهي، قم بإلصاق الطبقات التي قمت بقصّها فوق بعضها البعض لتحصل على نموذج مُصغّر يوضّح تضاريس المنطقة.

أسئلة

a. كيف تُحدّد قيمة انحدار واحد من النموذج الذي تبنيه؟

b. إذا بنيتَ نموذجًا لجبل يبلغ ارتفاعه 500 m وعرض قاعدته 8 km، وكان عرض القاعدة في نموذجك 16 cm، فكم سيكون ارتفاع نموذجك؟

تقويم الدرس 1-2

1. ما الذي يجعل خطوط الكنتور مختلفة عن متساويات الضغط الجوي، أو متساويات الحرارة؟

a. تمثّل خطوط الكنتور مناطق متساوية القيمة، أمّا متساويات الضغط الجوي ومتساويات الحرارة، فلا تمثّلان مناطق متساوية القيمة.

b. تمثّل خطوط الكنتور قياسًا بطريقة بيانية، أمّا متساويات الضغط الجوي ومتساويات الحرارة فلا تمثّلان قياسًا بطريقة بيانية.

c. تمثّل متساويات الارتفاع (خطوط الكنتور) قيمة لا تتغيّر بسرعة، إلّا أن متساويات الضغط الجوي ومتساويات الحرارة قد تتغيّران بسرعة.

d. يمكنك استخدام متساويات الارتفاع (خطوط الكنتور) لقياس التغيُّرات في القيمة من خطّ إلى آخر، لكنك لا تستطيع فعل ذلك باستخدام متساويات الضغط الجوي ومتساويات الحرارة.

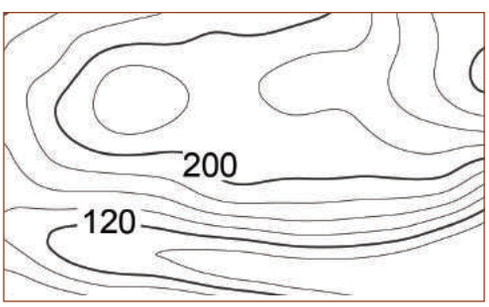
2. بناءً على **الشكل 1-44**، كم يبلغ الفرق في الارتفاع بين متساويات الارتفاع (خطوط الكنتور)؟

a. 10

b. 20

c. 30

d. 40



الشكل 1-44 متساويات ارتفاع مرقّمة.

3. ما مَيل تلٍّ بارتفاع 200 m ومدى 5000 m؟

a. 0.04

b. 0.4

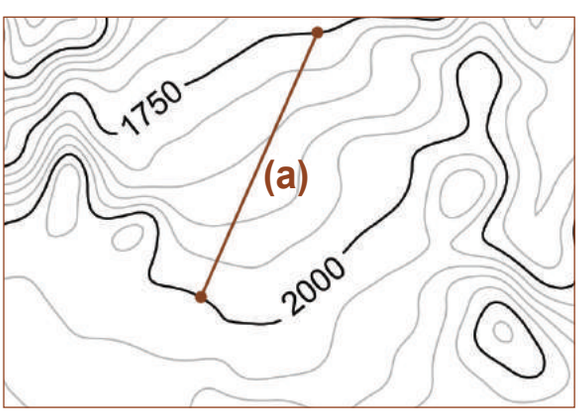
c. 2.5

d. 25.0

استخدم الخريطة الطبّوغرافية على **الشكل 1-45** للإجابة عن السؤالين 4 و 5.

4. ما التغيُّر في الارتفاع على امتداد المسار (a)؟

5. إذا كان طول المسار الأفقي (a) 6 km، فما متوسّط المَيل؟



الشكل 1-45 مقياس أمتار.

6. اذكر مثالاً على حدث طبيعي يسبّب تغيّر القيمة في متساويات الارتفاع (خطوط الكنتور) بمرور الزمن.

7. لماذا تُبالغ النماذج المصغّرة عادةً في مُتغيّر الارتفاع، وليس في مُتغيّر المدى؟

ضوء على العلماء

محمد الإدريسي: (1100-1165)

الشكل 1-46 محمد الإدريسي.

محمد بن محمد بن عبد الله بن إدريس الإِدْرِيسي الحسني الطالبي (**الشكل 1-46**): لُقّب بأبي عبد الله، وعاش ما بين (1100م و1165م). وهو واحدٌ من الأدارسة أي: عاش في نهاية عصر الأدارسة. ويُعدّ الشريف الإدريسي واحدًا من أهم أدارسة المغرب الأقصى. قضى الإدريسي حياته ما بين الرحلات الجغرافية وتأليف الكتب، حتى كانت وفاته في سبتة. برع في كثيرٍ من العلوم والفنون، وتجوّل في كثير من أنحاء أوروبا وصولًا إلى ساحل المحيط الأطلسي الفرنسي، وجمع معلومات من الشرق الأقصى من التجّار والمستكشفين المسلمين.

رسم الإدريسي خريطة مفصّلة عُرفت باسم "نزهة المشتاق في اختراق الآفاق" (**الشكل 1-47**)، وأصبحت الخريطة الأكثر شهرة في عالم القرون الوسطى. نسخها رسامو الخرائط من دون تغيير لمدة ثلاثمئة سنة.

ألهم الأدريسي الجغرافيَّيْن ابن بطوطة وابن خلدون. وكان كتابه الذي وصف عجائب الدنيا من أوائل الكتب العربية المطبوعة. وجاءت ترجمة العنوان اللاتيني على النحو الآتي: "كتاب الرحلات الممتعة إلى بلاد بعيدة"، أو "نزهة المشتاق في اختراق الآفاق".

كتب الإدريسي روايات عن رحلات الأندلسيين والمغاربة، تشير إلى أنهم بلغوا ما يعرف الآن بالأمريكتين.

الشكل 1-47 "كتاب "نزهة المشتاق في اختراق الآفاق" معروض بشكل يكون الجنوب فيه متّجهًا إلى أسفل.

الوحدة 1

مراجعة الوحدة

الدرس 1-1: دوائر العرض وخطوط الطول

- **النجم القطبي Polaris** هو النجم الوحيد في السماء الذي لا يبدو أنه يتحرّك مع دوران الأرض، لأنه يتطابق مع امتداد محور دوران الأرض تقريبًا. سبب ذلك أنّ زاويته فوق الأفق في نصف الكرة الشمالي تتطابق مع دائرة عرض المكان الذي يُلاحَظ منه.
- تُعرَف **دوائر العرض Latitude** أيضًا باسم **المُتوازيات Parallels**، وهي حلقات من خطوط وهمية تقسم كُلًّا من نصفَي الكرة إلى 90 درجة شمالًا وجنوبًا، كما تقاس من خط الاستواء عند الدرجة 0.
- يتطلّب تحديد موقع ما على سطح الأرض وجود **نقطة مرجعية Reference point**. يمكن استخدام النجم القطبي في تحديد دائرة العرض من أي موقع في الجزء الشمالي من الأرض.
- تمتدّ **خطوط الطول Longitude**، أو **خطوط الزوال Meridians**، من القطب الشمالي إلى القطب الجنوبي، وتقسم محيط الأرض إلى 360 درجة.
- تتمثّل النقطة المرجعية لخطوط الطول في **خط الزوال الرئيس Prime Meridian** الذي يمرّ بجرينتش، في إنجلترا، وهي **نقطة مرجعية لتوقيت جرينتش (GMT)**.
- **GPS** هو اختصار لنظام تحديد المواقع العالمي بالأقمار الصناعية، الذي يتمّ استخدامه حاليًا لتحديد المواقع على الأرض.

الدرس 1-2: التضاريس

- **خطوط التساوي Isolines** خطوط كنتور متساوية القيمة، تستخدم في كثير من الأغراض المختلفة لعرض الأشياء بصريًا، مثل درجة الحرارة والضغط الجوّي.
- **خطوط الكنتور (مُتساويات الارتفاع) Isoheights** خطوط تساوٍ تقيس الأماكن المتساوية **الارتفاع Elevation** فوق مستوى سطح البحر.
- تشكّل التراكيب الطبيعية على الأرض **تضاريس Topography** منطقة ما. يتم استخدام عدد من الطرائق لرسم الخريطة الطبّوغرافية، بما في ذلك خطوط الكنتور (متساويات الارتفاع).
- تُظهر **الخريطة الطبّوغرافية Topographic map** خطوط كنتور من ارتفاعات متساوية.
- يتمّ حساب **مَيل Slope** التلّ أو الوادي أو الجبل رياضيًا، بتحديد المسافة الأفقية لمسار ما وتقسيم الفرق في الارتفاع على تلك المسافة.

تقويم الوحدة

اختيار من مُتعدِّد

1. أيٌّ من الخطوط التخيّلية الآتية يمكن تحديده استنادًا إلى الزاوية التي يشكّلها النجم القطبي مع الأفق؟
   a. متساويات الضغط الجوي.
   b. دوائر العرض.
   c. متساويات الحرارة.
   d. خطوط الطول.

2. أيٌّ مما يأتي هو اسم آخر لدوائر العرض؟
   a. المتوازيات
   b. خطوط الطول
   c. المراجع
   d. الإحداثيات

3. أيٌّ من دوائر العرض الآتية لن تكون ممكنة؟
   a. 25° 35' 58"
   b. 25° 45' 58"
   c. 25° 55' 58"
   d. 25° 65' 58"

4. إذا كان الطول الحقيقي لدولة قطر 160 km، فكم درجة تغطّي هذه المسافة من دوائر العرض؟
   a. أكثر من واحدة، ولكن أقلّ من اثنتين.
   b. أكثر من اثنتين، ولكن أقلّ من ثلاث.
   c. أكثر من ثلاث، ولكن أقلّ من أربع.
   d. أكثر من أربع، ولكن أقلّ من خمس.

5. أيٌّ مما يأتي هو الأقرب إلى المسافة التي تغطّيها ثانية واحدة من دوائر العرض؟
   a. 3.1 m
   b. 31 m
   c. 1,850 m
   d. 111,000 m

6. ما مقدار خط الطول، إذا كان الوقت في موقعك يشير إلى الظهر، وكان بتوقيت جرينتش 9:30 AM؟
   a. 15 درجة
   b. 30 درجة
   c. 37.50 درجة
   d. 45 درجة

تقويم الوحدة

استخدم **الشكل 1-48** للإجابة عن السؤالين 7 و 8.

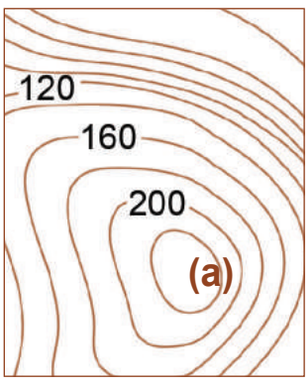
7. ما الارتفاع المحتمل لخطّ الكنتور المحيط بالنقطة a؟

a. 160 m

b. 190 m

c. 220 m

d. 250 m



الشكل 1-48 خريطة طبّوغرافية.

8. افترض أن النقطة (a) هي أعلى نقطة في فوَّهة بركان، وأنّ ارتفاعها يقلّ عن مستوى ارتفاع 200. ما الارتفاع المحتمل للنقطة (a)؟

a. 180

b. 170

c. 160

d. 150

9. كيف تتعرَّف إلى مُسطّح مائي أو موقع سبخة على خريطة طبّوغرافية؟

a. يكون ملوّنًا دائمًا باللون الأزرق.

b. يحتوي على كثير من خطوط التساوي المُتقاربة.

c. يحتوي على كثير من خطوط التساوي المتباعدة.

d. قد لا يحتوي على خطوط تساوٍ تشير إلى نقطة مسطّحة على الخريطة، حيث لا يتغيّر الارتفاع.

استخدم **الشكل 1-49** للإجابة عن السؤالَين 10 و 11.

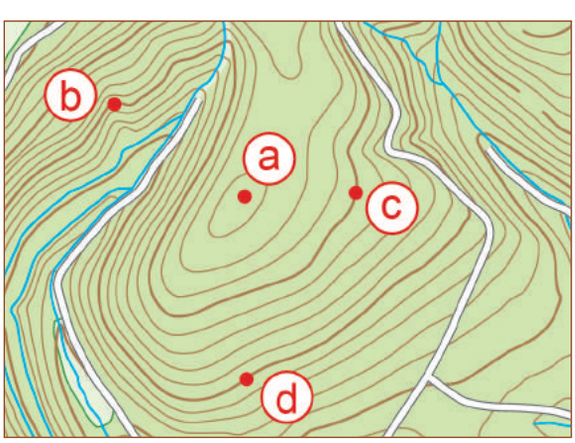
10. ما النقطة التي تكون عند أعلى ارتفاع؟

a. (a)

b. (b)

c. (c)

d. (d)



الشكل 1-49 تظهر الخريطة الطبوغرافية معالم تعرية.

11. ما النقطتان اللتان لهما الارتفاع نفسه؟

a. (a) و(b)

b. (b) و(c)

c. (c) و(d)

d. (d) و(a)

تقويم الوحدة

الدرس 1-1: دوائر العرض وخطوط الطول

12. أين سيكون موقعك إذا لاحظت النجم القطبي عند زاوية 90 درجة فوق الأفق؟

13. لماذا لا يستخدم الناس في نصف الكرة الجنوبي النجم القطبي لأغراض الملاحة؟

14. لماذا يكون للخرائط المختلفة مقاييس مختلفة للمسافة بين خطوط الطول؟

15.* ما ميزتا استخدام GPS لخطوط الطول أو لدوائر العرض، في التدوين العشري بدلًا من الدرجات والدقائق والثواني؟

الشكل 1-50 جزء من خريطة قطَر.

استخدم **الشكل 1-50** للإجابة عن الأسئلة 16 و 17 و 18.

16.* ما خطّ طول روضة راشد؟ تكون الإجابة مقبولة بزيادة أو نقصان دقيقتَين عن القيمة الحقيقية.

17.* ما دائرة عرض لوسيل؟ تكون الإجابة مقبولة بزيادة أو نقصان 5 دقائق عن القيمة الحقيقية.

18.* ما خطّ طول الريان؟ تكون الإجابة مقبولة بزيادة أو نقصان 5 دقائق عن القيمة الحقيقية.

تقويم الوحدة

الدرس 1-2: التضاريس

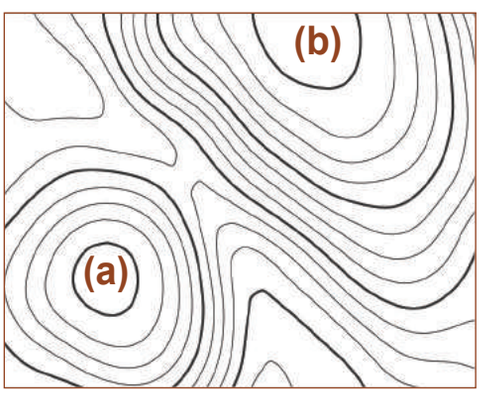
19. ما العامل الذي يتغيّر بين خطّ كنتور معيّن وخط كنتور مجاور على الخريطة الطبّوغرافية؟

20. كيف تظهر خطوط الكنتور على الخريطة الطبّوغرافية التي تسمح لك بأن تعرف أن هناك منطقة انحدارها شديد؟

21. * ما ميزة الخريطة الطبّوغرافية التي تسمح لك برسم مسار نهر؟ اشرح كيف سترسم النهر.

22. بناء على **الشكل 1-51**، الذي يبين قمَّتين جبليَّتَين، كيف تتمّ المقارنة بين ارتفاع النقطة (a) وارتفاع النقطة (b)؟ *

23. يمثّل **الشكل 1-51** منطقتَي وادٍ عند النقطتَّين (a) و(b). كيف تتمّ المقارنة بين ارتفاع النقطة (a) وارتفاع النقطة (b) إذا كانتا كلتاهما واديين؟ **



الشكل 1-51 خريطة طبّوغرافية تُظهِر نقطتين.

24. كيف تُظهر خرائط التضاريس المعالم الطبوغرافية بدلًا من استخدام خطوط الكنتور؟

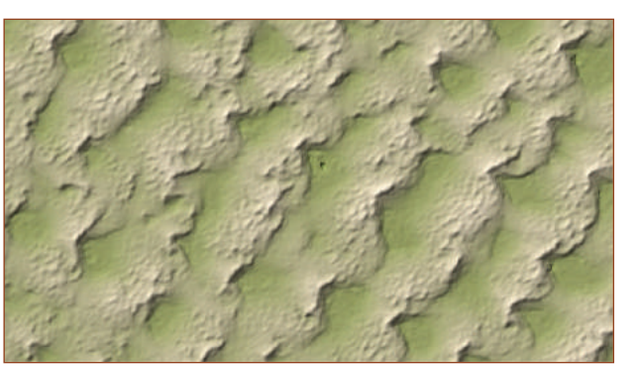
25. اذكر السبب الرئيس الذي يجعل خرائط التضاريس تُبالغ في بيانات الارتفاع، مقارنة ببيانات المسافة الأفقية.

26. ما التقنية التي تستخدمها خرائط الأقمار الصناعية لنظام تحديد المواقع العالمي، للإشارة إلى الاختلافات الصغيرة في الارتفاع؟ *

27. ما ميزتا استخدام النماذج المصغّرة لإظهار تضاريس الأرض؟

28. يبيّن **الشكل 1-52** صورة قمر صناعي عالية الدقّة للكثبان الرملية، المماثلة لكثبان قطر. *

أنشئ رسمًا تخطيطيًا طبوغرافيًا لأحد الكثبان الرملية، مُبيّنًا الجانب الشديد الانحدار والجانب القليل الانحدار. **


الشكل 1-52 صورة قمر صناعي عالية الدقة للكثبان الرملية.

الوحدة 2
الزمن الجيولوجي وتاريخ الأرض
Geologic Time and Earth's History

في هذه الوحدة

الدّرس 2-1: الزمن الجيولوجي ES1203

الدّرس 2-2: تفسير الأنماط الجيولوجية ES1204

2 الوحدة

مقدّمة الوحدة

ترجع النشأة الأولى للتاريخ الجيولوجي في رَأْس بروق بقطَر إلى آلاف السنين من تاريخ البشرية. يُظهِر التنقيب في هذه المواقع دليلًا على أنّها كانت مقصدًا لغوّاصي اللؤلؤ، وأنّها شهدت صناعة سُفن الشحن التي أسهمت في تطوير الخليج العربي.

يكشف الحفر الأعمق عن أدلّة تشير إلى الزمن الذي سبق تشكّل الخليج العربي، وعندما كانت جميع القارّات مندمجة في قارّة كبرى تُسمّى "جندوانا". يُقاس التتابُع الزمني لهذا التاريخ الجيولوجي بمئات ملايين السنين.

توضّح هذه الوحدة التقنيات المُستخدمة لفهم تاريخ الأرض. يُغطّي الدرس 1 مقياس الزمن الجيولوجي منذ تشكيل الأرض وإلى اليوم. بينما يشرح الدرس 2 التقنيات المُستخدمة لفهم الصفائح التكتونية والأحداث الجيولوجية الأخرى التي أثّرت على الأرض على مدى أكثر من ثلاثة مليارات سنة.

الأنشطة والتجارب

1-2 تحديد الأحافير

a 2-2 علاقات القواطع

b 2-2 محاكاة عمر النصف

الدّرس 2-1

الزمن الجيولوجي
Geologic Time

يتغيّر سطح الأرض باستمرار نتيجة حدوث الكثير من العمليات البطيئة، كأن تغطّي الحمم البركانية الجديدة حممًا بركانية أقدم. تتعرّض الجبال للتعرية فتتحوّل صخورها إلى رواسب تتوضّع في طبقات عند قاع البُحيرات والبحار والمحيطات. يُدوَّن سجلّ هذه التغيّرات على مدى ملايين السنين، في طبقات الصخور. ويدرس الجيولوجيون تلك الطبقات ليتعرّفوا على تاريخ الأرض.

الشكل 2-1 الحمم البركانية المتدفّقة من البركان.

يتغيّر سطح الأرض على مقياس زمني أطول بكثير من الحياة البشرية. تبحث هذه الوحدة في سلّم زمني يعود إلى ملايين السنين، وهو سلّم الزمن الذي تغيّر خلاله كوكبنا.

مخرجات التّعلُّم

ES1203.1 يدرك مفهوم سلّم الزمن الجيولوجي ونشأته، وسبب استخدام هذا المقياس.

ES1203.2 يعرف أن سلّم الزمن الجيولوجي ينقسم إلى وحدات من الزمن مختلفة الفترات الزمنية. يتضمن هذا التسلسل الهرمي، من الأكبر إلى الأصغر، الدهر، والحقبة، والعصر، والحين، والعهد.

ES1203.3 يفهم بأن تقسيم الزمن الجيولوجي إلى وحدات يرتكز على مجموعة من الأحداث. تتضمن أنواع الأحداث هذه، على سبيل المثال لا الحصر: الظهور الأوّل لنوع ما، وانقراض أنواع مفتاحية رئيسة، وتغيّرات مناخية عالمية رئيسة.

المفردات

Eon	الدهر
Precambrian	ما قبل الكمبري
Phanerozoic	دهر الحياة الظاهرة
Era	الحقبة
Period	العصر
Epoch	الحين
Age	العهد
Extinction event	حدث الانقراض
Paleozoic era	حقبة الحياة القديمة
Paleontologist	عالم الأحافير
Fossils	الأحافير
Index fossil	الأحفورة المُرشِدة
Million Years Ago (MYA)	قبل مليون سنة

تقنيّة التأريخ

كيف نعرف أنَّ شيئًا ما أقدم جيولوجيًا من شيء آخر؟

الشكل 2-2 تدلّ حلقات الشجرة على تاريخ نموّها.

إذا أراد العلماء أن يُحدّدوا تاريخ أحداث الماضي في الزمن الجيولوجي، فلا بدّ لهم من قراءة الأدلّة التي وُجدت على طبقات الصخور وفهمها على الوجه الصحيح.

يشبه ذلك استخدام حلقات شجرة لفهم تاريخ نموّها (**الشكل 2-2**).

تنمو حلقة جديدة كلّ عام.

- هل يمكنك تحديد عمر الشجرة من خلال عدّ الحلقات؟
- ما الذي تُشير إليه الحلقة السميكة حول ظروف النموّ خلال تلك السنة؟
- ما أنواع ظروف النموّ التي تُشير إليها الحلقات الرقيقة جدًا؟
- ما الأدلّة الأخرى على البيئة التي كانت تنمو فيها الشجرة إذا حلّلتَ المحتوى المعدني لكل طبقة؟

الشكل 2-3 التخرّج من المدرسة حدث مُهم في الحياة.

إذا أنشأتَ خطًّا زمنيًّا لحياتك، فكيف تنظّمه؟ هل تنظّم جدولك الزمني بالتواريخ فقط؟ هل تنظّمه بفترات تفصل بين التغيُّرات الكبرى في حياتك، كالتخرّج من المدرسة (**الشكل 2-3**)، وسواه؟

يستحيل عمليًا سرد ما يحدث في كل يوم. لذلك يُفضّل تقسيم الأيام إلى مجموعات، مثل السنوات. يقسم علماء الجيولوجيا تاريخ الأرض إلى مجموعات من الاحداث ليسهل عليهم تمييز الأحداث الرئيسة في تاريخ الأرض. وتُعدّ السنوات وقتًا قصيرًا جدًا لقياس التاريخ الجيولوجي. حتّى آلاف السنين تبدو فترة زمنية قصيرة جدًا. سنرى أن التنظيم الأمثل لتاريخ الأرض يستخدم الأحداث الأكثر أهمّية، مثل بداية ظهور النباتات، أو انقراض الديناصورات.

الأرض قديمة

تُشير مصادر البيانات المتعدّدة إلى أن الأرض قد تشكّلت منذ 4.543 مليارات سنة. للمقارنة، يمكن القول إنّ كل التاريخ البشري المُسجّل، منذ أول كتابة مسمارية سومرية حتى اليوم، لا يتجاوز 5000 سنة. إذا مُثّل عمر الأرض بيوم واحد من 24 ساعة، فإن الديناصورات التي جابت الأرض على مدى 160 مليون سنة (**الشكل 2-4**) سيتم تمثيلها بـ 51 دقيقة فقط. أمّا سجلّ الإنسان الحضاري على الأرض فيبدأ بالعُشر الأخير من الثانية الأخيرة من ذلك اليوم. يبيّن كل ذلك كم أنّ الأرض قديمة.

الشكل 2-4 جابت الديناصورات الأرض على مدى 160 مليون سنة.

يستخدم الجيولوجيون أحداثًا مُهمّة لتقسيم فترات تاريخ الأرض. تُسمّى أكبر وحدة من وحدات الزمن الجيولوجي **الدهر Eon**. بما أن الدهور تتحدّد بالأحداث الكبرى، فإنها لا تتساوى بطول المدّة الزمنية، فهي تتراوح بين 500 مليون سنة وأكثر من مليار سنة.

ما قبل الكمبري

تُجمّع الأربعة مليارات سنة الأولى من تاريخ الأرض في فترة زمنية تُسمّى **ما قبل الكمبري Precambrian**. ظهرت الحياة المجهرية الأولى في ما قبل الكمبري لكن لم يتوفّر إلّا القليل من التفاصيل لأن البكتيريا لا تترك سوى القليل من الأحافير.

1. يصف هذا الدهر الأحداث التي شهدتها الأرض خلال الأربعة مليارات سنة الأولى من تاريخ الأرض، حيث أنه يمثّل 88% من الزمن الجيولوجي للأرض. وقد سُمّي دهر الحياة المُستترة لعدم توفُّر المعلومات الكافية عن الكائنات الحية فيه، وذلك لندرة تكوُّن الأحافير للكائنات المجهرية التي ظهرت فيه. يُعرف الدهر الأوّل ممّا قبل الكمبري بدهر الحياة الخفية.
2. تتمثّل الأحداث الأكثر أهمّية للدهر الثاني، أو السحيق، في بداية ظهور الكائنات الحية البسيطة، وتشكُّل المياه على سطح الأرض، وتكوُّن الغلاف الجوّي، وبداية عملية البناء الضوئي.
3. خلال الدهر الثالث، الحياة الأوّلية، تشكّلت الصفائح التكتونية. والأنهار الجليدية، وبداية الحياة المُعقّدة في المحيطات.

سلّم الزمن الجيولوجي

تُذكر التواريخ في الزمن الجيولوجي بوحدة: **"قبل مليون سنة" Million Years Ago (MYA)**. ولكي نوضّح كم هي طويلة فترة المليون سنة، التي يصعب علينا تخيُّلها حتّى، لا بُدَّ من مقارنتها بفترات معروفة. فإذا كانت الرسوم البشرية الأولى على جدران الكهوف والتي أنجزها إنسان النياندرتال تعود إلى 44000 سنة، تكون فترة المليون سنة أقدم منها بما يزيد على عشرين مرّة. وإذا كانت أقدم الحضارات الإنسانية التي ظهرت فيها الكتابات الأولى على الألواح الطينية تعود إلى 5000 سنة، تكون فترة المليون سنة أقدم منها بمئتَي مرّة.

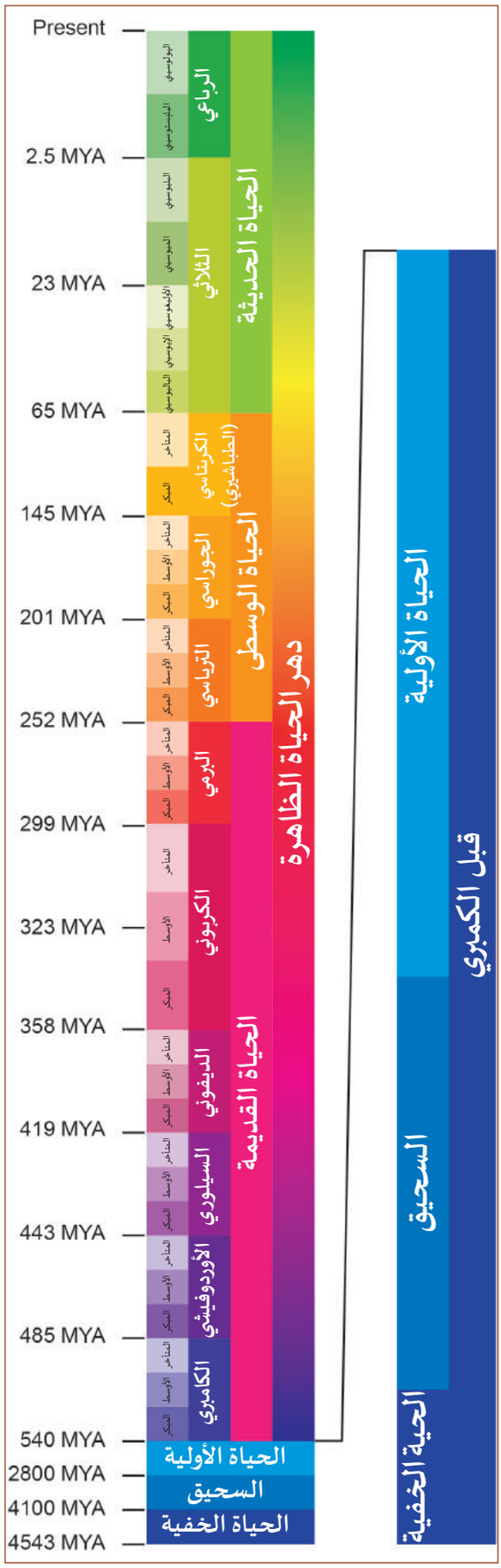
بدأ **دهر الحياة الظاهرة Phanerozoic** عندما أظهر سجلّ الأحافير التنوّع الأوّل الكبير للحياة قبل 540 مليون سنة تقريبًا. وهو ينقسم إلى حِقَب وعصور وأحيان وعهود.

الحقبة Era: يُقسم دهر الحياة الظاهرة إلى ثلاث حقبات، هي: الحياة القديمة والحياة الوسطى والحياة الحديثة.

العصر Period: تُقسَم كل حقبة إلى عصور جيولوجية. وغالبًا ما تتزامن نهاية العصر وبداية العصر التالي مع حدث كبير مثل حدث الانقراض، الذي يرتبط في الغالب بالتغيُّرات المناخية الجذرية.

الحين Epoch: تُقسَم العصور إلى أحيان. وغالبًا ما تتزامن الأحيان مع ظهور دليل أحفوري لأنواع جديدة، أو انقراض أنواع أخرى. ترتبط الأحيان بطبقة معيّنة من الصخور تم العثور فيها على أحافير.

العهد Age: تُقسم الأحيان إلى عهود. يُمثّل العهد طبقة معيّنة من الصخور الرسوبية، أو حدثًا جغرافيًّا كبيرًا، مثل العصر الجليدي، أو حدثًا تاريخيًّا حديثًا، مثل العهد البرونزي.



الشكل 2-5 سُلّم الزمن الجيولوجي.

الحِقَب الرئيسة الثلاث من "دهر الحياة الظاهرة"

حقبة الحياة القديمة Paleozoic Era: منذ 540 مليون سنة إلى 252 مليون سنة.

- ظهرت النباتات على اليابسة.
- اكتسبت الكائنات ذات الخلايا المتعدّدة قشرة صلبة وأجزاء الجسم، وانتقلت (اللافقاريات) إلى اليابسة.
- ظهرت الفقاريات على اليابسة.
- تشكّلت بانجيا، وهي قارّة عملاقة غيّرت مناخ العالم.
- انتهت بحدث انقراض العصر البرمي، أي الانقراض الجماعي الأكثر شدّة في تاريخ الأرض. انقرض 95% من الحياة البحرية و70% من الحياة البرّية.
- أتاح الانقراض في نهاية العصر البرمي (آخر عصور حقبة الحياة القديمة) الكثير من فرص التطوُّر لأنواع جديدة.

حقبة الحياة الوسطى Mesozoic Era: منذ 252 مليون سنة إلى 65 مليون سنة.

- تطوّرت الأنواع الجديدة تطوُّرًا سريعًا لملء المناطق الحيوية الخالية.
- شكّلت الديناصورات الصورة السائدة للحياة الحيوانية المعقّدة، وكان العالم دافئًا.
- ظهرت الحشرات والثدييات الأولى والأشجار الصنوبرية.
- ظهرت النباتات الزهرية.
- ظهرت الطيور الأولى.
- انتهت حقبة الحياة الوسطى بالانقراض الجماعي جرّاء سقوط نيزك عملاق في نهاية العصر الكريتاسي (الطباشيري). ومع ذلك يرى الجيولوجيون أن الانقراض قد بدأ فعلًا بسبب المناخ القاسي الناتج عن النشاط البركاني.

حقبة الحياة الحديثة Cenozoic Era: قبل 65 مليون سنة حتى الوقت الحاضر.

- أتاح انقراض الديناصورات الكبيرة للثدييات فرصة لتنتشر وتصبح الشكل السائد للحياة.
- أدّى العصر الجليدي وبرودة الأرض إلى ظهور خصائص للكائنات الحية تساعدها على التكيُّف مع الشكل الذي أصبحت عليه الكائنات اليوم.
- يرى كثير من العلماء أننا في حدث انقراض جماعي، حيث يتسبّب النشاط البشري بإزالة 100 إلى 200 نوع يوميًا من التنوّع البيولوجي للكوكب. أدّى تدمير المَواطن، وتغيُّر المناخ، والصيد الجائر، وصيد الأسماك المفرط، إلى انقراض 50% من الأنواع في العشرة آلاف سنة الأخيرة.

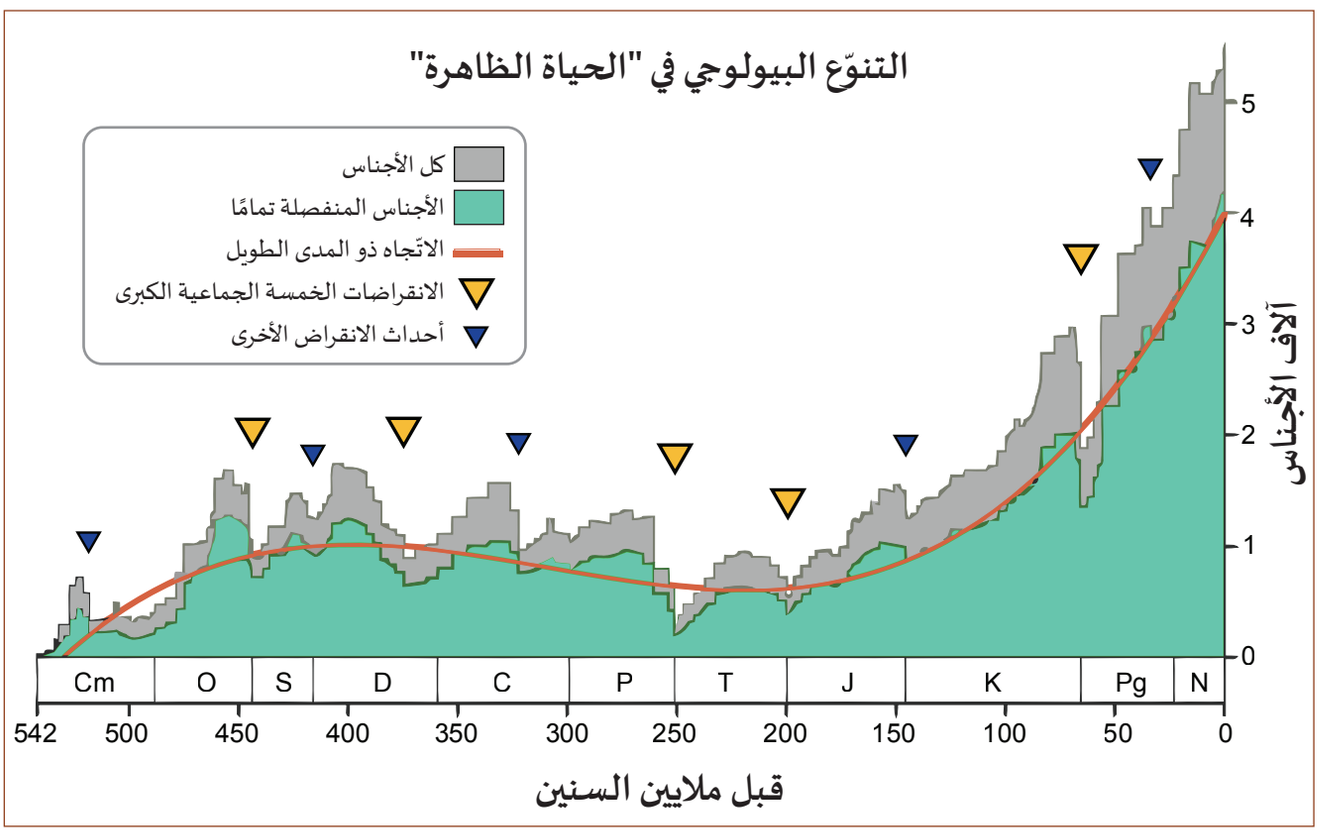
حدث الانقراض

الشكل 2-6 رسم توضيحي لنيزك يضرب الأرض.

يرى العلماء أن عهد الديناصورات قد انتهى عندما ارتطم بالأرض نيزك بلغ عرضه عدة كيلومترات (**الشكل 2-6**). ترتبط الفجوة التي أحدثها، والتي دُوّنت في السجلّ الأحفوري، بطبقة رقيقة من الإيريديوم، وهو عنصر نادر على الأرض، ولكنه شائع في الشهب.

كان ارتطام النيزك واحدًا من خمسة أحداث انقراض، ترافقت مع كثير من الأحداث الأصغر.

حدث الانقراض Extinction event هو انخفاض هائل واسع النطاق في التنوُّع البيولوجي على الكوكب (**الشكل 2-7**).



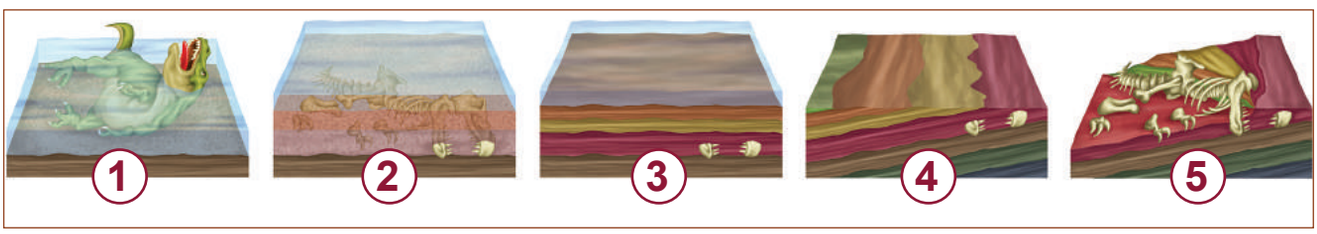
الشكل 2-7 مخطّط التنوّع البيولوجي وتأثير أحداث الانقراض.

يُشكّل الاحترار العالمي، والنشاطات البركانية الشديدة، وزيادة حموضة المحيطات، وتغيُّر مستويات سطح البحر، بعضًا من الأحداث المُرتبطة بأحداث الانقراض.

عندما تُصبح البيئة غير مناسبة للأنواع، فسوف تنقرض. يتيح ذلك للأنواع الأخرى الفرصة لتصبح هي السائدة في المناطق الحيوية التي كانت مشغولة سابقًا، فتظهر جرّاء ذلك نباتات وحيوانات جديدة.

سجلّ الأحافير

تُعرَف الأحفورة أنّها سجلّ في الصخر لكائن حي عاش في الزمن الماضي البعيد. تتضمّن الأحافير رغم ندرتها أدلّة مُهمّة على تاريخ الأرض. يبيّن **الشكل 2-8** عملية تكوُّن الأحفورة.



الشكل 2-8 تتكوّن الأحافير في الصخور الرسوبية عند ظروف معيّنة.

1. يموت الكائن الحي بحيث يُطمر في الرسوبيات بسرعة تُجنّبه التعرُّض للتحلّل.
2. تغطّي رسوبيات جديدة الرسوبيات التي تحتوي على بقايا الكائن الحي على مدى آلاف السنين أو ملايين السنين. يعني ذلك أنّ الصخور الرسوبية وحدها تحتوي على الأحافير.
3. يتمّ على مدى ملايين السنين استبدال المواد الأحيائية في العظام بالمعادن التي تتّخذ أشكال العظام نفسها. فالأحافير صخور وليست بقايا أحيائية حقيقية.
4. ترفع العمليات الجيولوجية الصخور الرسوبية التي تحتوي على الأحافير.
5. تؤدّي التعرية إلى تآكُل الصخور حتى تتكشّف الأحافير.

تتّصف الأحافير بأنّها نادرة جدًا، وسبب ذلك أنّ احتمال موت الكائن الحي في بيئة ملائمة ليصبح أحفورة لا يتجاوز الواحد من مليار. عندما تكون الأحافير في باطن الأرض، فإنّ أي انصهار للصخور سوف يدمّرها. حتّى لو بقيت الصخور الرسوبية التي تتضمّن الأحافير على حالها، فإن احتمال تكشّفها على سطح الأرض، والعثور على أحافيرها، احتمال ضئيل جدًا. يُقدّر أنه من أصل خمسين مليار تيراناصور عاشت على الأرض عُثر على أقلّ من خمسين أحفورة لها، وكان معظمها قِطعًا، وليست أحافير كاملة.

- يستخدم **علماء الأحافير Paleontologists** الأحافير لدراسة تاريخ الأرض من خلال مُعاينة الأحافير **(الشكل 2-9)** وطبقات الصخور **حيث وُجدت**، فيتمكّنون بذلك من تحديد العمر النسبي لطبقات الصخور التي تحتوي على أحافير متشابهة. تشكّل الأحافير علامات لأحداث تفصل بين عصور الزمن الجيولوجي. فالعصر الأوردوفيشي مثلًا بدأ قبل 485 مليون سنة عند الظهور الأوّل للأسماك في السجلّ الأحفوري.

الشكل 2-9 صخور رسوبية تحتوي على أحفورة ثلاثية الفصوص (ترايلوبيت).

الأحداث التي تحدّد العصور والأحيان

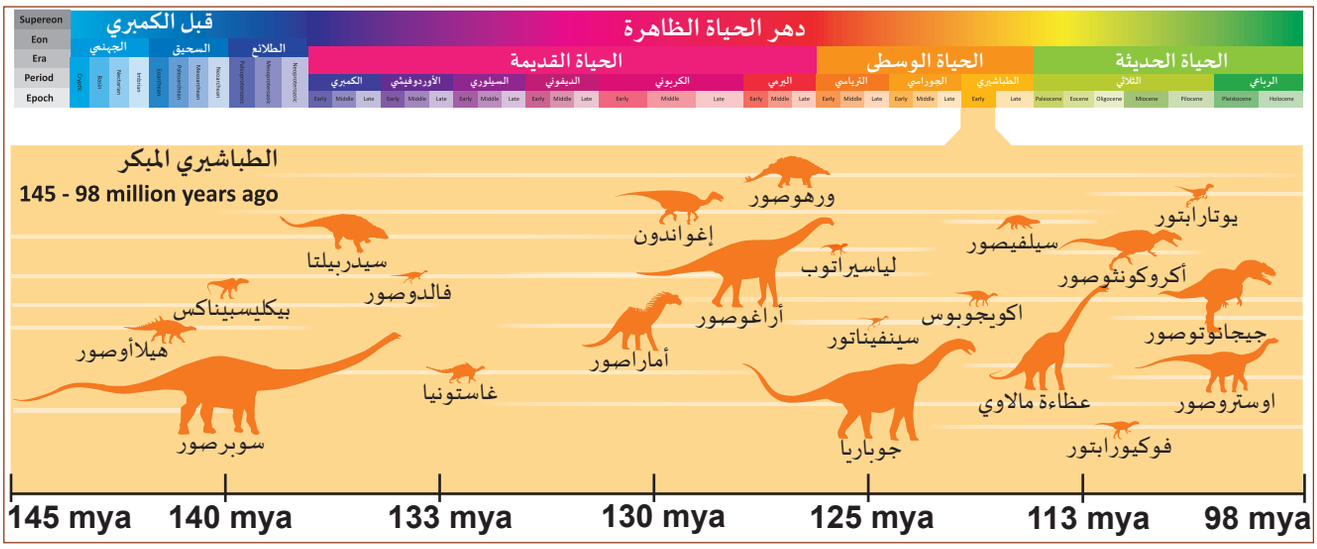
يُعدّ **الجدول 2-1** مثالًا بسيطًا على الأحداث المهمّة في السجلّ الأحفوري المقسّم إلى حِقَب وعصور وأحيان مختلفة.

الجدول 2-1 الأحداث المهمة والعصور والأحيان المقابلة.

الحدث	الحين	العصر	الحقبة
أصل الأرض			ما قبل الكمبري
ظهور أوّل كائنات حية ذات خلية واحدة			
ظهور أوّل كائنات حية متعدّدة الخلايا			
ظهور أوّل الكائنات الحية مع أصداف	كل عصر في حقبتَي الحياة القديمة والحياة الوسطى يُقسم إلى ثلاثةأحيان: مُبكر، أوسط، مُتأخّر.	الكمبري	حقبة الحياة القديمة
سياده وانتشار ثلاثية الفصوص (الترايلوبيت)			
بداية ظهور الأسماك		الأوردوفيشي	
ظهور النباتات البرّية الأولى		السيلوري	
هيمنة الأسماك			
ظهور الحشرات الأولى		الديفوني	
ظهور البرمائيات الكبيرة		الكربوني	
تكوُّن مستنقعات الفحم الكبيرة			
ظهور الزواحف الأولى			
انقراض ثلاثية الفصوص (الترايلوبيت) والكثير من الحيوانات البحرية		البيرمي	
هيمنة الديناصورات		الترياسي	حقبة الحياة الوسطى
ظهور الطيور الأولى			
هيمنة الأمونيت والنباتات اللازهرية		الجوراسي	
ظهور أوّل نباتات مزهرة		الكريتاسي (الطباشيري) (K)	
انقراض الديناصورات والكثير من الأنواع	البالیوسيني	الثلاثي	حقبة الحياة الحديثة
هيمنة الثدييات والنباتات الزهرية	الإيوسيني		
	الأوليجوسيني		
	الميوسيني		
	البليوسيني		
	البليستوسيني	الرباعي	
	الهولوسيني		

استخدام سجلّ الأحافير

يتميّز سجلّ الأحافير الكامل بأنّه واسع جدًا، ما يجعل توضيحه في رسم بياني واحد أمرًا مستحيلًا. يوضّح **الشكل 2-10** بعض الزواحف الرئيسة في الحين الطباشيري المُبكر.



الشكل 2-10 الأدلّة الأحفورية في الحين الكريتاسي (الطباشيري) المُبكر.

تُعرف الأحافير الأكثر فائدةً للتأريخ الجيولوجي أنّها الأحافير العائدة إلى الكائنات الحيّة التي كانت شائعة جدًا واستمرّت لفترة زمنية قصيرة نسبيًا، أي من 10 إلى 20 مليون سنة. فالإغواندون، مثلًا، كان شائعًا في الحين الطباشيري المُبكر، لكنه انقرض في الحين الطباشيري المتأخّر. لذلك فإنّ أي طبقة صخرية تحتوي على أحفورة الإغواندون يمكن تأريخها في الحين الطباشيري المُبكر.

تنتشر أحافير الحلزون توريتيلا **(الشكل 2-11)** والأجيال اللاحقة لها في جميع أنحاء العالم. ومن الجدير بالذكر أنّ هذه الأحفورة،التي برز كائنها الحيّ منذ العصر الكريتاسي (الطباشيري)، رغم أنها شائعة الانتشار ، فإنّها لا تُستخدم لأنها عاشت فترة زمنية طويلة وتظهر في الكثير من العصور الجيولوجية.

الشكل 2-11 أحفورة توريتيلا.

تنتج **الأحفورة المُرشِدة Index fossil** عن كائن حيّ تميّز نوعه بانتشار جغرافي واسع، واستمرّ فقط خلال عصر جيولوجي محدّد. فأحفورة الأمونيت **(الشكل 2-12)**. مثلًا، تدل على حقبة الحياة المتوسّطة، ويختلف شكلها والدرز الذي يظهر على سطحها باختلاف العصور التابعة لهذه الحقبة. أمّا ثلاثية الفصوص فهي أحفورة مُرشِدة للعصر الكمبري. عندما يجد الجيولوجيون أحفورة مُرشِدة في طبقة صخرية، يمكنهم تحديد حين أو عصر جيولوجي تكوّنت فيه تلك الطبقة الصخرية.

الشكل 2-12 أحفورة الأمونيت.

نشاط 2-1 تحديد الأحافير

سؤال الاستقصاء	ما خصائص الحيوان الذي تعرفه من بقاياه الأحفورية؟
الموادّ المطلوبة	مجموعة أحافير من المختبر المدرسي، أو نماذج أحافير، أو رسوم توضيحية.

إجراء المختبر

1. ابدأ بمجموعة من الأحافير، سواء كانت فعلية أو نماذج بلاستيكية أو رسومًا توضيحية أو صورًا.
2. حدّد الخصائص التي يمكن أن تشير إلى البيئة التي وُجد فيها الكائن الحي الأصلي.
3. صنّف الأحافير وفقًا لانتشارها ومدى شيوعها، أو وفقًا للبيئة التي ربما عاش فيها الكائن الحي.
4. اختر واحدة من الأحافير وابحث عن العصر أو الحين المرتبطَين بها. أنشىء بطاقة تعريف للعيّنة.
5. حدّد ما إذا كانت الأحفورة عادية أو أحفورة مُرشدة **(الشكل 2-13)**.

الشكل 2-13 أمثلة على أحافير مرشدة شائعة:
1. الأمونيت: (Perisphinctes tiziani): العصر الجوراسي.
2. ثلاثية الفصوص (الترايلوبيت): (المفارقات): الحين الكمبري الأوسط.
3. Mucrospirifer mucronatus: الحين الديفوني الأوسط.

أسئلة

a. ما سببا شيوع الأصداف البحرية في السجلّ الأحفوري؟
b. إذا كان لديك أحفورة واحدة لحيوان، طول أحد أسنانه 5 cm، فماذا تستنتج عن حجم الحيوان وشكله؟

تقويم الدرس 2-1

1. أيٌّ مما يأتي يحدّد الحدّ الفاصل بين العصور المختلفة من الزمن الجيولوجي؟
   a. حدث الانقراض.
   b. حركة الصفائح التكتونية.
   c. مرور خمسين مليون سنة.
   d. تكوين معلم طبيعي، مثل نهر جليدي.

2. لماذا لا تكون أحافير الحلزون توريتيلا مفيدة في تحديد فترات محدّدة من تاريخ الأرض؟
   a. توفَّر مثال واحد فقط على تلك الأحفورة.
   b. تشكّلت تلك الأحافير فقط في دهر ما قبل الكمبري.
   c. توفّرت أمثلة كثيرة، لكنها موجودة فقط في مكان واحد في العالم.
   d. توفّرت أمثلة كثيرة جدًا على تلك الأحافير في العديد من العصور الجيولوجية المختلفة في جميع أنحاء العالم.

3. ما خصائص الأحفورة المُرشدة؟
   a. توفّرها في كثير من الأماكن عبر التاريخ.
   b. توفّرها في مكان واحد، ولكن في الكثير من طبقات الصخور.
   c. توفّرها في أماكن كثيرة، ولكنّها عاشت لفترة زمنية قصيرة.
   d. توفّرها في مكان واحد فقط معزول بطبقة واحدة من الصخور.

4. صِف وضعيةً يقضي فيها حدث انقراض ما على أحد الأنواع، لكنه يسمح لنوع آخر بالبقاء على قيد الحياة.

5. ما الحدث المهم الذي سمح للأرض في الدهر السحيق بتطوير الغلاف الجوّي؟

6. اذكُر سببَين لقلّة الأحافير في دهر ما قبل الكمبري.

7. ضع قائمة بثلاثة "أحداث مهمّة" في السجلّ الأحفوري.

8. حدّد على الأقل اثنتَين من خصائص الأحافير تدلّان على البيئة التي عاش فيها الكائن الحي.

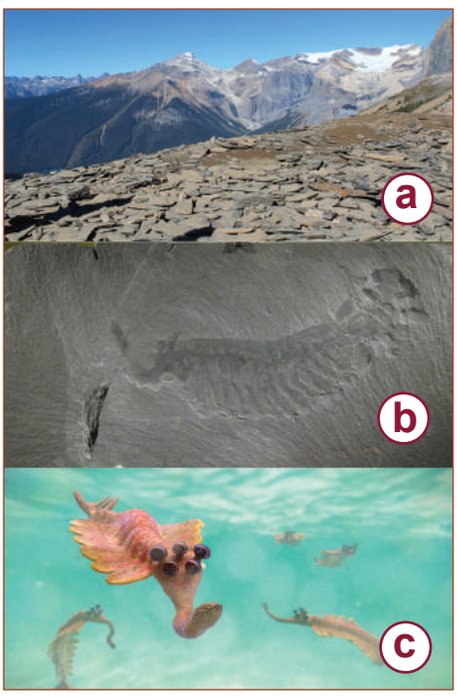
الدّرس 2-2

تفسير الأنماط الجيولوجية

Interpreting Geologic Patterns

كان عالم الأحافير شارل وولكوت يستكشف طبقات الطين الصفحي في أعالي جبال الروكي الكندية سنة 1909. الطين الصفحي صخر رسوبي يتشكّل من الطين ويحتوي على الآثار الأحفورية لكائنات بحرية قديمة. عثر وولكوت على الآثار الأحفورية لبعض من الكائنات الحيّة الأكثر غرابة التي شوهدت على الأرض **(الشكل 2-14)**. كانت الأوبابينيا تعيش عند قاع البحار الدافئة منذ 500 مليون سنة. يبلغ طولها 6 cm تقريبًا ولديها خمسة عيون وخرطوم كخرطوم فيل صغير، لكن مع مخلب عند آخره لاصطياد الطعام.

يتكوّن الطين الصفحي فقط عند قاع البحار والمحيطات. يعني العثور على الطين الصفحي عند قمّة الجبل أن ما هو جبل اليوم كان في ما مضى قاع بحرٍ. يمكّننا كشف تاريخ الأرض من قراءة الأدلّة المتروكة في الصخور كالطين الصفحي.



الشكل 2-14 (a) طين بورغيس الصفحي، (b) أحفورة أوبابينيا، (c) رسم فنان للأوبابينيا.

مخرجات التّعلُّم

ES1204.1 يعرف أنه يمكن تحديد العلاقات العمرية للأجسام الصخرية باستخدام مبادئ مثل تعاقُب الطبقات.

ES1204.2 يدرك أن معدل الانحلال النووي (المدة الزمنية لعمر النصف) للنظائر المشعة تسمح للجيولوجيين بتحديد العمر المطلق للمواد الموجودة في بعض الصخور.

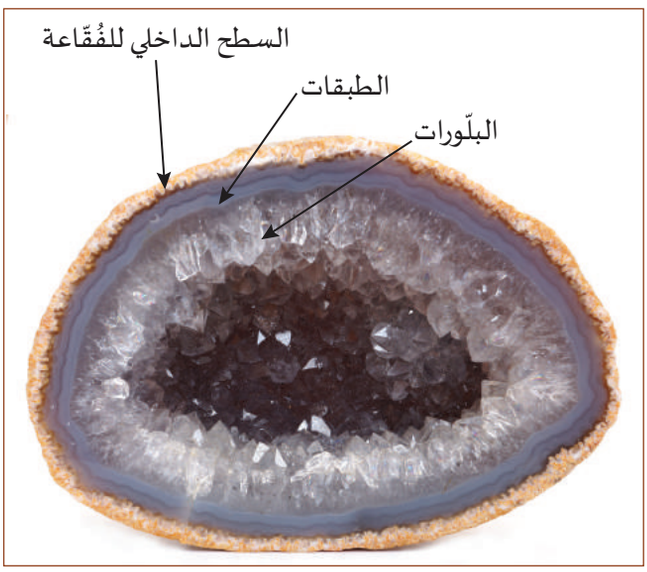
المفردات

Superposition	تعاقُب الطبقات
Relative dating	التأريخ النسبي
Intrusions	التداخُلات
Cross-cutting relationships	علاقات القواطع
Radiometric dating	التأريخ الإشعاعي
Half-life	عمر النصف
Decay constant	ثابت الانحلال
Closure temperature	درجة حرارة الإغلاق
Radiocarbon dating	التأريخ بالكربون المشعّ

تُظهر الأنماط كيفية صنع الأشياء

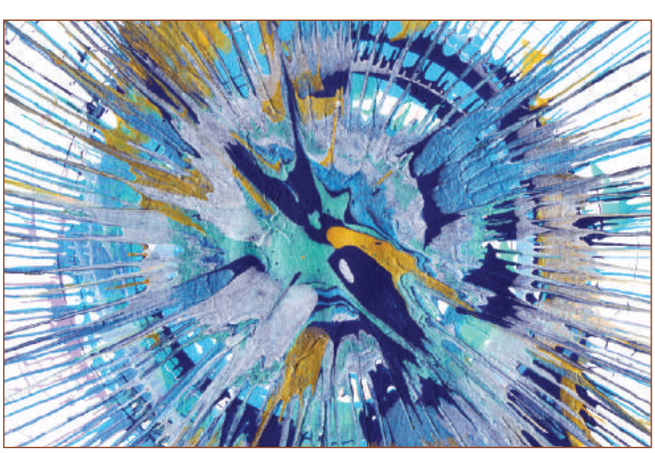
كيف نحدّد الصخور الأقدم؟
كيف نقرأ تاريخ الأرض من الأشياء التي نلاحظها؟

تتّبع البنى والأنماط الجيولوجية التي نراها على الأرض قواعد الفيزياء. وتتشكّل البنية النهائية وفقًا لتلك القواعد الأساسية، بغضّ النظر عن تعقيداتها. ولا بدّ لنا من فهم أنماط تلك التكوينات لنفهم الأرض تحت أقدامنا.



الشكل 2-15 جيود (كوارتز).

ربّما رأيت جيودًا في مُتحفٍ أو في متجرٍ للهدايا. ستجد أنّ للجيود قشرة صخرية خارجية وطبقات من البلّورات في الداخل **الشكل 2-15**. تُمثّل بنية الجيود دليلًا على طريقة تكوُّنها. فجيود الجمشيت تبدأ بالتكوّن من فُقّاعة غازية محبوسة تشكّل تجويفًا في صخرٍ بركاني. مع مرور الزمن، تُرسّب المعادن في المياه الجوفية طبقاتٍ على السطح الداخلي للتجويف. تتكرّر هذه العملية مرّات كثيرة. وتشكّل الاختلافات الطفيفة في المعادن، مع مرور الزمن، تنوُّعًا في ألوان الطبقات المُتتابعة. تُغيّر درجةالحرارة والزمن بدورهما المعادن المُترسّبة كيميائيًا إلى طبقات من الكوارتز. بعد مرور فترة من الزمن، تقوم سوائل أخرى تحتوي على معادن بملء التجويف وتشكيل بلوّرات أكبر.



الشكل 2-16 "فنّ الدوران".

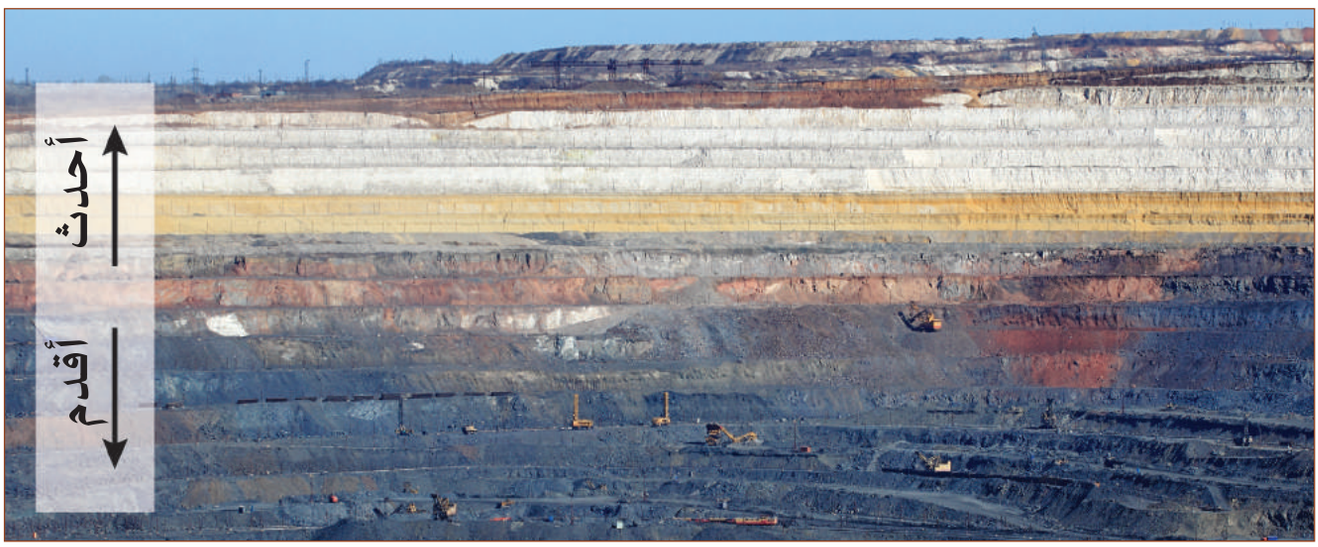
مَن أراد قراءة تاريخ الأرض فلا بُدّ له من قراءة طبقات الصخور. يمكننا أخذ فَن تقطير الطلاء على قماش الغزل مثالًا على ذلك. يُعرف هذا الفنّ بـ "فنّ الدوران" **(الشكل 2-16)**، حيث تُقطّر فيه الألوان الجديدة فوق الألوان القديمة على قماش الغزل.

الشكل 2-17 لقطة مقرّبة لجزء من فنّ الدوران تُظهِر الطبقات.

عاين اللوحة **(الشكل 2-17)**. أنت تعلم أن الطبقة الأحدث في الأعلى، والطبقة الأولى أو الأقدم يُفترَض أن تكون عند القاع. لكن يمكن إعادة عملية تقطير الألوان بأكملها من جديد. يوضّح هذا مبدأً جيولوجيًّا يُسمّى "تعاقُب الطبقات".

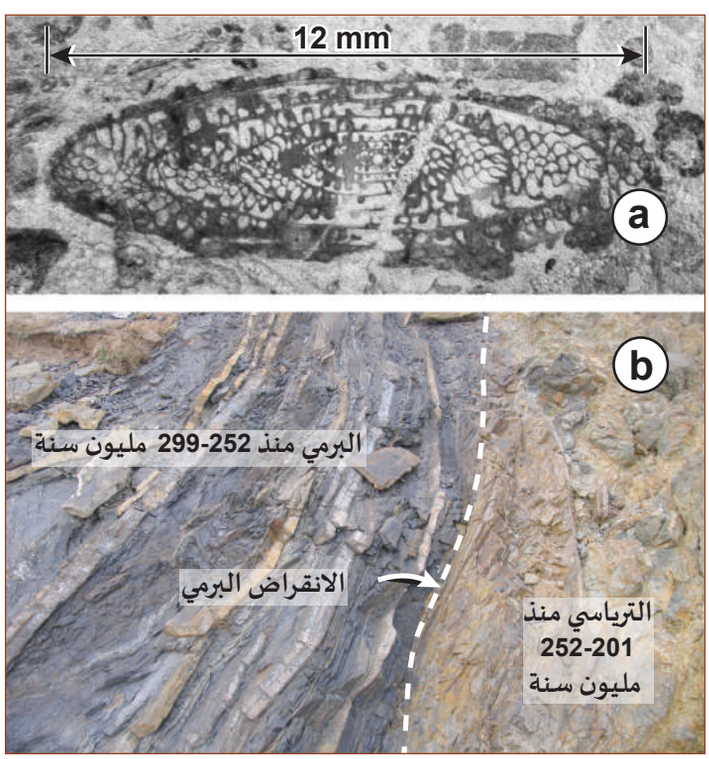
تعاقُب الطبقات والتأريخ النسبي

تتوضّع الرواسب من النهر أو المحيط، في طبقات أفقية. وهذاما تفعله أيضًا تدفّقات الحمم البركانية الكبيرة. ينصّ مبدأ **تعاقُب الطبقات Superposition** على ما يأتي: إذا نظرتَ إلى سلسلة من طبقات المواد المُترسّبة بقوة الجاذبية، تكون الطبقة التي في الأسفل هي الأقدم. وكلّما اتجهتَ صعودًا تكون الطبقات أحدث بشكل تدريجي. يعني ذلك أنّ الطبقة العليا هي الأحدث **(الشكل 2-18)**.



الشكل 2-18 حفرة لمنجم فحم. الصخور الأقدم في الأسفل والصخور الأحدث في الأعلى.

يُعرّف التأريخ النسبي بأنّه العملية التي تستخدم مبدأ تعاقُب الطبقات لتحديد تسلسل الأحداث الجيولوجية. نتّخذ مثالًا على ذلك أحفورة من نوع البارافوسولينا الشائعة في صخور العصر البرمي **(الشكل 2-19 a)**. لكنّ أحافير هذا النوع تغيب من طبقة صخور العصر الترياسي التي تعلوها **(الشكل 2-19 b)**. يستنتج الجيولوجيون من التغيُّر الطارىء على كثير من الأحافير كالبارافوسولينا، أن انقراضًا جماعيًّا قد حدث منذ 252 مليون سنة. يعتقد العلماء أن هذا الحدث قد نتج عن احترار عالمي حادّ تسبّب به غاز CO_2 المُنبعث من الثورانات البركانية.



الشكل 2-19 (a) أحفورة بارافوسولينا، (b) الحدّ الفاصل بين البرمي والترياسي.

غير أنّ لمبدأ تعاقُب الطبقات حدودًا. قد تُشوِّه العمليات الجيولوجية كالزلازل والبراكين والصدوع الطبقات، بل تقلبها رأسًا على عقب، ممّا يصعِّب استخدام مبدأ تعاقُب الطبقات الجيولوجية.

تكتونية الصفائح

يؤثّر مبدأ تعاقُب الطبقات على طريقة تنظيم السجل الجيولوجي للطبقات الصخرية. يُعدّ **الشكل 2-20** مثالًا على السجل الجيولوجي المنظّم وفقًا للزمن، مع أصغر حين على رأس القائمة.

يساعد هذا الترتيب على تصوّر الطبقات المختلفة التي قد تواجهها، وأنت تحفر عميقًا في قشرة الأرض. كلّما ذهبت "أعمق" في هذا المخطّط البياني، عدْتَ إلى الخلف في الزمن الذي تسافر فيه.

لكن في الميدان لا تكون بنية الأرض دائمًا سلسلة منتظمة في ترتيب الطبقات، بحيث تكون الطبقة الأحدث على قمّة الطبقات الصخرية.

نذكر من الأمثلة على ذلك مواقع تنتشر في جميع أنحاء العالم تُصادَف أحافير على سطح الأرض فيها. فلدى تشكيل سيكانيان في العراق طبقة صخور من العصر الجوراسي **(الشكل 2-21)**، تنتمي كل أحافيرها إلى العصر الجوراسي.

ينتج تكشّف الطبقات الأقدم، في الغالب، عن عمليات الحتّ والتعرية للطبقات الأعلى.

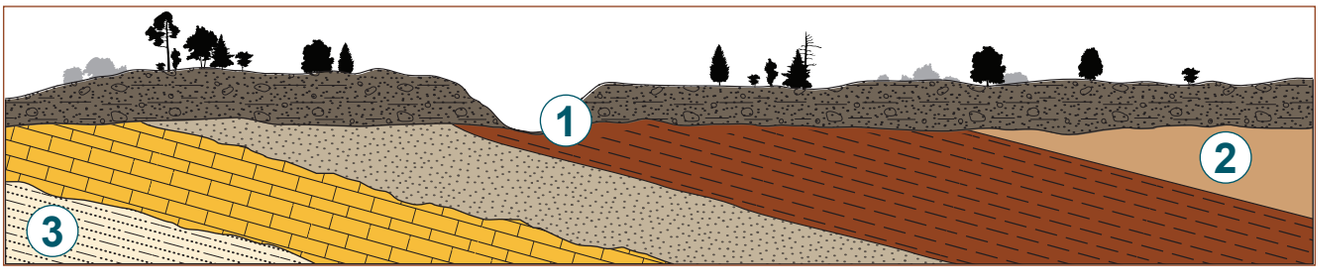
تسبّب حركة غلاف الأرض الصخري تشوّهات في طبقات الأرض. التي يمكن أن تسبّب في العادة مَيل الطبقات الأفقية أو حتّى انحناءها. عندها يمكن للحتّ والتعرية كشف طبقات أقدم بكثير.

يؤكّد ذلك عثور مُتسلّقي جبل إيفرست في نيبال على أحافير الأمونيت وطبعات (أثر الهيكل الخارجي) لأسماك.

الشكل 2-20 السجل الجيولوجي للطبقات الصخرية.

الشكل 2-21 صخور العصر الجوراسي.

الأحداث الجيولوجية



الشكل 2-22 مخطّط بياني يوضّح تعاقُب لطبقات الصخور المائلة بسبب تكتونية الصفائح.

تُعدّ تكتونية الصفائح أحد الأحداث الجيولوجية التي تُنتج مظاهر الأرض الطبيعية. يعرض **الشكل 2-22** منطقة من الرواسب تغطّي الطبقات الصخرية الأساسية:

1. الموضع 1 يوضّح كيف تصبح الصخور التي تقع في الأسفل متكشّفة للسطح جرّاء التعرية، كما يظهر في **الشكل 2-23**.
2. الموضع 2 هو الطبقة الأحدث من الصخور المبيّنة.
3. الموضع 3 يُمثّل الصخور الأقدم في التعاقُب الطبقي.

الشكل 2-23 صخرة جوراسية متكشّفة.

الشكل 2-24 الطبقات الصخرية الرأسية.

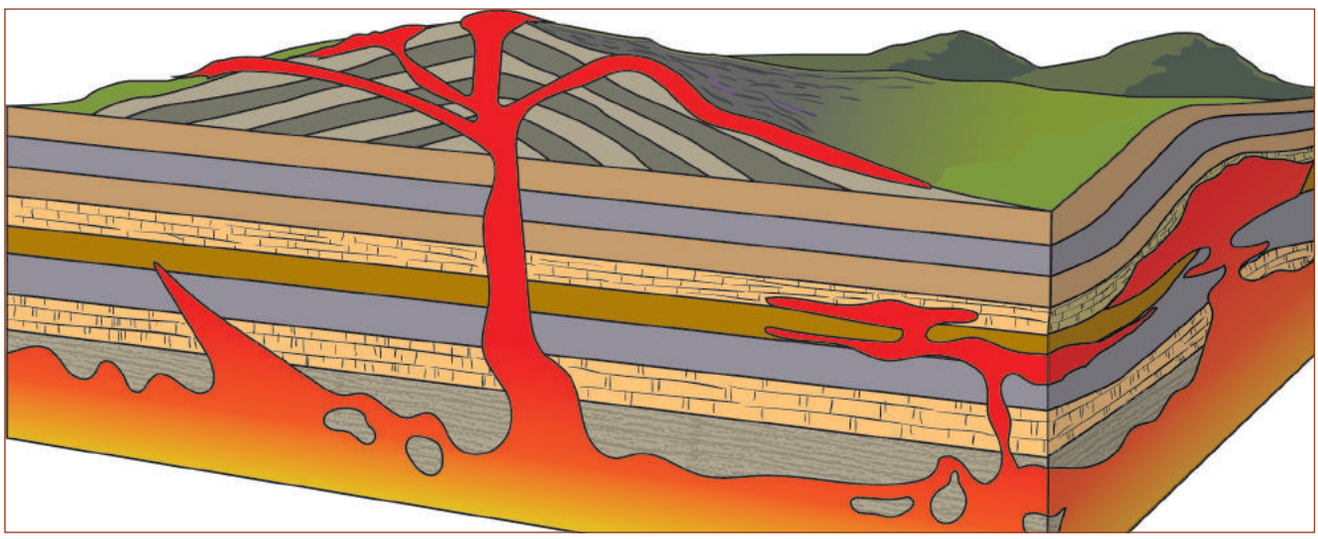
تنتج القوى الهائلة لتكتونية الصفائح الكثير من التراكيب التي تتعارض مع مبدأ تعاقُب الطبقات الأساسي للصخور. فهي تُحرّك بعض الطبقات فتصبح بشكل رأسي بعد أن كانت مترسّبة بشكل أفقي، ثم تكشفها قوى التعرية **(الشكل 2-24)**. قد تكون الطبقات الأخرى مطويّة أو مثنيّة أو مقلوبة رأسًا على عقب تمامًا.

عندما ننظر إلى التراكيب الجيولوجية المختلفة، من الضروري أن نتذكّر أنّ طبقات الصخور الرسوبية قد ترسّبت في الأصل على شكل طبقات أفقية. ثم غيّرت الأحداث الجيولوجية اللاحقة مَيل الطبقات الأصلية. مثلًا: ترسّبت الطبقات الصخرية في **الشكل 2-23** كطبقات أفقية قبل أن تدفعها تكتونية الصفائح رأسيًا.

الأحداث البركانية

قد تكون أشكال صخور بركانية فريدة هي كل ما تبقّى من حدث أكبر بكثير من أثره. يوضّح **الشكل 2-25** وحدة مُتراصّة ترتفع 1,559 m عن مستوى سطح البحر و 386 m عن مستوى نهر مجاور. يعود تاريخ الصخور المحيطة إلى العصر الترياسي قبل 195-225 مليون سنة، عندما كانت المنطقة بحرًا ضحلًا. تتألّف الوحدة المُتراصّة من صخور بركانية عمرها 40 مليون سنة فقط. غير أنّ الجيولوجيين ليسوا متأكّدين ما إذا كان هذا اندفاعًا، أو لب برّكان تعرّض معظمه للتعرية.

الشكل 2-25 وحدة متراصّة (مونوليث) نتجت عن تآكُل عنق بركان خامد.



الشكل 2-26 رسم تخطيطي للاندفاعات النارية ضمن الطبقات الرسوبية.

عندما ترتفع الصخور المنصهرة (الماجما) من الوشاح، يكون لها الكثير من التأثيرات على القشرة الأرضية، كما يظهر في **الشكل 2-26**. عندما تتصلّب الماجما تحت السطح تنتج صخورًا نارية مُتداخلة. تبدو الوحدة المُتراصّة (المونوليث) في **الشكل 2-25** صخورًا ناريّة مُتداخلة بين الطبقات الصخرية. تتشكّل الصخور المُتداخلة عندما تتسرّب الصهارة (الماجما) المنصهرة إلى التراكيب الصخرية تحت سطح الأرض. عندما تبرد الصهارة تُعرف التراكيب الجيولوجية الناتجة باسم **التداخُلات الصخرية Intrusions (الشكل 2-27)**. التداخُلات النارية تقدّم لنا أدلّة لفهم التاريخ الجيولوجي لمنطقة ما.

الشكل 2-27 التداخُل في التكوين.

تفسير التداخُلات الصخرية

تُشير القاعدة في التأريخ النسبي إلى أن القاطع الناري أحدث من الطبقات التي قطعها. يظهر في **الشكل 2-28**، أن التداخُل الرأسي أحدث من الصخور الرسوبية التي تخلّلها. قد تُظهر مُعاينة الصخرة على جانبَي التداخُل علامات تحوّل تلامسي أيضًا، حيث تسبّبت الحرارة في تحوّل بعض الصخور الرسوبية إلى صخور متحوّلة.

الشكل 2-28 تداخُل رأسي في صخور رسوبية أفقية.

تجد ثلاثة أنواع مختلفة من التداخُلات البركانية (الرمادي الداكن والأسود والفاتح) في التشكيل المبيّن في الشكل 2-29. استخدم قاعدة التأريخ النسبي، لتفسّر الأحداث التي كونّت التشكيل.

حدّد التداخُل الأقدم، والتداخُل الأحدث.

ما الحدث الأخير في تاريخ هذا التشكيل؟

- غالبًا ما تكون الصخور النارية المتداخلة أقسى بكثير من الصخور الرسوبية التي تغطّيها. يمكن لـ "غطاء" من الصخور البركانية أن يحمي فعليًا الصخور السفلية من التآكُل.
- يبدو ضروريًّا في التأريخ النسبي أن نتذكّر أن كتلة كبيرة من الصخور النارية المُتداخلة قد تصبح مكشوفة عندما تتآكل الصخور الرسوبية المحيطة بها.

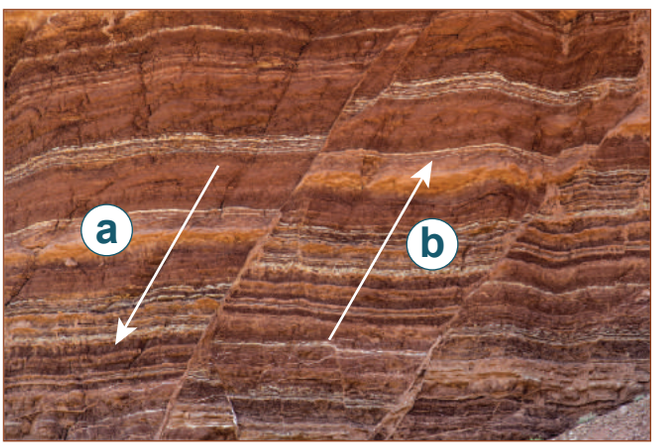
الشكل 2-29 تداخُل رأسي في صخور رسوبية أفقية.

علاقات القواطع

تُعرف القواطع النارية في التأريخ النسبي الجيولوجي بمبدأ علاقات القواطع. تُمثّل **علاقات القواطع Cross-cutting relationships** طريقة أخرى لتأريخ الأحداث الجيولوجية يقوم مبدأها على أن يكون القاطع أحدث من المقطوع. كأن يكون التداخل البركاني أحدث من الطبقات الصخرية التي يخترقها.

تشمل الأمثلة الأخرى لعلاقات القواطع الأمور الآتية:

خطّ الصدع أو الانكسار ينتج عن الزلازل وسواها من النشاطات التكتونية انكسار في الطبقات **(الشكل 2-30)** حيث يتحرّك جانب واحد إلى أسفل (a) ويُرفع الجانب الآخر (b). وبذلك يكون القاطع (الصدع) أحدث من المقطوع (الصخور الرسوبية).

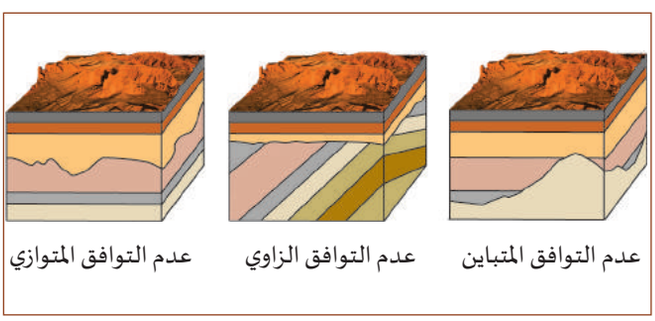


الشكل 2-30 خطّ الصدع في طبقات الصخور الرسوبية.

التعرية النهرية تعرّي الأنهار طبقات الصخور ببطء. بمرور ملايين السنين، قد يتشكّل أخدود كما يظهر في **الشكل 2-31**. يقطع الأخدود المعالم الجيولوجية السابقة ويكون بالتالي أحدث من جميع المعالم التي يقطعها. مع مرور الزمن، يُرسّب النهر طبقات جديدة، وقد يشكّل صخورًا جديدة، تقع خارج تسلسل الصخور المحيطة التي لم يُعرِّها النهر.

الشكل 2-31 التعرية النهرية.

عدم التوافُق ينتج عدم التوافُق عندما تزيل التعرية طبقة أو مجموعة طبقات من التعاقُب الطبقي في المنطقة. لكن لا تتوفّر معلومات عمّا حدث قبل عدم التوافُق، بسبب حدوث انقطاع في الترسيب وضياع مجموعة من الطبقات في التعاقُب الطبقي. ويتمّ تمثيل عدم التوافُق بخطّ "مُتعرِّج" على مخطّط الطبقات **(الشكل 2-32)**.



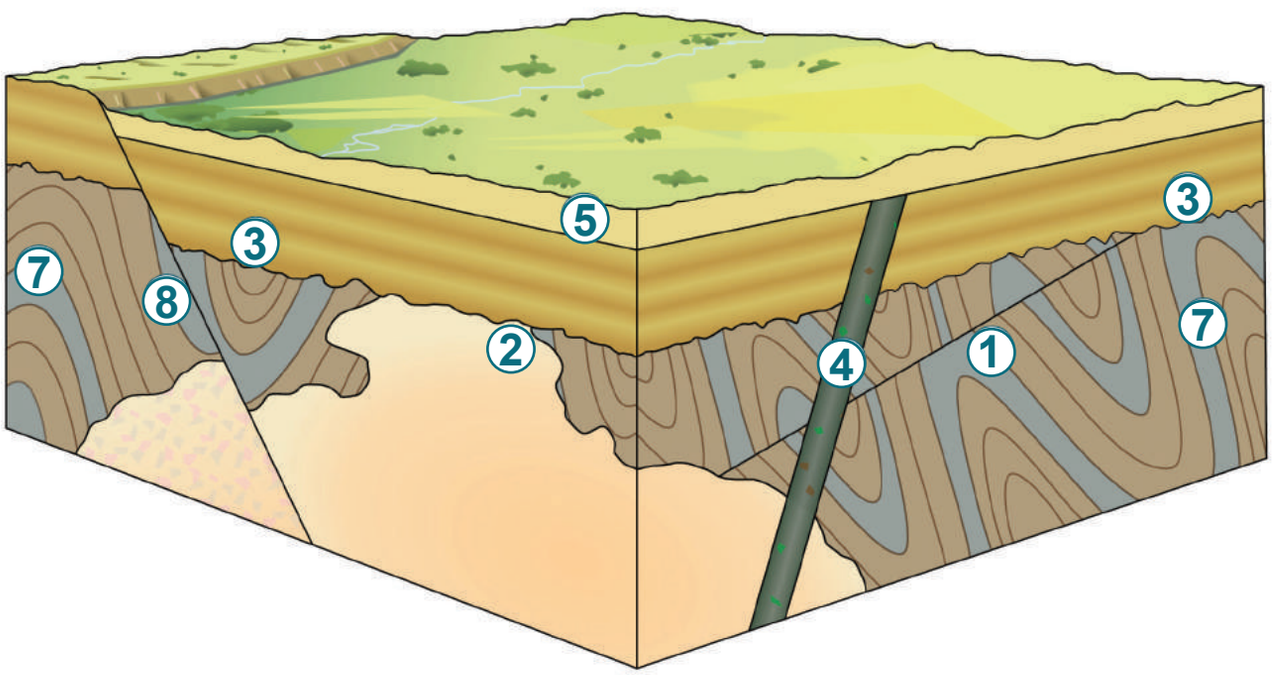
الشكل 2-32 ثلاثة أنواع مختلفة من عدم التوافق متشكّلة بوساطة آليات مختلفة.

نشاط 2-2 a علاقات القواطع

سؤال الاستقصاء	هل يمكنك فك رموز أحداث جيولوجية مختلفة بناءً على تعاقُب صخري يوضّح علاقات قواطع مختلفة؟
الموادّ المطلوبة	رسم تخطيطي جيولوجي لتعاقُب طبقي يحتوي على مجموعة من القواطع.

خطوات التجربة

استخدم الرسم التخطيطي الآتي للإجابة عن الأسئلة المتعلّقة بتاريخ الأحداث التي كوّنت هذه البنية.



أسئلة

a. 2 و 4 صخور نارية. أيٌّ منهما الأحدث؟ ما دليلك على هذا الاستنتاج؟

b. 1 و 6 هما خطّا صدعَيْن. أيّهما الأحدث؟ ما دليلك على هذا الاستنتاج؟

c. 3 يمثّل عدم توافُق. أيّ من الأحداث، في هذا الرسم التخطيطي، يُحتمل أنّها وقعت بعد هذا الحدث؟ اذكر أرقامًا محدّدة من الرسم التخطيطي، بالإضافة إلى الأحداث التي سبّبتها.

d. 2 هي صخور نارية مُتداخلة. كيف تشكّلت هذه الصخور؟

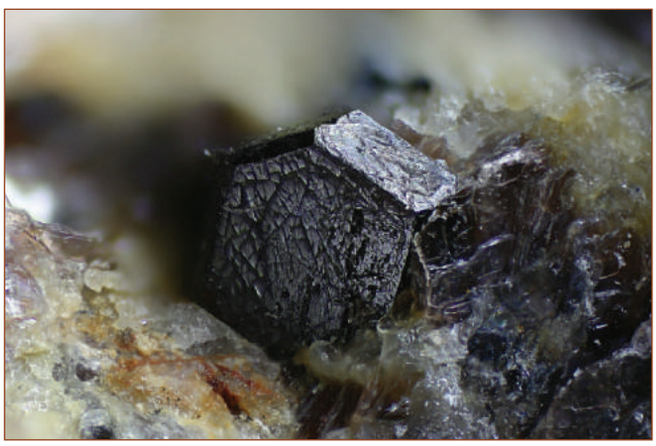
e. 7 هي طبقة من الصخور الرسوبية. صِف الأحداث التي أنتجت هذا الجزء من الرسم التخطيطي.

f. تمّ العثور على ثلاثية فصوص في طبقات 7. إلى أيّ عصر تنتمي هذه الرواسب؟

التأريخ الإشعاعي

كيف تُحدّد عمر صخرة تكوّنت في دهر الحياة الخفية؟

يمكن القول إنّ أقدم صخرة تكوّنت على الأرض هي بلّورة من الزركون **(الشكل 2-33)**، وُجدت في أستراليا. حُدّد عمرها بـ 4.4 مليارات سنة (عمر معظم بلّورات الزركون القديمة 4.35 مليارات سنة). في المقابل يبلغ عمر بعض النيازك 7 مليارات سنة.



الشكل 2-33 بلّورة من الزركون.

تسهم مباديء التأريخ النسبي، كمبدأ تعاقب الطبقات، في ترتيب الأحداث الجيولوجية من الأقدم إلى الأحدث. مع ذلك، لا يمكن, في الغالب، تحديد عمر الصخور الحقيقي باستخدام مبدأ تعاقُب الطبقات لوحده. يمكننا أن نحدّد متى ضرب نيزك بالنسبة إلى الطبقات المحيطة, لكن ليس العمر الحقيقي للصخور ولا عمر النيزك. أما إذا أراد العلماء تحديد عمر الصخور فإنهم يستخدمون التأريخ الإشعاعي.

التأريخ الإشعاعي Radiometric dating هو تقنية لتحديد عمر صخور تحتوي على نظائر مشعّة، دُمجت فيها شوائب عند تكوُّنها. يمكن مثلًا قياس عمر بلّورات الزركون، بسبب احتوائها على نظير اليورانيوم المُشعّ. يتطلّب استخدام النشاط الإشعاعي للتأريخ الجيولوجي المعلومات الأساسية الآتية:

- تحتوي العناصر على بروتونات ونيوترونات. يحدّد عدد البروتونات العنصر، ويحدّد عدد النيوترونات النظير. يمتلك U-235 وU-238 عدد البروتونات نفسه ولكنّهما يختلفان في عدد النيوترونات.
- غالبًا ما تتغيّر البروتونات والنيوترونات تلقائيًّا في العناصر المشعّة، مثل اليورانيوم، مغيّرةً عنصرًا واحدًا إلى عنصر مختلف بمرور الزمن. تُسمّى هذه العملية "التحلُّل الإشعاعي".
- يكون معدّل حدوث الانحلال الإشعاعي ثابتًا بمرور الزمن. نسوق مثالًا على ذلك هو أن نظير اليورانيوم الذي يمتلك 146 نيوترونًا و 92 بروتونًا (U-238) يتحلّل بمعدّل 50% كل 4.68 مليارات سنة.
- عندما يحدث الانحلال الإشعاعي، يتكوّن عنصر جديد يُسمّى "ناتج التحلّل". بمرور الزمن، يتراكم ناتج الانحلال ويُستنفد العنصر الأصلي.
- يمكن استخدام نسبة العنصر الأصلي إلى ناتج الانحلال لتحديد العمر منذ تشكّل الصخر.

عمر النصف

كيف يُستخدم عمر النصف لعنصر ما من أجل تحديد عمر الصخر؟

عمر النصف Half-life لعنصر هو الزمن الذي يستغرقه نصف عيّنة العنصر للانحلال إشعاعيًا. تُسمّى العيّنة نظير الأم، ويُسمّى ناتج الانحلال "نظير الابنة" **(الشكل 2-34)**.

الشكل 2-34 مفتاح.

- ابدأ بعيّنة نظير أم نقيّة. افترض أنّها تبلغ 100 جرام **(الشكل 2-35)**.

الشكل 2-35 عيّنة نقية تبلغ 100 جرام من نظير الأم.

- شغّل جهاز ضبط الوقت وراقب انحلال العيّنة الإشعاعي. أوقف الجهاز عندما يكون 50% من العيّنة قد انحلّ **(الشكل 2-36)**.

الشكل 2-36 في نهاية عمر النصف سيكون هناك 50 جرامًا من نظير الأم و50 جرامًا من نظير الابنة.

- الوقت المسجّل هو عمر النصف للعيّنة. لنفترض أن الوقت كان 10 دقائق.
- سيكون من الطبيعي أن نفترض أنّ بقية العيّنة قد انحلّ، في نهاية 10 دقائق أخرى، ولكن يأتي هنا دور الطبيعة الإحصائية لعمر النصف.
- لديك الآن 50 جرامًا من نظير الأم. سوف يكون الوقت الذي يستغرقه انحلال نصفها أيضًا عمر نصف واحدًا أيضًا، أي 10 دقائق في هذه الحالة.
- سوف تشكّل 75 جرامًا من العيّنة الأصلية نظير الابنة و5 جرامًا نظير الأم **(الشكل 2-37)** في نهاية عمر النصف الثاني.

الشكل 2-37 في نهاية عمر النصف سيكون هناك 25 جرامًا من نظير الأم و75 جرامًا من نظير الابنة.

- إذا لاحظ أحد المراقبين بعد ذلك أن 12.5 جرامًا من نظير الأم و87.5 جرامًا من نظير الابنة كانت في عيّنة، سوف يحسب أن ثلاثة أعمار نصف قد مرّت **(الشكل 2-38)**.

الشكل 2-38 عيّنة تحتوي على 12.5% نظير الأم و87.5% نظير الابنة شهدت ثلاثة أعمار نصف.

- مع العلم أن عمر النصف لنظير الأم هو 10 دقائق، يمكن تأريخ وجود العيّنة بمدة 30 دقيقة.

نشاط 2-2 b محاكاة عمر النصف

سؤال الاستقصاء	هل يمكنك بناء منحنى تحلّل مشابه لمنحنى انحلال مادة إشعاعية؟
الموادّ المطلوبة	عملات معدنية، أو عملات بلاستيكية، عليها علامة من جانب واحد.

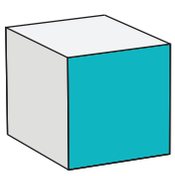
إجراء المختبر

1. اعمل في مجموعة.
2. اختر 100 قطعة نقدية معدنية، أو 100 قطعة نقدية بلاستيكية، بحيث يمكنك وضع علامة على جانب واحد **(الشكل 2-39)**.
3. يُعدّ تقليب النقود حدثًا عشوائيًّا مُشابهًا للطبيعة العشوائية لحدث انحلال العيّنة الأم / الابنة. حدّد وجهًا واحدًا من قطعة النقود يمثّل نظير الأم.
4. ضع 100 قطعة نقدية في وعاء.

الشكل 2-39 عملات معدنية أو نقود بلاستيكية مع علامة على جانب واحد.

5. رجّ النقود بقوة، ثم اسكبها على سطح طاولة مسطّح.
6. أزل جميع النقود "الابنة" وعدّ النقود "الأم" الباقية. سجّل هذا الرقم.
7. أعد النقود "الأم" الباقية إلى الوعاء، ورجّها مرة أخرى.
8. كرّر الخطوات 5 و 6 و 7.
9. تابع هذه الخطوات حتى يبقى لديك قطعتا نقود أو ثلاث فقط.
10. عُدْ إلى الخطوة 4 وكرّر التسلسل بأكمله مرّتَين أُخريَين.
11. أنشىء مخطّط بيانات نهائيًّا عن طريق حساب متوسّط النتائج للتجارب الثلاث.
12. ارسم بيانيًا عدد نظائر الأم لكل دور، بدءًا من 100 في نقطة الصفر.

أسئلة



افترض أن الدور يمثّل عمر نصفٍ كاملًا، وأنّك استخدمت مكعّبًا سداسي الوجوه، خُصّص وجه واحد منها للابنة، بدلًا من استخدامك لقطعة النقود المعدنية التي تحمل فرصة 50% "للانحلال". هل تنجح هذه المحاكاة؟ فسّر ذلك.

ثابت الانحلال

يُعرف التأريخ الإشعاعي بأنّه مقارنة دقيقة بين نسبة نظائر الأم ونسبة نظائر الابنة في عيّنة.

ثابت الانحلال Decay constant هو مقياس لمُعدّل الانحلال خلال فترة زمنية معيّنة، وهو الطريقة العملية لقياس نشاط عيّنة موادّ ذات عمر نصف طويل للغاية. تتطلّب هذه الطريقة معدّات حسّاسة جدًّا من أجل تجميع جُزيئات كافية لضمان الدقّة.

درجة حرارة الإغلاق Closure temperature هي درجة الحرارة التي لا تعود عندها نظائر الابنة تُغادر الصخر الأصلي، ومن الضروري معرفة حرارة الإغلاق لأن احتساب عمر الصخور بهذه الطريقة يبدأ من لحظة إغلاق النظام. في حالة الصخور المنصهرة أو تلك التي ترتفع درجة حرارتها بالتحوّل، تتحرّر نظائر الابنة بالانتشار لأن النظام يكون مفتوحًا. وعندما تبرد الصخور وتصل إلى درجة حرارة الإغلاق، فإنّ النظائر الابنة تُقيّد. يحدّد التأريخ الإشعاعي زمن الوصول إلى درجة حرارة الإغلاق.

تكوّن بلّوراتٌ مثل الزركون طبقات إضافية بينما تبرد الصخور، ما يؤدّي إلى تقييد إضافي لصخور الابنة المُتكوّنة وإعطاء قراءات أكثر دقّة.

الشكل 2-40 خام اليورانيوم.

عناصر الأم/الابنة الشائعة والمُستخدَمة في التأريخ الإشعاعي للصخور:

- ينتج تأريخ اليورانيوم - الرصاص قياسات دقيقة لأعمار تفوق المليار سنة. كانت تلك هي الطريقة المُستخدَمة لتأريخ بلّورة الزركون، فضلًا عن أنّها شائعة في كثير من المعادن **(الشكل 2-40)**.
- ينحلّ اليورانيوم U-235 إلى الرصاص Pb-207 مع عمر نصف 700 مليون سنة.
- ينحلّ اليورانيوم U-238 إلى الرصاص Pb-206 مع عمر نصف 4.5 مليارات سنة.
- ينحلّ اليورانيوم U-234 إلى الثوريوم Th-230 مع عمر نصف 80,000 سنة. وهو يستخدم لتأريخ الأحداث الأقصر في التاريخ الجيولوجي.

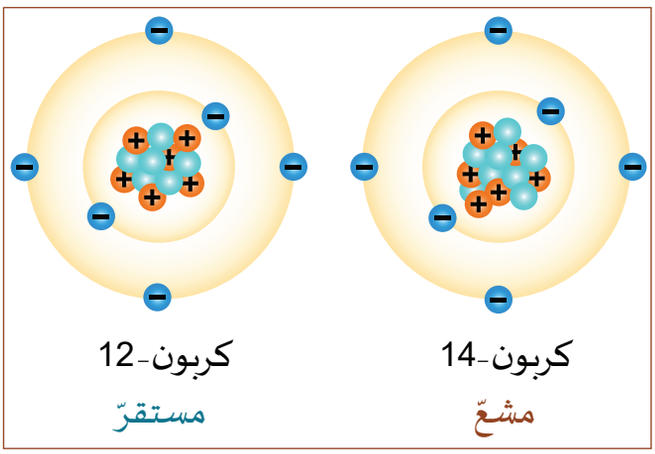
اعتمادًا على المحتوى المعدني للعيّنة الصخرية، تُستخدَم أزواج أم / ابنة مختلفة.

- ينحلّ البوتاسيوم K-40 إلى الأرجون Ar-40، مع عمر نصف 1.3 مليار سنة.
- ينحلّ الروبيديوم Rb-87 إلى السترونشيوم Sr-87، بعمر نصف يبلغ 50 مليار سنة. وتكون درجات حرارة الإغلاق مرتفعة جدًّا. تمّ استخدام هذه الطريقة حتى الآن لتأريخ عيّنات من القمر.

التأريخ بالكربون المشعّ

التأريخ بالكربون المشعّ Radiocarbon dating طريقة لتحديد عمر المواد التي يدخل في تركيبها الكربون، وتنتج عن الكائنات الحية. يُسمّى أيضًا تأريخ الكربون- 14.

C-14 هو نظير مشعّ للكربون. يبلغ عمر النصف له 5730 سنة **(الشكل 2-41)**. ومن الجدير بالذكر أنّ نسبة الكربون-12 والكربون-14 في الغلاف الجوّي هي قيمة معروفة. عندما يكون الكائن الحيّ على قيد الحياة، يأخذ كلا النظيرَين من الكربون ويتخلّص منهما. بمجرد أن يموت الكائن الحيّ، يتوقّف تبادل الكربون. أمّا المصدر الوحيد للتغيّر في النسبة فهو التحلّل من الكربون-14 إلى النيتروجين 14، وهو نظير مستقر للنيتروجين. يمكن مقارنة كمّية الكربون-14 في عيّنة عضوية "ميتة" بكمّيتها عندما كانت حيّة. يعطي ذلك قياسًا دقيقًا للفترة الزمنية التي ماتت فيها.



الشكل 2-41 كربون 12 مستقرّ وكربون 14 مشعّ.

يعني عمر النصف القصير للكربون-14 أن طريقة التأريخ هذه مفيدة فقط حتى 58000 إلى 62000 سنة. يتمّ استخدام هذه الطريقة فقط في الكائنات التي كانت على قيد الحياة. تمّ استخدام التأريخ بالكربون-14 على مقابض الأدوات الخشبية والعظام والأقمشة الصوفية أو القطنية، وقصاصات أخرى من المواد العضوية. تمّ تأريخ بقايا الماموث الصوفي **(الشكل 2-42)** التي وُجدت في الأنهار الجليدية المتراجعة بالكربون-14. نحن نعلم أن هذا الماموث كان على قيد الحياة منذ 4000 عام فقط.

الشكل 2-42 منحوتة لماموث صوفي.

تعتمد دقّة التأريخ بالكربون على نسبة الكربون-14 في الغلاف الجوّي، لأنّها قيمة معروفة. يستطيع العلماء من خلال دراسة حلقات الأشجار، تحديد مستويات الكربون التاريخية. ذلك أنّ كل سنة، يضيف جذع الشجرة حلقة نموّ جديدة تحت اللحاء مباشرةً. تشبه ملاحظة الحلقات، من السطح إلى الداخل باتّجاه المركز، العودة في الزمن. يوفّر نمط الحلقات دليلًا على كيفية تغيّر المناخ كل عام عندما كانت الشجرة حيّة.

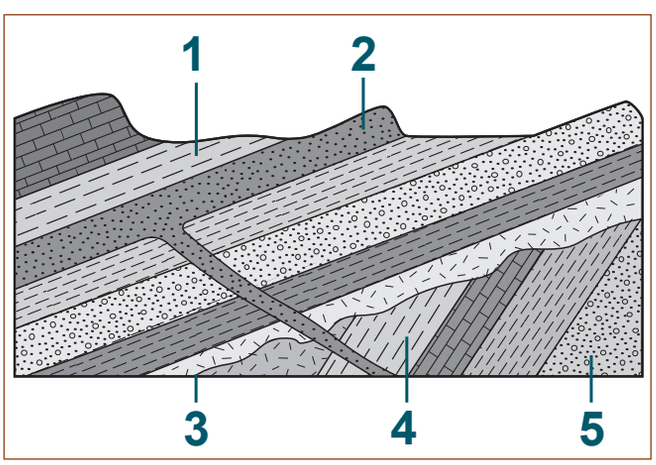
تقويم الدرس 2-2

1. ما أصل الأحافير الموجودة على سطح الأرض؟
   a. الحيوانات الحديثة التي أصبحت متحجّرة في الطين.
   b. النشاط البركاني الذي يدفع الأحافير في الصهارة إلى الأعلى.
   c. الصفائح التكتونية التي تدفع الطبقات الجيولوجية إلى السطح.
   d. الجاذبية التي تؤدّي إلى تحريك الطبقات الأثقل إلى الأسفل والطبقات التي تحمل الأحافير إلى الأعلى.

2. ما السمات الجيولوجية التي تُستخدم لمطابقة الفترات الجيولوجية عندما يسبّب الصدع فرقًا كبيرًا في الوضع الأفقي السابق للطبقات؟
   a. الأحافير المُرشِدة
   b. عدم التوافُق
   c. تكتونية الصفائح
   d. التداخُلات البركانية

استخدم الرسم التخطيطي الجيولوجي **(الشكل 2-43)** للإجابة عن الأسئلة 3 و 4 و5.

3. أيّ من الطبقات المرقَّمة هي الأقدم؟
   a. 1
   b. 2
   c. 4
   d. 5



الشكل 2-43 رسم بياني جيولوجي.

4. ما الحدث المشار إليه بالرقم 3 الذي أنتج عدم التوافُق؟

5. ما نوع الصخور التي تتوقّع أن تجدها في الموضع 2 إذا كانت قد تشكّلت بعد تشكّل الصخور الرسوبية في الموضع 1؟

6. كيف يساعد مبدأ تعاقُب الطبقات في التأريخ النسبي عندما تكون التراكيب الجيولوجية التي تراقبها هي طبقات جيولوجية رأسية؟

7. ما ميزة التأريخ الإشعاعي بالمقارنة مع التأريخ النسبي؟

ضوء على العلماء

وليام بكلاند: 1784-1856

الشكل 2-44 وليام بكلاند.

لم يُعرف عمر الأرض حتّى نهاية القرن التاسع عشر. كان يُنظر إلى الأحافير على أنها من حيوانات انقرضت، لكن لم يكن يُعرف منذ متى عاشت. كان معظم الناس يعتقدون أن عمر الأرض يقلّ عن 10000 سنة، وأن الانقراض لم يحدث. كان الاكتشاف المتواصل للأحافير القديمة دليلًا على أرض أقدم بكثير. كانت الثورة الصناعية تتزوّد بالفحم الحجري كوقود. تطلّب ذلك حفر مناجم للفحم أدّى إلى كشف طبقات من الصخور تحتوي على أنواع كثيرة من الأحافير المختلفة. مع بداية القرن التاسع عشر، أصبح جمع الأحافير هواية علمية شعبية للكثير من الناس.

تمّ اشتقاق مصطلح "ديناصور" من عمل وليام بكلاند، وهو من أوائل الجيولوجيين وعلماء الأحافير **(الشكل 2-44)**. في عام 1824، نشر بكلاند تقريرًا عن عظام أحفورية اكتشفها في مقلع لصخور الحجر الجيري في ستونفيلد على بعد 17 km إلى الغرب من أكسفورد في إنجلترّا. استنتج بكلاند بدقّة أن العظام تعود إلى أحد الزواحف العملاقة وسمّاه "ميجالوصور" أي "السحلية العظيمة".

الشكل 2-45 قسم من لوحة هنري دي لا بيتش المائية المرسومة سنة 1830.

اكتشفت ماري أنينج، زميلة بكلاند في دراسة الأحافير، أن الحجارة المحجوزة داخل الهياكل العظمية للإكثيوصورات قد كشفت، بعد تكسيرها وفتحها، عن أحافير صغيرة. خلص باكلاند إلى أن هذا كان برازًا متحجّرًا. واستطاع إعادة بناء النظام الغذائي والبيئة التي كانت الكائنات المنقرضة تستوطن فيها. جاء هذا التحليل أساسًا للوحة مائية تصوّر عصور عالم ما قبل التاريخ لهنري دي لا بيتش، كان قد رسمها سنة 1830 **(الشكل 2-45)**.

كان وليام بكلاند من الروّاد الأوائل في علم الأحافير النامي وعلم الجيولوجيا الوثيق الصلة به، كما يُعرف اليوم.

الوحدة 2

مراجعة الوحدة

الدرس 2-1: الزمن الجيولوجي

- يُقسم التاريخ الجيولوجي إلى أربعة **دهور Eons**. تكون الثلاثة الأولى في بعض الأحيان مجمّعة في دهر عظيم يُسمّى **ما قبل الكمبري Precambrian**.
- يُطلق على الدهر الرابع **الحياة الظاهرة Phanerozoic**، وهو مقسّم إلى فئات أكثر تفصيلًا تُسمّى **الحِقَب Eras**، والتي يتم تقسيمها إلى **عصور Periods**، ثم إلى **أحيان Epochs**، تمّ تقسيمها إلى **عهود Ages**.
- تُغيّر **أحداث الانقراض Extinction event** البيئة بطريقة تؤدّي إلى انقراض أنواع كثيرة. يؤدّي اختفاء أنواع من البيئة إلى فتح مناطق حيوية لأنواع جديدة ومختلفة لتتطوّر.
- تُعدّ **حقبة الحياة القديمة Paleozoic era** مهمّة لأن الكائنات الحية فيها قد طوّرت أصدافًا وعظامًا صلبة، كان من السهل أن تصبح أحافير.
- يدرس **علماء الأحافير paleontologist** **أحافير fossils** بقايا الكائنات الحيّة داخل الصخور وآثارها، لبناء تاريخ الأرض.
- **الأحافير المُرشِدة Index fossils** هي مفاتيح مهمّة لأنها كانت واسعة الانتشار، ولكنّها استمرت على قيد الحياة لفترة قصيرة من الزمن الجيولوجي.

الدرس 2-2: تفسير الأنماط الجيولوجية

- **تعاقُب الطبقات Superposition** مبدأ ينص على الآتي: إذا ترسّبت الطبقات بواسطة قوة الجاذبية، تكون الطبقة التي تقع في الأسفل هي الطبقة الأقدم، وتكون الطبقة التي تقع في الأعلى هي الطبقة الأحدث.
- يستخدم **التأريخ النسبي Relative dating** مبدأ تعاقُب الطبقات لتحديد عمر طبقات الأرض بالنسبة إلى الطبقات التي تعلوها والطبقات التي تقع أسفلها.
- **التداخُلات Intrusions** أحداث بركانية تخترق طبقات مختلفة من الصخور تاركة صخورًا نارية متداخلة تحت الأرض، أو صخورًا نارية بركانية على السطح.
- تصف **علاقات القواطع Cross-cutting relationships** التغييرات التي تطرأ على تسلسل الطبقات والتي تحدث عندما تُسبّب الزلازل والبراكين أو عمليات جيولوجية أخرى انقطاعات في طبقات الصخور.
- يستخدم **التأريخ الإشعاعي Radiometric dating** **عمر النصف Half-life** أو النظائر المشعّة لتحديد عمر الصخور.
- **ثابت الانحلال Decay constant** هو دالّة لعمر النصف.
- **درجة حرارة الإغلاق Closure temperature** هي درجة الحرارة التي تبرد فيها الصخور ويصبح فيها التأريخ الإشعاعي دقيقًا.
- يستخدم **التأريخ بالكربون المشعّ Radiocarbon dating** الكربون الموجود في المواد العضوية لتحديد عمرها.

تقويم الوحدة

اختيار من مُتعدِّد

1. أيٌّ من الوحدات الآتية الأكثر فائدة عند الحديث عن تاريخ الأرض؟
   a. الحقبة
   b. السنة
   c. القرن
   d. الألفية

2. أي مما يأتي يتدرّج من الزمن الأقصر إلى الأطول؟
   a. الحقبة، العصر، الحين، العهد
   b. العهد، الحقبة، العصر، الحين
   c. العهد، الحين، العصر، الحقبة
   d. العصر، العهد، الحقبة، الحين

3. أيٌّ من الدهور المختلفة في تاريخ الأرض كان مأهولًا أكثر؟
   a. الحياة الخفية
   b. السحيق
   c. الطلائع
   d. الحياة الظاهرة

4. ما تعريف حدث الانقراض؟
   a. الاحترار العالمي أو التبريد.
   b. ارتطام نيزك بالأرض.
   c. تغيُّر في الأرض يؤدّي إلى فناء الكثير من الأنواع.
   d. حركة الصفائح التكتونية التي تفصل الأنواع عن نظامها البيئي الأصلي.

5. ما اسم مجموعة العلماء الذين يستخدمون الأحافير لدراسة تاريخ الأرض؟
   a. علماء الآثار
   b. علماء الباليونتولوجيا
   c. خبراء الأرصاد الجوّية
   d. علماء الأنثروبولوجيا

6. ما العوامل التي تُسهم في تكوين الأحافير؟
   a. جسم ليّن يجفّ في الشمس.
   b. أجزاء الجسم الصلبة التي تجفّ في الشمس.
   c. جسم ليّن مدفون تحت طبقات من الطين.
   d. أجزاء الجسم الصلبة المدفونة تحت طبقات من الطين.

تقويم الوحدة ☑

7. ما دور قوة الجاذبية في تعاقُب الطبقات الجيولوجية المختلفة؟
   a. تسبّب سقوط الأحافير إلى الطبقات السفلية.
   b. تجعل الطبقة الأثقل في الأسفل.
   c. تجعل الطبقات الأفقية رأسية بمرور الزمن.
   d. تؤدّي إلى تكوين طبقات فوق الطبقات السابقة.

8. ما الشروط التي يجب توفّرها في عيّنة الصخور لتحديد عمرها باستخدام التأريخ الإشعاعي؟
   a. احتواؤها على بلّورات.
   b. احتواؤها على أحافير مُرشِدة.
   c. احتواؤها على نظائر مشعّة.
   d. تشكُّلها في دهر الحياة الخفية.

9. ما المعلومات المطلوبة لتحديد عمر الصخر بالتأريخ الإشعاعي؟
   a. مقدار نظير الأم وثابت الانحلال.
   b. مقدار نظير الابنة وثابت الانحلال.
   c. نسبة نظير الأم إلى نظير الابنة وثابت الانحلال.
   d. اختبار عمر طبقات الصخور فوق العيّنة وتحتها.

10. ما عدد فترات عمر النصف التي سيستغرقها انحلال عيّنة نقية حتى يبقى 6.25% فقط من العيّنة الأصلية لتنحلّ؟
   a. 2
   b. 4
   c. 6
   d. 8

11. تُقاس عيّنة بعناية وتكشف عن 12.5% من نظير الأم و87.5% من نظير الابنة مع عمر نصف 1.5 مليون سنة. ما عمر هذه العيّنة؟
   a. 0.5 مليون سنة
   b. 1.5 مليون سنة
   c. 3.0 ملايين سنة
   d. 4.5 ملايين سنة

12. تُجرى دراسة حشرة مدفونة في الكهرمان من العصر الديفوني. لماذا لا يُستخدَم التأريخ بالكربون المشعّ لتحديد عمرها؟
   a. لا تحتوي على مواد عضوية.
   b. لا يحتجز الكهرمان نظائر الابنة.
   c. الزمن الإجمالي يتجاوز المدى المفيد للتأريخ بالكربون المشعّ.
   d. يُحتمل ألا يكون هناك ما يكفي من المواد ليكون الاختبار مفيدًا.

تقويم الوحدة

الدرس 2-1: الزمن الجيولوجي

13. لماذا يتمّ في الغالب تجميع دهور الحياة الخفية والسحيق والحياة الأولية في دهر عظيم يُسمّى "دهر ما قبل الكمبري"؟

14. ما العامل الذي دفع العلماء إلى التنبؤ بأننا موجودون حاليًا في حدث انقراض آخر؟

15. ما المثال على "حدث مهم" قد يجده عالم الباليونتولوجيا؟

16. أعطِ سببًا لتقسيم حقبة الحياة القديمة إلى الكثير من الفترات الزمنية المختلفة.

استخدم **الجدول 2-2**، وهو قسم من سلّم الزمن الجيولوجي الكبير جدًّا للإجابة عن الأسئلة 17-21.

17. * ما الفترات الجيولوجية التي تحتوي على أحافير أنواع مختلفة من ثلاثية الفصوص؟

18. إذا وجدت أحفورة مُرشِدة وعلمت أنها لسمكة من الأسماك الأولى التي ظهرت على الأرض، فإلى أيّ عصر جيولوجي ينتمي الصخر الرسوبي الذي يحتوي على هذه الأحفورة؟

19. * عندما تبحث عن الفحم، ففي أيّ طبقات من التاريخ الجيولوجي تحفر أوّلًا؟

20. أيُّ عصر جيولوجي على هذا السلّم يشير إلى حدث انقراض؟

21. * ما العصور الجيولوجيّة التي لا تحتوي على أيّ دليل أحفوري للحشرات؟

الجدول 2-2 قسم من سلّم الزمن الجيولوجي.

الحدث	العصر
ظهور أوّل نباتات مزهرة	الكريتاسي (الطباشيري) (K)
	الجوراسي
ظهور الطيور الأولى	الترياسي
هيمنة الديناصورات	
انقراض ثلاثية الفصوص والكثير من الحيوانات البحرية	البيرمي
	الكربوني
ظهور الزواحف الأولى	
تكوُّن مستنقعات الفحم الكبيرة	
ظهور البرمائيات الكبيرة	
ظهور الحشرات الأولى	الديفوني
هيمنة الأسماك	السيلوري
ظهور النباتات البرّية الأولى	
بداية ظهور الأسماك	الأوردوفيشي
سيادة وانتشار ثلاثية الفصوص(الترايلوبيت)	الكمبري
ظهور الكائنات الحية مع أصداف	

الدرس 2-2: تفسير الأنماط الجيولوجية

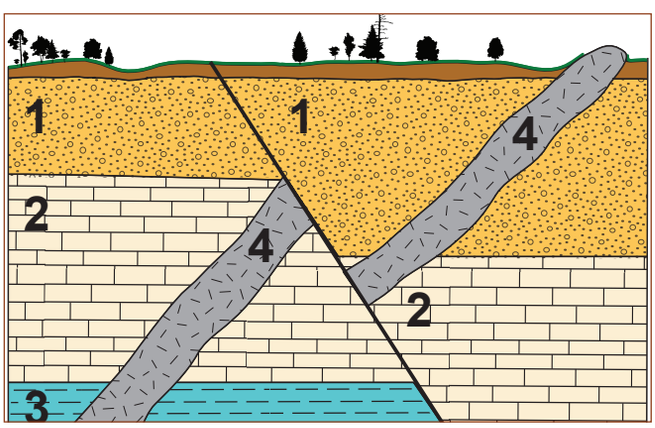
22. ما الافتراض الأساسي لمبدأ تعاقُب الطبقات عندما يتمّ استخدامه للتأريخ النسبي للطبقات الأفقية من الصخر؟

23. تشكّل الصخور النارية المتداخلة بلّورات أكبر من بلّورات الصخور النارية البركانية. ما السمة المميّزة للمكان الذي يبرد فيه الصخر، والتي تسبّب هذا الاختلاف؟

24. ما الأحداث الجيولوجية الثلاثة التي تنتج علاقات القواطع؟

25. ما قاعدة التأريخ النسبي عندما يُلاحظ الاندفاع البركاني؟

استخدم **الشكل 2-46** للإجابة عن الأسئلة 26-30.



الشكل 2-46 رسم تخطيطي جيولوجي.

26. أيُّ رقم يمثّل أقدم طبقة معروضة؟

27. ما التفسير للتشكيل الصخري ذي الرقم 4؟

28. ما الحدث الذي يجب أن يقع لإنتاج الصدع في التشكيل الصخري ذي الرقم 4؟

29. ضع قائمة بثلاثة أحداث جيولوجية أو عمليات كوّنت التراكيب الجيولوجية في الرسم التخطيطي، بالترتيب الذي حدثت فيه.

30. أيٌّ من أنواع التشكيلات الصخرية المختلفة الممثلة بالأرقام 1 و 2 و 3 و 4، لا يحتوي على أحافير؟ اشرح إجابتك.

31. احسب نسبة نظير الأم إلى نظير الابنة بعد 5 أعمار نصف.

32. اشرح السبب الذي يجعل الصخور النارية البركانية أكثر دقّة في التأريخ الإشعاعي من الصخور النارية المتداخلة.

33. اذكر اثنين من شروط التأريخ بالكربون المشعّ.

الوحدة 3
الماء
Water

في هذه الوحدة

الدرس 3-1: مخزون المياه ES1205

الدرس 3-2: خزّانات المياه الجوفيّة ES1206

الوحدة 3

مقدّمة الوحدة

يُعدّ الماء ضرورة أساسية لاستمرار الحياة على الأرض. تتمّ حركة وتبادُل المياه باستمرار بين المياه في المحيطات والأنهار والبُحيرات، والجليد في القطبَين والأنهار الجليدية، وبخار الماء في الغلاف الجوي. أضف إلى ذلك كلّه أنّ بعض الماء يُشكّل جزءًا من الكائنات الحية، وأنّ كمّية كبيرة من المياه لا تزال مخزونة في باطن الأرض، منذ ملايين السنين.

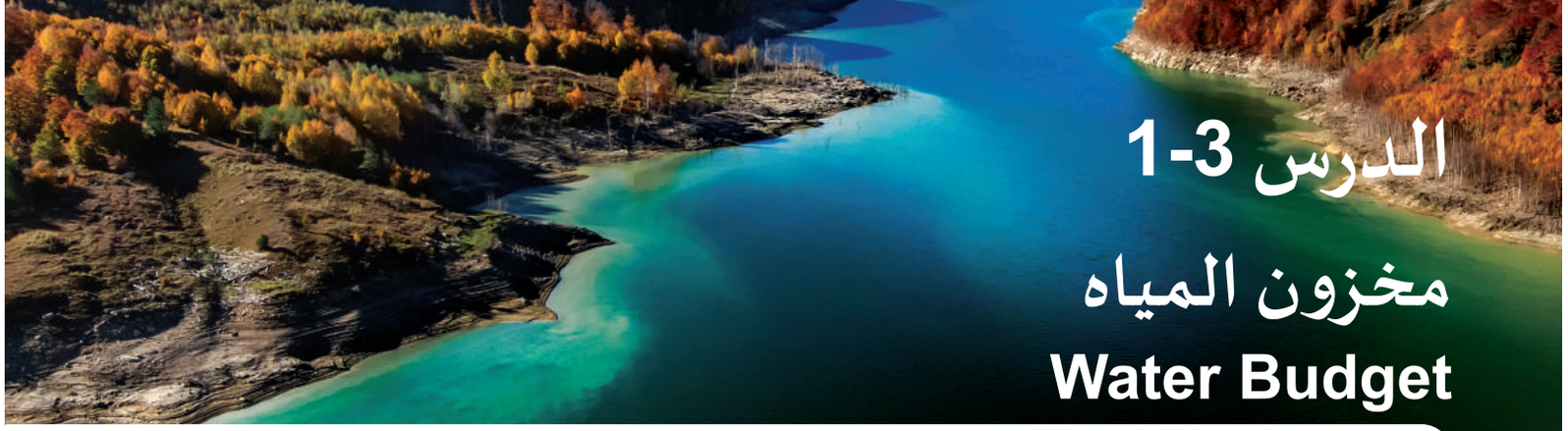
يستكشف الدرس 1.3 المياه الجوفية. تجدر الإشارة إلى أنّ هناك أنواعًا مُعيّنة من التربة والصخور تمتلك خصائص تتيح للمياه أن تجري إلى باطن الأرض. وكان لابدّ من تتبّع تلك المياه باستخدام بعض التقنيات، لأنّ هذا الأمر يهتم به المزارعون وعمّال الصناعة والناس كافة. سننظر في إحدى تلك التقنيات، ونتعلّم حقائق عن مُستوى المياه الجوفية.

يستكشف الدرس 2.3 الخزّانات العميقة للمياه العذبة، والتي تقع حتى تحت الصحراء الأكثر جفافًا. قد تكون هذه المياه مُخزّنة منذ عشرات آلاف السنين، وربّما جاء بعضها من الأنهار الجليدية التي كانت تغطّي الأرض.

الأنشطة والتجارب

1-3 المساميّة والنفاذيّة

2-3 تحليل مخزون المياه الجوفيّة



الدرس 3-1

مخزون المياه
Water Budget

تحتاج كل الكائنات الحية على الأرض إلى الماء من أجل بقائها على قيد الحياة. ويتَّبع بعضها أساليب بارعة في تخزين المياه عندما يكون وفيرًا، لاستخدامه عندما يصبح نادرًا. تخزّن بعض الحيوانات الماء على شكل دهون. فالمها العربية تؤمّن من دهونها المُخزّنة ربع احتياجاتها اليومية من الماء.

الشكل 3-1 ماء نظيف من الصنبور.

لكنّنا، نحن البشر، قدرتنا ضعيفة على تخزين الماء في أجسامنا. لذلك نعتمد على إمدادات خارجية ثابتة من الماء **(الشكل 3-1)**. وتعمد مدنٌ، مثل الدوحة، إلى تخزين المياه العذبة كمورد بالغ الأهمّية. ولذلك يجب أن نراقب "مخزون المياه" من خلال تحديد موارد المياه واستخداماتها.

مخرجات التّعلُّم

ES1205.1 يحدّد المتغيّرات التي تؤثّر في الأنهار وفي المياه السّطحيّة.

ES1205.2 يشرح أن مخزون المياه (الموازنة المائية) يحدّد كيف تتجدّد المياه الجوفيّة وكيف تنقص.

ES1205.3 يعرف أن موارد المياه الطّبيعيّة في دولة قطر تقسم إلى مياه الأمطار والمياه الجوفيّة (مثل الخزّانات الجوفيّة في تكوين الدمام والرس، وأم الرضمة).

المفردات

Water cycle	دورة الماء
Permeability	النفاذيّة
Impermeable	غير المُنفِذة
Porosity	المساميّة
Capillarity	الخاصّية الشعرية
Infiltration	الارتشاح
Infiltration rate	معدّل الارتشاح
Runoff	الجريان السطحي
Saturation	التشبُّع
Groundwater	المياه الجوفيّة
Aquifer	خزّان المياه الجوفيّة
Aquitards	الطبقات المعيقة
Water table	مُستوى المياه الجوفيّة
water budget	مخزون المياه

ما مخزون المياه (الموازنة المائية)؟

فيمَ يشبه الماء المال؟

يشبه مخزون المياه الميزانيّة المالية. فهناك مصادر "للدخل" تُضاف إلى إجمالي الدخل، و"نفقات" تُطرَح منه.

إذا كانت لديك ميزانية مالية، وأردتَ تتبُّع نفقاتك ودخلك بوضوح، فالأفضل لك أن تُجري معاملات ورقية وتحتفظ بدفتر شيكات **(الشكل 3-2)**، بدل التعامُل بالتحويل الإلكتروني، مع أنّه أكثر سهولة. ومن الأمور التي تُسيء إلى ميزانيتك أنّ وفرة الموارد لديك، تجعلك تُسرف في الإنفاق أكثر مما تملك.

الشكل 3-2 يساعد الاحتفاظ بدفتر الشيكات على تتبّع التمويل.

- افترض أنك تحصل على راتب شهري. اختر بعض السلع التي ترغب في شرائها الشهر القادم براتبك.
- احسب المبلغ الذي يمكنك إنفاقه يوميًا لتبقى في حدود ميزانيتك.
- إذا كنت ترغب في شراء سلعة باهظة الثمن، فهل تحرم نفسك من الإنفاق لبضعة أيام أو أسابيع لتصبح قادرًا على شرائها؟
- هل أنفقت كلّ أموالك قبل نهاية الشهر؟

ما ذكرناه عن المال ينطبق على المطر. ففي أجزاء كثيرة من العالم، بما في ذلك دولة قطر، يحدث معظم تساقُط الأمطار خلال بضعة أسابيع أو أشهر في العام. يُسمّى هذا "موسم الأمطار" أو "أمطار الرياح الموسمية" **(الشكل 3-3)**، وتكون المياه شحيحة بقية العام.

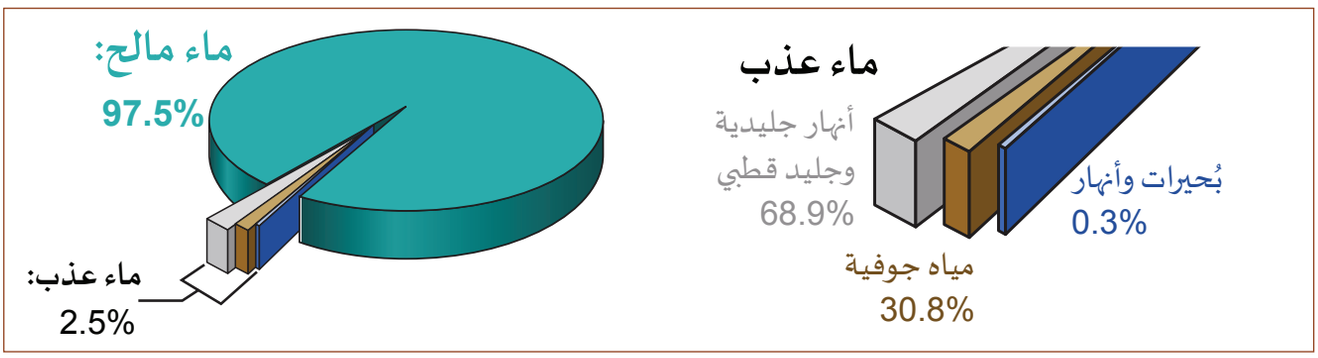
الشكل 3-3 موسم الأمطار.

تخيّل أنك تحصل على كلّ أموالك مرة واحدة كلّ عام. كم ستجد صعوبة في وضع ميزانية للعام بأكمله؟

تحتفظ كافة أنواع الكائنات الحية بالماء من خلال تخزينه، كلّ بطريقته، لتتمكّن من البقاء على قيد الحياة في الأشهر الجافة. صحيح أنّ الموارد اللازمة لذلك محدودة، لكنها متوفّرة تحت الأرض.

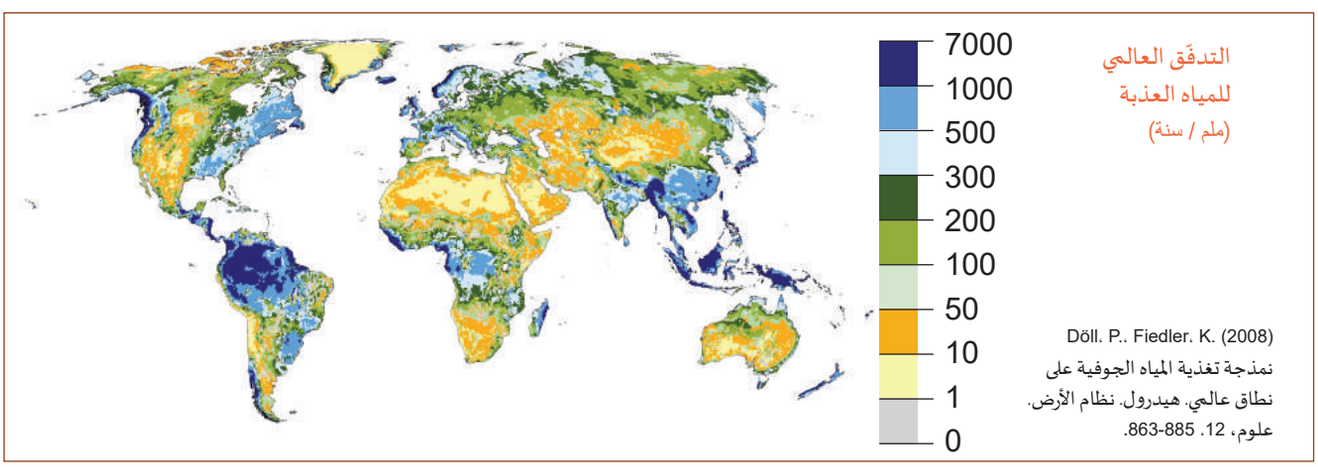
المخزون المائي للأرض

تُغطّي المياه ما يُقارب من 71%من سطح الأرض، تُشكّل مياه المحيطات المالحة غالبيتها العُظمى، أي 97.5%. وتُشكّل 2.5% فقط من مياه الأرض مياهًا عذبة **(الشكل 3-4)**، يكون أكثر من ثُلثَيها مُجمّدًا في الأغطية الجليدية القطبية والأنهار الجليدية، بينما يتوضّع ثُلثها الباقي في خزّانات المياه الجوفية والمياه الجوفية الأخرى. وتتوزّع 0.3% فقط من المياه العذبة، أي 0.0075%من مجموع مياه الكوكب، على البُحيرات والأنهار.



الشكل 3-4 مخزون المياه السطحية على الأرض.

يتفاوت توزيع المياه العذبة على مختلف أنحاء الأرض تفاوُتًا شديدًا، بسبب أنماط التضاريس والرياح. ففي حين أنّ مناطق شاسعة لا تحتوي سوى على القليل من المياه العذبة، أو تخلو تمامًا منها مُشكّلة صحارى قاحلة، تحظى مناطق أخرى، مثل الغابات المطيرة الاستوائية في البرازيل، بتساقط أمطار شديدة الغزارة، قد تبلغ 7000 ملم في السنة. يوضّح **الشكل 3-5** المُعدّل السنوي لتدفُّق المياه العذبة بناءً على بيانات الأقمار الصناعية ونماذج الكمبيوتر.

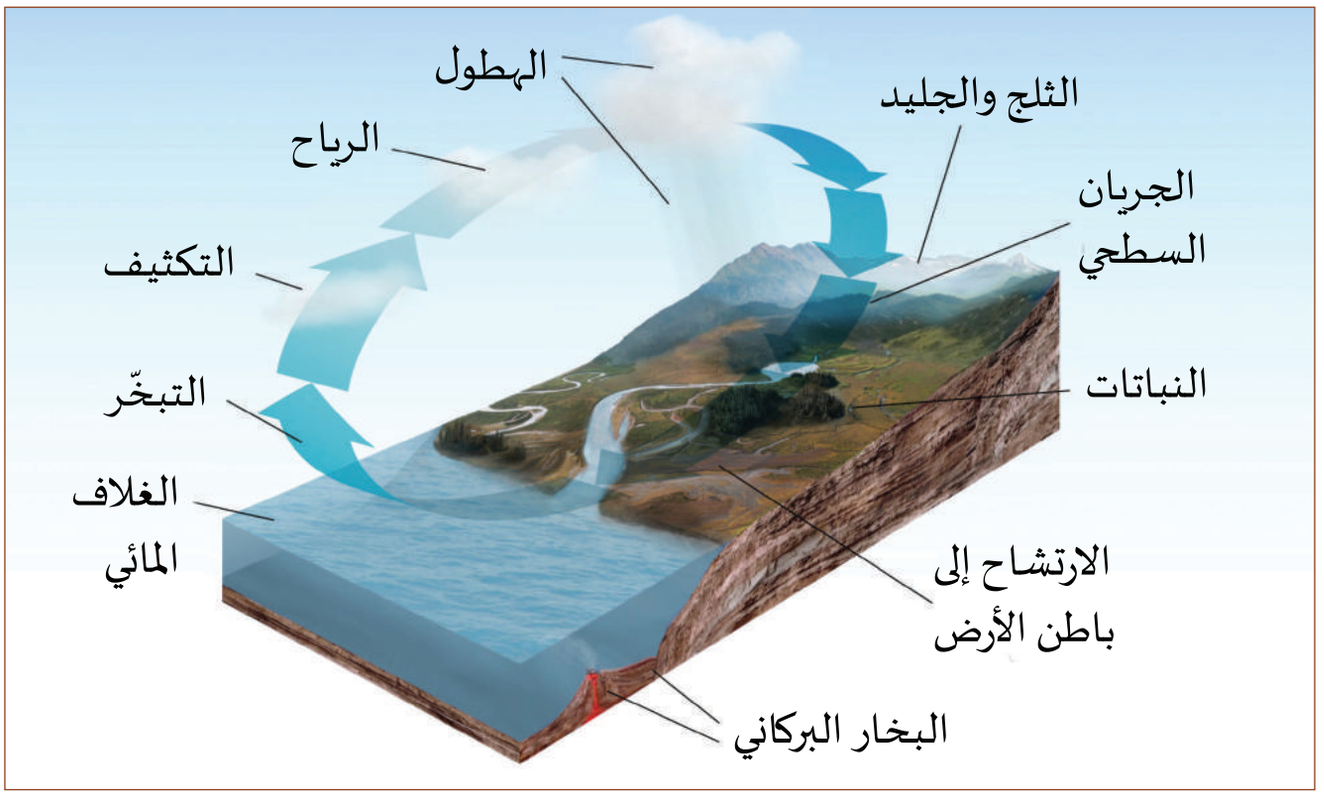


الشكل 3-5 توزُّع المياه العذبة في العالم.

تُشكّل المياه الجوفية، وهي المياه المحبوسة في خزّانات المياه الجوفية، مصدر المياه العذبة الأكثر وفرة على الأرض. حيث يعتمد عليها خمسون في المئة من سكّان العالم. ولكن المعلومات عن مدى توافُر هذا المورد المهم لا تزال قليلة. ويستمرّ البحث عن مصادر جديدة، باستخدام صور الأقمار الصناعية ذات الدقّة العالية، وصور الرادار الذي يخترق الأرض بوساطة الأقمار الصناعيةأيضًا. وقد تمّ العثور على جزء من المياه تحت الصحراء، وعُثر مؤخّرًا على خزّان ضخم للمياه العذبة تحت المحيط الأطلسي.

دورة الماء

تُعرَف **دورة الماء Water cycle (الشكل 3-6)**، أو الدورة الهيدرولوجية، بأنّها الحركة المستمرّة لأشكال المياه السائلة والغازيّة والصلبة، والتي تحدث على السطح وفي باطن الأرض. وهي دورة مستمرّة منذ تكوّن الأرض، مباشرة بعد أن أصبحت القشرة الأرضية صلبة.



الشكل 3-6 المراحل الأوّليّة لدورة الماء على الأرض.

المراحل الأوّليّة لدورة الماء

- **الهطول:** هو ما يتساقط من الغلاف الجوّي من مطر وثلج، وما يُغادره من ضباب، تحت تأثير قوة الجاذبية.
- **الثلج والجليد:** تحتجز الأنهار الجليدية والأغطية الجليدية 68.9% من الماء العذب على الأرض.
- **الجريان السطحي:** تحتوي الأنهار والجداول والبُحيرات والمستنقعات على 0.3% من الماء العذب على الأرض.
- **النباتات:** تستهلك الماء، ولكنّها تعيده إلى الغلاف الجوّي عن طريق النتح.
- **دخول التربة:** تحتوي المياه الجوفية على 30.8% من إمدادات الماء العذب.
- **البخار البركاني والينابيع الحارة:** تجلب الصفائح الأرضية المُندسّة الماء إلى ما تحت القشرة، وتُسهم في تشكيل الطبيعة المُتفجّرة للبراكين.
- **الغلاف المائي:** تحتوي المحيطات على 97.5% من مياه الأرض، لكنها مالحة إلى درجة لا تصلح معها للاستخدام في الزراعة أو الشرب.
- **التبخّر:** تُحوّل الطاقة المُنبعثة من الشمس الماء السائل إلى بخار ماء.
- **التكثُّف:** يبرد بُخار الماء ويتحوّل إلى سائل.

المياه السطحية

تُشكّل المياه العذبة على سطح الأرض جزءًا صغيرًا يبلغ 0.3% من إجمالي المياه على هذا الكوكب. ومع ذلك، تُعدّ الأنهار والبُحيرات المصدر الرئيس للمياه العذبة الذي يعتمد عليه الناس.

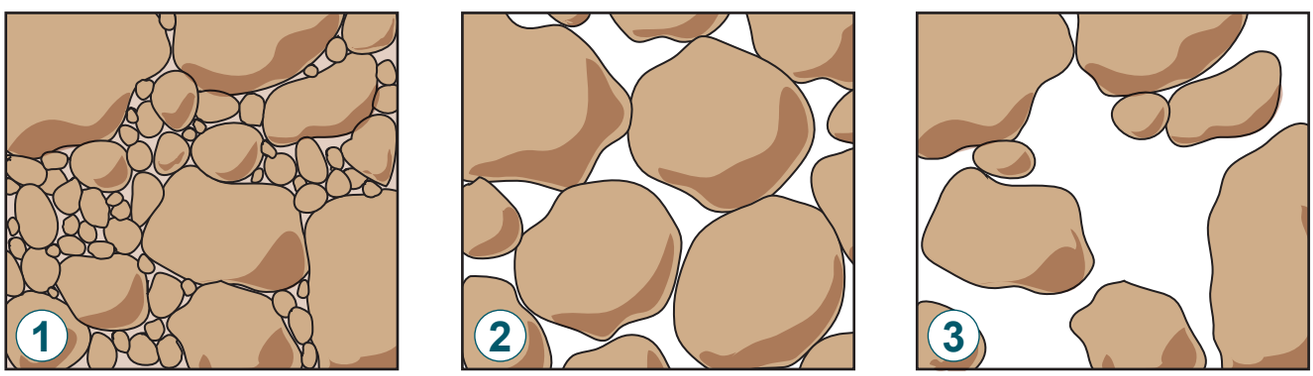
الأنهار والبُحيرات هما المصدر الرئيس للمياه العذبة.

يُحدّد التوازُن بين الهطول والنفاذيّة تجمُّع الماء على السطح أو تسرّبه إلى باطن الأرض أو تدفّقه إلى المحيط.

الشكل 3-7 برك صغيرة في الرمال.

يُساهم **الهطول Precipitation** في زيادة كمّية المياه السطحية. فكّر في صورة تشكّل البرك بعد المطر **(الشكل 3-7)**، ولكن على نطاق أوسع.

تُنقِص **النفاذيّة Permeability** من كمّية المياه السطحية. وهي خاصّية من خصائص المادة تُعبّر عن مدى السماح للمياه بالنفاذ من خلال الفراغات المُتّصلة ببعضها. مثلاً ، تتجمّع المياه على أسطح الطرق، ولا يحدث مثل ذلك على العشب والرمل لأنّ المياه تتسرّب إلى الأسفل. يقال عن المادة الصلبة، أو المادة التي لا تحتوي على فراغات متّصلة (مثل أسطح الطرق) إنها **غير مُنفِذة Impermeable**.



الشكل 3-8 تُحدَّد النفاذيّة من خلال بنية الفراغات بين المواد.

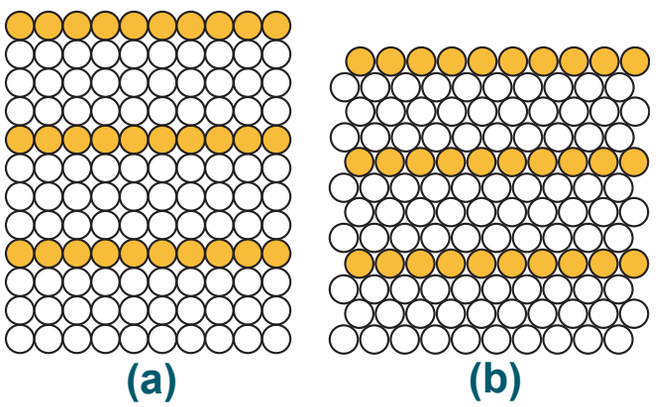
يعرض **الشكل 3-8** مواد مختلفة ونفاذيّة كلّ منها.

1. لا تحتوي المادّة على فراغات متّصلة، هذا يعني أنّها غير مُنفِذة. فالطين الناعم جعل التربة غير مُنفِذة وكذلك الصخور الصلبة.
2. مادة شبه مُنفِذة ستسمح مع الوقت بتدفّق الماء عبرها.
3. مادة مُنفِذة تمرّ المياه عبرها بسهولة.

المساميّة

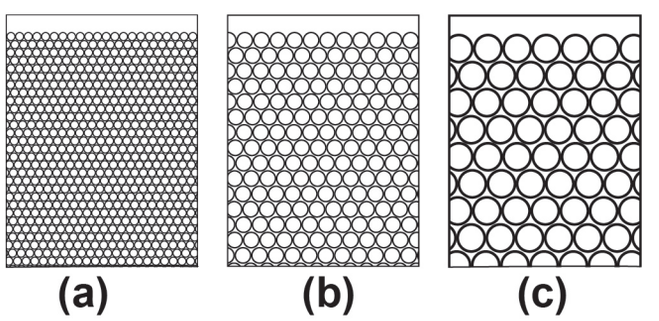
المساميّة Porosity هي حجم الفراغات في المادّة بالنسبة إلى حجم المادّة. وهي، بمعنى آخر، نسبة حجم الفراغات إلى الحجم الإجمالي. تُحدّد المساميّة نفاذية التربة والصخور، وكمّية الماء التي يمكن أن تحتفظ بها طبقة معيّنة من الصخور.

وتعني المساميّة من جهة أخرى أشكال الحُبيبات وكيفية تموضُعها في الرمل والتربة والصخور معًا. وتُسهم طريقة تموضُع الحُبيبات الكرويّة، وذات الأحجام المتساوية، في التقليل أو الزيادة من مقدار الفراغات المُتاحة. يوضّح **الشكل 3-9** الحُبيبات في (a)، وهي تمتلك مساميّة أكبر مّما هي في (b)، مع أنّهما متساويتان في العدد. ويعود ذلك إلى الاختلاف في طريقة تموضع كل منهما.



الشكل 3-9 تؤثّر طريقة التموضع على مساميّة الحُبيبات المصنّفة.

ولا يُعدّ حجم الحُبيبات عاملًا فعّالًا في تحديد المسامية. صحيح أنّ الحُبيبات الصغيرة تُشكّل فراغات صغيرة، لكن يكون عددها كبيرًا **(الشكل 3-10)**. ويُسهم وجود الحُبيبات بأحجام متنوّعة معًا في التقليل من المساميّة. ويرجع ذلك إلى أنّ الحُبيبات الصغيرة تملأ الفراغات الكبيرة بين الحُبيبات الأكبر حجمًا.

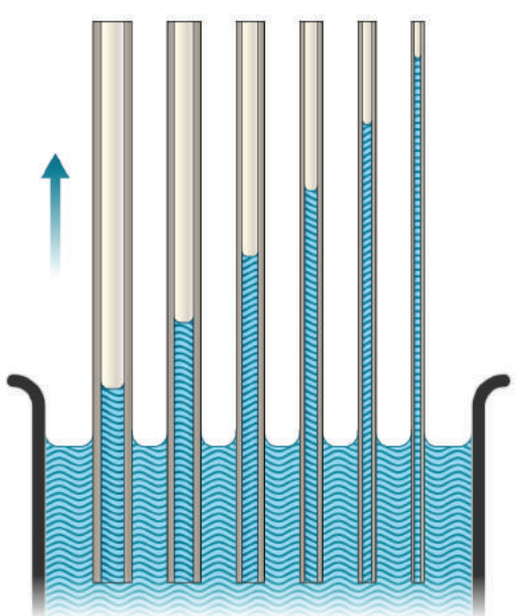


الشكل 3-10 لأحجام الحُبيبات الثلاثة هذه المساميّة نفسها تقريبًا.

الخاصّية الشعريّة Capillarity هي صعود السائل في أنابيب أو شُعيرات دقيقة في المادة عكس قوة الجاذبية، بفعل التوتّر السطحي للسائل.

ينتج عن الخاصّية الشعريّة **(الشكل 3-11)** "ارتفاع" الماء عبر الألياف، كما يحدث في الإسفنجة. وتتأثّر الخاصّية الشعريّة تأثُّرًا بالغًا بحجم الحُبيبات في التربة. فكلما صغُر، ازدادت فاعليتها.

والمياه السطحية بدورها تتأثّر بالمساميّة، فضلًا عن تأثّرها بالخاصّية الشعريّة. ذلك أنّ التربة ذات الحُبيبات الصغيرة لديها قابلية أكبر للاحتفاظ بالماء.



الشكل 3-11 فعل الخاصّية الشعريّة.

نشاط 3-1 المساميّة والنفاذيّة

سؤال الاستقصاء	هل يمكنك قياس مساميّة مادة في الصف؟
الموادّ المطلوبة	دوارق بلاستيكية، حُبيبات كروية بأحجام مختلفة أو خرز بلاستيك، ماء، أكواب، أسطوانة مُدرَّجة.

خطوات التجربة

الشكل 3-12

1. قم بإعداد دورق بلاستيكي وحاجز عند القاع، وطريقة لمنع الماء من التسرُّب.
2. اسكب 100 ml من الماء في الدورق، وضع علامة عند مُستوى الماء.
3. صرّف الماء وجفّف الدورق.
4. املأ الدورق بالخرز الكبير حتى علامة 100 ml من الخطوة 2 (**الشكل 3-12**).
5. املأ الدورق ماء بحذر، وتتبّع الكمّية التي تحتاج إليها منه، للوصول إلى مُستوى علامة 100 ml السابقة.
6. سجّل كمّية المياه المستخدمة لملء الفراغات.
7. احسب المساميّة بقسمة القيمة من الخطوة 6 على 100 ml.
8. كرّر جميع الخطوات، باستخدام حُبيبات كروية مختلفة الحجم. سجّل قيَمك في جدول بيانات.
9. تستطيع أيضًا قياس الخاصّية الشعريّة. اجمع وقس المياه التي تتسرّب بعد الخطوة 5، وقارنها بكمّية الماء التي تمّ سكبها في الدورق المُدرّج. سوف ينتج هذا الفرق بسبب الماء المُتبقّي على سطح الخرز.

أسئلة

a. قارن مساميّة حبوب الخرز الكبيرة بمساميّة الحبوب الصغيرة. هل لاحظت اختلافًا كبيرًا؟
b. قارن الخاصّية الشعريّة لحبوب الخرز الكبيرة بالخاصّية الشعرية للحبوب الصغيرة.
c. إذا أعدت القياس باستخدام خليط من الخرز الصغير والكبير، فماذا يحدث لقيمة المساميّة؟

الارتشاح

الارتشاح Infiltration هو العملية التي يتسرّب بها الماء إلى التربة وما تحتها من طبقات الصخور المساميّة. يقيس **معدّل الارتشاح Infiltration rate** الزمن الذي يستغرقه انتقال المياه عبر المواد. يتم قياس معدّلات الارتشاح الشائعة بالأمتار في اليوم.

الجريان السطحي Runoff هو تدفُّق المياه السطحية في اتّجاه المُنحدرات، عندما يكون معدّل تساقُط الأمطار أكبر من معدّل الارتشاح. وقد يسبّب الجريان السطحي على الأسطح الصلبة في المدن فيضانات في كثير من المواقع. ولتدارُك الأمر تمّ بناء مسارات صرف خاصّة لتجميع تلك المياه السطحية **(الشكل 3-13)**. ويتمّ في المواقع التي يندر فيها الماء، تخزين تلك المياه.

الشكل 3-13 تصريف الجريان السطحي.

التشبّع Saturation هو النقطة التي تصبح عندها التربة غير قادرة على تخزين كمّيات إضافية من المياه. حيث يكون قد تمّ ملء جميع الفراغات بالماء، ولم يعد هناك المزيد من القدرة على الاستيعاب. عند هذه النقطة، يصبح كل تساقُط إضافي للأمطار جريانًا سطحيًا.

الشكل 3-14 الجريان السطحي في حقل ذرة مُشبع بالمياه.

قد يحمل الجريان السطحي في الحقول الزراعية **(الشكل 3-14)** الأسمدة والمبيدات، فيلوّث المُسطّحات المائية التي يتدفّق فيها الجريان السطحي.

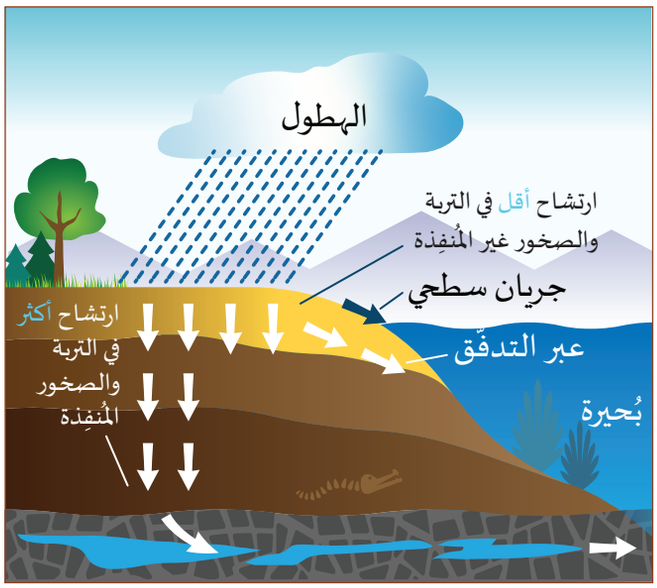
وتؤدّي قوة الجاذبية في النهاية إلى جمع مياه الجريان السطحي في المجاري المائية والجداول **(الشكل 3-15)** التي تُغذّي بدورها الأنهار الأكبر تدريجيًا. وبمرور الزمن، يصل الماء إلى البُحيرات والمحيطات، لتبدأ دورة الماء من جديد. يحصل معظم الناس في العالم على الماء العذب من الجريان السطحي. ومع ذلك، فإنّ قَطَر تنتج معظم مائها العذب من تحلية مياه البحر.

الشكل 3-15 يغذّي الجريان السطحي المجاري المائية والجداول .

المياه الجوفية وخزّانات المياه الجوفية

كيف تستمرّ الأنهار في التدفّق لفترة طويلة بعد توقّف الأمطار؟

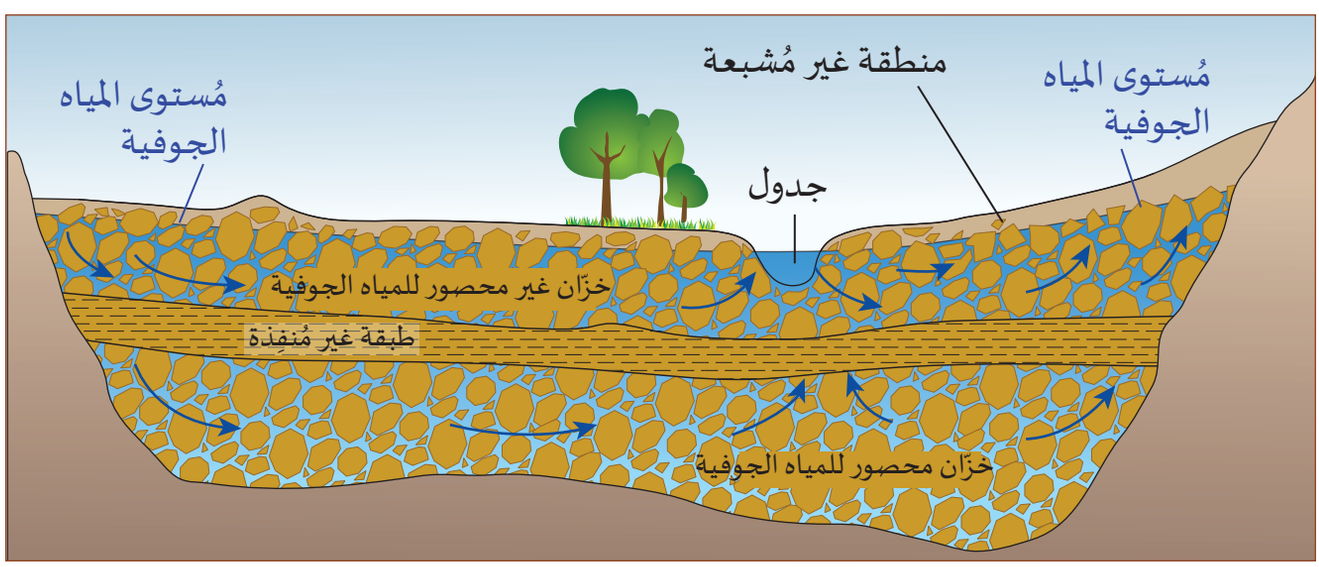
المياه الجوفية Groundwater هي المياه المخزّنة في فراغات التربة والتكوينات الصخرية التي تقع تحتها. تتدفّق المياه الجوفية ببطء شديد مقارنة بالجريان السطحي. تستمر المياه الجوفية في تغذية الجداول والأنهار بعد وقت طويل من توقّف تساقط الأمطار. تتمكّن بعض المياه الجوفية من الوصول إلى المياه السطحية عبر تدفُّقها إلى سطح الأرض **(الشكل 3-16)**. ويُتابع القسم المتبقّي منها الارتشاح إلى أسفل حتى يصل إلى طبقة غير مُنفِذة من صخور الأساس بلغت مُستوى التشبُّع.



الشكل 3-16 رسم تخطيطي للمياه الجوفية.

تتجمّع المياه الجوفية في أماكن تحت الأرض تُسمّى خزّانات المياه الجوفية. ويُعرف **خزّان المياه الجوفية Aquifer** بأنّه حيّز من الصخور المُنفِذة أو خليط من الحُبيبات، أو صخور ذات كسور، تقع في باطن الأرض. ولها القدرة على تخزين المياه الجوفية.

- تفصل بين خزّانات المياه الجوفية صخور غير مُنفِذة أو طبقات طينية شبه مُنفِذة **(الشكل 3-17)**، تُعرف باسم **الطبقات المُعيقة Aquitards**.
- يتكوّن الخزّان غير المحصور من طبقة غير مُنفِذة في الأسفل فقط و لاتوجد فوقه طبقة غير مُنفِذة للماء، ويسمّى منسوب الماء في هذا الخزّان بمُستوى المياه الجوفية.
- أمّا الخزان الجوفي المحصور فيكون كل من أرضيته وسقفه طبقة غير مُنفِذة للماء. تحبس هاتان الطبقتان المياه في الوسط. وقد تتكوّن إحداهما أو كلتاهما من الصخور.



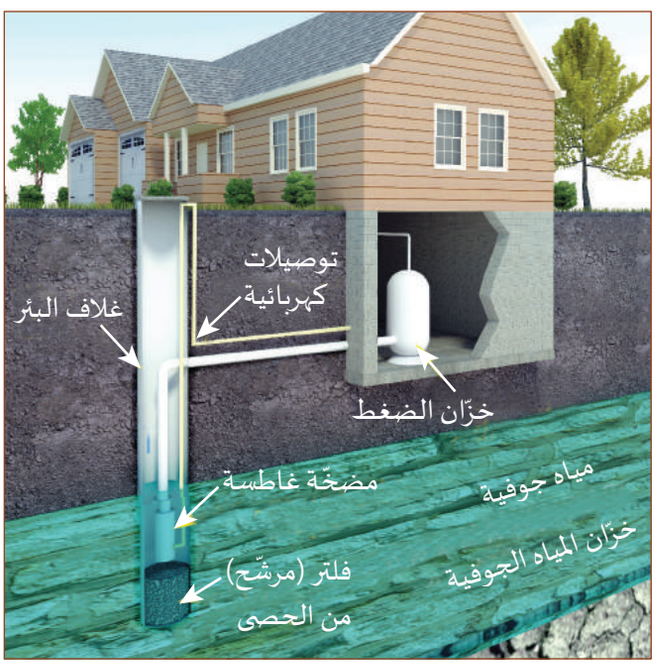
الشكل 3-17 رسم تخطيطي للخزّانات الجوفية المنفصلة بطبقة غير مُنفِذة.

مُستوى المياه الجوفية

يُعرَّف **مُستوى المياه الجوفية Water table** بأنه منسوب المياه في صخور مُشبعة تُشكّل خزّانًا غير محصور للمياه الجوفية. ولا بدّ من التركيز على مستوى المياه الجوفية عند الحديث عن المخزون المائي. ويرجع ذلك إلى أنَّ مُستوى المياه الجوفية يُشكّل مصدر المياه التي يستخرجها الناس من الآبار.

يُعرَّف مُستوى المياه الجوفية بأنه منسوب المياه في صخور مُشبعة تُشكّل خزّانًا غير محصور للمياه الجوفية.

- يرفع الهطول مُستوى المياه الجوفية، ذلك أنّه يزيد الحجم المُشبَع من الصخور فيرتفع بالتالي مُستوى المياه. لكنَّه إذا ارتفع فوق سطح الأرض، فقد يُسبّب فيضانًا.
- تتكوّن الأنهار والبُحيرات ضمن مناطق مُنخفِضة في الطبقات الصخرية الواقعة تحت مُستوى المياه الجوفية. فإذا كان الجريان السطحي كافيًا لرفع منسوب البُحيرة، فسوف يرتشح الماء إلى باطن الأرض ويرفع مُستوى المياه الجوفية.
- يمتدُّ مُستوى المياه الجوفية آلاف الكيلومترات المربّعة، متغلغلًا حتّى تحت الصحراء. وفي حال وجود منطقة مُنخفِضة في الصحراء أدنى من مُستوى المياه الجوفية، فسوف تمتلىء بالمياه، وهكذا تتشكَّل الواحات.
- إذا حفرنا بئرًا إلى أن تُصبح أدنى من مُستوى المياه الجوفية فسوف تمتلىء بالمياه. وهذه هي آليَّة عمل الآبار التي تُعدّ مصدرًا شائعًا للمياه العذبة عندما لا تتوافر المياه السطحية **(الشكل 3-18)**.



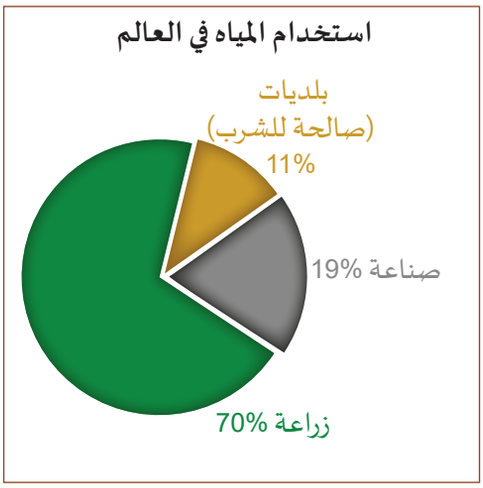
الشكل 3-18 عناصر بئر ماء سكنية.

- تستغرق المياه الجوفية وقتًا طويلًا لتتسرّب إلى البئر. فإذا تمّ ضخ المياه منها بسرعة كبيرة، فسوفّ تجفّ البئر بانتظار امتلائها من جديد.
- كلما كان الحفر أعمق من مُستوى المياه الجوفية، كانت إعادة امتلاء البئر أسرع.

عندما يستخرج عدد كبير من الناس الماء من الخزّان نفسه ينخفض مستوى المياه الجوفية، فيفوق المعدّل الكلّي للاستخراج معدّل التغذية بالماء من الهطول. وإذا انخفض إلى عمق أدنى من قاع البئر، فلن تمتلىء البئر بالماء أبدًا. ويعدّ هذا الأمر مُثيرًا لقلق مُجتمعات كثيرة في العالم.

استخدام الإنسان للمياه

- يَستخدِم البشر المياه لأغراض مُتعدّدة. فهم يستهلكون 70% منها في الزراعة **(الشكل3-19)**، ويستهلكون 19% في الصناعة، مُقابِل 11% فقط من المياه تستهلكها البلديات. وتُسمّى المياه الصالحة للشرب **مياه الشرب Potable**. وفي حين أنّ المياه التي تستهلكها البلديات يجب أن تكون صالحةً للشرب، لا يُشترط أن تكون كذلك في الاستخدامات الصناعية والزراعية.



الشكل 3-19 استخدام المياه العذبة في العالم

ويتوقَّع بحلول العام 2055 أن يزداد الطلب العالمي على المياه بنسبة 55%. وسوف يحتاج إنتاج الغذاء إلى زيادة في استهلاك الماء بنسبة 70% بحلول العام 2035.

تقيس البصمة المائية استهلاك الفرد للمياه في اليوم. يُظهِر **الجدول 3-1** مثالًا على البصمة المائية لمنزل في مدينة حديثة. والنقطة اللافتة في البيانات هي كمّية التسرّب في نظام التوزيع، التي تُهدر عبر تنقيط الصنابير وتسريب المراحيض. يعدّ هذا الأمر مُقلقًا جدًا لشبكات المياه البلدية الكبيرة، مثل بلدية الدوحة. حيث تُهدر كمّية كبيرة من المياه الثمينة سنويًا.

الجدول 3-1 البصمة المائية لمنزل حديث.

التطبيق / الجهاز	لتر/ اليوم	% من الإجمالي
المرحاض	125	24
مرشّة الاستحمام	106	20
الصنبور	98	19
الغسّالة الكهربائية	87	17
التسرّبات	64	12
المغسلة	15	3
غسيل وتنظيف الصحون	7.6	1
استخدامات أخرى	19	4
المجموع	522	100

وتُعرف **المياه الافتراضية** بأنّها كمّية المياه المطلوبة لإنتاج سلعة ما أو تصنيعها. ويمكننا أن نتّخذ لحم البقر مثالًا على ذلك. حيث إنّ كل كيلوجرام من اللحم البقري يحتاج إلى 15400 L من الماء. ويحتاج إنتاج كيلوجرام من الشوكولاتة إلى 24000 L من الماء **(الشكل 3-20)**، في حين أنّ قطعة واحدة من الورق تحتاج إلى 10 L من الماء.

الشكل 3-20 يحتاج إنتاج كل كيلوجرام من الشوكولاتة إلى 24000 L من الماء.

يختلف توافُر المياه واستخدامها اختلافًا كبيرًا بين منطقة وأخرى من العالم. فالمواقع الغنيّة بالمياه العذبة تختلف كثيرًا عن مناطق تعاني شحًا في المياه العذبة الطبيعية مثل دولة قطَر. لكنّ اقتصاديات المنطقة في المُقابل لها أهمّيّتها، فلدى دولة قطر واحد من أعلى معدّلات استخدام الفرد للمياه في العالم.

مخزون المياه

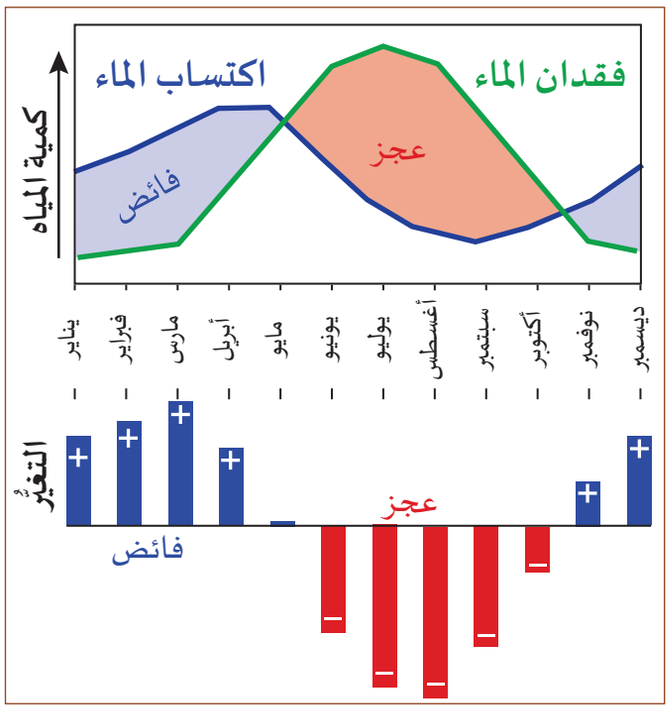
مخزون المياه وسيلة نعرف من خلالها كمّيات المياه الواردة والمياه المُستهلَكة في منطقة ما.

تشمل العناصر الطبيعية لمخزون المياه:

- الهطول (P)
- التبخّر (E)
- التبخّر والنتح (ET)
- الجريان السطحي (SRO)
- تدفّق المياه الجوفية (GF)

يُحسَب التغيُّر في التخزين، ΔS، (المياه في خزّانات المياه الجوفية وفي البُحيرات والجداول) على النحو الآتي:

$$\Delta S = P - E - ET +/- SRO +/- GF$$



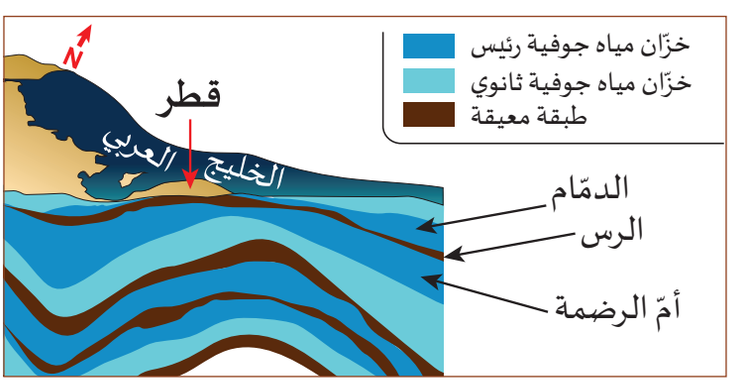
الشكل 3-21 الرسم البياني لمخزون المياه في منطقة ما، مع هطول فصلي.

- إذا كانت قيمة ΔS موجبة، يكون اكتساب الماء أكبر من فقدانه فيحدث فائض **(الشكل 3-21)**، يرتفع الماء المخزّن في الخزّان الجوفي للمنطقة المبيّنة في **الشكل 3-21** بين شهريْ يناير ومايو.
- إذا كانت قيمة ΔS سالبة، يكون فقدان الماء أكبر من اكتسابه فينخفض مستوى المياه الجوفية. ينخفض الماء المخزّن في الخزّان الجوفي للمنطقة المبيّنة في **الشكل 3-21** بين شهريْ يونيو وأكتوبر.
- يبدأ الماء المخزّن في الخزّان الجوفي للمنطقة المبيّنة في **الشكل 3-21** بالازدياد خلال شهريْ نوفمبر وديسمبر.
- يكون مخزون المياه خلال عام مُعتدل، في حالة توازُن **(الشكل 3-21)**.

يشمل العجز في مخزون المياه الناتج عن نشاط الإنسان مياه الشرب ومياه الاستخدام الزراعي والصناعي.

وعندما تكون الموارد المائية الطبيعية شحيحة في مناطق، مثل دولة قطر، يصبح لزامًا عليها، وحرصًا على سلامة سكّانها، أن تُجري رصدًا دقيقًا لمياه الأمطار والمياه الجوفية المتاحة.

يوضّح **الشكل 3-22** المقطع العرضي لجيولوجية دولة قطر، والذي يُشير إلى خزّانات المياه الجوفية: الدمّام، والرس، وأمّ الرضمة. وسوف تتمّ مناقشة تفاصيل خزّانات المياه الجوفية هذه في الدرس التالي.



الشكل 3-22 خزّانات المياه الجوفية في دولة قطر.

تقويم الدرس 3-1

1. أيٌّ من عناصر دورة الماء الآتية لا تتحكّم فيه قوة الجاذبية الأرض؟
   a. الجريان السطحي
   b. التبخّر
   c. تساقُط الأمطار
   d. المياه الجوفية

2. أيٌّ مما يأتي هو المصدر الرئيس للمياه العذبة التي تحتاج إليها الغالبية العظمى من البشر على وجه الأرض؟
   a. المحيطات
   b. الأنهار الجليدية
   c. المياه الجوفية
   d. الأنهار والبُحيرات

3. لماذا تمتلك الحُبيبات الصغيرة خاصّية شعرية قوية، مُقارنة بالحُبيبات الأكبر؟
   a. تؤثّر قوة الجاذبية في الحُبيبات الصغيرة أكثر ممّا تؤثّر في الحُبيبات الأكبر.
   b. تؤثّر قوة الجاذبية في الحُبيبات الكبيرة أكثر ممّا تؤثّر في الحُبيبات الأصغر.
   c. تنتج الخاصّية الشعرية من التوتّر السطحي، والحُبيبات الكبيرة تمتلك مساحة سطح أكبر.
   d. تنتج الخاصّية الشعرية من التوتّر السطحي، والحُبيبات الصغيرة تمتلك مساحة سطح أكبر.

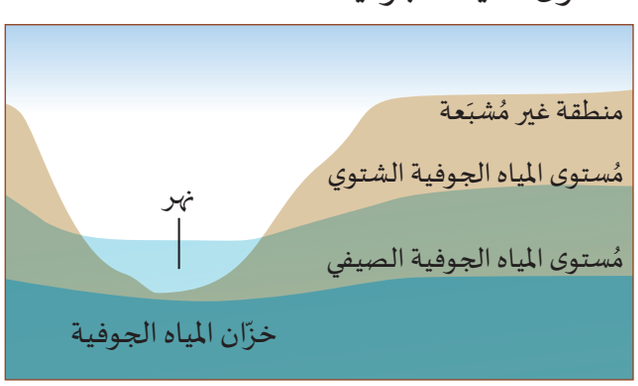
4. لماذا لا يُسهم انصهار الأنهار الجليدية في القارّة القطبية الجنوبية في الكمّية الإجمالية للمياه العذبة المتوافرة في العالم؟

5. لماذا تكون مساميّة المادة التي تحتوي على خليط من الحُبيبات الصغيرة والكبيرة أقلّ من مساميّة المادة التي تحتوي على حُبيبات مُتماثلة؟

6. كيف تُساعد الطبقة المعيقة على تكوُّن مُستوى المياه الجوفية؟

7. استخدم **الشكل 3-23** لتشرح السبب الذي يجعل النهر جافًا في الصيف، وليس في أشهر الشتاء.

8. صِف نمطًا فصليًّا لاكتساب الماء وخسارته يؤدّي إلى الوضع المبيّن في **الشكل 3-23**.



الشكل 3-23 رسم تخطيطي لمستويات المياه الجوفية خلال السنة.

الدرس 3-2
خزّانات المياه الجوفية
Aquifers

رُوِيَ عن النبي موسى عليه السلام أنّه ساعد امرأتين على سقاية غنمهما من إحدى الآبار. ومن الجدير بالذكر أنّ آبارًا كتلك البئر لا تزال قائمة في الأراضي الجافّة في المنطقة، ولا تزال تنتج الماء **(الشكل 3-24)**. وقد تمّ حفرها بهدف الوصول إلى الخزّانات غير المحصورة للمياه الجوفية التي تتدفّق تحت الأرض.

تُستخدَم تكنولوجيا تصوير الأقمار الصناعية لاكتشاف خزّانات المياه الجوفية المخفيّة. يتمّ حفر الآبار من أجل الوصول إلى مصادر المياه العذبة التي قد تكون مخفيّة منذآلاف السنين. تحتوي بعض خزّانات المياه الجوفية على ماء من العصر الجليدي الأخير، بل قبل ذلك.

الشكل 3-24 بئر قديمة لا تزال تنتج المياه العذبة.

مخرجات التّعلُّم

ES1206.1 يوضّح أن خزّانات المياه الجوفية تتواجد في أعماق مختلفة، حتى تحت المناطق الصحراوية.

ES1206.2 يشرح كيف تحدد الجيولوجيا السطحية كيفية جريان المياه الجوفية وكيفية تشكل خزّانات المياه الجوفية.

ES1206.3 يستنتج أن مدة بقاء المياه في خزّانات المياه الجوفية قد تصل إلى آلاف السنين.

المفردات

العيّنات الجوفية	Core samples
الطيّة المُحدّبة	Anticline
الخزّانات المحصورة للمياه الجوفية	Confined aquifers
الطيّة المُقعّرة	Syncline
البئر الأرتوازية	Artesian well
السطح البيزومتري	Piezometric surface
الكارست (التجاويف والكهوف الجيرية)	Karst

حركة المياه

يمكن إظهار الخاصّية الشعرية والجاذبية باستخدام كوبَيْن مع وصلة من منديل ورقيّ ووصلة من منديل قماشيّ **(الشكل 3-25)**.

الشكل 3-25 أربعة أكواب مع وصلتَين.

كيف يتحرّك الماء من خلال مواد مختلفة؟

ما العوامل التي تؤثّر في قدرة الماء على مقاومة قوة سحب الجاذبية إلى أسفل؟

الجاذبية تسحب الأشياء إلى الأسفل، وهذا يساعد على تدفّق المياه من خلال المواد المسامية.

يعتمد معدّل تدفّق المياه على الارتفاع والمسامية.

املأ كوبًا واحدًا بالماء، بحيث تكون أطراف المنديلَين في الماء **(الشكل 3-26)**.

راقب الماء في الأكواب على مدى 15 دقيقة.

- ما الذي يسبّب ارتفاع الماء في المادة؟
- كيف تقيس معدّل التدفّق؟

الشكل 3-26 كوب واحد من كلّ زوج ممتلىء بالماء الملوّن.

يبيّن **الشكل 3-25**، كوبَين بينهما وصلة هي عبارة عن منديل ورقيّ، وكوبين بينهما وصلة هي عبارة عن منديل قماشيّ، تتميّز مُكوّنات أليافه بالصغر. هل يمكنك أن تحدّد الكوب الذي سينقل الماء بمُعدّل أسرع؟

يتشابه تدفّق الماء من خلال المنديل الورقيّ أو المنديل القماشي مع ارتشاح المياه عبر طبقة مُنفِذة من الصخور. سوف تتدفّق المياه من مُستوى مرتفع إلى مُستوى منخفض، حتّى يتساوى مُستويا المياه.

يوضّح **الشكل 3-27** إعدادًا جديدًا للكوب الأحمر برفعه فوق "خزّان المياه الجوفية"، وللكوب الأصفر بوضعه على الارتفاع نفسه، ولكنّ طبقة المياه الجوفية سوف تُزوّده بأقلّ ممّا تُزوّد به الكوب الأحمر.

ويكتسب الاختلاف في الارتفاع أهمّية عند مُعاينة مصدر تغذية خزّانات المياه الجوفية.

الشكل 3-27 مُقارنة بين الكوبَين الأصفر والأحمر، من حيث تزويدهما للكوب السفلي بالماء.

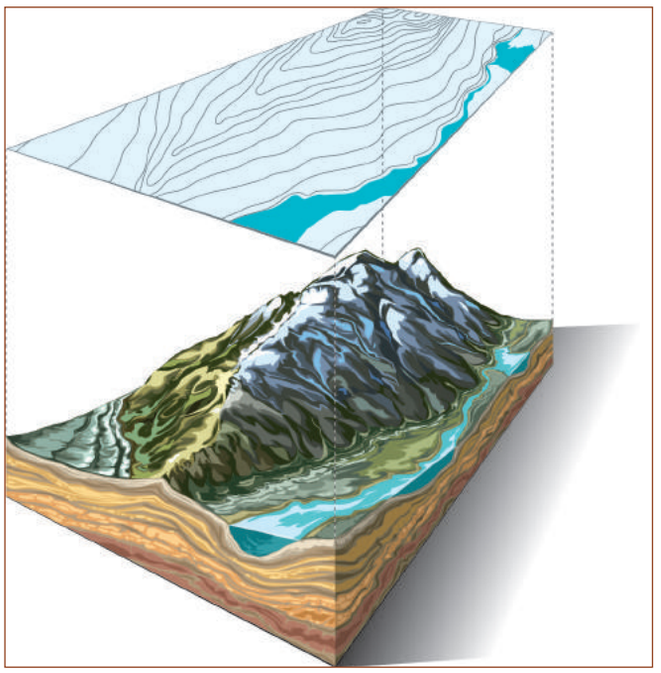
المقطع العرضي الجيولوجي

عرفنا من قبل كيف نرسم خريطة تضاريس لمنطقة ما **(الشكل 3-28)**. ويمكننا أيضًا رسم المقطع العرضي الجيولوجي للطبقات التي تقع تحت سطح الأرض مع خريطة التضاريس مبيّنين الطيّات والطبقات. ويرتكز رسم خرائط كهذه على البيانات الآتية:

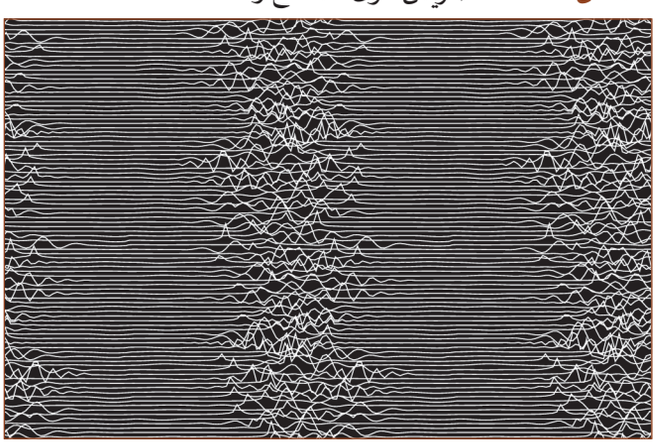
- قياس الموجات الزلزالية،
- استخدام العيّنات الجوفية،
- تحديد مواقع الطبقات المُتكشّفة والمرفوعة على سطح الأرض.

تعطينا الموجات الزلزالية معلومات عن الطبقات التي تقع تحت سطح الأرض، لأن الأنواع المختلفة للصخور تستجيب بشكل مختلف للموجات الزلزالية. يُحدث العلماء، في بعض الأحيان، انفجارات دقيقة تحت سطح الأرض مباشرةً من أجل "رسم خريطة" تتابُع الطبقات. ويتم بعد كلّ انفجار تسجيل جميع الموجات العائدة من تحت الأرض. يمكن لتحليل تلك البيانات **(الشكل 3-29)** أن يكشف عمق الصخور ونوعها في أعماق الأرض.

العيّنات الجوفية Core samples مقاطع من الأرض يتمّ حفرها وتحليلها وتخزينها **(الشكل3-30)**. عندما تكشف البيانات السابقة طبقة واعدة من الصخور، فإنّ شركة استخراج المعادن سوف تعمد إلى أخذ عيّنات جوفية للمنطقة. يبني العلماء سلسلة طويلة من قطع العيّنات للمنطقة تعطي صورة مُتكاملة لما هو تحت الأرض.



الشكل 3-28 التضاريس فوق السطح وتحته.



الشكل 3-29 يمكن لبيانات الاختبار الزلزالي أن تكشف أنواعًا مختلفة من الصخور.

الشكل 3-30 العيّنة الجوفية هي مقطع من الصخور التي تقع تحت سطح الأرض حيث تُستخرج بواسطة حفّارة مجوّفة.

الطيّات المُحدّبة

عندما شرع الجيولوجيون بدراسة البنية التي تقع تحت سطح الأرض عمدوا إلى جمع عدة كيلومترات من العيّنات الجوفية (**الشكل 3-31**). وبمقارنة الطبقات التي تظهر في العيّنات الجوفية المأخوذة من مناطق مُتباعدة، يمكننا اكتشاف وجود طبقات مكسورة أو مطوية من صخور الأساس تحت السطح.

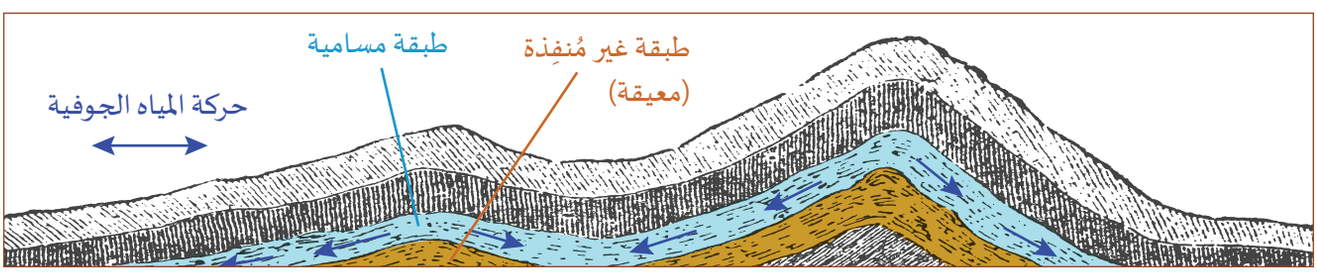
كيف يتدفّق الماء إلى خزّان المياه الجوفية إذا تمّ فصله بطبقات صخرية غير مُنفِذة؟

كيف يتكوّن خزّان المياه الجوفية تحت طبقات كثيرة من صخور وسط الصحراء؟

الشكل 3-31 عيّنات جوفية محفورة لتعطي صورة عن الطبقات تحت السطح.

تُعدّ الطبقات المسامية مصدرًا لتغذية خزّانات المياه الجوفية. فعندما يتساقط المطر أو ينصهر الثلج، تتسرب (ترتشح) المياه عبر الطبقات المسامية، وتنتقل لتُصبح تحت سطح الأرض.

الطيّة المُحدّبة Anticline انحناء أو تقوُّس في القشرة، تنثني عنده طبقات الأرض إلى الأعلى بفعل تكتونية الصفائح أو النشاط البركاني. تثني الطيّات المحدّبة طبقات الصخور المسامية والصخور غير المُنفِذة على حدّ سواء. فتتشكّل طبقات مُنفِذة مُنحدِرة تنقل المياه الجوفية جانبيًا (**الشكل 3-32**). مع مرور الزمن، تتدفّق المياه الجوفية لتبلغ آلاف الكيلومترات تحت الأرض.



الشكل 3-32 كيف تُسبّب الطيّات المُحدّبة تحرّكَ المياه تحت الأرض.

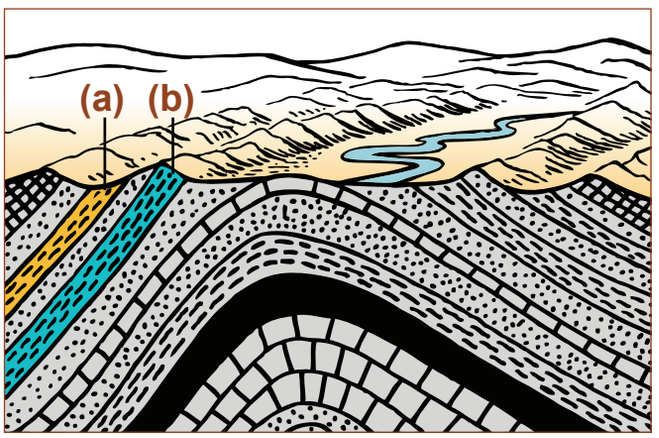
وقد تُشكّل الطيّات المُحدَّبة فوق سطح الأرض تلالًا وجبالًا. مع مرور الزمن، تتآكل الطبقات التي تعلوها كاشفةً طبقات صخور الأساس إلى السطح (**الشكل 3-33**).

الشكل 3-33 طيّة مُحدّبة مُتآكلة.

خزّانات المياه الجوفية

تشغل خزّانات المياه الجوفية الامتدادات الواقعة تحت معظم سطح الأرض. وتحتوي تلك الخزّانات على 30% من مياه الأرض العذبة. وفي حين أن بعضها يمتدّ عدّة كيلومترات فحسب، يمتدُّ الكثير منها عبر عدّة بلدان.

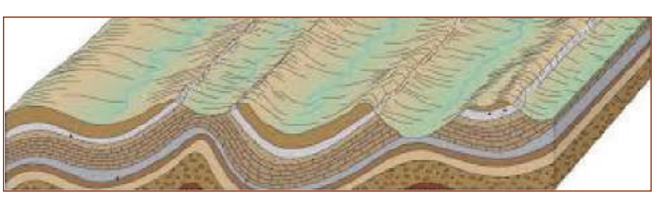
تتكوّن الخزانات الجوفية المحصورة للمياه الجوفية من طبقات مسامية تحتوي على الماء، وتفصلها عن سطح الأرض طبقات غير مُنفِذة (**الشكل 3-34a**).



الشكل 3-34 الطبقتان (a) و (b) هما صخور مساميّة متكشّفة بين صخور غير مُنفِذة.

تشكّل الطبقات المُتكشّفة من الصخور المسامية التي تنتمي إلى طيّة مُحدّبة مُتآكلة (**الشكل 3-34b**) مكانًا لعبور المياه إلى الخزّان المحصور، يوصلها إلى الطبقات السفلية من الصخور بين الطبقات غير المُنفِذة.

- تمّ العثور على خزّانات محصورة لمياه جوفية عذبة على عمق 9000 متر تحت سطح الأرض.
- توجد الخزّانات الكبيرة للمياه العذبة حتى طبقات ما تحت المحيط، وجوار الجرف القارّي.
- بدأ استنفاد الكثير من خزّانات المياه الجوفية الضحلة (100-300 m) بسبب الاستخدام البشري.
- يُعدّ العثور على خزّانات المياه الجوفية العميقة واستغلالها أمرًا مُكلفًا.

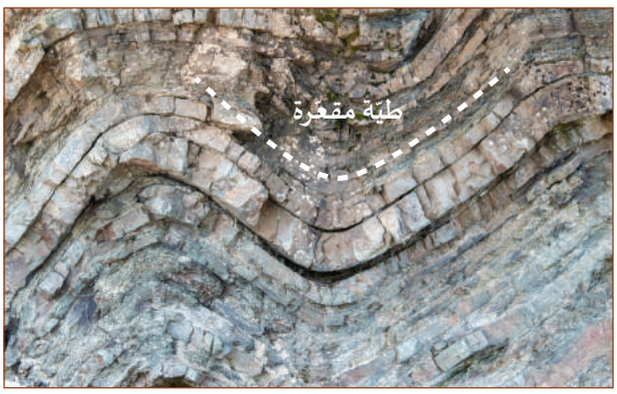


الشكل 3-35 قد تمتدّ طبقات صخور الأساس تحت قارّة بأكملها.

غالبًا ما يكون تدفّق المياه الجوفية عبر خزّانها المحصور بطيئًا. حتى أنّه لا يتجاوز في الغالب عدّة أمتار في السنة. وإذا أخذنا في الحسبان كمّية الهطول، فقد تستغرق تغذية المياه عبر خزّان كبير ومحصور للمياه الجوفية، كالخزّان الموضّح في **الشكل 3-35**، آلاف السنين.

وتُعدّ خزّانات المياه الجوفية موردًا قيّمًا قد يحتاج إلى مئات السنين ليتغذّى من جديد، لا سيّما إذا تمّ سحب المياه بشكل أسرع من تغذيتها للخزّان. وتتعرّض أماكن كثيرة، بهدف الزراعة، لسحب المياه من خزّانات المياه الجوفية أكثر بكثير ممّا يغذّيها خلال سنة. نتيجة لذلك تشحّ المياه كل عام، وينخفض مُستوى المياه الجوفية. وإذا استمر الناس في سحب المياه من آبار أكثر وأعمق، فسوف يؤدّي ذلك في نهاية المطاف إلى انخفاض مستوى المياه الجوفية. وستنضب المياه في خزّانات المياه الجوفية إلى درجة لا يبقى معها في الآبار مياه يتمّ سحبها من الخزّان.

الآبار الأرتوازية



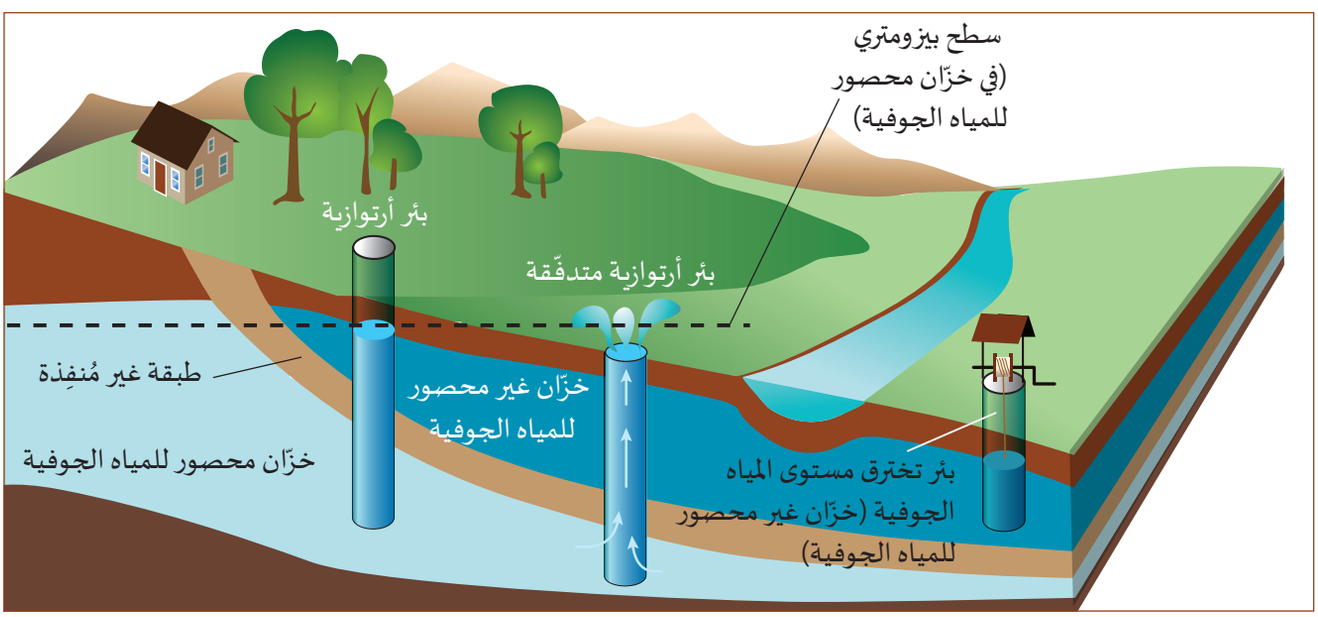
الشكل 3-36 طيّة مقعّرة متكشّفة.

الطيّة المقعّرة Syncline تكوين جيولوجي تنثني عنده طبقات الصخور من السطح إلى الأسفل **(الشكل 3-36)**. تسحب قوة الجاذبية المياه نزولًا، وتُسهم الطيّة المُقعّرة في تجميع المياه الجوفية ضمن خزّانات المياه الجوفية.

تُسبّب قوة الجاذبية أيضًا تكوُّن الأسطُح الأفقية للمياه في البُحيرات والأنهار، وتؤدّي قوّتها الهابطة إلى سحب المياه وتكوين مُستوى المياه الجوفية في خزّان المياه الجوفية غير المحصور. عندما تُحفَر بئر إلى مُستوى المياه الجوفية، تمتلىء البئر بالماء حتى يبلغ مُستوى المياه الجوفية. عندئذ يمكن إنزال دلو إلى تلك النقطة لاستخراج الماء.

البئر الأرتوازية Artesian well بئر محفورة تحت مُستوى المياه الجوفية، عبر طبقة حاصرة غير مُنفِذة من الصخور أو الطين، وفي خزّان جوفي محصور **(الشكل 3-37)**.

ولا بُدّ في كثير من الآبار الارتوازية من ضخّ الماء إلى سطح الأرض، علمًا أن هناك مواقع تتدفّق فيها المياه من البئر الارتوازية بشكل طبيعي إلى السطح. يحدث هذا إذا كانت فوهة البئر عند سطح الأرض أدنى من السطح البيزومتري.

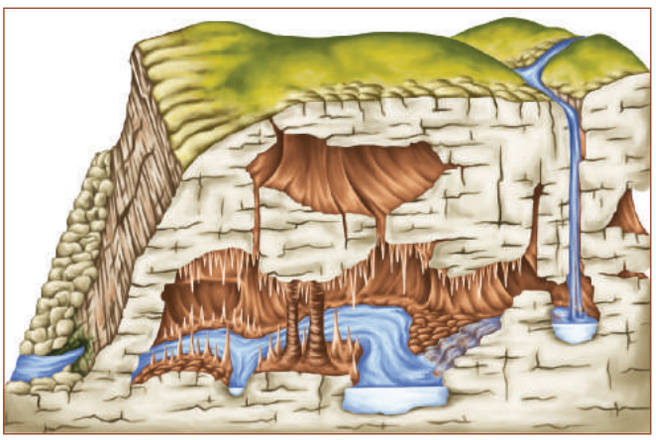


الشكل 3-37 رسم تخطيطي لثلاثة أنواع من الآبار، وللسطح البيزومتري.

السطح البيزومتري Piezometric surface سطح وهمي يُبيّن المُستوى الذي سوف تُرفع المياه رأسيًا إليه بواسطة الضغط في الخزّان الجوفي المحصور. الهيدروجيولوجي عالِم يتعامل مع موقع المياه وحركتها على الأرض. عندما يرسم الهيدروجيولوجي خرائط موقع وتركيب خزّان المياه الجوفية، فإنّه يُعيّن في الغالب قيَم السطح البيزومتري على الخريطة.

خزّانات المياه الجوفية الكارستية (التجاويف والكهوف الجيرية)

هل تُعدّ خزّانات المياه الجوفية أنهارًا وبُحيرات جوفية؟



ينتج التكوين **الكارستي Karst** عن طريق إذابة مياه الأمطار لأجزاء من صخور الأساس، مثل الحجر الجيري أو الجبس أو الدولوميت. تتدفّق المياه من خلال الشقوق في حجر الأساس وتذوّب الصخر ببطء. وعندما يتّسع الشقّ، تتسارع العملية إلى أن تتكوّن كهوف كبيرة **(الشكل 3-38)**.

الشكل 3-38 رسم تخطيطي لتشكيلات كارستية في باطن الأرض.

تشغل التكوينات الكارستية 25% تقريبًا من مناطق ما تحت سطح الأرض. ومع أن هناك مناطق جافة تحصل على هطول وفير للأمطار، إلّا أن المياه تتسرّب عبر الطبقات الكارستية قبل أن تمتصّها التربة المحيطة. وقد تنتقل المياه إلى عدّة كيلومترات عبر الأنهار الجوفية.

قد يصبح حجم كهف تحت سطح الأرض كبيرًا، إلى درجة يعجز السقف معها عن دعم الأرض التي تعلوه، فينهار. وينجم عن انهياره تكوّن حفرة خسفية عند السطح. تحدث هذه الظاهرة أيضًا عندما يتمّ استنزاف كبير للمياه تحت مُستوى المياه الجوفية. وقد تنهار الصخور المسامية أيضًا وتكوّن حفرًا خسفية.

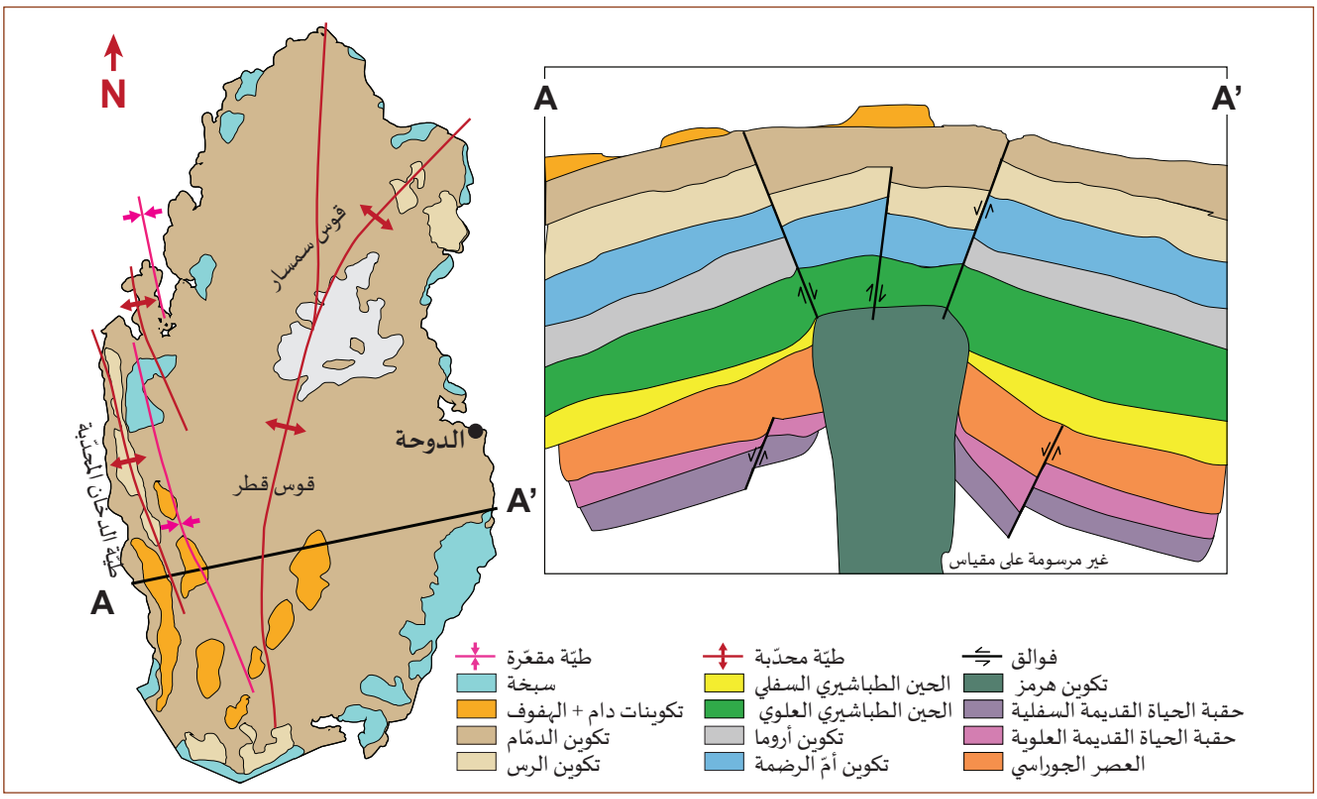
من المهم أن نتذكر أن أغلب الخزّانات الجوفية ليست كالأنهار أو البُحيرات الجوفية، بل هي طبقات من الصخور المسامية المُشبعة بالماء، رغم ذلك، فإنّ هناك أمثلة على الأنهار والبُحيرات الجوفية **(الشكل 3-39)**، التي تُمثّل تكوينات كارستية، وتُعدّ أحد أشكال خزّانات المياه الجوفية.

الشكل 3-39 مغارة جعيتا بُحيرة تحت سطح الأرض تقع ضمن تكوين كارستي في وادي نهر الكلب شماليّ بيروت - لبنان.

جيولوجية قَطَر - خزّانات المياه الجوفية في دولة قطر

خزّانات المياه الجوفية في دولة قطر.

تحدّد تضاريس قطر من خلال الطيّة المحدّبة المعروفة باسم "قوس قطر" الذي يمتدّ من الشمال إلى الجنوب في وسط البلاد. وأوّل ما يتكشّف عند السطح تكوين الدمّام العائد إلى الحين الأيوسيني الأوسط في التاريخ الجيولوجي، والذي يُشكّل خزّان المياه الجوفية العُلوي؛ ويحتوي في الجزء الشمالي من البلاد على خزّان جوفي للمياه العذبة.



الشكل 3-40 جيولوجية قطر مع المقطع العرضي من النقطة A إلى النقطة 'A.

يقع تحت طبقة تكوين الدمّام تكوين الرس الذي تكوّن في الحين الأيوسيني السفلي. وقد كشفت هذه الطبقة مناطق عدّة في وسط البلاد **(الشكل 3-40)**. وتحت تكوين الرس يقع تكوين أم الرضمة الذي تشكّل في العصر الباليوسيني. يكوّن تكوينا الدمّام وأمّ الرضمة خزّانات المياه الجوفية الرئيسة، وهما أكثر إنتاجية في المناطق الشمالية من البلاد.

- يقلّ سُمْك طبقة الدمّام عن 50 m.
- يُكوّن تكوين الرسّ طبقة سُمكها 90 m.
- يبلغ سُمْك تكوين أمّ الرضمة 300 m.

ولدعم المياه من خزّانات المياه الجوفية، تمّ إنشاء محطّات الأسموزية العكسية على نطاق واسع في دولة قطر، وبدأ العمل في العام 2017. تبلغ القدرة الإنتاجية لمحطّة راس أبو فنطاس، التي تقع خارج الدوحة، 164000 متر مكعّب / في اليوم، وهي توفِّر المياه العذبة لمليون شخص. ويتمّ تأمين 50% من مياه الشرب في قطر بواسطة تحلية مياه البحر.

مشكلات خزّانات المياه الجوفية

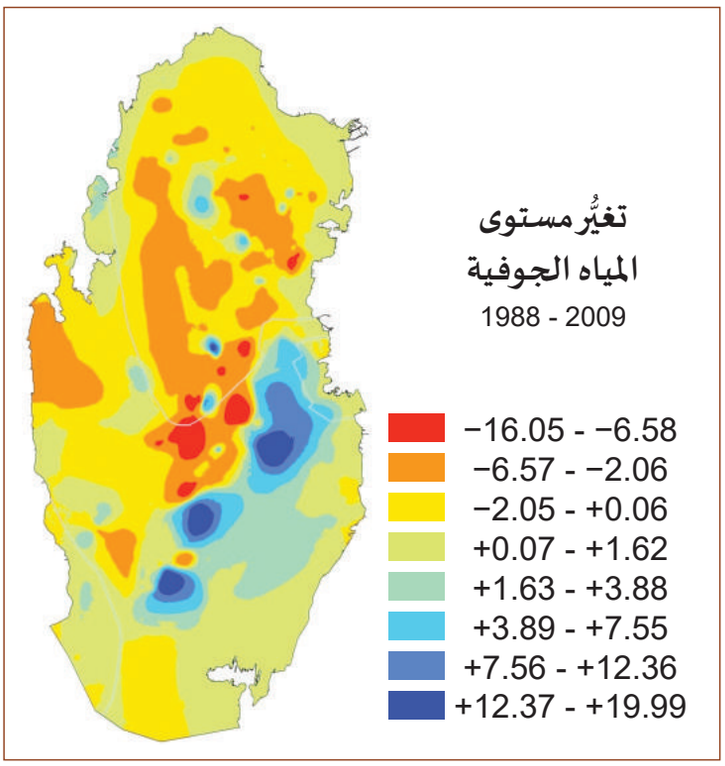
يُعدّ توافُر المياه العذبة أمرًا حيويًا في أية حضارة. لكنّ النموّ السكّاني يجعل الحاجة إلى المياه أكبر. وتنشأ عن انخفاض مُستوى المياه الجوفية مشكلات كبيرة في إمدادات المياه، تتمثّل في الأمور الآتية:

- جفاف الآبار.
- نقص المياه السطحية.
- سوء نوعية المياه، لأن الصخور المسامية تسمح بتسرّب السموم السطحية والمياه المالحة.
- ازدياد تكاليف الضخّ لاستخراج المياه من خزّانات أعمق للمياه الجوفية.
- هبوط الأرض وتكوّن حفر خسفية عندما تعجز المياه عن دعم الصخور التي تعلو الكهوف.

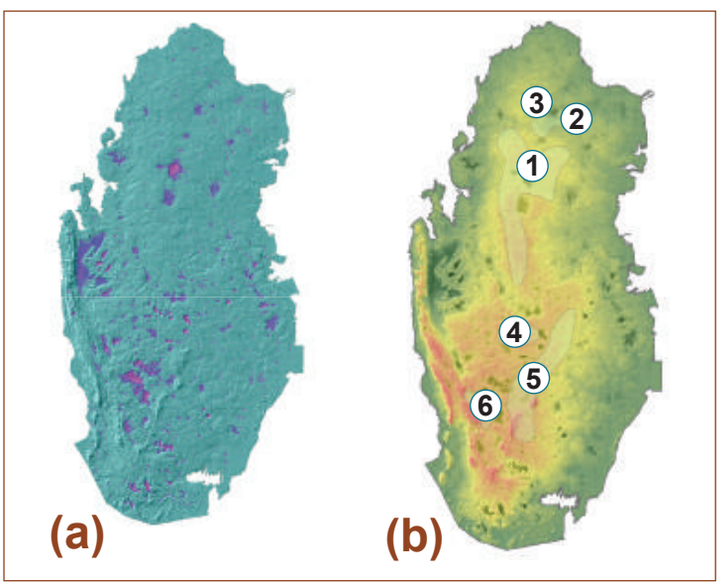
يقوم علماء الهيدروجيولوجيا بمراقبة خزّانات المياه الجوفية على مدى عدّة سنوات **(الشكل 3-41)**، ووضع خرائط التغيّرات في المستويات. وتبيّن أن مُستوى المياه الجوفية في قطر قد انخفض بمقدار 10 أمتار، وأنّ جهودًا كبيرة تُبذل لتصحيح هذا الوضع.

تتضمّن رؤية قطر الوطنية للعام 2030 خطّة لتغذية المياه الجوفية اصطناعيًا. فقد حدّدت دراسة قام بها حسام بعلوشة مواقع التغذية الطبيعية للمياه الجوفية في قَطَر، وقياس معدّلات التغذية والارتشاح (النفاذية).

يوضّح **الشكل 3-42** العدد الأوّلي للمواقع، من أجل تفعيلها، لتغذية المياه الجوفية اصطناعيًا، وتجنُّب المزيد من المشكلات.



الشكل 3-41 تغيُّرات المياه الجوفية بين سنتيْ 1988 و 2009.



الشكل 3-42 (a) نموذج "ظلال التل" Hill-shade والمنخفضات الأرضية، (b) ومناطق تغذية خزّان المياه الجوفية.

نشاط 3-2 تحليل خزّان المياه الجوفية

سؤال الاستقصاء	هل يمكنك تحديد خزّان مياه جوفي رئيس وتحديد إمداده؟
الموادّ المطلوبة	مواد للبحث.

خطوات التجربة

1. العمل في مجموعات صغيرة.
2. ابحث في مواقع خزّانات المياه الجوفية المعروفة وتقدير إمدادها.
   - يمكنك اختيار خزّانات مياه جوفية في قطر، أو في منطقة أخرى من العالم.
   - قد يكون الإمداد مُقدّرًا بالمتر المُكعّب، ولكن خذْ بالحسبان أيضًا معدّل الإمداد، أو مقدار المياه التي يمكن الوصول إليها كل سنة.
3. حقّق في التداعيات الجيوسياسية للوصول إلى خزّانات المياه الجوفية تلك.
4. حدّد تأثير النقاط الآتية على الزراعة والتنمية البشرية:
   - الكثير من خزّانات المياه الجوفية تعبر الحدود الدولية. فإذا كان مصدر التغذية في بلد وخزّان المياه الجوفية في بلد آخر، يُحتَمل نشوء مشكلات سياسية.
   - إذا كان بلد ما يقوم بأعمال تُلوّث المياه الجوفية، فقد يسبّب ذلك أيضًا مشكلات سياسية مع البلدان المجاورة.

الوصول إلى خزّانات المياه الجوفية في مناطق تندر فيها المياه.

- غالبًا ما تكون التكنولوجيا مطلوبة لتحديد خزّانات المياه الجوفية الأعمق والوصول إليها. ما المشكلات التي تواجه الدول غير المجهّزة بتكنولوجيا مُتطوّرة؟

أسئلة

a. ما المشكلات التكنولوجية المرتبطة بإمداد خزّانات المياه الجوفية المعروفة؟
b. ما الجهود التي تُبذَل للحدّ من العجز اللاحق بخزّانات المياه الجوفية القائمة؟
c. ما المشكلات الرئيسة المرتبطة بتغذية خزّان المياه الجوفية؟

تقويم الدرس 3-2

1. كيف تُستخدم الأحافير المُرشِدة على السطح لتحديد خزّانات المياه الجوفية المحتملة؟
   a. تحتوي الطبقة غير المُنفِذة دائمًا على أحافير مُرشِدة.
   b. تتوفّر دائمًا أحافير مُرشِدة في طبقات صخرية مسامية.
   c. تتشكّل الأحافير في الطين، ما يعني توفّر الماء في مكان ما من الطبقة.
   d. تُساعد الأحافير المُرشِدة في مقارنة الطبقات من أماكن مختلفة، مُقدّمة دلالة على ما يكمن بين تلك الأماكن.

2. ما الذي يميّز خزّان المياه الجوفية غير المحصور عن خزّان المياه الجوفية المحصور؟
   a. يحتوي على طبقة غير مُنفِذة تحته وليس فوقه.
   b. يحتوي على طبقة غير مُنفِذة تحته وفوقه.
   c. يحتوي على مياه البحر (المالحة)، في حين أن الخزّان المحصور يحتوي على مياه عذبة.
   d. لا يحتوي على مُستوى من المياه الجوفية، بعكس الخزّان المحصور الذي يحتوي عليه.

3. ما التكوين الجيولوجي الذي يوضّحه **(الشكل 43.3)**؟
   a. خزّان مياه جوفية
   b. طيّة مُقعّرة مُتآكلة
   c. طيّة مُحدّبة مُتآكلة
   d. خزّان مياه جوفية محصور

الشكل 3-43 مقطع عرضي جيولوجي.

4. صِف كيف يستخدم الجيولوجيون تفجيرات صغيرة، لرسم خريطة تمثّل طبقات الأرض المختلفة.

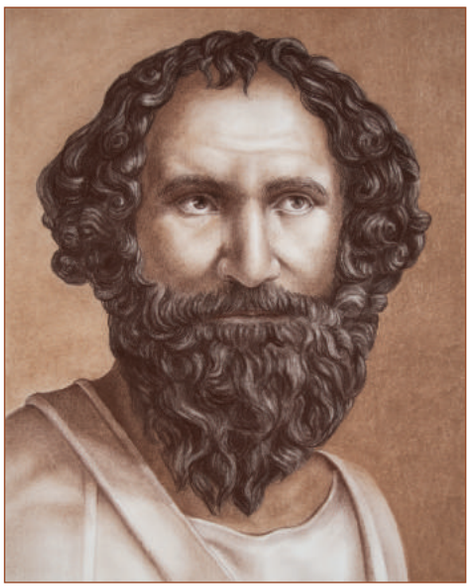
5. ما الوظيفة الحاسمة التي تؤدّيها الطيّة المحدّبة المُتآكلة في تغذية خزّانات المياه الجوفية المحصورة؟ اشرح هذه العملية.

6. ما المشكلة المرتبطة باستثمار خزّان المياه الجوفية العميق؟

7. ماذا يعني أن يكون السطح البيزومتري لخزّان المياه الجوفية فوق مُستوى المياه الجوفية؟

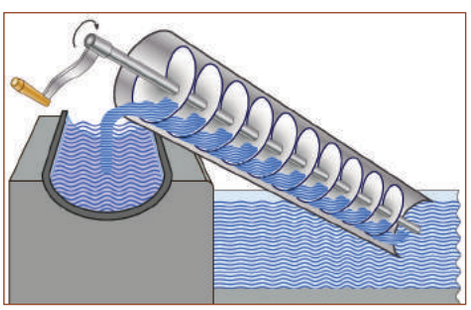
ضوء على العلماء

أرخميدس من سيراكيوز: 287-212 ق.م



الشكل 3-44 أرخميدس.

يتحدّر أرخميدس **(الشكل 3-44)** من مدينة سيراكيوز في اليونان القديمة، وإليه يُنسَب اختراع (الطنبور) **(الشكل3-45)**، وهو جهاز لنقل المياه من مُستوى إلى مُستوى أعلى. ومع ذلك، لم يكن أرخميدس هو الذي اخترع الجهاز، بل إنه رأى شخصًا يستخدمه في مصر وأتى بالفكرة إلى بلاده. بعد 200 عام، أطلق أحد المؤرّخين على الجهاز اسم "برغي أرخميدس" (الطنبور). ومن الجدير بالذكر أن جهاز رفع المياه قد استُخدم قبل عدّة سنوات من رؤية أرخميدس له. ويُعتقد أن هذا الجهاز قد استُخدم في الحدائق المُعلّقة في بابل.



الشكل 3-45 برغي أرخميدس (الطنبور).

قبل اختراع تقنية "برغي الماء"، تمّ إنزال دلو في بئر لجلب الماء من مُستوى المياه الجوفية إلى السطح. وقد استُخدمت في ذلك رافعة طويلة توازن الماء، سُمّيت "الشادوف" **(الشكل 3-46)**.

الشكل 3-46 "شادوف.

يعتمد كل من برغي الماء والشادوف على القوة البشرية لرفع الماء. وعندما نمت المدن، تمّ تطوير أساليب أفضل. ويرجع الفضل إلى الفُرْس في صنع آلات تعمل على الرياح لعدد من المهام. ولا تزال مضخّات المياه العاملة على طاقة الرياح تُستخدم في المناطق ذات الظروف المواتية.

وقد فسحت المضخّات العاملة على البخار الطريق لمضخّات الديزل، ثم للمضخّات الكهربائية. ويعتمد كلا النوعَين مضخّة ترفع المياه من الأعماق. في العام 1911، ابتكر مهندس روسي يُدعى آرميه آروتونوف Armais Arutunoff، وكان في الثامنة عشرة، أوّل مضخّة كهربائية غاطسة يمكن إنزالها في البئر ودفع السائل إلى الأعلى، ما يجعل استخراج المياه من خزّانات المياه الجوفية المحصورة أمرًا ممكنًا.

الوحدة 3

مراجعة الوحدة

الدرس 3-1: مخزون المياه

- **دورة الماء Water cycle** هي التبادُل المستمرّ لأشكال المياه السائلة والغازيّة والصلبة، والذي يحدث على السطح وفي باطن الأرض.
- تتسرّب المياه إلى باطن الأرض بحسب **نفاذية Permeability** التربة، ولا تتسرّب إذا كانت الأرض **غير مُنفِذة Impermeable**.
- **المسامية Porosity** مقياس للفراغات المتّصلة بين الحُبيبات، ويمكن أن تُنتِج **خاصيّة شعرية Capillarity**، إذا كانت الحُبيبات صغيرة.
- **الارتشاح Infiltration** هو تسرّب الماء. و**مُعدّل الارتشاح Infiltration rate** هو مقياس الزمن اللازم لتسرُّب الماء إلى المادة.
- **الجريان السطحي Runoff** هو الماء الذي يتدفّق على السطح إذا لم يستطع التسرّب، أو إذا كانت التربة مُمتلئة بالمياه، وهي حالة تُسمّى **التشبّع Saturation**.
- **المياه الجوفية Groundwater** هي المياه المخزّنة تحت الأرض في **خزّان المياه الجوفية Aquifer**.
- تُسمّى طبقات الأرض غير المُنفِذة للماء **الطبقات المُعيقة Aquitards**، وهي تحدّد قاع خزّانات المياه الجوفية.
- **مُستوى المياه الجوفية Water table** هو منسوب المياه الجوفية. و**مخزون المياه Water budget** هو وسيلة نعرف من خلالها كمّيات المياه الواردة والمياه المُستهلكة من المياه الجوفية.

الدرس 3-2: خزّانات المياه الجوفية

- يتمّ استخراج **العيّنات الجوفية Core samples** بوساطة حفّارات خاصة لتحديد تركيب الصخور الأساسية وخصائصها.
- **الطيّة المحدّبة Anticline** هي انحناء طبقات الصخور، بحيث تُجلب الطبقات الأقدم نحو السطح.
- **الخزّانات المحصورة للمياه الجوفية Confined aquifers** خزّانات مياه جوفية تعلوها طبقة معيقة.
- **الطيّة المُقعّرة Syncline** هي انحناء طبقات الصخور بحيث تُحرّك من السطح إلى أسفل.
- **البئر الأرتوازية Artesian well** اختراق في خزّان المياه الجوفية المحصور، قد ينتج مياهًا مُتدفّقة دون الحاجة إلى ضخّها.
- **السطح البيزومتري Piezometric surface** مقياس لخزّان المياه الجوفية المحصور إذا سُمح للمياه بالتدفّق إلى مستواها الخاص.
- **الكارست Karsts** فراغات مجوّفة أو مملوءة بالماء في باطن الأرض تنتجها طبقات ذائبة.

تقويم الوحدة

اختيار من مُتعدِّد

1. أيٌّ مما يأتي يمثّل أكبر قدر من إمدادات المياه العذبة في العالم ؟
   a. المحيطات
   b. الأنهار الجليدية
   c. المياه الجوفية
   d. الأنهار والبُحيرات

2. ما السمة الرئيسة للمادة المُنفِذة؟
   a. حجم الحُبيبات
   b. شكل الحُبيبات
   c. الفراغات بين الحُبيبات
   d. الفراغات المُتّصلة بين الحُبيبات

3. كيف يؤثّر تموضُع الحُبيبات في مسامية المادة؟
   a. يقلّل من الكثافة الوسطية للمادة
   b. يغيّر مقاس الحُبيبات في المادة
   c. يغيّر شكل الحُبيبات في المادة
   d. يغيّر الفراغ بين الحُبيبات في المادة

4. لماذا يُعدّ الثلج أفضل من المطر في تغذية المياه الجوفية؟
   a. المطر أكثر دفئًا فينتج عنه ارتشاح أقلّ
   b. الثلج بارد ينتج عنه معدّل ارتشاح أكبر
   c. يتساقط المطر بسرعة، فيُمنَح الماء مزيدًا من الوقت للتسرّب إلى التربة
   d. ينصهر الثلج ببطء، فيُمنَح الماء مزيدًا من الوقت للتسرّب إلى التربة

5. ما الشروط التي يجب تلبيتها لتشكّل المياه السطحية، مثل البُحيرة أو الواحة؟
   a. يجب أن يكون سطح الأرض تحت مُستوى المياه الجوفية
   b. يجب أن يكون سطح الأرض فوق مُستوى المياه الجوفية
   c. يجب أن يكون معدّل الارتشاح أصغر من الخاصّية الشعريّة في المنطقة
   d. يجب أن يكون معدّل الارتشاح أكبر من الخاصّية الشعريّة في المنطقة

6. ما العمليتان اللتان تؤديان إلى تغذية مخزون المياه في خزّان المياه الجوفية؟
   a. التبخّر
   b. تساقُط الأمطار
   c. الجريان السطحي
   d. التبخّر والنتح

تقويم الوحدة

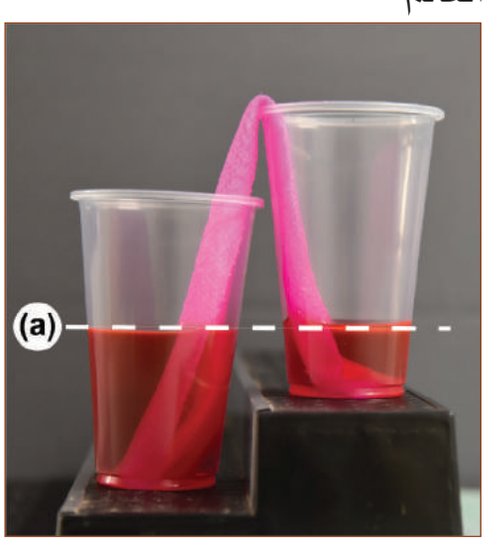
7. أيٌّ من الآتي يصف عيّنة جوفيّة واحدة بشكل أفضل؟
   a. خريطة لجيولوجيّة المنطقة.
   b. خريطة للمحتوى المعدني للمنطقة.
   c. عيّنة مقطع عرضي عمودي للطبقات الصخرية أسفل نقطة واحدة.
   d. عيّنة مقطع عرضي أفقي للطبقات الصخرية أسفل نقطة واحدة.

8. كيف تدخل المياه إلى خزّان المياه الجوفية المحصور؟
   a. تتسرّب إلى مُستوى المياه الجوفية فوقه مباشرة
   b. كانت جزءًا من نهر جليدي طمره النشاط البركاني
   c. تتسرّب من خلال طبقات مُنفِذة في موقع طيّة مُقعّرة مُتآكلة
   d. تتسرّب من خلال طبقات مُنفِذة في موقع طيّة مُحدّبة مُتآكلة

9. ما البئر الأرتوازية؟
   a. بئر محفورة في مُستوى المياه الجوفية
   b. بئر محفورة بعمق كافٍ بحيث لا ينخفض مُستوى المياه الجوفية إلى ما دون هذا المُستوى
   c. بئر محفورة في طبقة من الصخر أو الطين غير مُنفِذة، ثم في خزّان المياه الجوفية المحصور
   d. بئر محفورة في الطبقة الحاصرة عند أسفل خزّان المياه الجوفية المحصور، وصولًا إلى السطح البيزومتري

10. الصفة المُشتَركة بين خزّان المياه الجوفية والكارست؟
   a. كلاهما نهران تحت الأرض
   b. يمكن أن ينهارا مشكّلَيْن بالوعات عند السطح
   c. يحتوي كل منهما على 30% من إمدادات المياه العذبة في العالم
   d. كلاهما يتشكّلان عن طريق إذابة الحجر الجيري بوساطة جريان الماء

11. في **(الشكل 3-47)**، ما الذي يجعل مُستوى الماء المحدّد في الخطّ (a) هو نفسه في كلا الكوبَين؟
   a. الجريان السطحي
   b. قوة الجاذبية
   c. التبخّر والنتح
   d. الاختلافات الطبوغرافية



الشكل 3-47 كوبان موصولان بِوَصلة الخاصّية الشعريّة.

تقويم الوحدة

12. ما المصطلحان اللذان يمكن استخدامهما لوصف الخطّ (a) في **(الشكل 3-47)**؟

a. طيّة مُقعّرة وطيّة مُحدّبة

b. الشادوف ونقطة الخاصّية الشعريّة

c. مُستوى المياه الجوفية والسطح البيزومتري

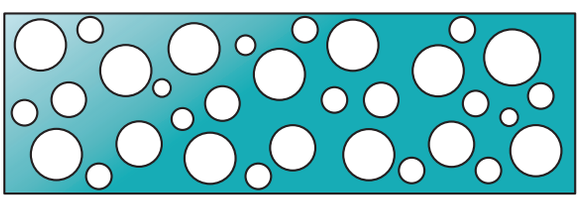
d. السطح البيزومتري والبئر الأرتوازية

الدرس 3-1: مخزون المياه

13. صف عاملَيْن رئيسَين يقدّمان كل الطاقة التي تحرّك دورة الماء.

14. لماذا يتمّ التشديد على أهمّية المياه الجوفية رغم أن العالم مغطّى بالمحيطات؟

استخدم **الشكل 3-48** الذي يوضّح المقطع العرضي لقطعة من المطّاط الرغوي، للإجابة عن السؤال 15.



الشكل 3-48 مادة مسامية.

15.* ما خاصّية هذه المادة التي تجعلها غير مُنفِذة؟

16. كيف يمكن لمجموعة من الحُبيبات الكروية الصغيرة أن يكون لها نفس مسامية مجموعة من الحُبيبات الكروية الكبيرة؟

17.* لماذا يكون معدّل الارتشاح عبر الحُبيبات الكبيرة أعلى ممّا هو عبر حُبيبات أصغر؟

18. ما الحالة التي من شأنها أن تُسبّب الجريان السطحي قبل بلوغ التشبّع؟

19. لماذا تحاول بلديات معيّنة التقاط الجريان السطحي بدلًا من ترك المياه تتدفّق إلى المحيط؟

20.* ما المشكلتان اللتان يسبّبهما تساقُط الأمطار المستمرّ بعد تشبُّع التربة؟

21.** اذكر سببَين قد يؤدّيان إلى جفاف البئر المحلّية.

22.* ما العجزان في مخزون المياه الناجمان عن النشاط البشري؟

23.* ما العجزان الطبيعيان لمخزون المياه الناجمان عن تغيُّر المناخ؟

تقويم الوحدة

الدرس 3-2: خزّانات المياه الجوفية

24. ما ميزة أخذ عيّنات جوفية في عدّة أماكن مختلفة بدلًا من أخذ عيّنة جوفية واحدة؟

25. ما الشرطان اللازمان لوجود خزّانات المياه الجوفية وسط الصحراء؟

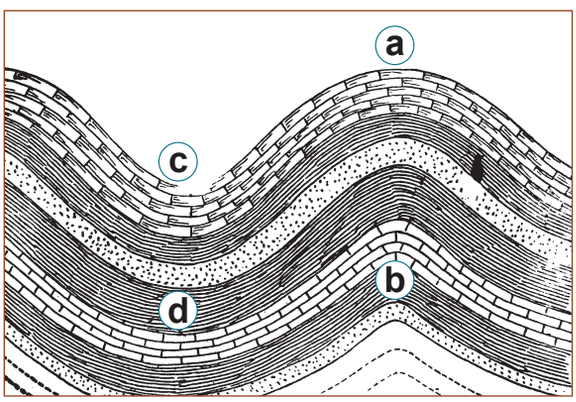
26. كيف تزيد الطيّة المُقعّرة من احتمال العثور على خزّان مياه جوفية؟

27. ما الشروط المطلوبة لكي تتدفّق المياه من البئر الارتوازية بشكل حرّ؟

28. كيف تُسهم التكوينات الكارستية في جفاف البيئة على السطح؟

يوضّح **الشكل 3-49** عددًا من الطبقات في فترات مختلفة من تاريخ الأرض، وانحناء الأرض بسبب القوى التكتونية.

استخدم هذا الرسم التخطيطي للإجابة عن الأسئلة **29-32**.



الشكل 3-49 مقطع عرضي جيولوجي.

29. ما اسم التكوين الجيولوجي الموضّح عند النقطة (c)؟

30. أيّة نقطة، من تلك النقاط الموضحة، تُتاح لها أكبر فرصة لتشكُّل خزّان مياه جوفية؟ ما الشروط المطلوبة ليتشكّل في النقطة التي اخترتها. ارسم رسمًا تخطيطيًا يساعدك على شرح إجابتك.

31. استعن بالرسم التوضيحي فقط لتجيب عن هذا السؤال: لماذا يتعذّر تشكُّل خزّان مياه جوفية محصور في هذا التكوين الجيولوجي؟

32. ما الشروط اللازمة لتشكُّل بُحَيرة عند النقطة (c)؟ اشرح إجابتك بأن ترسم على الرسم التخطيطي، أو تُنفّذ رسمًا خاصًا بك.

الشكر والتقدير

جميع الرسوم الفنّية الواردة في هذا العمل صمَّمتها شركة تطوير العلوم والتكنولوجيا والهندسة والرياضيات (STEM) في الولايات المتَّحدة الأميركية. وهي وحدها تملك الحق القانوني لإجازة استخدام تلك الرسوم.

يشكر المؤلفون والناشرون المصادر الآتية على السماح لهم باستخدام ملكياتهم الفكرية كما أنهم ممتنون لهم لموافقتهم على نشر الصور.

RonnieChua/Shutterstock; Shyrochenko Aleksandr/Shutterstock; chrisdorney/Shutterstock; Bobx-73/ Shutterstock; Lipskiy/Shutterstock; Naskky/Shutterstock; SoleilC/Shutterstock; AlexandrN/Shutterstock; Martin Bergsma/Shutterstock; Toa55/Shutterstock; ShadeDesign/Shutterstock; Caterina Belova/Shutterstock; Pavol Kmeto/Shutterstock; A7880S/Shutterstock; Corund/Shutterstock; Shannon Serpette/Shutterstock; agsandrew/ Shutterstock; tankist276/Shutterstock; VectorPot/Shutterstock; Vector Tradition/Shutterstock; J10/Shutterstock; RomanVanur/Shutterstock; Garen Takessian/Shutterstock; Aldona Griskeviciene/Shutterstock; Fouad A Saad/ Shutterstock; hlphoto/Shutterstock; stockcreations/Shutterstock; MAHATHIR MOHD YASIN/Shutterstock; Konoplytska/Shutterstock; Eric Isselee/Shutterstock; Maksim Safaniuk/Shutterstock; LuYago/Shutterstock; Daniele Pietrobelli/Shutterstock; Tichr/Shutterstock; Vladislav Havrilov/Shutterstock; Olga Zinovskaya/ Shutterstock; Tatiana Foxy/Shutterstock; 3DSculptor/Shutterstock; Merlin74/Shutterstock; Eduard Kim/ Shutterstock; Vadim Sadovsky/Shutterstock; Janaka Dharmasena / Shutterstock; Nasky/ Shutterstock; adike/ Shutterstock; Richard Peterson/ Shutterstock; stihii/ Shutterstock; NoPainNoGain/ Shutterstock; Teguh Mujiono/ shutterstock; Improvisor/ Shutterstock; Jose Luis Calvo/ Shutterstock; Rattiya Thongdumhyu/ Shutterstock; Peter Hermes Furian/ Shutterstock; Sebastian Kaulitzki/ Shutterstock; VectorMine/ Shutterstock; bsd/ Shutterstock; Blamb/ Shutterstock; MikeMartin / Shutterstock; Photographee.eu/ Shutterstock; Jason Boyce/ Shutterstock; Maridav Eugene Onischenko/ Shutterstock; CI Photos/ Shutterstock; Sergey Nivens, Vasyl Shulga/ Shutterstock; Sea Wave, Tanya Sid/ Shutterstock; belushi/ Shutterstock; Birger Olovson, Dionisvera/ Shutterstock; sportpoint / Shutterstock; ChrisVanLennepPhoto, Jacob Lund, sattahipbeach,/Shutterstock; Catalin Grigoriu/ Shutterstock; Designua/Shutterstock; Andres Garcia Martin/Shutterstock; Cagla Acikgoz/ Victor Moussa/photoworld; Aleksey Gusev/Shutterstock; Designua/Shutterstock; Fouad A. Saad/Shutterstock; mapichai/Shutterstock; Kitnha/ Elena11 /Shutterstock; dlhca/Shutterstock; ShotStalker/Shutterstock; Sketchart/Shutterstock; tel52/Robert Adrian Hillman/ Shutterstock; rzarek/Imagine Photographer; Tomas Ragina/Shutterstock; Rainer Lesniewski/Shutterstock; Vixit/ Shutterstock; Fedor Selivanov/Shutterstock; Phil Emmerson /Shutterstock; stihii/Shutterstock; Fouad A. Saad/ Shutterstock; NASA images/Shutterstock; NickJulia/Shutterstock; ch123/Shutterstock; Cozine/ Suzanne Tucker/ Ayman Haykal /Shutterstock; Robert Adrian Hillman/Shutterstock; Sigur/ SUNISA DAENGAM/Shutterstock; Jeroen Mikkers/ Manamana /Shutterstock; duckeesue /Shutterstock; Thomas C. Altman /Shutterstock; Sara Winter /Shutterstock; MaraZe /Shutterstock; Adwo/ Tomowen Shutterstock; Rosalie Kreulen /Shutterstock; Daniel Carlson /Shutterstock; Filip Fuxa/ Fulcanelli/ Shutterstock; lembi /Shutterstock; stihii /Shutterstock; GracePhotos /Shutterstock; Mega Pixel Shutterstock; Justek16 /Shutterstock; Scottish Traveller /Shutterstock; Lori Bonati /Shutterstock; anek.soowannaphoom /Shutterstock; Lost_in_the_Midwest /Shutterstock; B Calkins / Shutterstock; AlexussK /Shutterstock; pablofdezr /Shutterstock; fischers /Shutterstock; corbac40 /Shutterstock; CROX /Shutterstock; Africa Studio /Shutterstock; Emre Terim /shutterstock; Volodymyr Goinyk /shutterstock; Johann Helgason /shutterstock; OSweetNature /shutterstock; Kathryn Snoek/ /shutterstock; Thomas C. Altman; MateusandOlivia /shutterstock; Designua /shutterstock; Rainer Lesniewski /shutterstock; Praveen Menon / shutterstock; Mark Hall /shutterstock; Konoplytska /shutterstock; Igor Alexsander /shutterstock; Zoom Team / shutterstock; Turkey Photo /shutterstock; Dexpixel /shutterstock; Dennis O&#39:Hara /shutterstock; Tetyana Dotsenko /shutterstock; Vadim Nefedoff /shutterstock; Designua /shutterstock; Sabelskaya /shutterstock; Rich Carey /shutterstock; Bill McKelvie/shutterstock; Andrey Burmakin/ kuruneko/ ZoranOrcik/shutterstock; Imagesines/ shutterstock; Diagram/shutterstock; HelloRF Zcool/ Andrey Burmakin/shutterstock; Alex Kravtsov/shutterstock; sirtravelalot/shutterstock; Suzanna Tucker/shutterstock; Graph/shutterstock; Gwoeii/shutterstock; Graph/ Oleksii Sidorov/shutterstock; sizov/ LUKinMEDIA/shutterstock; BUY THIS/shutterstock; Stock image/shutterstock; TLaoPhotography/shutterstock; TASER/shutterstock; Roger costa morera/shutterstock; Preto Perola/ HomeArt; topimages/NDT/KKulikov/shutterstock; OSTILL is Franck Camhi/ Wikipedia; Ljupco Smokovski/Alexander Kirch/Stefan Schurr/ Jonah_H/shutterstock; Brocreative/ Motion Arts; Dan Thornberg/shutterstock; faboi/ TASER; Miriam Doerr/shutterstock; Martin Frommherz/shutterstock; Bjoern Wylezich/shutterstock; Inna Bigun/ shutterstock; Steven_Mol/shutterstock; goffkein.pro/shutterstock; EugenePut/shutterstock; fotoliza/shutterstock; IDKFA/shutterstock; Yosanon Y/ VarnakovR/shutterstock; Rost9/shutterstock; Tyler Boyes/shutterstock; Dimarion/ shutterstock; Maridav/shutterstock; Dmitry Markov152/shutterstock; Charobnica/Shutterstock; Rvkamalov/ Shutterstock; Peter Hermes Furian/Shutterstock; Konstantinks/Shutterstock; Extender_01/Shutterstock; Bjoern Wylezich/Shutterstock; Miriam Doerr/Shutterstock; Martin Frommherz/Shutterstock; LuYago/Shutterstock; Orange Deer studio/Shutterstock; Bob Morse/Morse Scientific Inc.;Olga Popova/Shutterstock; Pavel Sapozhnikov/ Shutterstock; VectorMine/Shutterstock; Paramonov Alexander/Shutterstock;OSweetNature/Shutterstock; Danielz1/Shutterstock; Dafinchi/Shutterstock; Fen Deneyim/Shutterstock; Artskvortsova/Shutterstock; Nasky/ Shutterstock; Adam J/Shutterstock; Bjoern Wylezich/Shutterstock; Denis Radovanovic/Shutterstock; Ipek Morel/ Shutterstock; Nito/Shutterstock; Geza Farkas/Shutterstock; Albert Russ/Shutterstock; Orange Deer studio/ Shutterstock; Everett Collection/Shutterstock; Mega Pixel/Shutterstock; Ihor Matsiievskyi/Shutterstock; Mahathir Mohd Yasin/Shutterstock; Liveshot/Shutterstock; MTKang/Shutterstock; Andrey Kozyntsev/Shutterstock; Gab90/ Shutterstock; Olga Hofman/Shutterstock; Breck P. Kent/Shutterstock; Beker/Shutterstock; Bob Morse/Morse Scientific Inc.; Frees/Shutterstock; Concept W/Shutterstock; Volha_A./Shutterstock; Aliona Ursu/Shutterstock; StudioMolekuul/Shutterstock; John James/Shutterstock; Photo-World/Shutterstock; Bob Morse/Morse Scientific Inc.; LeysanI/Shutterstock; ADA Photo/Shutterstock; Elena Zolotukhina/Shutterstock; Bukhta Yurii/Shutterstock; Edward Olive/Shutterstock; Maxx-Studio/Shutterstock; Peter Sobolev/Shutterstock; LuYago/Shutterstock; Eduardo Estellez/Shutterstock; Shishir Gautam/Shutterstock; Josep Suria/Shutterstock; Designua/Shutterstock; Izzmain/Shutterstock; Kiran Paul/Shutterstock; Bob Morse/Morse Scientific Inc.; Sansanorth/Shutterstock; Bjoern Wylezich/Shutterstock; Henri Koskinen/Shutterstock; StudioMolekuul/Shutterstock; Humdan/Shutterstock; ibreakstock/Shutterstock; Magnetix/Shutterstock; Fouad A. Saad/Shutterstock; EDU WATANABE/Shutterstock; Kristina Vor/Shutterstock; Wantanddo/Shutterstock;