العلوم العامة

كتاب الطالب

المستوى الحادي عشر

GENERAL SCIENCE
STUDENT BOOK

GRADE
11

الفصل الدراسي الثاني
SECOND SEMESTER
2020 - 2021

(الطبعة الأولى - First edition)

© وزارة التعليم 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 التعليم 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.

الطبعة الأولى 2021-2020 م

النشيد الوطني

قَسَمًا بِمَنْ رَفَعَ السَّمَاءْ ... قَسَمًا بِمَنْ نَشَرَ الضِّيَاءْ
قَطَرٌ سَتَبْقَى حُرَّةً ... تَسْمُو بِرُوحِ الأَوْفِيَاءْ
سِيرُوا عَلَى نَهْجِ الأُلَى ... وَعَلَى ضِيَاءِ الأَنْبِيَاءْ
قَطَرٌ بِقَلْبِي سِيرَةٌ ... عِزٌّ وَأَمْجَادُ الإِبَاءْ
قَطَرُ الرِّجَالِ الأَوَّلِينْ ... حُمَاتُنَا يَوْمَ النِّدَاءْ
وَحَمَائِمٌ يَوْمَ السَّلاَمْ ... جَوَارِحٌ يَوْمَ الفِدَاءْ

المراجعة والتّدقيق العلميّ والتّربويّ

خبرات تربويّة وأكاديميّة من المدارس

الإشراف العلميّ والتربويّ

إدارة المناهج الدّراسيّة ومصادر التّعلّم

يعدّ كتاب الطّالب مصدرًا مثيرًا لاهتمام الطّلّاب 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 تمكّن 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

العلوم العامّة

ماذا ستتعلّم من هذا الكتاب

كم عدد المرات التي تعرضت فيها للأشعة السينية (X-rays)؟

كيف تعمل الآشعة السينية؟

الوحدة الأولى لهذا الفصل تبحث تقنيات التصوير المدهشة المستخدمة في الطب الحديث.

يمنح التصوير بالرنين المغناطيسي (MRI)، والتصوير المقطعي المحوسب (CAT)، والتصوير الصوتي (US) الأطباء القدرة على رؤية داخل الجسم لتشخيص الجروح والمرض.

الوحدة السادسة من هذا الكتاب تبحث في متانة جسمك وتركيبه. وتعدُّ مفاهيم المتانة والجهد وانفعال الشدّ عوامل مشتركة بين هياكل المباني الإسمنتية والحديدية، وعظام الإنسان وعضلاته.

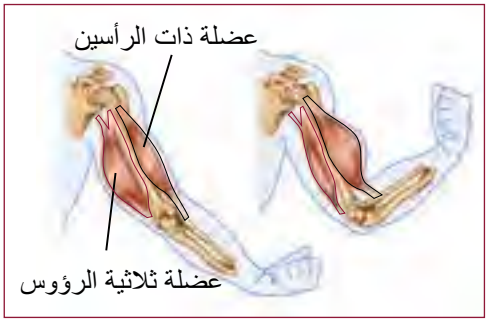
جميع التكنولوجيات لها وجهان إيجابي وسلبي. تتحرى الوحدة السابعة التبرير العلمي لتغيُّر المناخ وثقب الأوزون. كلتا الظاهرتين سبّبتهما الأنشطة البشرية وكل منهما تُعدُّ تهديدًا للبيئة العالمية.

تفوق أعداد البشر والحيوانات الأليفة بكثير أعداد جميع الثدييات الأخرى. الوحدة الثامنة تبحث في تغيُّر التنوُّع البيولوجي لكوكبنا. ويمثِّل توفير الغذاء لثمانية مليار إنسان بصورة دائمة تحدِّيًا خطيرًا يواجه الأجناس اليوم.

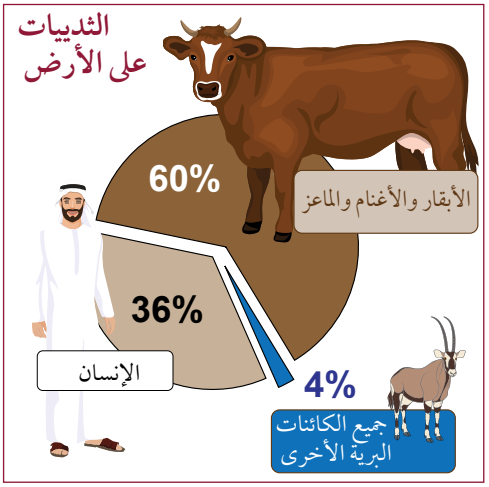
الطاقة شريان الحضارة الحديثة. تكاد الحياة في قطر تكون صعبة لولا التسهيلات المكثَّفة للطاقة في مجالَي التكييف وتحلية المياه. الوحدة التاسعة تبحث في كيفية إنتاج الطاقة وتوزيعها.

الوحدة الأخيرة لهذا الفصل (الوحدة العاشرة) تلقي الضوء على علوم الكوارث الطبيعية كالأعاصير والهزات الأرضية والبراكين. الظاهرتان الأخيرتان هما جزء من تغيُّرات دورية تطرأ على هذا الكوكب كل مئة مليون سنة.

صورة بالأشعة السينية ليد تظهر تفاصيل كل عظمة.



ما تأثير تغيُّر المناخ؟



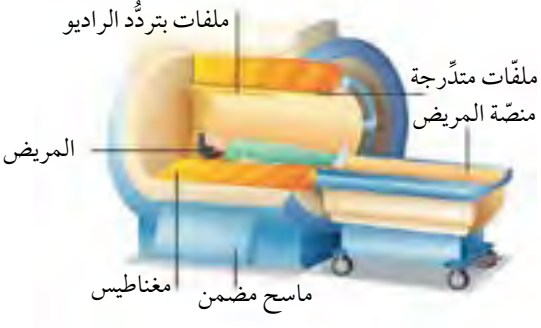
البشر وحيواناتهم الأليفة تفوق أعداد الحيوانات المفترسة.

بعض أقسام هذا الكتاب

الرّسوم التّوضيحيّة

جرى تجسيد المفاهيم المهمّة والمعطيات والأمثلة المتعلّقة بكلّ فكرة جديدة من خلال صور مفصّلة، بالإضافة إلى إدراجها في النّصوص.

جهاز التصوير بالرنين المغناطيسي



أسئلة للمناقشة

سؤال للمناقشة

ما هي كمّيّة الغذاء الّتي عليّ تناولها لأبقى بصحّة جيّدة؟

يتيح السّؤال المطروح للمناقشة أمام صفّك فرصة التّطرّق إلى مفاهيم ومعلومات جديدة.

شريط الأفكار المهمّة

يمكن أن يستهدف سكّين جاما الورم من دون جراحة.

يسهل تحديد الأفكار الرّئيسة واستذكارها.

العلاقات والمعادلات الرياضية

القدرة

$$P = \frac{E}{t}$$

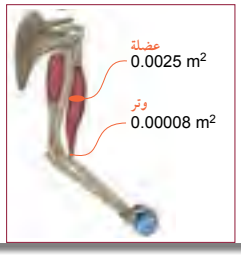
P	القدرة (واط، W).
E	الطاقة (الجول، J).
t	الزمن (الثانية، s).

وردت المعادلات حيث يلزم مع تحديد كلّ المتغيّرات والعوامل المؤثّرة فيها والوحدات العلميّة الدّقيقة.

الأمثلة

مثال 2

تولّد عضلة قوة مقدارها 200 N، وتنقل هذه القوة بواسطة وتر. احسب إجهاد الشدّ في كل من العضلات والوتر. كما هو مبيّن بالشكل **6-9**.



الحل:

$$\sigma_{muscle} = \frac{F}{A_{muscle}} = \frac{200\ \text{N}}{0.0025\ \text{m}^2} = 80{,}000\ \text{Pa}$$

$$\sigma_{tendon} = \frac{F}{A} = \frac{200\ \text{N}}{0.00008\ \text{m}^2} = 2{,}500{,}000\ \text{Pa}$$

تبيّن الأمثلة الخطوات والتّدرّج بالتّفكير، لحلّ مسألة، وإجراء الحسابات الرّياضيّة بنجاح.

العلم والعلماء

العلم والعلماء

ماريو مولينا: 1943 – الآن

درس ماريو مولينا **تأثير الأنشطة البشرية على طبقة الأوزون**، وأسهم في نشوء حركة أدّت بسرعة إلى توقيع اتفاقية مونتريال التي جمعت قادة العالم على هدف واحد، هو الحدّ من انبعاث مُركّبات الكلوروفلوروكربون.

وحفّزته السير الذاتية للعلماء المشهورين فأقنع الشاب خوسيه ماريو مولينا باسكيل إي هنريكيز (ماريو مولينا) عمته الصيدلانية إستير مولينا بمساعدته على تحويل حمّام منزله إلى مختبر كيمياء. وهو الذي استطاع

بدأ تطوّر العلوم منذ أكثر من 3 آلاف عام. يوفّر هذا القسم نظرة تبصّرٍ للاستلهام من الجانب الإنسانيّ للعلم والتّكنولوجيا. ومن المؤكّد أنّك ستتعرّف كثيرًا من الشخصيّات الجّاذبة على هذه الصّفحة.

الأنشطة

التّجارب المخبريّة، والاستقصاء والبحث والأنشطة الأخرى تمنح الأفكار الجديدة وتنمّي المهارات العمليّة.

a1-8 التَّنوُّع الحيويّ المتغيّر

هذا مشروع لمجموعة صغيرة.

اختر مع مجموعتك منطقة من العالم تأثّرت بتغيّر المُناخ.

ابحث في المنطقة لتوثيق الطّرائق الّتي تغيّر بها المُناخ، مثل هطول الأمطار، ودرجة الحرارة. قد يكون التَّغيُّر عبر الزّمن الجيولوجيّ (10 ملايين سنة) أو من وقت قريب.

صمّم مُلصقًا يبيّن أدلّة على تغيُّرات في التَّنوُّع الحيويّ مرتبطة بالمُناخ، بما في ذلك:

تقويم الدّرس

لكلّ درس تقويم خاصّ، يتضمّن أسئلة تغطّي المفاهيم والمعلومات الواردة فيه.

تقويم الدرس 1-10

1. كيف يؤثر الاحترار العالمي في منسوب مستوى سطح البحر؟
   - a. يتمدّد الماء بسبب الحرارة.
   - b. تعمل الحرارة على إبطاء حركة جزيئات الماء.
   - c. عدم تغيّر منسوب مستوى البحار بدرجة كبيرة.
   - d. تسبّب الحرارة انخفاض اليابسة، فتندفع مياه الشاطئ إلى اليابسة.
2. ما الذي يُنتِج تيارات الحمل الحراري؟

مراجعة الوحدة

يوفّر الملخّص في نهاية كلّ وحدة مراجعة سريعة للأفكار الرّئيسة والمفردات الواردة فيها.

الوحدة 9

مراجعة الوحدة

الدرس 1-9 الطاقة

- وحدة الطاقة هي الجول **Joule**.
- **الطاقة المُتجدِّدة Renewable** تتضمّن مصادر تتجدّد بشكل طبيعي مثل ضوء الشمس، أو تستعيد نموّها في فترة لا تتعدّى عشر سنوات ولا يمكن استنفادها بالاستهلاك المتكرر.
- **الطاقة غير المُتجدِّدة Non-renewable energy** تتضمّن: «الوقود الأحفوري Fossil fuels»،

تقويم الوحدة

في نهاية كلّ وحدة مجموعة من أسئلة الاختيار من متعدّد، تحضّر الطّلاب للاختبارات المقنّنة.

تقويم الوحدة

اختيار من متعدِّد

1. أيٌّ من المصطلحات التالية توصيفٌ لنسبة التغيّر في طول جسم إلى طوله الأصليّ عند انضغاطه؟
   - a. الانفعال
   - b. الإجهاد
   - c. التشوّه المرن.
   - d. مُعامل المرونة.

تقويم الوحدة

توفّر الأسئلة ذات الإجابة القصيرة، والمسائل الرّياضيّة الكمّيّة، ثلاثة مستويات من التّحدي في نهاية كلّ وحدة.

تقويم الوحدة

الدرس 1-6: القوى في الموادّ

13. اذكر مثالًا على قوّة الانضغاط.
14. اذكر مثالًا على قوّة الشدّ.
15. انظر إلى يدك التي تحمل جهازًا. أيّ جزء من يدك يكون في حالة انضغاط؟
16. كيف تحسب الثابت المجهول لنابض؟ صِفِ المعدّات التي تحتاج إليها، والبيانات التي

الوحدة 5

الموجات في الطب

كيف تعمل أجهزة الأشعة السينية (X-ray) وأجهزة التصوير بالرنين المغناطيسي (MRI)؟ تعلم عن الفيزياء الداعمة للتقنية العالية للتشخيص الطبي المصور.

الوحدة 6

متانة المواد

كيف نتأكد أن الجسور لن تنهار؟ تعلم عن كيفية وصف متانة المواد واختبارها.

الوحدة 7

الكربون والأوزون

كيف غيَّر البشر الأرض؟ سوف تدرس في هذه الوحدة الإجراءات التي أدَّت إلى حل مشكلة ثقب الأوزون.

الوحدة 8

التَّنوُّع الحيويّ والتَّغيُّر المُناخيّ

هل سيحدث انقراض جماعي؟ سوف تدرس في هذه الوحدة تغيُّر التنوع البيولوجي على الأرض والتحدّي لديمومة مصادر الغذاء.

الوحدة 9

مصادر الطاقة

ما هو مستقبل الطاقة المتجدِّدة، ومستقبل الطاقة غير المتجدِّدة؟ سوف تدرس في هذه الوحدة التقنيات واستخدام الطاقة.

الوحدة 10

الكوارث الطبيعية

ما أسباب الكوارث الطبيعية؟ سوف تدرس في هذه الوحدة الآلية التي تُحدِث الأعاصير وأمواج تسونامي والهزّات الأرضية.

جدول المحتويات

الوحدة 5 الموجات في الطب 2

الدّرس 5-1 الطيف الكهرومغناطيسي 4
الدّرس 5-2 الطبّ الإشعاعيّ 15
الدّرس 5-3 الموجات الميكانيكيّة 26

الوحدة 6 متانة المواد 38

الدّرس 6-1 القوى في الموادّ 40
الدّرس 6-2 عظام الإنسان 51

الوحدة 7 الكربون والأوزون 68

الدرس 7-1 الأرض في توازن 70
الدرس 7-2 اختلال التوازن 83
الدرس 7-3 الجهود المبذولة لاستعادة التوازن 93

الوحدة 8 التَّنوُّع الحيويّ والتَّغيُّر المُناخيّ 108

الدرس 8-1 التَّنوُّع الحيويّ 110
الدرس 8-2 الإخلال بالتَّنوُّع الحيويّ 123
الدرس 8-3 الأمن الغذائي العالمي 136

الوحدة 9 مصادر الطاقة 154

الدرس 9-1 الطاقة 156
الدرس 9-2 تكاليف إنتاج الطاقة 162

الوحدة 10 الكوارث الطبيعية 184

الدرس 10-1 الحرارة 186
الدرس 10-2 أحداث الطقس 195
الدرس 10-3 الزلازل 203

الوحدة 5

الموجات في الطب

Waves in Medicine

في هذه الوحدة

- **الدرس 5-1:** الطيف الكهرومغناطيسي
- **الدرس 5-2:** الطبّ الإشعاعيّ
- **الدرس 5-3:** الموجات الميكانيكيّة

GP1101
GP1102

الوحدة 5

مقدّمة الوحدة

إنها لرائعة حقًّا الطرق التي اكتشفت فيها الأشياء. قبل ألف سنة، ثبّت ابن الهيثم شاشة داخل آلة التصوير ذات الحجرة المظلمة، التي أصبحت فيما بعد آلة للفنانين على مدى 800 سنة. وفي العام 1839 اختُرع فيلم تصوير لاستخدامه في الكاميرا المعتمة. وكانت مثل تلك الأفلام موضوعة في مختبرات العلماء الذين اكتشفوا مصادفة عند استخدامها، أن أشعّة إكس يمكن أن تنفذ في اللحم والعظام. وبدأ المزيد من الأشخاص بالتساؤل عن وجود أنواع أخرى من الأشعّة. وتلا ذلك اختراع أنواع جديدة من التكنولوجيا، مثل التصوير المقطعي المُحَوْسَب CAT، لإعطاء صور أفضل لما يمكن أن يتوقعه الجرّاح قبل إجراء العمليات الجراحية. وتساءل بعض المبدعين، إن كانت هناك أشكال غير مرئية من الطاقة يمكن استخدامها في العمليات الجراحية من دون الحاجة إلى إحداث جروح في الجسم. يستخدم الأطباء حاليًّا تكنولوجيا الصوت، المألوفة جدًّا؛ لإجراء فحص داخلي للأشخاص، وتفتيت حصوات الكلى من الخارج من دون إحداث أيّ جرح في الجسم. كيف حدثت كل تلك الأمور؟ وكيف تعمل؟ هذا هو موضوع الوحدة.

الأنشطة والتجارب

1-5 طاقة الكمّ

2-5 استخدام الطاقة الكهرومغناطيسيّة

3-5 محاكاة الموجات فوق الصوتية

الدّرس 5-1
الطيف الكهرومغناطيسيّ
Electromagnetic Spectrum

سكّين جاما، هو الجهاز الأكثر تطوُّرًا المُستخدَم في الطب الإشعاعي. فهو يحدّد الورم الكامن في عمق الدماغ، ويتلفه، من دون الحاجة إلى جراحة، أو تلف أيّ من الأنسجة المحيطة بالورم. إذا تتبّعنا أصل هذا الجهاز فسوف نعود إلى الوراء 1000 سنة حيث كتابات العالم الإسلامي، ابن الهيثم، **(الشكل 5-1)** الذي كان عالمًا في الرياضيات والفلك والفيزياء التجريبية، عندما اعتقد معظم الناس أن الضوء ينطلق من العين، إلى خارجها للسماح لنا بأن نرى. وما نعرفه عن عالم الطاقة الكهرومغناطيسية المعقَّد، ولا سيما استخدامه في الطب، ترجع جذوره إلى أعمال ابن الهيثم.

الشكل 5-1 رسم تعبيري للعالم ابن الهيثم.

مخرجات التّعلُّم

GP1101.1 يعدّد الأجزاء المختلفة من الطيف الكهرومغناطيسي، ويوضح أنه كلما قلّ طول الموجة ازداد التردّد (وبالتالي ازدادت الطاقة).

GP1101.2 يصف قضايا الصحة والسلامة المرتبطة بتعريض الإنسان للموجات الكهرومغناطيسية المختلفة.

المفردات

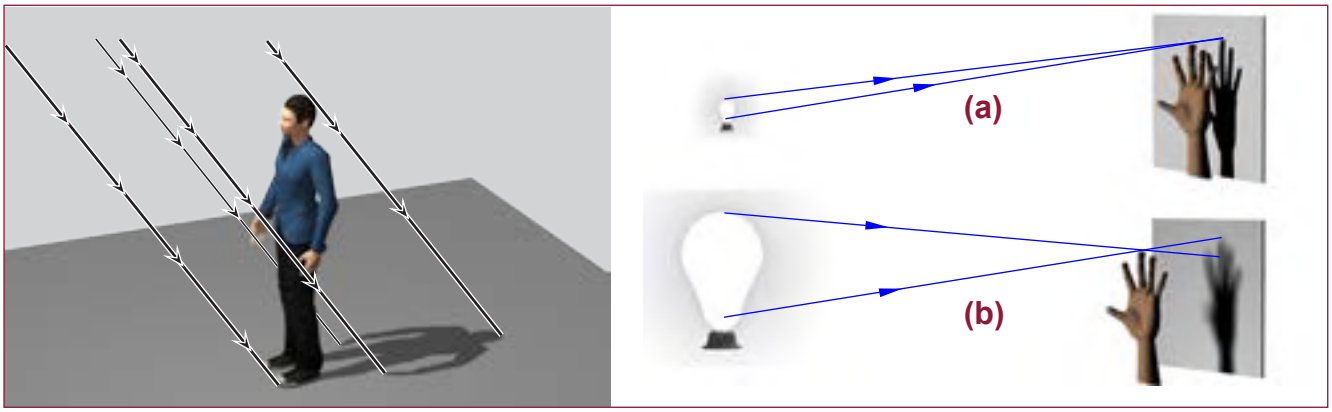
Inductance	الحث
Electromagnetism	كهرومغناطيسية
Speed of light	سرعة الضوء
Light ray	شعاع الضوء
Crooke’s tube	أنبوب كروك
Photoluminescence	اللمعان الضوئي
Phosphorescence	الإضاءة الفسفورية
Alpha particles	جُسيمات ألفا
Beta particles	جُسيمات بيتا
Gamma rays	أشعّة جاما
Wavelength	طول الموجة
Frequency	التردّد
Planck’s constant	ثابت بلانك
Resonance	الرنين
Ionizing radiation	الإشعاع المؤيّن

خصائص الضوء

الضوء شكل من أشكال الطاقة. يعتمد تكوين الصور في كلٍّ من آلة التصوير، والأجهزة الطبيّة المتقدِّمة كأجهزة الأشعّة السينية، على الخصائص الأساسية الآتية للضوء:

1. ينتقل الضوء في خطوط مستقيمة ما لم يكن هناك عائق في مسار انتقاله. وهذا يفسِّر تكوُّن الظلال.
2. يختلف الضوء في شدّته. وتُقاس شدة الضوء بمقدار الطاقة التي تسقط على كل متر مربَّع. فالمصباح الكهربائي الخافت له شدة ضوء أقل من المصباح الساطع.
3. يعتمد تردّد الضوء على طاقته. فالضوء العالي الطاقة (الأكثر زرقة) له تردّد أعلى، والضوء المنخفض الطاقة (الأكثر احمرارًا) له تردّد أقل.

ويُعدُّ تكوُّن الظلال دليلًا على أن الضوء ينتقل في خطوط مستقيمة. **شعاع الضوء Light ray** خط وهميّ يتبع مسار الضوء. والأشعّة في (**الشكل 5-a2**) و(**الشكل 5-b2**) توضِّح كيف تعتمد حدّة (وضوح) الظل على حجم مصدر الضوء، والمسافة بين مصادر الضوء والجسم والسطح الذي يتكوّن عليه الظل.



الشكل 5-2 تكون الظلال دليلًا على أن الضوء ينتقل بخطوط مستقيمة.

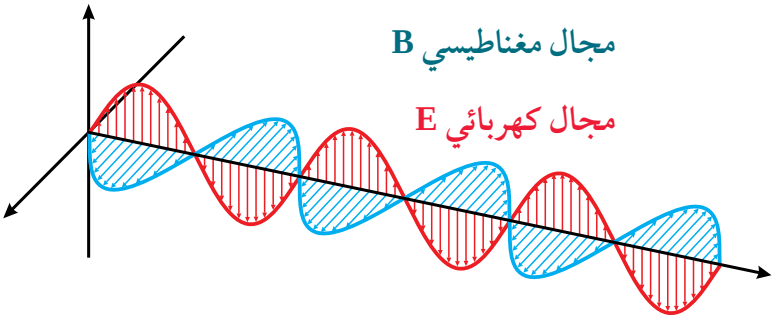
تُستخدم الخصائص الثلاث المذكورة أعلاه في تكوين صور طبيّة مصحوبة ببعض الظل. تحجب يدك الضوء المرئي تمامًا. وتكون الظلال التي تكوّنت بفعل المصباح الكهربائي، مظلمة تمامًا. سوف نعرف أن الأشعّة السينيّة تكوّن ظلاً، لكن يدك لا يمكنها حجب الأشعّة السينية تمامًا. يمتصّ الكالسيوم الأشعّة السينية في العظام بقوّة أكبر من الأنسجة اللينة. وهذا يعود إلى أن شدّة ظل العظام المُتكوّن بواسطة الأشعّة السينية أقوى من شدّة الظلال التي تكوّنها أجزاء الجسم اللينة، كالأوتار والعضلات (**الشكل 5-3**).

الشكل 5-3 الأجزاء التي امتصَّت الأشعّة السينيّة تبدو بيضاء بينما الأجزاء التي لم تمتص الأشعّة السينيّة تظهر مظلمة.

الضوء شكل من أشكال الطاقة الكهرومغناطيسية

الضوء هو انتشار اهتزاز المجال الكهرومغناطيسي وهو يتكون من مجالين كهربائي ومغناطيسي متعامدين ينتقلان في الفراغ والأوساط المادية.

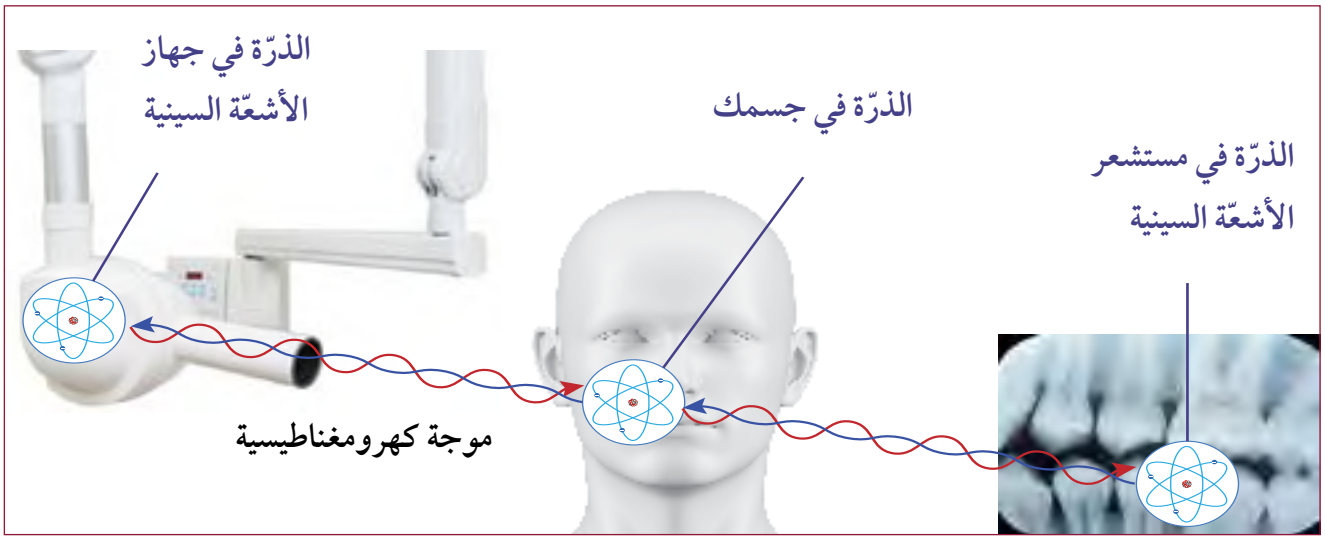
تنتقل موجة الضوء بسرعة 3.0×10^8 m/s، وهذا ما يعرف **بسرعة الضوء Speed of light**.



الشكل 5-4 موجة الضوء.

يتكوّن معظم الضوء من الإلكترونات المتذبذبة في الذرّات. تعمل هذه العملية بالاتجاهين. ينبعث الضوء من الذرّات. ويمكن للذرّات أيضًا أن تمتص الضوء وتتفاعل معه، بما فيها ذرّات الجسم البشري. تُحدِّد طاقة الضوء نوع التفاعل الذي قد يحدث.

1. تطلق الذرّات في جهاز الأشعّة السينية ضوءا ذا طاقة عالية يسمى بالأشعّة السينية. هذا الضوء غير مرئي للعين.
2. تعبر الأشعّة السينية أنسجة الجسم. فتمتص ذرّات الجسم بعضًا من ضوء هذه الأشعّة. تعتمد كمية الامتصاص على نوع الذرّة. فالكربون والهيدروجين يمتصّان كميات قليلة من الطاقة، ولكنّ الذرّات الأثقل مثل الكالسيوم تمتص الكثير.
3. تسقط طاقة الضوء على مستشعر الأشعّة السينية حيث تكون الذرّات التي امتصت الطاقة قد ألقت ظلالها؛ فنسجل تشكيل صورة بالأشعّة السينية (**الشكل 5.5**).

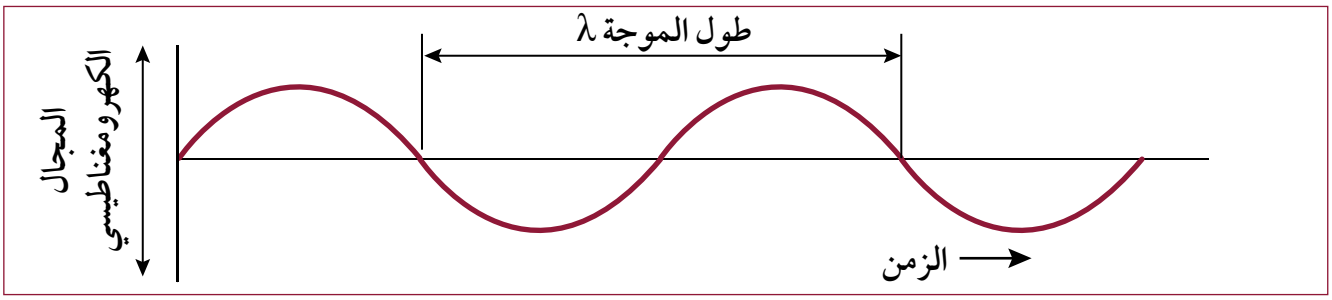


الشكل 5-5 تفاعل الموجة الكهرومغناطيسية مع الذرّات.

التردُّد وطول الموجة والسرعة

تُستخدَم كلمة الضوء في الفيزياء لوصف الموجات الكهرومغناطيسية جميعها. يشمل ذلك الضوءُ المرئي؛ ولكنه يشمل أيضًا موجات الراديو والميكروويف والأشعّة السينية وأشعّة جاما. فهي كلها تنتقل كموجات كهرومغناطيسية، لكن بطاقات مختلفة المدى، لاختلاف تردُّدها وطولها الموجي.

الطول الموجي Wavelength (λ) للموجة، هو المسافة بين بداية دورة واحدة كاملة من الموجة، ونهايتها. ويستخدم الحرف اليوناني «lambda λ» لتمثيل الطول الموجي. يوضِّح **(الشكل 5-6)** طول موجة كاملة واحدة.



الشكل 5-6 الموجة الكهرومغناطيسية لماكسويل.

الشكل 5-7 لون الليزر 635 nm.

تتوافق أطـوال موجات الضوء المختلفة مع الألوان المختلفة. يوضِّح **الشكل 5-7** أن الطول الموجي للضوء من مؤشِّر ليزر أحمر يساوي 635 nm، أو 635×10^{-9} m، والأطوال الموجية للضوء المرئي قصيرة جدًّا!

يصف **تردّد Frequency** الموجة (f) عدد الموجات التي تمر في الثانية الواحدة. ويحتوي ضوء الليزر الأحمر على تردّد يبلغ 472×10^{12} دورة في الثانية (472 THz). فواحد تيراهيرتز (THz) هو 10^{12} دورة في الثانية الواحدة. وهذه موجات ضوء سريعة جدًّا، تتذبذب بسرعة.

وإذا انتقلت الموجة بسرعة 8 موجات في الثانية (f = 8Hz)، وكان طول كل موجة يبلغ λ = 2m ، تكون سرعة الموجة عندئذٍ = 8 موجة × 2m /sec ، أو 16 m/s.

سرعة الموجة هي التردّد مضروبًا في الطول الموجي

سرعة الموجة

$$v = f\lambda$$

v	سرعة الموجة m/s
f	التردّد(S^{-1} أو Hz)
λ	الطول الموجي (m)

من الثوابت المعروفة في الفيزياء سرعة الضوء في الهواء أو الفراغ و سرعة الصوت في الهواء.

$v = 3 \times 10^8$ m/s سرعة الضوء في الهواء.

$v = 344$ m/s سرعة الصوت في الهواء.

التردُّد والطاقة

تحمل التردّدات العالية للضوء طاقة أكبر من التردّدات المنخفضة. يمكنك أن ترى هذا في البيئة المحيطة بك. فكلما ازدادت سخونة جسم تغيّر لونه. وتُصنَّف ألوان بعض مصابيح LED الجديدة تبعًا للطاقة الحرارية، كما تمثّلها درجة الحرارة على مقياس كلفن (**الشكل 5-8**). تطلق الأجسام ذات الحرارة المرتفعة الضوء الأقرب إلى ألوان (الأزرق – الأبيض). بينما تطلق الأجسام ذات الحرارة المنخفضة الضوء الأقرب إلى ألوان (الأحمر – الأصفر).

الشكل 5-8 درجة حرارة ألوان المصابيح (K).

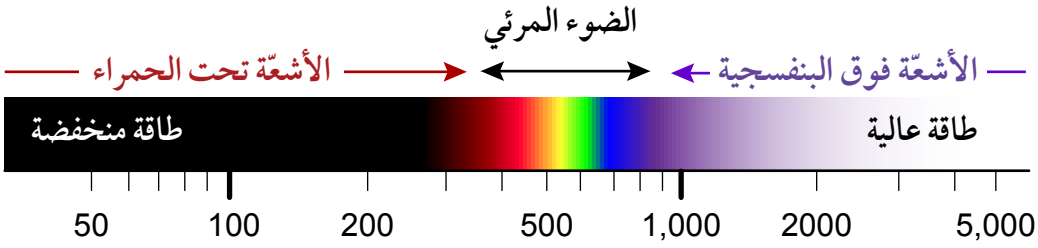
كلما ازداد تردّد الموجة الكهرومغناطيسية EM ازدادت طاقتها، وهذا يُمثَّل بالمعادلة الآتية:

طاقة الضوء

$$E = hf$$

E	الطاقة (J)
h	ثابت بلانك ($h = 6.626 \times 10^{-34}$ Js)
f	التردّد (Hz أو s^{-1})

الثابت، **h**، هو **ثابت بلانك Planck's constant** وقيمته 6.63×10^{-34} Js.



الشكل 5-9 ترددات الضوء المرئي.

تكون الأعصاب حسّاسة لبعض الترددات التي تكون أقلّ من الأحمر، أي الأشعّة **تحت الحمراء Infrared**، ونستشعر بذلك كحرارة. وتُعدُّ طاقة الأشعّة تحت الحمراء مسؤولة أيضًا عن الاحتباس الحراري.

تملك الأشعّة فوق البنفسجية ترددًا عاليًا، أعلى كثيرًا من طاقة الضوء المرئي، فهي قد تحرق الجلد، وتسبِّب السرطان؛ حتى أنها تؤدي إلى الموت. ونحن لا نشعر بامتصاص ضوء الأشعّة فوق البنفسجية، لذلك لا يمكننا الشعور بحروق الشمس، إلا بعد حدوث الضرر. وتتوافر مراهم واقية لأشعّة الشمس (**الشكل 5-10**) لحجب بعض الأشعّة فوق البنفسجية.

الشكل 5-10 تستطيع الأشعّة فوق البنفسجية أن تلحق ضررًا بالجلد.

مثال (1)

ما تردُّد ضوء طول موجته 635 nm؟

قد لا ترد سرعة الموجة الكهرومغناطيسية في مسائل الطاقة الكهرومغناطيسية. عليك أن تتذكّر أن سرعة الضوء أساسية وقيمتها 3.0×10^8 m/s. ويجب أن تُكتَب ضمن لائحة المعطيات.

إذا علمت أن $V = 3.0 \times 10^8$ m/s حيث $V = f \times \lambda$

$\lambda = 635 \times 10^{-9}$m تمثّل بالمعادلة الجبرية $f = V / \lambda$

$$f = \frac{3.0 \times 10^8 \frac{m}{s}}{635 \times 10^{-9} m}$$

$$f = 4.72 \times 10^{14} /s$$

$$f = 4.72 \times 10^{14} \text{ Hz}$$

مثال (2)

ما سرعة موجة راديو طولها الموجي يساوي 2.2 m ، وتردّدها $1.36 \text{ Hz} \times 10^8$؟

إذا علمت أن $V = f \times \lambda$

$$v = (1.36 \times 10^8)(2.2) = 2.99 \times 10^8 \text{ m/s}$$

$$v \approx 3 \times 10^8 \text{ m/s}$$

ملاحظة: رغم أن سرعة الطاقة الكهرومغناطيسية في الفراغ والهواء تبلغ 3×10^8 m/s إلاّ أنها تختلف بحسب المادة التي تتنقل فيها كالزجاج و الماء.

مثال (3)

ما طاقة الأشعّة الضوئية التي يبلغ تردّدها $4.27 \text{ Hz} \times 10^{14}$؟

إذا علمت أن $h = 6.63 \times 10^{-34}$ Js حيث $E = h.f$

$$f = 4.27 \times 10^{14} \text{Hz}$$

$$E = 6.63 \times 10^{-34} \text{ Js x } 4.27 \times 10^{14} \text{Hz}$$

$$E = 2.83 \times 10^{-19} \text{ Js/s}$$

$$E = 2.83 \times 10^{-19} \text{ J}$$

نشاط

1-5 طاقة الكمّ

سؤال الاستقصاء	هل يمكنك إجراء عرض عن $E = h f$ في الصف؟
الموادّ المطلوبة	ورقة تتوهّج في الظلام، مصابيح كهربائية LED أحمر، LEDأخضر، LED أزرق، LED فوق البنفسجي، غرفة مظلمة.

الخطوات

1. سوف تتفاعل ورقة التوهّج مع الضوء في الغرفة المظلمة. خذ ورقة توهّج واقلبها، وغطّها حتى لا تمتص ضوء الغرفة.
2. أطفئ مصادر الإضاءة في الغرفة.
3. اقلب ورقة التوهّج في الغرفة المظلمة، وتأكد من عدم توهّجها كثيرًا. إذا تطلّب الأمر، انتظر بضع دقائق حتى يستقرالتوهّج.
4. استخدم ضوء مصباح LED أحمر لمحاولة إضاءة الورقة، وسجِّل نتائج ملاحظاتك. قرّب المصباح ليلامس الورقة، كي تعرف إن كان ذلك يغيِّر نتائجك.
5. استخدم مصباح LED الأخضر، وكرّر الخطوة 4.
6. استخدم مصباح LED الأزرق، وكرّر الخطوة 4.
7. استخدم مصباح LED UV، وكرّر الخطوة 4.

الأسئلة

a. سوف تتوهّج الورقة لتفاعلها مع الطاقة. ماذا تستنتج من تأثير طاقة مصابيح LED ذات الألوان المختلفة في ورقة التوهّج؟

b. جرِّب موادّ مختلفة يمكن أن تحجب ضوء الأشعّة فوق البنفسجية. جرّب بعض الموادّ البلاستيكية الشفافة، إن وجدت.

c. هناك مواد أخرى سوف تتوهج تحت تأثير الأشعّة فوق البنفسجية. تفحّص أشياء من حولك في الصف لتعرف إن كنت تستطيع تحديد تلك المواد.

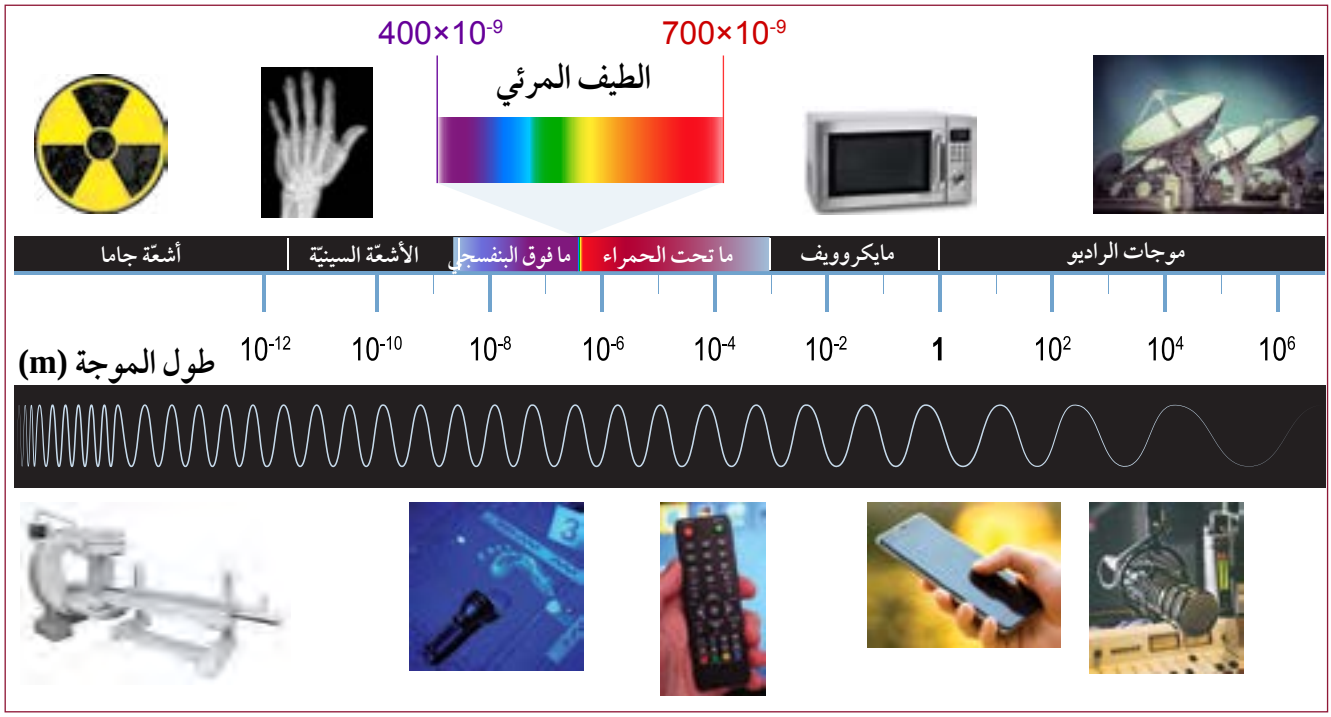
d. ما الخصائص المشتركة بين تلك المواد؟

e. حاول أن توضّح سبب استمرار التوهّج في المادة المعتمة حتّى بعد إطفاء المصباح.

الطيف الكهرومغناطيسي

يطلق على المدى الكلّي من الموجات الكهرومغناطيسية اسم الطيف الكهرومغناطيسي (**الشكل 5-11**). وتقع أشعّة جاما في منطقة الطاقة المرتفعة حسب سلسلة الطيف الكهرومغناطيسي بأعلى تردّد وأقصر طول موجة. ويقع الضوء المرئي في منتصف الطيف الكهرومغناطيسي.

يشمل الجانب المنخفض الطاقة من الطيف الكهرومغناطيسي موجات الراديو. تلك الموجات لها تردّدات تُراوح بين 1000 هرتز و10^9 هرتز. ورغم أن نيكولاي تسلا هو الذي قدّم الراديو عام 1893، فإن غوليلمو ماركوني هو الذي يُعزى إليه في الغالب اختراع الراديو؛ لأنه تقدَّم بطلب للحصول على براءة اختراع في إنجلترا عام 1896. ولم يسجِّل تسلا براءة اختراعه حتى العام 1897.



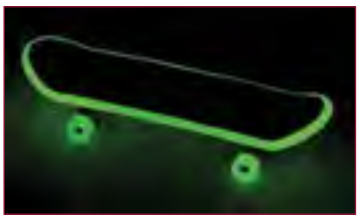
الشكل 5-11 يمتد الطيف الكهرو مغناطيسي من أمواج الراديو ذات الطول الموجي الطويل إلى أشعّة جاما ذات الطول الموجي القصير.

موجات الراديو لها أطوال موجية طويلة إلى حد بعيد، تمتدّ من متر إلى كيلومترات عدة. تمرّ تلك الموجات مباشرة عبر السحاب، وتسمح بالاتصالات البعيدة المدى التي غيّرت العالم بسرعة كبيرة أوائل القرن العشرين.

يشار إلى مناطق عدة من الطيف الكهرومغناطيسي بأطوالها الموجية. وتُعدُّ موجات الراديو القصيرة تقنية تستخدم موجات أقصر من موجات الراديو العادية. وبالمقابل، فإن موجات الميكروويف التي نستخدمها في طهو الطعام لها أقصر طول موجي يتراوح بين مليمتر وسنتيمتر. عُرِفَ الليزر في البداية باسم ميزر MASER، لأنه استخدم أمواج الميكروويف بدلاً من الضوء. كذلك الهواتف المحمولة (Cell Phones) تستخدم أمواج الميكروويف.

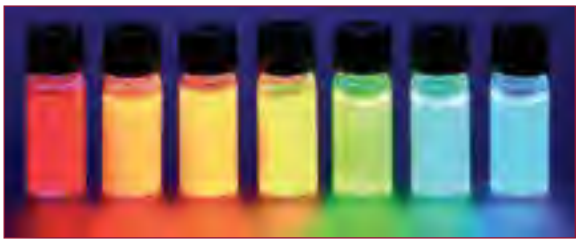
الإضاءة الفسفورية واللمعان الضوئي والنشاط الإشعاعي

يعتمد الأثر الطبي للأشعّة السينية وأشعّة جاما على قدرة امتصاص الذرّات للطاقة التي تتكوّن خارج جسم الإنسان. تستطيع الذرّات أيضًا أن تنتج الضوء داخل الجسم! سنتعرّف أنّ هذه هي الطريقة التي يعمل بها التصوير المقطعي المُحَوْسَب الماسح CT scan. ومع ذلك، ربما سبق لك أن تعاملت مع تأثيرات مماثلة من موادّ التوهُّج في الظلام، والطلاءات الفلورسنتية.



الشكل 5-12 التوهّج في الظلام.

اللمعان الضوئي Photoluminescence ظاهرة موجودة في الطبيعة في بعض المعادن. وقد عُرف في التاريخ القديم أن تعرُّض الفوسفور للضوء، يجعله يستمر في التوهج مدَّة من الزمن (**الشكل 5-12**).



الشكل 5-13 أصباغ فلورية.

كان هنري بيكريل أحد العلماء الذين اهتموا بهذه الظاهرة. ذلك أن **الإضاءة الفسفورية Phosphorescence** تحدث عندما يطلق معدن ضوءًا بتردُّد معيَّن، بعد تعرُّضه لضوء بتردُّد، وإن كان مختلفًا. (**الشكل 5-13**).

عندما انتشر اكتشاف رونتجن Rontgen للأشعّة السينية، بدأ بيكريل Becquerel باستخدام أنبوب كروك الخاص به في توهّج عيّنات من أملاح اليورانيوم بالأشعّة الجديدة. وقام بيكريل بإعداد تجربة لفيلم محكم الإغلاق. لكن، بسبب سوء الأحوال الجوية، لم تتح له فرصة تعريض الفيلم لأشعّة الشمس. وحين قام بتحميض الفيلم، فوجئ بأنه قد تعرّض لأشعّة، على الرغم من حفظه في الظلام. وبحلول العام 1896، استنتج بيكريل أن اليورانيوم ينبعث منه نوع من الطاقة العالية غير المرئية بمقدوره أن يتلف الفيلم. واكتشف بيكريل التأثير الذي أسمته العالمة الفرنسية، ماري كوري، النشاط الإشعاعي. **والنشاط الإشعاعي Radioactivity** انبعاثات تلقائية للطاقة من نوى الذرّات، بما في ذلك الموجات الكهرومغناطيسية التي تُسمّى أشعّة جاما.

النشاط الإشعاعي انبعاثات تلقائية للطاقة من تفاعلات نووية.

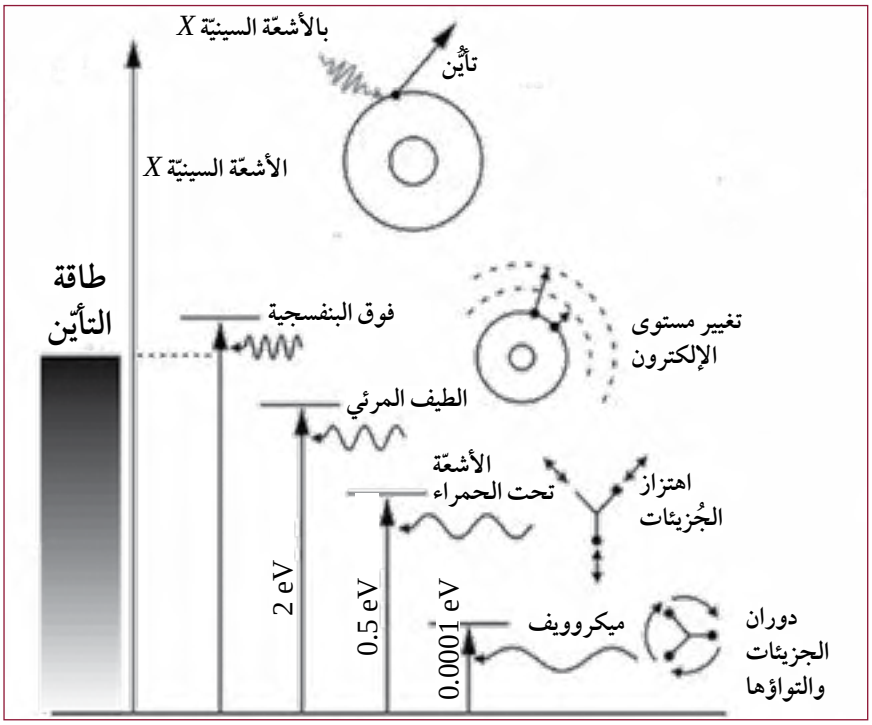
بحث بيكريل في «الإشعاعات» الجديدة عن طريق وضع مغناطيس كهربائي قوي عموديًّا على مسارها، كان قادرًا على جعل الأشعّة تنحني (**الشكل 5-14**). وأثبت أنها ليست الأشعّة السينية. لكن تبيَّن أن «أشعّة اليورانيوم» الجديدة هي إلكترونات سريعة.

الشكل 5-14 انحناء أشعّة اليورانيوم أثبت أنها ليست الأشعّة السينية.

السلامة وطاقة الطيف الكهرومغناطيسي

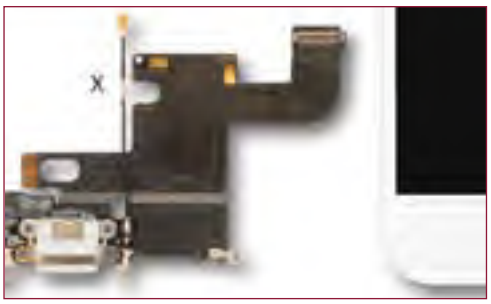
يخاف الناس كثيرًا من الأشياء التي لا يستطيعون رؤيتها. وكثير من الناس ترهبهم كلمة «الإشعاع». ومن الناحية الفنية، يعني الإشعاع أي شكل من أشكال الطاقة التي تنتقل في الفضاء. والجزء غير الضارّ من ضوء الشمس هو شكل من أشكال الإشعاع، وكذلك الموجات الصوتية. وهناك أنواع معيَّنة فقط من الإشعاعات، تكون إشعاعات ضارّة. ترجع خطورة ذلك إلى مجالين رئيسين، هما: الطاقة و«الرنين» Resonance.

يوضّح **الشكل 5-15** تأثير الإشعاع المؤين في الذرّات. فالإشعاع المؤيّن خطير؛ لأن الطاقة قد تُحدث تغييرًا في الجُزيئات، بما في ذلك الشفرة الوراثية للحمض النووي داخل كل خلية. ومع ذلك، تشكِّل أمواج الميكروويف أيضًا خطرًا على الإنسان إذا تعرّض لها مباشرة. لكنّها تكون آمنة عند استخدامها في طهو الطعام وتسخينه رغم أن طاقتها أقل من طاقة الضوء المرئي.



الشكل 5-15 تأثير تأيّن الإشعاعات في الذرّات.

يشير **الرنين Resonance** إلى قدرة جسم ما على امتصاص الطاقة من ذبذبات تردُّد معين. وقد صُمّم الهوائيّ الخاص في الهاتف الخلوي خصّيصًا لامتصاص طاقة موجات الميكروويف القصيرة في حالة الرنين مع الموجات التي تصدرها أبراج الهواتف المحمولة (**الشكل 5-16**).



الشكل 5-16 هوائي الهاتف المحمول «X».

موجات الميكروويف ذات التردُّد (2.45×10^9) 2.45 GHz هي في حالة الرنين بالتوافق مع تردّد الاهتزاز الطبيعي لجُزيئات الماء. يعمل كل جُزيء مائي عمل هوائي لموجات الميكروويف. وتؤدّي الطاقة الممتصّة إلى دوران كل جُزيء استجابة للقوة الكهرومغناطيسية. ويُنتِج هذا الدوران حرارة بفاعلية كبيرة. وتسخن المياه عندما تتعرَّض لموجات الميكروويف ذات التردُّد الصحيح. وإذا كان الماء موجودًا في أنسجة حيّة، فإن الأنسجة الحيّة تسخن أيضًا، ويمكن أن تُطهى بسهولة. تمتلك موجات الميكروويف طاقة ضعيفة، لكن الرنين مع جُزيئات الماء يحوّل الطاقة إلى درجة حرارة مرتفعة جدًّا، وهذا يجعل المستويات العالية من موجات الميكروويف خطيرة. تستخدم الهواتف المحمولة مستويات منخفضة، إلى حدّ بعيد، من موجات الميكروويف التي تُعدُّ آمنة إلى حدّ ما.

تقويم الدرس 5-1

1. أيّ مما يأتي ليس من خصائص الضوء؟
   a. يسير الضوء في خطوط مستقيمة.
   b. يسير الضوء بسرعته العالية 3×10^{10} m/s.
   c. للضوء طاقات مختلفة باختلاف ألوانه.
   d. موجات الضوء إلكترونات متحرِّكة تتذبذب أثناء حركتها.

2. استخدم المعادلة: السرعة = التردد × الطول الموجي، لحساب تردّد أشعّة الضوء بطول موجي يبلغ 720 nm (720×10^{-9}m).

3. باستخدام المعادلة: الطاقة = ثابت بلانك × التردد، احسب طاقة موجة تردّدها 4.72×10^{14} Hz.

4. أي من أنواع الضوء الآتية هي الأعلى طاقة؟
   a. الأشعّة السينية.
   b. الأشعّة ما تحت الحمراء.
   c. الأشعّة فوق البنفسجية.
   d. موجات الميكروويف.

5. لماذا نعتبر بعض أشكال الطاقة الكهرومغناطيسية غير آمنة؟
   a. لأن طاقتها أكبر من طاقة موجات الميكروويف.
   b. لأن معظمها يُنتَج بأبراج إرسال الراديو.
   c. لأنها تملك طاقة كافية لفصل الإلكترون عن ذرّته.
   d. لأنها تسير بسرعة الضوء؛ وبالتالي لديها طاقة عالية.

6. صف تشابه الأشعّة السينية مع الظل.

7. رتّب أجزاء الطيف الكهرومغناطيسي من التردد الأقصر الى التردد الأكبر.

الدّرس 2-5
الطّب الإشعاعيّ
Radiology

اعتقد الناس، منذ آلاف السنين، بوجود أجسام تحتوي على قوّة غير مرئيّة، يمكن أن تشفي الأمراض جميعها. ولا يزال كثيرون يعتقدون أنّ البلوّرات والمغانط تحتوي على طاقة شفائيّة. وعندما اكتُشِفَ النشاط الإشعاعيّ، اعتقد الناس بوجود قوى شفائيّة فيه، وشربوا ماء بجرعات من الرّاديوم. كانت الأشعَّة السينيَّة شكلًا من أشكال التسلية، إذ سمح الناس بتمرير مختلف أنواع التيّارات الكهربائيّة عبر أجسامهم. وكان المرضى يلجأون إلى أي شخص معالِج. لذا كان هناك على الدوام مشعوذِون مستعدّون لسلبهم أموالهم.

لحسن الحظ، هناك فرع من العلوم يُدرِّس طلّابه استخدامات الطاقة الكهرومغناطيسيّة في خلال اتباع طرائق موثوقة لمكافحة بعض الأمراض القاتلة الشائعة. يدرس أولئك الطلاب الطبّ الإشعاعيّ. سنستكشف في هذا الدرس بعض تقنيات ذلك الطبّ الرائعة المُستخدَمَة في يومنا هذا.

المفردات

التنظير التألُّقيّ (التصوير الفلوروسكوبيّ) Fluoroscopy	
التصوير المقطعيّ المُحوسَب Computed tomography	
التصوير بالرنين المغناطيسيّ Magnetic resonance imaging	
العلاج الإشعاعيّ المطابق الثلاثيّ الأبعاد 3D-CRT	
Gamma knife	سكّين جاما
Radiotherapy	العلاج بالأشعَّة
العلاج باليود المشعّ Radioactive iodine therapy	
العلاج الإشعاعيّ الموضعيّ Brachytherapy	
كاميرا الأشعَّة تحت الحمراء الحراريّة Infrared thermographic camera	
LASIK	ليزك

مخرجات التّعلُّم

GP1101.3 يصف عددًا من استخدامات الموجات الكهرومغناطيسيّة للتشخيص الطبّي، بما في ذلك التصوير بالأشعَّة السينيَّة، ومصادرها داخل الجسم، ويناقش فوائد استخدام هذه التقنيات للتشخيص وأخطارها.

GP1101.4 يصف عددًا من استخدامات الموجات الكهرومغناطيسيّة للعلاج الطبّي، بما في ذلك جراحة العين بالليزر، وعلاج حَبِّ الشباب الشديد بالأشعَّة فوق البنفسجيّة، وعلاج السرطان بالأشعَّة السينيَّة، ويناقش فوائد استخدام هذه العلاجات وأخطارها.

الأشعَّة السينيَّة والتصوير المقطعيّ المُحوسَب

التصوير الطبّي مهمّ جدًّا في الطّب الحديث. والقدرة على رؤية داخل الجسم من دون جراحة، تمثّل أساس ذلك الطبّ. فكلّما كانت المعلومات التي يمتلكها الأطباء أفضل، كان التشخيص أكثر دقّة، وكانت فرصة الشفاء أكبر. وتمثّل الأشعَّة السينيَّة التصوير الطبّي الأوّل والأكثر انتشارًا.

الشكل 5-17 صورة أشعَّة سينيّة لسمكة.

يجري التصوير بالأشعَّة السينيَّة اليوم بالطريقة نفسها التي التقط فيها رونتجن أوّل صورة سنة 1895؛ إذ يُوضَع مصدر الأشعَّة السينيَّة على إحدى جهتي الجسم، في حين يُوضَع فيلم تسجيليّ، أو تقنية تصوير على الجهة الأخرى، حيث تُلْتَقَطُ صورة الجسم بينهما (**الشكل 5-17**).

تمتصّ الموادّ المختلفة الطاقة بمستويات مختلفة. وبناء على ذلك، تظهر الصورة الناتجة للعظام، والعضلات، والأعضاء وأشياء أخرى. الأشعَّة السينيَّة هي إشعاعات مؤيّنة. لذلك، يمكن أن تتلف الأنسجة التي تمرّ من خلالها. لكن ما يقلّل الخطر على المريض هو المستويات المنخفضة من الأشعَّة السينيَّة، والاستخدام المحدود لها.

أحيانًا، يشرب المريض، الذي يعاني مشكلات في الجهاز الهضميّ، محلول الباريوم. يكسو الباريوم بطانة الجهاز الهضميّ، فيمنع نفاذ الأشعَّة السّينيَّة، ما يسمح بالحصول على صورة واضحة للجهاز الهضميّ، ويسهّل على الطبيب تشخيص المشكلات. يمكن استخدام حاصرات أخرى للأشعَّة السّينيَّة، تشبه الباريوم، لفحص أجزاء مختلفة من الجسم، مثل مجرى الدم.

التنظير التألُّقيّ (التصوير الفلوروسكوبيّ) **Fluoroscopy** هو صور أشعَّة سينيّة مباشرة، وفيه تُعرَض صورة فوريّة للجسم. يمكن استخدام تقنيّة التصوير تلك لمشاهدة كيفية مرور الباريوم المُتناوَل، أو صبغة حقنة الأشعَّة السينيَّة، عبر الجسم. ويمكن استخدامه عند إدخال دعامات في الوعاء الدمويّ لتوسيعه. تشكّل تلك التقنيّة خطورة جرّاء تسبّبها بتلف الأنسجة، إذا استمرّ التعرّض للإشعاع المؤيّن.

الشكل 5-18 التصوير المقطعيّ المُحوسَب.

التصوير المقطعيّ المُحوسَب Computed tomography CT، تصوير حاسوبيّ بالأشعَّة السينيَّة، تدور فيه حزمة رفيعة جدًّا من الأشعَّة السينيَّة حول الجسم. ويعمل الحاسوب على عرض الصوَر بشكل شرائح. وفي أثناء عمليَّة التصوير، يتحرّك الجسم ببطء في الجهاز (**الشكل 5-18**). وتظهر النتيجة النهائيّة على شكل نموذج ثلاثيّ الأبعاد للجسم.

التصوير بالرنين المغناطيسي

جهاز التصوير بالرنين المغناطيسيّ Magnetic resonance imaging MRI (**الشكل 5-19**) هو الجهاز الأكثر أمانًا، لأنّه لا يستخدم الإشعاع المؤيّن، ويمثِّل استخدامًا ذكيًّا لمغانط قويّة جدًّا.

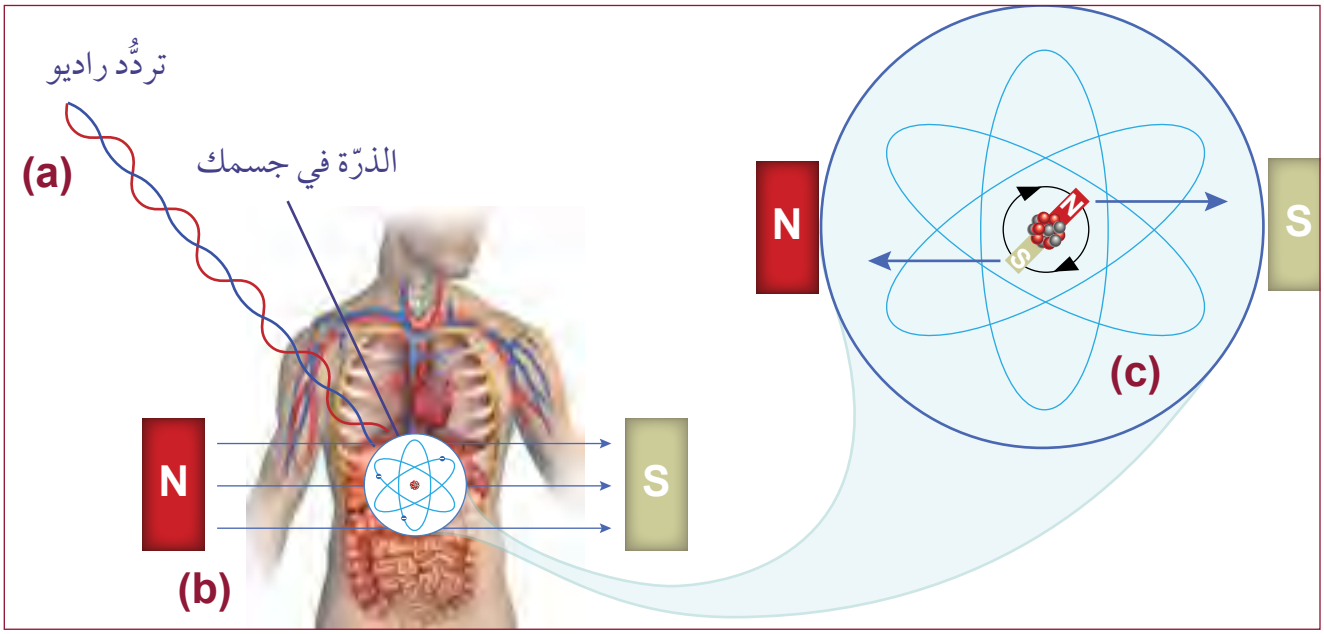
الشكل 5-19 جهاز التصوير بالرنين المغناطيسيّ والترسيم.

جهاز MRI أداة معقَّدة جدًّا تستخدم الخصائص الفريدة للذرّات الفردية داخل الجسم.

a. تُرسَل موجة راديو إلى داخل الجسم لتحدث رنينًا مع ذرّات معيّنة كالهيدروجين أو الأكسجين.

b. يوضع الجسم في مجال مغناطيسي قوي. هذا المجال المغناطيسي مهم لتفاعله مع المغانط الدقيقة المتشكِّلة من نواة كل ذرّة في الجسم. فتتولّد قوة مغناطيسية تؤثر في كل ذرّة من ذرّات الجسم.

c. لدى تعرُّضها لموجة الراديو تتأرجح النواة ذهابًا وإيابًا للاصطفاف متوازية أو معاكسة للمجال المغناطيسي الخارجي. وتتأرجح ذرّات العناصر المختلفة ذهابًا وإيابًا بتردُّدات مختلفة. يستجيب جهاز MRI للتردُّدات المختلفة محدِّدًا خريطة للأنواع المختلفة من الذرّات لتشكيل صورة.



الشكل 5-20 كيف يعمل جهاز MRI؟

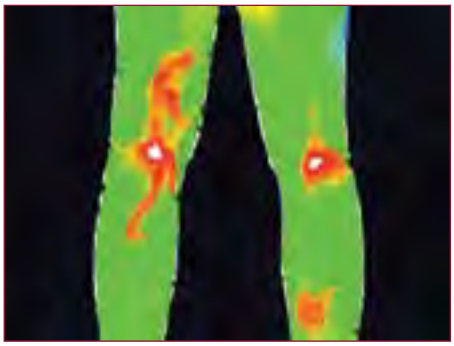
التصوير الحراريّ

الشكل 5-21 كاميرا الأشعَّة تحت الحمراء الحراريّة IRT.

ترتفع درجة حرارة محرّك السيّارة، وتكون بعض الأجزاء ذات درجة حرارة أكثر ارتفاعًا. وإذا كان هناك شيء غير طبيعيّ، فقد تكون درجة الحرارة أعلى من المُعتاد. ولكي تُكْتَشَفَ المشكلات قبل أن تزداد سوءًا، يستخدم الميكانيكيون كاميرا **الأشعَّة تحت الحمراء الحراريّة IRT, Infrared thermographic camera** (**الشكل 5-21**) لمعرفة أيّ خلل في توزيع حرارة المحرّك.

قد يصبح جسمك أيضًا أكثر سخونة. ذلك أن الأوعية الدمويّة الصغيرة تحمل الدم طوال الوقت عبر جسمك. ويمكن بسهولة قياس درجة حرارة تلك الأوعية الدموية عن طريق الجلد. يقوم جهاز الأشعَّة تحت الحمراء الحراريّة بتخطيط موجات الأشعَّة تحت الحمراء، ويحوّلها إلى قيم كهربائيّة، يمكن تمثيلها بألوان مختلفة على الشاشة.

يتأثّر إمداد الأوعية الدمويّة الصغيرة بالدم، بعدد من المتغيّرات، منها الالتهابات، والعدوى، والرضوض، وعدم التوازن الهرمونيّ، وبعض الالتهابات الجلديّة لمرض تنجرو. وجدير بالذكر أن مرض تنجرو عدوى تسبّبها براغيث صغيرة جدًّا، تعضّ الجلد وتحفر فيه عميقًا لتتغذّى على الأوعية الدمويّة. وباستخدام الأشعَّة تحت الحمراء الحراريّة، يمكن كشف تلك العدوى قبل ظهور الأعراض الأخرى. تُستخدَم الأشعَّة تحت الحمراء الحراريّة في المطارات لكشف الحمّى عند الخوف من انتشار مرض ما.



الشكل 5-22 صورة أشعَّة تحت الحمراء لالتهاب المفاصل.

تعدّ كاميرا الأشعَّة تحت الحمراء الحراريّة تقنيّة غير جراحية تستخدم إشعاعًا غير مؤيّن. ويمكن عبر استخدامها بانتظام، وحتّى في المنزل، مراقبة وضع الإصابة أو الالتهاب في المفاصل. وكما هي الحال مع ميكانيكيّ السيّارات، يمكن أن يؤدّي كشف البقع الساخنة (**الشكل 5-22**) في وقت مبكر، إلى اتّخاذ التدابير العلاجيّة قبل أن يتحوّل الالتهاب إلى مشكلة جديّة.

بمقدور المدرّبين الرياضيّين استخدام الأشعَّة تحت الحمراء الحراريّة لمراقبة أداء العضلات والمفاصل في أثناء التمرين الرياضيّ مباشرة. من الناحية النظريّة، يسمح لهم ذلك بدفع الرياضيّ إلى بذل أقصى طاقته من دون التسبّب بإصابته.

وعلى أرض الملعب، تمثّل كاميرا الأشعَّة تحت الحمراء الحراريّة واحدة من تقنيّات التشخيص المُبكر التي تُستخدَم لتقدير شدّة الإصابة في أثناء المباراة؛ حيث يمكن بها التفريق بين كدمة عضليّة أو شيء آخر أكثر خطورة. لذا أصبحت هذه التقنيّة واحدة من قياسات حيويّة كثيرة في مجال الطبّ الرياضيّ.

المخاطر والفوائد

تنطوي خيارات كثيرة في الحياة على مخاطر وفوائد في الوقت نفسه. فمن مخاطر قيادة السيارة، مثلًا، احتمال وقوع حادث. ومن فوائدها أنها توصلك إلى المكان الذي تقصده بسرعة. وتنطوي الإجراءات الطبية أيضًا على مخاطر وفوائد. يندرج تحت مخاطرها أن الإجراء نفسه قد يكون مؤذيًا لك. أما فوائدها فإن الإجراء يساعدك لتصبح أفضل. وحين تتخذ قرارات حكيمة حول الفحوص الطبية والعلاجات، فإن ذلك يعني فهمنا لمخاطر تلك الأعمال وفوائدها. وفيما يأتي مقدمة مختصرة:

يُعدُّ السرطان الخطر الأكثر ارتباطًا بالإشعاعات. أسباب السرطان معقدة ولكنها تتضمّن تلف المادة الوراثية التي يلحقها الشعاع المتأين كالأشعّة السينية. فكلما زادت كمّية الأشعّة التي تتعرّض لها، ازدادت المخاطر. غير أن التعرُّض للإشعاع من مصدر واحد يكون ذا خطورة منخفضة. أما الماسح الضوئي المحوسب فمخاطره أكبر، لاحتوائه على العديد من مراكز الأشعّة السينية في جهاز واحد.

	المخاطر	الفوائد
الأشعة السينيّة والتصوير المقطعي المحوسب	يتعرّض الفرد في المتوسّط إلى 3 mS (millisevert) في السنة من الإشعاعات الخلفية من البيئة المحيطة. تزوِّدنا الأشعّة السينية بـ 0.1 mS وتزودنا CT scan بـ 10 mS أي ما يعادل 3 سنوات من التعرُّض لإشعاعات البيئة الخلفية.	قبل الأشعّة السينية، كان على الأطباء إجراء جراحة لتشخيص الإصابات. تسمح الأشعّة السينية للأطباء أن يروا العظم المكسور أو الأنسجة الممزقة؛ وأن يكونوا أكثر فاعلية لشفاء المريض. أضف إلى ذلك أن العديد من الإصابات التي كانت مميتة في الماضي، أصبحت معالجتها روتينية.
التصوير بالرنين المغناطيسي	تستخدم فيه الإشعاعات غير المؤيَّنة، ولا يسبِّب تشوّهات جينية كامنة. ولكن قوة الحقل المغناطيسي المستخدم تمنع الأشخاص ذوي الأعضاء المعدنية في أجسادهم من استعمال هذه التقنية.	التصوير بالرنين المغناطيسي أفضل لرؤية الأنسجة اللينة مقارنة بالأشعّة السينية. وتكون الإصابات الرياضية، كتمزُّق الأربطة أو العضلات غير المرئية بالأشعّة السينية، أكثر وضوحًا من خلال التصوير بالرنين المغناطيسي.
الموجات فوق الصوتية	إذا كانت شدَّتها كبيرة جدا تسبب تلفًا في الانسجة.	تستشعر الموجات فوق الصوتية الفروق في الكثافة، كالماء في أنسجة الرئة، أو الجنين في الرحم.
التصوير الحراري	لا ينطوي التقاط الصور بالأشعّة ما تحت الحمراء على أي مخاطر تستهدف الصحة؛ ذلك أن الأشعّة ما تحت الحمراء تنبعث من الجسم بطبيعته.	يكون الاستخدام الأفضل للأشعّة ما تحت الحمراء في رؤية الإصابات القريبة من السطح، ولكنها تكون عديمة الفائدة في رؤية الإصابات العميقة.

استهداف الورم

الشكل 5-23 استهداف لحجم الورم بعناية وشكله وموقعه.

يمكن لاستهداف الورم تحديدًا بالعلاج الإشعاعيّ أنْ يحدّ من تضرُّر الخلايا السليمة. وتمثّل المعرفة الدقيقة لمكان الورم مفتاح الاستهداف الدقيق. وكلّما كانت الصورة أفضل، كان الاستهداف أفضل (**الشكل 5-23**). يتأثر الاستهداف بحجم الورم، وشكله، وكثافته، بالتّرافق مع الأنسجة القريبة.

عند مرور حزمة من الأشعَّة السينيَّة أو أشعَّة جاما عبر الجسم، قد تتلف الأنسجة السّليمة. كما أنَّ حزمة الأشعّة المركّزة القوية بما يكفي لتدمير الورم، سوف تسبِّب أضرارًا جسيمة للشخص، وهذه هي المشكلة الدائمة التي تنجم عن الإشعاع.

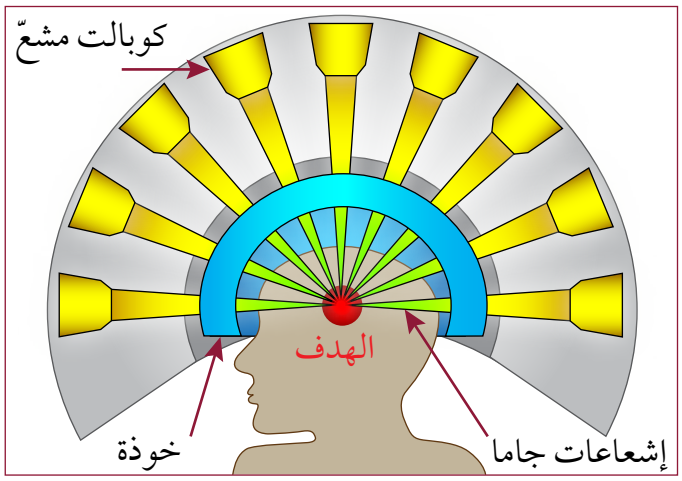
أحد الحلول هو العلاجُ الإشعاعيّ المُطابق الثلاثيّ الأبعاد (3D-CRT). ذلك أن استخدام صورة دقيقة من التصوير المقطعيّ المُحوسَب، أو التصوير بالرنين المغناطيسيّ، يمكّن حزمة الإشعاع من التوجّه بدقّة نحو الورم. وهذا يسمح باستخدام شعاع أقوى، ويقلّل إلى أدنى حدّ من وصول أيّ إشعاع إلى الأنسجة المحيطة. ويجري إنشاء حجاب مُتحكَّم فيه حاسوبيًّا لاعتراض أجزاء من الحزمة.

يمكن أن يستهدف سكّين جاما الورم من دون جراحة.

تتمثّل تقنيّة أخرى في استخدام حُزَم إشعاع منخفضة الطاقة، تستهدف الورم من زوايا عدّة مختلفة. وبناء على ذلك، تتعرّض الأنسجة السليمة لجرعات منخفضة من الإشعاع، في حين يتعرّض الورم المُسْتَهْدَفُ للإشعاعات جميعها، فتكون الجرعة أكبر تأثيرًا.

سكّين جاما Gamma knife (الشكل 5-24)

أداة جراحيّة تستخدم العديد من جرعات أشعَّة جاما المنخفضة الجرعة المحيطة بالمنطقة المُستهدَفة. يسمح الحرص في التصوير ورسم الخرائط للأطبّاء بوضع المريض والمعدّات بدقّة. وتسمح تلك العملية غير الجراحية بإزالة الأورام التي يتعذّر الوصول إليها، وتمنح المرضى أملًا جديدًا.

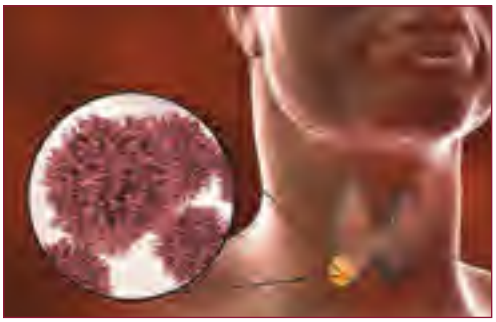


الشكل 5-24 مخطّط سكّين جاما.

الطبّ النوويّ

توصّل العلماء، على مرّ السنين، إلى طرائق عدّة لجعل **العلاج الإشعاعيّ Radiotherapy** أكثر جودة ودقّة. لكن من حيث المبدأ، لا يزال العلاج هو نفسه: جرعة عالية من الإشعاع تستهدف الورم. وعلى الرغم من أنّ هناك أنواعًا كثيرة من العلاج الإشعاعيّ، إلا أنّه يُعطَى على نطاق واسع بطريقتين: من خارج الجسم (العلاج الإشعاعيّ الخارجيّ)، أو من داخله (العلاج الإشعاعيّ الداخليّ). وتحدّد متغيّرات عدّة النوع المُستخدَم منهما، بينها نوع الورم، ومكان وجوده في الجسم.

العلاج باليود المشعّ Therapy iodine radioactive، هو علاج إشعاعيّ داخليّ، فاعل جدًّا لمرضى سرطان الغدَّة الدرقيّة (**الشكل 5-25**). يُعْطَى اليود المشعّ على شكل شراب أو أقراص، وينتقل سريعًا عبر الجسم إلى الغدَّة الدرقيّة. إنّه يقتل الخلايا السرطانيّة، لكنّه غير مضرّ بالخلايا السليمة. لذلك فإنه يترك آثارًا جانبيّة قليلة.

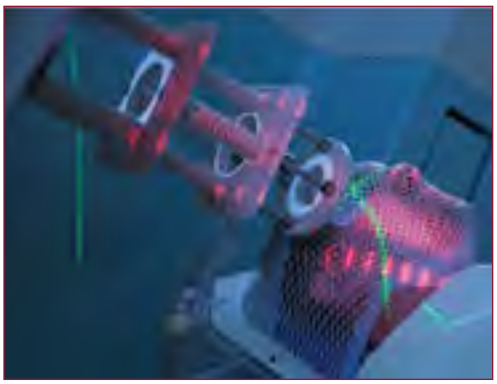


الشكل 5-25 سرطان الغدَّة الدرقيّة.

يُسمّى هذا العلاجُ العلاج الإشعاعيّ السائل، وهو أحد نوعين رئيسين من العلاج الإشعاعيّ الداخليّ. أمّا النَّوع الآخر، فيُسمّى **العلاج الإشعاعيّ الموضعيّ Brachytherapy**، الذي يتضمّن وضع غرسة مشعّة بجوار الورم، مثل كريّات معدنيّة صغيرة أو أسلاك، تطلق أشعَّة جاما وأشعَّة سينيّة، وتوضع تجاه الورم، ويمكنها أن تدمّر خلاياه بفاعلية. ويمكن تشكيل الغرسة وتغطيتها لمنع أيّ إشعاع شارد من التأثير في الأنسجة المحيطة. ويمكن إزالة الجهاز جراحيًّا بعد انتهاء دورة العلاج.

وعلى الرغم من أنّ العلاج الإشعاعيّ الداخليّ يعمل على نحو جيّد مع بعض أنواع السرطان، إلّا أنّ العلاج الإشعاعيّ الخارجيّ هو النوع الأكثر انتشارًا. تُستخدَم أنواع مختلفة من الإشعاع، لكنّ الأنواع الأكثر استخدامًا، هي الأشعَّة السينيَّة، وأشعَّة جاما.

ثمة أنواع نادرة من السرطان، تُستخدَم في علاجها النيوترونات لتدمير الخلايا السرطانيّة. تُقْذَفُ الجُسيمات نحو الورم في حزم منبعثة من آلة متطوّرة جدًّا تُسمّى السيكلوترون. يمكن تركيز الطاقة على الورم وحده (**الشكل 5-26**) لِتُحْدِثَ تلفًا في الخلايا السَّرطانية يفوق ما تحدِثه كلّ من أشعَّة جاما والأشعَّة السّينيَّة. تتوافر هذه التكنولوجيا في عدد قليل من المستشفيات. لذا يضطرّ المَرضى في كثير من الأحيان إلى السفر خارج البلاد للعلاج.



الشكل 5-26 العلاج النيوترونيّ. الضوء الأحمر لأغراض التخطيط.

الليزر

الليزر نوع خاص من المصابيح الكهربائيّة. تدخل الطاقة عادةً إلى المصباح، فتسبّب توهج الغاز أو إضاءة الفتيلة بفعل الذرّات المفردة في المصباح. تكون الذرّات في الليزر مصمّمة كي تعمل معًا، لإصدار ضَوء على نحو متّسق. وهذا مصدر يُنتِج ضوءًا أقوى كثيرًا، يكون عادة في تردُّد واحد ولون واحد. يُرَكَّزُ هذا الضَّوء في شعاع دقيق جدًّا، يمكن أن ينتقل إلى مسافات طويلة (**الشكل 5-27**). وتستفيد جراحة الليزر في عملها من قوّة الشعاع ولونه.

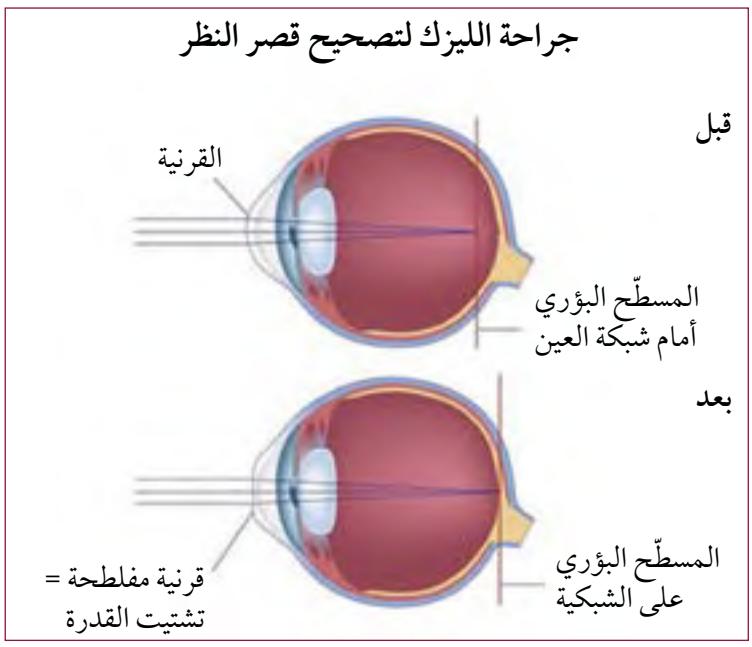
الشكل 5-27 أشعَّة اللّيزر.

وقد استفادت جراحة العيون بالليزر من حقيقة أنّ الضَّوء ينفذ من خلال الأجزاء الشفّافة من العين، من دون أن يفقد كثيرًا من طاقته. وهي تُستخدَم لِكَيِّ الأوعية الدمويّة التي تنزف في مؤخّرة العين، أو لحرقها (**الشكل 5-28**).

الشكل 5-28 كَيُّ أوعية دمويّة في العين.

من أحدث تقنيات استخدام الليرز في جراحة العيون استخدامه في تصحيح تحدب القرنية لتحسين الرؤية. تقوم العدسة أو القرنيّة بدور رئيس في حدوث الرؤية، إذ ينحني الضوء عند المرور فيهما، حيث تتشكّل صورة على الجزء الخلفيّ من العين، أو شبكيّة العين. مع مرور الوقت، أو بفعل الوراثة، يخفق شكل القرنيّة في تكوين صورة واضحة. وتعمل النظّارات التصحيحيّة، أو العدسات اللاصقة، على تغيير مسار الضَّوء، لتعويض التغيُّر في شكل القرنيّة، كي تصبح الرؤية واضحة.

يُستخدَم الليزر لتغيير شكل القرنيّة، بما يُسمَّى **جراحة الليزك LASIK** (**الشكل 5-29**). يفصل الجرّاح طبقة رقيقة من سطح القرنيّة، وتُثْنَى إلى الأعلى. ويحسب بدقّة نمط الحروق لنسيج القرنيّة الداخليّ، بما يؤدّي إلى تغيير شكلها. يمكن لليزر إجراء هذه التعديلات الدقيقة من دون إلحاق ضرر بالأنسجة المحيطة. تُعادُ الطبقة الرقيقة إلى مكانها. وبعد مدّة وجيزة من الشفاء، تستعيد الرؤية وضوحها.



الشكل 5-29 تصحيح رؤية العين – جراحة الليزك لعلاج قِصَرِ النَّظر.

علاجات الأشعَّة فوق البنفسجيّة

يحتوي جلدك على ثقوب صغيرة تُسمّى المسامات، يكوّن كلّ منها زيتًا في غدّة صغيرة، وهو ضروريّ لسلامة الجلد. ويحتوي جلدك أيضًا على البكتيريا *Propionibacterium acnes*. وإذا حدث انسداد للمسامّ بسبب الأوساخ أو الجلد الميت، تعبر البكتيريا إلى الداخل، لتكوِّن نتوءات تُسمّى حَبّ الشباب.

استُخْدِمَ ضَوء الأشعَّة فوق البنفسجيّة في علاج حَبِّ الشَّباب؛ إذ يمكن لتلك الأشعّة أن تقضي على البكتيريا، وتحفِّز الجسم على إفراز البورفرين الذي يقضي على البكتيريا. يستطيع الضوء أيضًا أن يسبّب تقلّص المسامات، ما يحدّ من فرص الإصابة بالبكتيريا. يساعد ضَوء الأشعَّة فوق البنفسجيّة أيضًا على الحدّ من تورُّم حَبِّ الشَّباب وإثارته، والندب اللّاحقة. لكنّ ضَوء الأشعَّة فوق البنفسجيّة، لسوء الحظ، إشعاع مؤيّن، قد يسبّب سرطان الجلد. لذا لم يعد أطبّاء الأمراض الجلديّة يستخدمون الأشعَّة فوق البنفسجيّة لعلاج حَبِّ الشَّباب.

قد يسبِّب ضَوء الأشعَّة فوق البنفسجيّة سرطان الجلد.

أثبتَ العلاجُ بالضَّوء الأزرق، لدى استخدام مصادر ضَوء LED 409-419 nm بسطوع $40mW/cm^2$، فاعليّةً علاجية في الحدّ من حَبِّ الشَّباب. ذلك أن استخدام أقنعة الوجه المُدارَة ذاتيًّا في اختبارات التعمية (blind testing)، حيث لم يكن يعرف الباحثون مَنْ كان يستخدم القناع، ومن كان في المجموعة الضابطة، قد مكّن إحصائيًّا من قياس تحسّن كبير في حالة الجلد بعد أربعة أسابيع من العلاج. ومكّن من قياس التحسّن المستمرّ بعد ثلاثة أشهر من الاختبارات.

لا تنبعث من أضواء LED أشعَّة فوق بنفسجيّة، بل القليل من ضَوء غير مؤيّن طويل الموجة. يعدّ ضَوء LED الأزرق آمنًا، يتم حماية العينين أثناء العلاج بسبب الأضواء الساطعة المحيطة، وليس خوفًا من أضرار الأشعة البنفسجية.

تدعم بعض البحوث استخدام أضواء LEDs الحمراء لتعزيز سلامة الجلد، وتحفيز إنتاج الكولاجين للحدّ من التجاعيد. وربطت أطوال موجيّة أخرى بتطبيقات عرضيّة، لكنّ البحوث أضعف كثيرًا من أن تدعم هذه الادّعاءات (**الشكل 5-30**).

الشكل 5-30 قناع ضَوء LED بخلفيّة متعدّدة الألوان.

نشاط عمليّ

2-5 استخدام الطاقة الكهرومغناطيسيّة

من خلال العمل في مجموعات صغيرة، ابحث في المناطق المختلفة للطيف الكهرومغناطيسيّ، واعمل على إعداد كتيِّب عنها، أو اعرض استخداماتها في الطبّ، وما يرتبط بها من أخطار.

الإشعاع	نطاق التردُّد	الاستخدامات	الأخطار
الأشعَّة تحت الحمراء			
الضَّوء المرئيّ			
الأشعَّة فوق البنفسجيّة			
الأشعَّة السينيَّة			
أشعَّة جاما			

حدّد كلّ نطاق من الطيف على خطّ، مع وضع الضَّوء المرئيّ في الوسط.

تقويم الدرس 5-2

1. أيّ من الأدوات التشخيصيّة تستخدم الإشعاعَ المؤيّنَ؟
   a. التصوير المقطعيّ المُحوسَب.
   b. التصوير بالرنين المغناطيسيّ.
   c. الموجات فوق الصوتيّة.
   d. الأشعَّة تحت الحمراء الحراريّة.

2. ماذا تعني M في MRI؟
   a. Medical
   b. Molecular
   c. Magnetic
   d. Maintain

3. أيّ نوع من الضوء لم يظهر أنّ له تأثيرات مفيدة في الجلد؟
   a. الأشعّة فوق البنفسجيّة.
   b. الأزرق
   c. الأخضر
   d. الأحمر

4. لماذا لم يعد ضَوء الأشعّة فوق البنفسجيّة يُستخدَم في علاج حَبِّ الشّباب؟

5. لماذا يُعدُّ مهمًّا أن يكون لديك بيانات هدف دقيقة عن الورم، قبل تعريضه للعلاج الإشعاعيّ؟

6. كيف يصحّح الليزر الرؤية في العين؟

7. صِفْ تقنيّة تصوير قد تُطَوَّر في المستقبل. ما الخصائص التي ستتّصف بها التكنولوجيا؟ وما نوع الصور التي ستوفّرها؟

8. لماذا يكون نوع الطاقة الكهرومغناطيسيّة الذي يسبر عميقًا في جسم الإنسان، مسبِّبًا ضررًا كبيرًا في الوقت نفسه؟ اشرح ذلك.

الدّرس 5-3
الموجات الميكانيكيّة
Mechanical Waves/Ultrasound

تقتصر الرؤية البشرية على مدى صغير من تردُّدات الضوء تُراوح بين 400 – 700 THz. يغطّي السمع البشري مجموعة واسعة من الترددات 20 – 20,000 Hz. غير أن الأمواج الصوتية نوع مختلف تمامًا من الطاقة؛ فهي تنتمي إلى فئة الموجات الميكانيكية. إذا كنت يومًا ما قد أسقطت حجرًا في بركة ماء، تكون حينها قد شكّلت موجات ميكانيكية.

يمكن لهذه الطاقة الميكانيكية أن تستخدم لرسم خريطة لأعضاء الجسم الداخلية. يمكنها أيضًا أن تُستخدَم لتدمير حصوات الكلى.

الشكل 5-31 التموّجات أمثلة على الموجات الميكانيكية.

مخرجات التّعلُّم

GP1102.1 يوضح أن فحوصات الموجات فوق الصوتية تتم بتحليل أصداء الموجات فوق الصوتية المنبعثة من جهاز إرسال، واستقبالها بواسطة جهاز استقبال لتشكيل صورة للأعضاء والأنسجة داخل جسم الإنسان.

GP1102.2 يصف استخدام الموجات فوق الصوتية في علاج حصوات الكلى.

المفردات

موجات فوق الصوتية	Ultrasound
خارج الجسم	Extracorporeal
تفتيت الحصوات بالصدمات خارج الجسم	ESWL

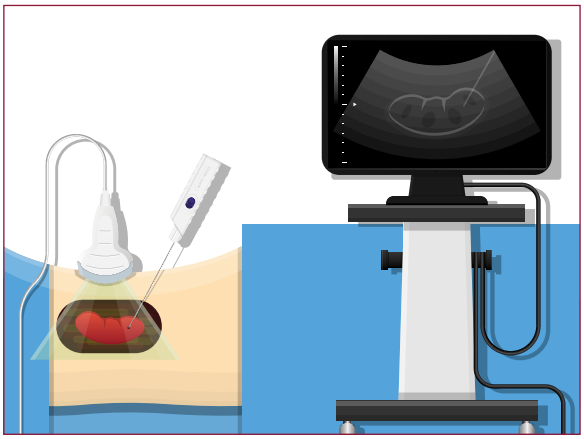
الموجات فوق الصوتية

الشكل 5-32 جهاز الموجات فوق الصوتية.

يستخدم جهاز الموجات فوق الصوتية (**الشكل 5-32**) الترددات العالية، (1-18 MHz) من الموجات الصوتية، للنظر داخل الجسم البشري. ترتد الموجات عند اصطدام الصوت بالحدود الفاصلة بين أنواع الأنسجة المختلفة. وتكون الإشارات المرتدة من العظام والأجسام الصلبة الأخرى أقوى من الإشارات المرتدة من الدم والسوائل الأخرى. وهكذا يكون ممكنًا الكشف عن العضلات والأوتار وعن الأورام والنمو غير العادي. ولمّا كان هذا الإشعاع ليس مؤيّناً، فإن الموجات فوق الصوتية يمكن استخدامها للتحقُّق من تطوُّر الجنين بلا خوف من إيذاء نموُّه أو تطوُّره.

الشكل 5-33 مسبار الموجات فوق الصوتية.

وهناك نوع خاص من البلورات يسمّى **البيزوكهربي Piezoelectric**، يهتز بتردُّد يزيد على 100,000 هرتز، ردًّا على إشارة كهربائية من التردُّد نفسه. وهناك جزء آخر من البلورة البيزوكهربية يستشعر الصدى. تخترق الترددُّات المنخفضة أعماق الأنسجة، وتوفر الترددُّات الأعلى صورًا أكثر تفصيلًا. تتشكَّل حزمة الموجات فوق الصوتية بواسطة عدسة صوتية في مقبض المسبار (**الشكل 5-33**) مصنوعة من مواد تمتصّ الصوت. بينما نحرِّك المسبار على جسم المريض، تُعالج وحدة المعالجة المركزية CPU البيانات، وتُصدِر صورة ثلاثية الأبعاد 3D على الشاشة، وتخزَّن البيانات للمخطَّط فوق الصوتي.



الشكل 5-34 فحص خزعة الكلى تسترشد بالموجات فوق الصوتية.

إذا تم اكتشاف شيء مشبوه عن طريق الموجات فوق الصوتية، يقرّر الطبيب جمع عيّنة للمزيد من الدراسة. هذا الإجراء يسمّى خزعة؛ وهو يتطلّب إجراء عملية جراحية. تعتمد طبيعة الجراحة على موقع النسيج المشتبه به. ومع ذلك، وباستخدام الموجات فوق الصوتية أو الماسح الضوئي(CT scanner) (**الشكل 5-34**)، يعرف الجراح مسبقًا ما يريد رؤيته تحديدًا. ويمكن، في كثير من الحالات، استخدام إبرة حادّة لاستخراج عيّنة صغيرة، كالكشف المُبكر عن السرطان.

الصدى والموجات فوق الصوتية

لم تكن التقنية المذهلة للموجات فوق الصوتية أوّل استخدام للصوت بهدف إنتاج الصور. كانت الدلافين تفعل الشيء نفسه منذ ملايين السنين. فالدولفين «يرى» بأذنيه، وليس بعينيه.

الشكل 5-35 الدلافين.

الصدى هو الكلمة التي نستخدمها لوصف ارتـداد الموجة الميكانيكية، بعد اصطدامها بعائق، وعودتها إلى المرسل. تستخدم الدلافين (**الشكل 5-35**) والحيتان الصدى لتحديد موقع الأشياء في الماء. يُرسَل الصوت، ويتم انتظار الصدى، الأمر الذي يسمح لتلك الحيوانات «بالتواصل» معًا.

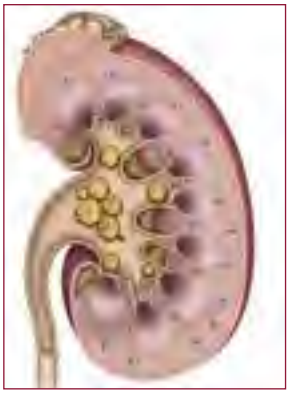
يعمل جهاز الموجات فوق الصوتية بإرسال مئات من الحزم الصوتية الضيّقة، إلى الجسم، وإعادة تركيب صور ارتداداتها. يقيس الجهاز الوقت الفاصل بين انطلاق النبضة الصوتية وتسلُّم صداها المُرتدّ. وبما أن سرعة الصوت معلومة، فإن الجهاز يحسب المسافات لكل ارتداد ويشكِّل الصور. تُستخدَم الموجات فوق الصوتية لكشف إصابات العضلات، وفي تصوير الأجنّة قبل الولادة.

الشكل 5-36 تقنية التصوير بالموجات فوق الصوتية.

محوِّل الموجات فوق الصوتية Transducer هو الجهاز الذي يُرسل الموجات فوق الصوتية ويتسلّمها. بمقدور كثير من المحوِّلات المستخدمة لأغراض طبّية التعامل مع 256 أو 512 مرسلًا منفردًا. يقوم كل مُرسِل بإرسال موجة فوق صوتية، ثم يقوم بالتقاط الصدى المُرتدّ. تتركَّب الصور بإعادة تشكيل الأصداء المختلفة من كل مصدر على حدة.

الموجات فوق الصوتية في الحقيقة «لا ترى»، ولكنها تبني أنماطًا عن حواجز في الجسم مولِّدة الصدى بالانعكاس. تكون صورة الجنين واضحة، لأن الفاصل بين سائل الرحم وجسم الجنين المتطور واضحُ الحدود. يشبه هذا إلى حد بعيد الطريقة، التي تشكِّل فيها الدلافين صورها الذهنية عن أي شيء في المياه المحيطة بها، من الأصداء.

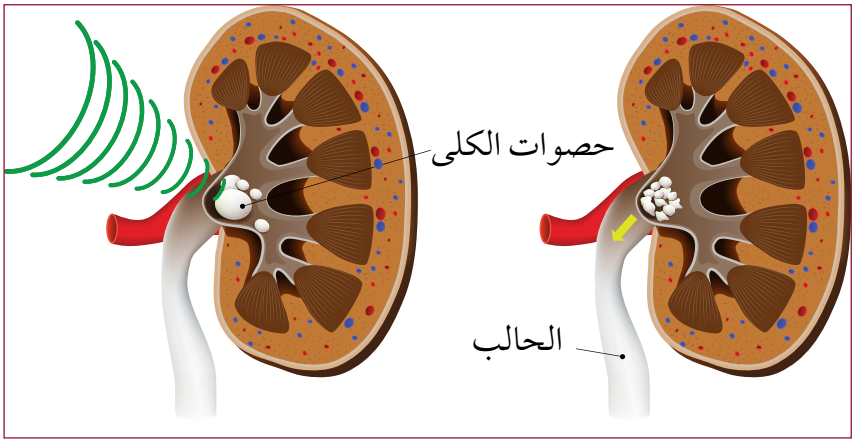
حصوات الكلى والموجات فوق الصوتية



الشكل 5-37 حصوات الكلى.

كليتاك عضوان في جسمك تقومان بتنقية الدم والحفاظ على توازن السوائل في الجسم. تتم إزالة الفضلات من الكليتين بنقلها إلى المثانة. إذا لم تكن تشرب كمية كافية من السوائل، وإذا كنت تتناول الأطعمة التي تحتوي على نسبة عالية من الأكسالات، تتشكّل آنذاك البلّورات الصغيرة والمعادن. هذه المعادن الصلبة المترسِّبة يمكن أن تسدّ الحالب وتسبِّب مشكلات خطرة. وقد تسبِّب قدرًا كبيرًا من الألم، إذا استطاع البول جرفها معه. أما الرواسب المعدنية، فهي ما نعرفه بحصوات الكلى (**الشكل 5-37**).

إذا بدت عليك بعض الأعراض الشائعة، فقد يقوم الطبيب بإجراء كشف الموجات فوق الصوتية أو الأشعّة السينية للبحث عن حصوات الكلى. هناك عدد من الطرق الجراحية لإزالتها؛ ولكن الطريقة الأكثر شيوعًا، هي إجراء غير جراحي، أو اجراء من (خارج الجسم) extracorporeal.



الشكل 5-38 تفتيت الحصوات Lithotripsy باستخدام الموجات الصوتية، وسحق حصوات الكلى إلى قطع صغيرة كي تعبر بسهولة أكبر.

Litho تعني الحصوات، وtripsy تعني سحقها.

تتسبَّب موجات الصوت في تحريك الأجسام الصلبة أو في تناغمها. إذا كانت الموجة الصوتية قوية بما فيه الكفاية، تستطيع عمليًّا تفكيك أجزاء الشيء. يمكن للموجة الصادمة من الموجات فوق الصوتية القوية جدًّا أن تركِّز على حصوات الكلى، وتؤدّي إلى تفتيتها.

تفتيت الحصوات بالصدمات خارج الجسم (ESWL= Extracorporeal Shock Wave Lithotripsy)

هو الطريقة الأكثر شيوعًا للتعامل مع حصوات الكلى (**الشكل 5-38**).

بإجراءات لاتتطلّب النوم في المستشفى، وخلال ساعة من الزمن، يتم استهداف حصوات الكلى بآلاف الموجات الصادمة. وتستخدم الأشعّة السينية لمراقبة تفتيت الحصوات الكبيرة إلى قطع أصغر كثيرًا (**الشكل 5-39**) يمكنها المرور مع البول خارج الجسم. وهنا تصبح أداة التشخيص الأداة الطبّية التي تخفِّف الحالة.

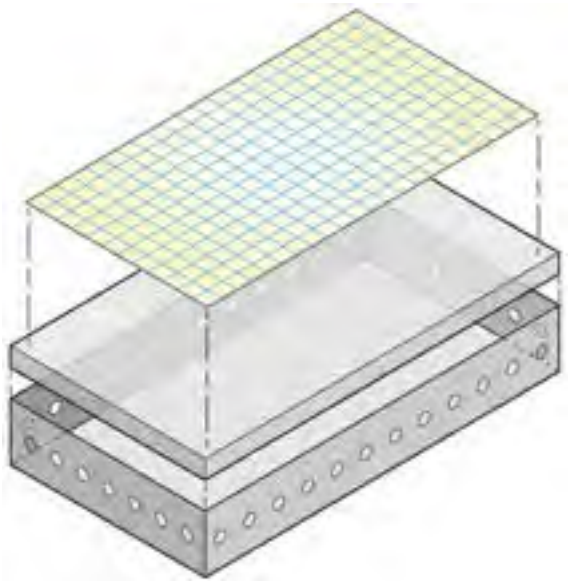
الشكل 5-39 قطع صغيرة.

نشاط

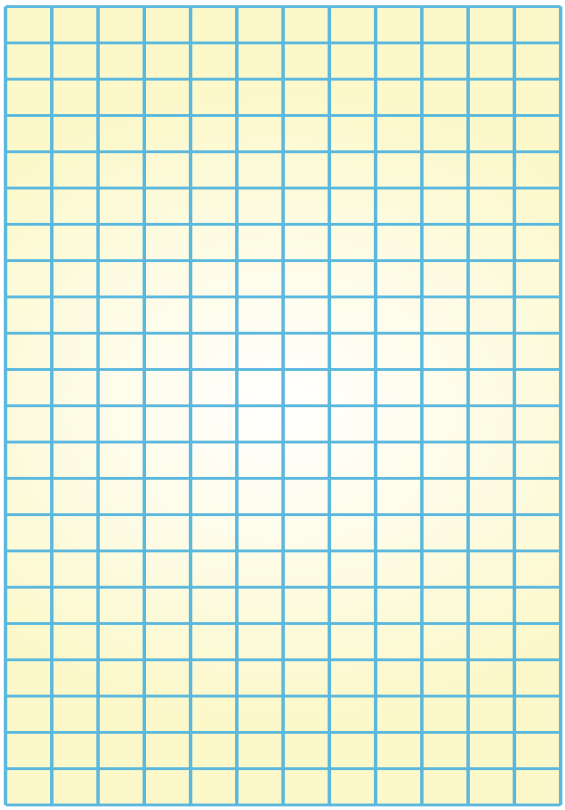
3-5 محاكاة الموجات فوق الصوتية

سؤال الاستقصاء	هل يمكنك تحديد شكل الشيء باستخدام المسافة؟
الموادّ المطلوبة	«صندوق الموجات فوق الصوتية» الخاص، قضبان رفيعة، مسطرة، قلم رصاص، ورق ملِّيمتري.

الخطوات



1. يضع المعلّم شيئًا داخل صندوق الموجات فوق الصوتية. وتكون مهمتك تحديد شكل هذا الشيء.
2. ضع علامات على ورقة الرسم البياني، حيث يمكنك تحديد موقع كل مسبر على طول الأجزاء: العلوي والأيسر والأسفل والأيمن.
3. في كل موقع، أدخل القضيب الرفيع بدقَّة حتى يمس الشيء فقط.
4. سجّل المسافة التي قطعها المسبر للوصول إلى الشيء.
5. انتقل إلى موقع المسبر التالي، وكرِّر الخطوات.
6. انقل البيانات إلى قطعة منفصلة من ورقة الرسم البياني. وضع علامة على المسافة، حيث يتوقّف المسبر.
7. اربط العلامات لتحديد شكل الشيء.



الأسئلة

a. كيف تفسِّر أن كثرة نقاط البيانات تقدِّم صورة أكثر وضوحًا؟

b. أي شيء، إذا استخدمته في هذا النشاط، يعطي الشكل الأكثر صعوبة؟

تقويم الدرس 5-3

1. ما الفرق بين الأشعّة السينية والموجة فوق الصوتية؟
   a. الأشعّة السينية ترى فقط العظام، والموجة فوق الصوتية ترى فقط الأنسجة الناعمة.
   b. الأشعّة السينية أشعّة كهرومغناطيسية، والموجة فوق الصوتية تعطي إشعاعات أكثر.
   c. الأشعّة السينية تعطي إشعاعات أقلّ، والموجة فوق الصوتية تعطي إشعاعات أكثر.
   d. الأشعّة السينية تُجرى في المستشفى، والموجة فوق الصوتية تُجرى في عيادة الطبيب.
2. ما اسم الموجة المنعكسة؟
   a. الصدى
   b. سونار
   c. سونيك
   d. التردُّد
3. ما اسم الحيوانين اللذين يستخدمان الصوت لتشكيل صورة ذهنية لما حولهما؟
   a. الخفافيش والدلافين.
   b. صقور الشاهين والخفافيش.
   c. الدلافين وأفاعي الصحاري.
   d. أفاعي الصحاري وصقور الشاهين.
4. فيم تختلف الموجات فوق الصوتية عن الصوت الذي يمكنك سماعه؟
5. كيف يمكن لأداة أن تحدِّد مسافة الصدى؟
   a. بقياس طاقة الصدى المنعكس.
   b. بقياس وقت الصدى المنعكس.
   c. بقياس الطول الموجي للصدى المنعكس.
   d. بقياس لون الصدى المنعكس.
6. ما المقصود بعبارة: الدلافين «ترى بآذانها»؟
7. كيف تتشكَّل حصوات الكلى؟

العلم والعلماء

الشكل 5-40 أنبوب كروكس مُصدِرًا أشعّة سينية.

عند زيادة تردُّد الضوء متجاوزًا ما فوق البنفسجي، يتحوّل الضوء حينها إلى أشعّة سينية. اكتُشفت الأشعّة السينية بعد أن عمَّ استعمال الكهرباء بقليل. يعمل **أنبوب كروكس Crooke's tube** (**الشكل 5-40**) بتأثير الجهد العالي على تسريع الإلكترونات في أنبوب زجاجي. إضافة إلى الوهج الصادر عن أنبوب كروكس، لاحظ العلماء أن الأفلام الفوتوغرافية المختومة قد تفاعلت مع شيء يبدو أنه صادر عن الأنبوب.

أجرى ويلهلم رونتجن تجارب للكشف عن خصائص الأشعّة الجديدة الغامضة. فأطلق عليها اسم «الأشعّة السينية». كان قد صوّر يد زوجته الموضوعة على لوح الفيلم الفوتوغرافي المختوم. وعرَّضها للأشعّة، مُنتجًا أول صورة أشعّة سينية طبّية. نشر بحثه عام 1895 مستخدمًا «x» إشارة إلى الطاقة الإشعاعية المجهولة.

الشكل 5-41 صورة حديثة للقفص الصدري بالأشعّة السينية.

خلال أشهر، كان العلماء في مختلف أنحاء العالم يصنعون أشعّتهم السينية. غير أن التطبيق في حقل الطب كان تطوُّرًا مهمًّا. فبحلول العام 1896، أجريت أول جراحة باستخدام الأشعّة السينية لتحديد موقع رصاصة داخل جسم جندي. ولا تزال الأشعّة السينية تستخدم اليوم في الطب الحديث. (**الشكل 5-41**).

لم يكن مفهومًا بشكل واضح أن للأشعّة السينية القدرة أيضًا على إتلاف الأنسجة الحية. وكان واحد من نافخي الزجاج لدى توماس أديسون، يقوم عادة بفحص كل أنبوب أشعّة سينية ينتجه على يديه. وقد توفي بالسرطان عام 1905. وغدا ملحًّا بوضوح أن احتياطات إضافية يجب اتخاذها عند استخدامنا للأشعّة السينية. تعرف هذه الأشعّة اليوم بالأشعّة المؤيّنة. وقد أصبحنا نتّخذ إجراءات الحماية، كلما كان علينا استخدام الأشعّة السينية، بما فيها إشارات السلامة من الإشعاع (**الشكل 5-42**).

الشكل 5-42 إشارات السلامة من الإشعاع.

الوحدة 5

مراجعة الوحدة

الدرس 5-1 الطيف الكهرومغناطيسيّ

- ينتقل الضوء في خطوط مستقيمة، ويمكن أن تتغيَّر شدته، وله خصائص الموجات كالتردُّد والطول الموجي.
- الضوء جزء من **الموجات الكهرومغناطيسية Electromagnetic wave**، وهو طاقة إشعاعية تستطيع الانتقال في الفضاء.
- **طول الموجة Wavelength** هو طول دورة واحدة من الموجة، والتردُّد هو عدد المرّات في الثانية التي تتذبذب فيها الموجة.
- **ثابت بلانك Planck's constant** يربط التردُّد والطاقة في الموجات الكهرومغناطيسيّة. والتردُّد الأعلى يعني طاقة أعلى.
- **الإشعاع المؤيّن Ionizing radiation** إشعاع يشمل ما فوق البنفسجي والأشعّة السينية، وهو ذو طاقة أكبر من الطاقة اللازمة لإخراج إلكترون من الذرَّة. يشكِّل التأيُّن خطرًا، فقد يتلف الأنسجة.
- **الرنين Resonance** وسيلة لامتصاص الطاقة من الموجة.

الدرس 5-2 الطبّ الإشعاعيّ

- الأشعَّة السينيَّة الطبّية والتصوير المقطعي المُحَوْسَب يستخدمان **الأشعَّة السينيَّة للتشخيص الطبّي.**
- **التنظير التألُّقيّ** (التصوير الفلوروسكوبيّ) **Fluoroscope**، **والتصوير المقطعيّ المُحَوسَب Computed tomography** طريقتان للتشخيص باستخدام الأشعَّة السينيَّة.
- **التصوير بالرنين المغناطيسيّ Magnetic resonance imaging** تقنية تصوير غير مؤيّنة.
- **العلاج الإشعاعيّ المطابق الثلاثيّ الأبعاد 3D-CRT**، **وسكّين جاما Gamma knife** هما أداتا علاج إشعاع خارجيّ.
- **العلاج الإشعاعيّ Radiotherapy**، بما في ذلك **العلاج باليود المشعّ Radioactive iodine therapy**، **والعلاج الإشعاعيّ الموضعيّ Brachytherapy**، هما أداتا علاج إشعاع داخليّ.
- **كاميرات الأشعَّة تحت الحمراء الحراريّة Infrared thermographic** يمكنها رؤية الحرارة في الجسم.
- تسمح جراحة **الليزك LASIK** لليزر بتشكيل أجزاء من العين.

الدرس 5-3 الموجات الميكانيكيّة

- تستخدم الموجات فوق الصوتية تردُّدات تزيد على 100,000 Hz التي لا تسمعها آذاننا.
- تكوِّن **الموجات فوق الصَّوتيَّة Ultrasounds مخطّط موجات صوتيّة Sonogram** للتراكيب الداخليَّة، من دون الخوف أن تتلف أنسجة الجسم بالأشعّة.
- تسمح الطرائق **خارج الجسم Extracorporeal** بإجراء جراحة من خارجه.
- تُستخدَم الموجات الصوتيَّة الصادمة علاج **ESWL** لتفتيت حَصَوات الكلى.

1. من له الفضل في اكتشاف النشاط الإشعاعيّ؟

a. ماري كوري.
c. هنري بيكريل.
b. توماس أديسون.
d. ويلهلم رونتجن.

2. ماذا تعني كلمة تفتيت الحصوات؟

a. حصوات الكلية.
c. خارج الكلية.
b. حصوات مسحوقة.
d. مسحوقة خارجًا.

3. ما الإشعاع البيئي (إشعاع الخلفية)؟

a. إشعاع من مصادر داخل الأرض.
b. إشعاع من خلف جهاز الأشعّة السينية.
c. إشعاع من مصادر غير مؤيّنة.
d. إشعاع يصلنا من البيئة اليومية.

4. ما المُستهدف من كاميرات الأشعَّة تحت الحمراء الحراريّة؟

a. الحرارة
c. الميكروويف
b. الأشعَّة فوق البنفسجيّة.
d. أشعَّة جاما.

5. ما خاصّية الضوء التي تسمح لجهاز الموجات فوق الصوتية بتكوين الصور؟

a. ينتقل الضوء في خطوط مستقيمة.
b. الضوء إشعاعات كهرومغناطيسية.
c. لا يوجد؛ ذلك أن الموجات فوق الصوتية ليست من أشكال الضوء.
d. ينحني الضوء عند اختراقه العدسات الزجاجية المنحنية.

6. أيّ ممّا يأتي يُستخدَم في جهاز التصوير بالرنين المغناطيسيّ؟

a. الأشعّة السينية، والمغناطيسية.
c. المغناطيسيّة، وموجات الراديو.
b. أشعَّة جاما، والأشعَّة السينيَّة.
d. موجات الراديو، وأشعَّة جاما.

7. أيّ ممّا يأتي ليس علاجًا من خارج الجسم؟

a. العلاج الإشعاعيّ المطابق الثلاثيّ الأبعاد.

b. سكِّين جاما.

c. العلاج الإشعاعيّ الموضعيّ.

d. العلاج النيوترونيّ.

8. ما العبارة الأكثر صحّة عن الأشعّة السينيَّة؟

a. الأشعَّة السِّينيَّة شكل من أشكال الموجات فوق الصوتيَّة العالية التردُّد.

b. صورة الأشعَّة السينيَّة الطبّية هي «ظلّ الأشعَّة السِّينيَّة» للأنسجة.

c. الأشعَّة السينيَّة شكل من أشكال الإشعاع، لأنّ طاقتها منخفضة.

d. تُوَلَّدُ الأشعَّة السينيَّة الطبّية الحديثة عن طريق تحلُّل اليورانيوم المشعّ.

9. أيّ ممّا يأتي يتَّبع الترتيب الصحيح، من الطول الموجيّ الطويل إلى الطول الموجيّ القصير؟

a. جاما، الأشعَّة فوق البنفسجيّة، الراديو، الميكروويف.

b. الراديو، الأشعَّة فوق البنفسجيّة، جاما، الميكروويف.

c. الراديو، الميكروويف، الأشعَّة فوق البنفسجيّة، جاما.

d. الراديو، جاما، الأشعَّة فوق البنفسجيّة، الميكروويف.

10. أيّ ممّا يأتي يُستخدَم في العلاج الإشعاعيّ الموضعيّ؟

a. اليود المشعّ.

b. الغرسات المشعّة.

c. التصوير المقطعيّ المُحَوْسَب.

d. التصوير بالأشعَّة تحت الحمراء الحراريّة.

11. ما طريقة العلاج الأكثر أمانًا للاستخدام؟

a. الأشعَّة السينيَّة.

b. سكِّين جاما.

c. التصوير المقطعيّ المُحَوْسَب.

d. العلاج بالضوء الأزرق.

12. ما الشيئان اللذان يجب معرفتهما لحساب المسافة إلى الهدف، عند استخدام الموجات الصوتيَّة؟

a. وقت الصدى، وشكل الجسم.

b. شكل الجسم، وحجمه.

c. حجم الجسم، وسرعة الصوت في المادَّة.

d. سرعة الصَّوت في المادَّة، ووقت الصدى.

13. أيّ ممّا يأتي لا يستخدم الإشعاع المؤيّن؟

a. الأشعَّة السينيَّة.

b. التنظير التألُّقيّ (التصوير الفلوروسكوبيّ).

c. التصوير المقطعيّ الْمُحَوْسَب.

d. التصوير بالرنين المغناطيسيّ.

الدرس 5-1 الطيف الكهرومغناطيسيّ

14. مَنْ صاحب الفضل في اكتشاف الأشعَّة السينيَّة؟

15. ما المساهمة التي قدّمها أنبوب كروكس في اكتشاف الأشعَّة السينيَّة؟

16. ما هو المرض المرتبط غالبًا بكثرة التعرُّض للأشعّة السينية؟

17. احسب سرعة موجة تردُّدها 440 Hz، وطول موجتها 0.78 m.

18. عرِّف طول الموجة المفردة.

19. ما العلاقة بين طول موجة الصوت وتردُّدها؟

20. ما هي قيمة ثابت بلانك ووحدة قياسه؟

21. احسب طاقة موجة ضوئيّة تردُّدها 4.27×10^{14} Hz.

22. ماذا تفعل الإشعاعات المُؤيّنة للذرَّة؟

23. ابحث في مساهمات كلّ من: ابن الهيثم، داجير، إيستمان، رونتجن، بيكريل، رذرفورد، تشادويك، في فهم الطيف الكهرومغناطيسيّ.

ابن الهيثم داجير إيستمان رونتجن بيكريل رذرفورد تشادويك

الدرس 5-2 الطبّ الإشعاعيّ

24. ما الفرق بين الأشعَّة السينيَّة والتنظير التألُّقيّ (التصوير الفلوروسكوبيّ)؟

25. ما الفرق بين الأشعَّة السينيَّة والتصوير المقطعيّ الماسح المُحَوْسَب؟

26. متى تكون الخليّة أكثر عُرضة للتلف نتيجة للإشعاع المؤيّن؟

27. لماذا يُسبّب الإشعاع المؤيّن تلفًا أكبر للخلايا السرطانيّة من الخلايا السليمة؟

28. لماذا لم يُعدْ العلاج بالأشعَّة فوق البنفسجيّة يُستخدم لعلاج حَبِّ الشّباب؟

29. لماذا يُعدّ استخدام الليزر ممكنًا لِكَيِّ الأوعية الدمويّة في الجزء الخلفيّ من العين؟

30. في أيّ جزء من العين يؤثِّر الليزك؟

31. ما ميزة العلاج الإشعاعيّ المُطابق الثلاثيّ الأبعاد (3D-CRT)؟

32. كيف يعمل سكّين جاما؟

الدرس 5-3 الموجات الميكانيكيّة

33. لِمَا يكون أكثر أمانًا استخدام الموجات فوق الصوتيَّة للتحقّق من نموّ الطفل بدلًا من الأشعّة السينية؟

34. ابحث عن تردُّدات الأصوات التي يستطيع الإنسان سماعها، وقارنها بتردُّدات الموجات فوق الصوتية.

35. يعطي التصوير المقطعيّ الماسح المُحَوْسَب صورة شديدة الوضوح. لماذا تكون الموجات فوق الصوتيَّة طريقة التصوير المُفضّلة أثناء الجراحة المُطوّلة؟

الوحدة 6

متانة الموادّ

Strength of Materials

في هذه الوحدة

- **الدرس 6-1:** القوى في الموادّ
- **الدرس 6-2:** عظام الإنسان

GP1103
GP1104

الوحدة 6

مقدّمة الوحدة

ماذا نعني بكلمة «متين» عندما يتعلق الأمر بالموادّ؟ واحد من التعاريف المفيدة، هو أن المادة المتينة لديها قدرة الحفاظ على شكلها إذا خضعت لتأثير قوة كبيرة. في حين أن المادة الضعيفة تنحني أو تنكسر. ومع ذلك، فحتّى المادة الضعيفة، مثل الورق، يمكن أن تصبح متينة جدًا عندما نحوّلها إلى شكل ما! وتُعزى متانة المواد إلى نوع المادة، وإلى الشكل المصنوع منها. تعالج هذه الوحدة تلك الأفكار بشكل دقيق.

ولتوضيح ذلك، نبدأ بالنوابض (الزنبركات) وقانون هوك الذي ينصّ على أن تشوّه الموادّ يتناسب مع القوة المؤثرة فيها. ثم نتوسّع بالفكرة إلى الموادّ الصلبة، بإحلال الإجهاد محل القوة، وإحلال الانفعال محل المسافة. توصف متانة الموادّ بمُعامِل يونج الذي يرتبط بالقوة المطلوبة لإنتاج انفعال معين.

يطبّق الدرس الثاني أفكار المتانة على العظام والعضلات. فعلى هيكلنا العظمي أن يتحمّل القوة الناتجة من وزن الجسم والعضلات، وتأثيرات أخرى من دون إحداث تشويه كبير، أو كسر. نمت العظام لتكون لها متانة كبيرة بحدٍّ أدنى من الوزن.

الأنشطة والتجارب

a1-6 القوة الناتجة عن نابض

b1-6 مُعامِل يونج لمادّة

a2-6 كمّية الكالسيوم في العظام

b2-6 تصميم العظام

الدرس 6-1
القوى في الموادّ
Forces in materials

بمجرد النظر إلى هيكل ما، يمكنك أن تتساءل عن الغاية من استعماله. فالجسر في (**الشكل 6-1**) له شكل مميز. تستخدم أجزاؤه المختلفة لغايات مختلفة. ويجب أن يكون تصميم الجسر صحيحًا؛ لكي يتحمّل القوى الهائلة المؤثرة فيه. ولتصميم جسر، يستخدم المهندسون أفكار الإجهاد والانفعال لاختيار الموادّ والحجوم المناسبة لإنشاء الجسر. ويكون البناء ناجحًا باختيار القوى والأشكال والمواد بنسب صحيحة.

الشكل 6-1 جسر.

للكائنات الحيّة أيضًا هياكل لدعم القوى المؤثّرة فيها. تكوّن العظام والهيكل العظمي تركيبًا معقّدًا متينًا ومتعدِّد الاستعمالات. ويجب أن تكون الأربطة والأوتار في جسم الإنسان مرنة ومتينة بما يكفي، لتحمل القوى التي تطبّقها العضلات، مثلما تعمل الكابلات (حزم الأسلاك) في الجسر.

مخرجات التّعلُّم

GP1103.1 يعرّف مفهوم إجهاد الشدّ وانفعال الشدّ المطبّقين على موادّ مختلفة.

GP1103.2 يحدّد معامل يونج لموادّ مختلفة عمليًّا وحسابيًّا باستخدام العلاقة:

$$E = \frac{\text{إجهاد}}{\text{إنفعال}}$$

GP1103.3 يوضّح أن معامل يونج للمادة يرتبط بمتانتها، حيث إنه يقيس مدى سهولة تشوّه المادة (على سبيل المثال صلادة المادة).

المفردات

Compression	الانضغاط
Tension	الشدّ
Spring constant k	ثابت النابض (الزنبرك) k
Ligament	الرباط
Tendon	الوتر
Elasticity	المرونة
brittle	الهشّ
Cross Section	المقطع العرضي
Stress	إجهاد
Strain	انفعال
Young's Modulus	مُعامِل يونج
Stiff	صلد
Flexible	ليِّن
Hard	قاس
Strong	متين
Elastic	مرن

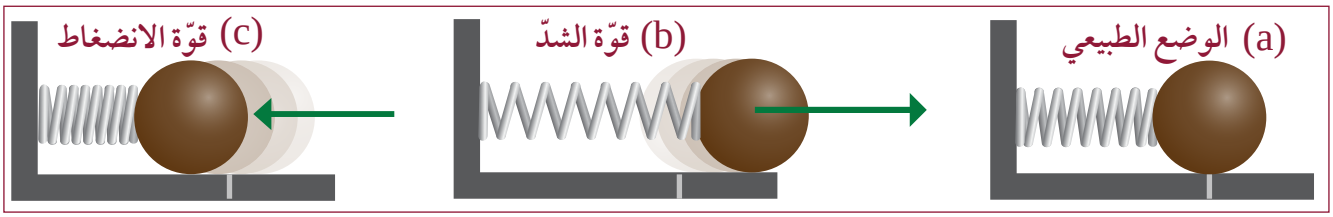
القوى في الأجسام

فكّر في الطرق المختلفة التي يمكنك من خلالها تغيير شكل النابض أو تشويهه (**الشكل 6-2**).

a. عند عدم تطبيق قوة عليه. يكون النابض في الوضع الطبيعي (وضع السكون).

b. تعمل **قوة الشدّ Tension** على استطالة النابض لجعله أطول من طوله الطبيعي.

c. تؤدِّي **قوة الانضغاط Compression** إلى جعل النابض أقصر من طوله الطبيعي.



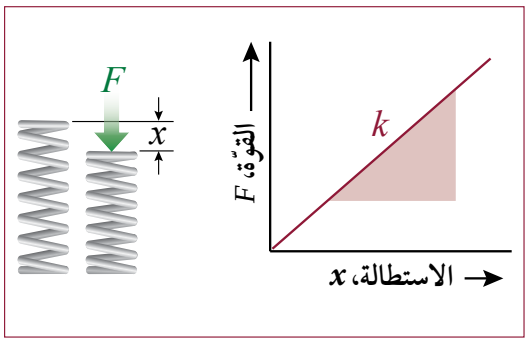
الشكل 6-2 a) عدم تطبيق قوة (وضع السكون)، b) متمدد بتأثير قوة الشدّ، c) متقلص بتأثير قوّة الانضغاط.

قانون هوك

$$F = -kx$$

F	القوة (N)
k	ثابت النابض (N/m)
x	التشوّه (m)

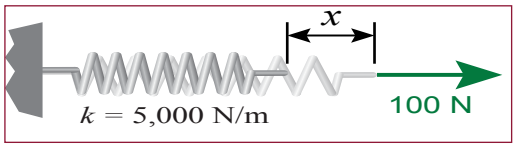
ينصّ قانون هوك على أن القوة F التي تطبَّق على النابض تتناسب طرديًا مع الاستطالة (تغيُّر طول النابض)، x. يوضِّح الرسم البياني في **الشكل 6-3** تشوّه النابض مع زيادة الأوزان المؤثرة فيه. ويُسمّى مَيل المنحنى **بثابت النابض Spring constant**، **k** ويقيس مدى متانة «النابض». أما وحدة قياس ثابت النابض، فهي وحدة القوّة مقسومة على وحدة الطول، أي N/m.



الشكل 6-3 القوة واستطالة النابض.

مثال 1

طبّقت قوّة مقدارها 100 N في اتّجاه تمدُّد نابض ثابته 5000 N/m. ما مقدار زيادة طول هذا النابض؟



الحل:

$$F = -kx \quad \rightarrow \quad x = \frac{-F}{k} = \frac{-(-100\ \text{N})}{5{,}000\ \text{N/m}} = \boxed{0.02\ \text{m}}$$

لاحظ أن القوة التي طبّقها النابض هي 100N-، وهي تساوي وتعاكس القوّة التي طُبِّقت على النابض لكي يتمدَّد. ويشير قانون هوك إلى قوة الشد في النابض، وهذا هو سبب الإشارة السالبة للقوة .

نشاط عملي

a1-6 القوة الناتجة عن نابض

سؤال الاستقصاء	كيف تحسب ثابت النابض؟
الموادّ المطلوبة	جهاز قانون هوك، 8 كتل تزن كل منها 20 g، أو ما يناسب التجربة.

يبيّن (**الشكل 6-4**) جهاز قانون هوك، وهو يحتوي على مقياس ونابض وسلك وحامل أوزان بثقوب، يستخدم لحساب ثابت النابض.

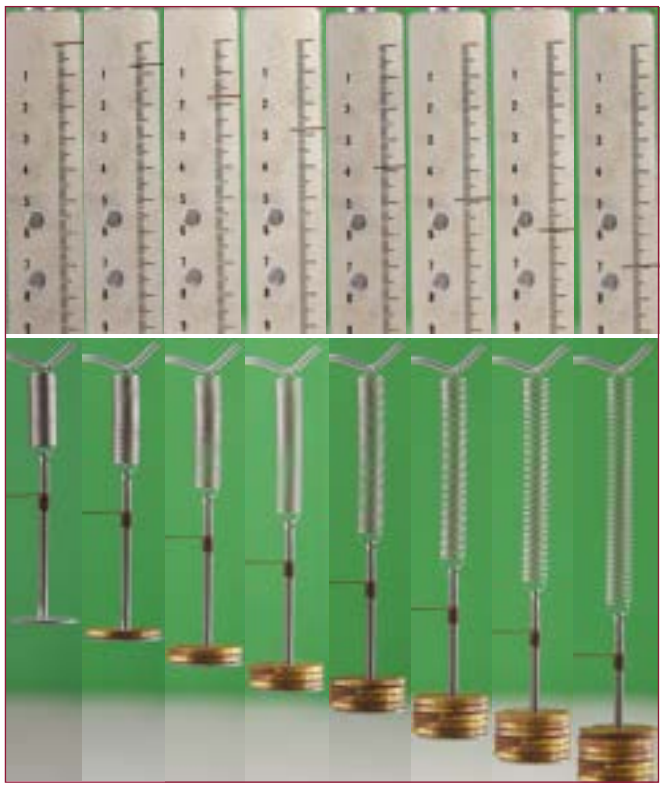
الشكل 6-4

خطوات التجربة

1. ركّب الجهاز، وسجّل الموقع الابتدائي للنابض، قبل تعليق أي كتلة.
2. قِسْ وزنَ الكتلة وعلّقها بالنابض، وسجّل وزن الكتلة وموقع النابض.
3. كرّر التجربة باستخدام خمس كتل مختلفة على الأقل.
4. احسب الوزن (F_w) والاستطالة (Δx).

البيانات المقيسة

المكان، x (m)	الكتلة، m (g)	الاستطالة، Δx (m)	الوزن، F_w (N)



الشكل 6-5 عيّنة بيانات لاستطالة النابض والأوزان المضافة.

5. مثّل برسمٍ بياني بياناتك الخاصة بالقوة، بدلالة استطالة النّابض.
6. ارسم بيانيًّا الخط المستقيم الأكثر ملاءمة لبياناتك واحسب ميل الخط وتقاطعه.

الأسئلة

a. ماذا يمثّل ميل المنحنى؟

b. هل العلاقة بين القوة والاستطالة علاقة خطّية؟

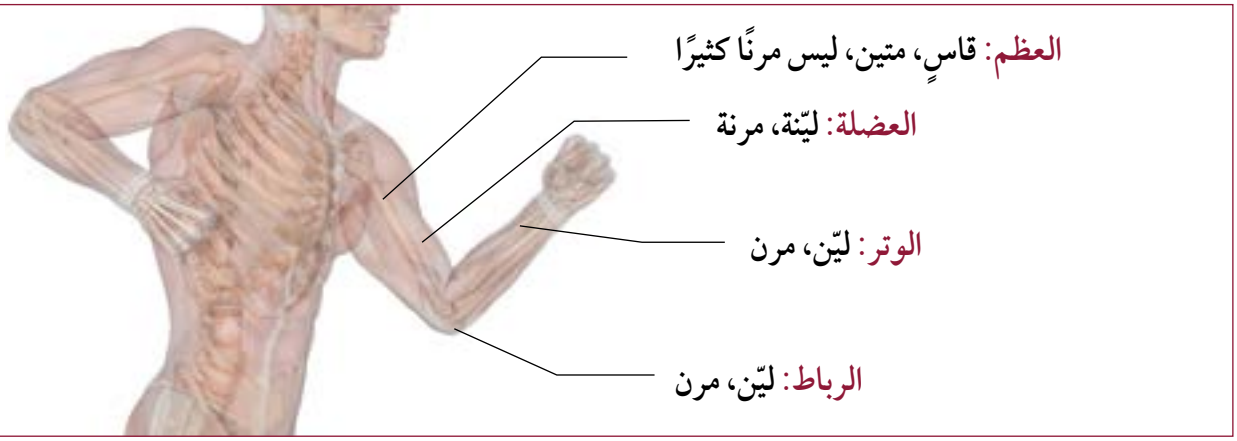
c. ماذا يمثّل تقاطع المنحنى؟ اشرح عدم مطابقة التقاطع للصفر.

القوى في جسم الإنسان

تَنتُجُ القوى في جسم الإنسان بفعل العضلات والوزن. وهي تُدعَم بصلابة العظام وصلادتها. تُنقل القوى إلى العظام عن طريق الأربطة والأوتار .

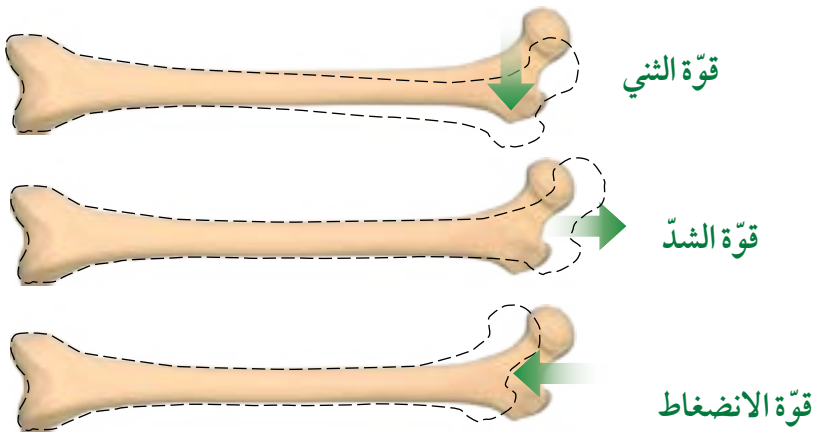
الأربطة Ligaments أنسجة مرنة تربط مفاصل العظام معًا. فالرباط الصليبي الأمامي، مثلاً، (ACL) يمسك بعظام مفصل الر كبة.

الأوتار Tendons مكوّنة من أنسجة ضامّة مشابهة للأربطة، ولكنها تربط العضلات بالعظام. تنقل الأوتار القوى التي أنشأتها العضلات.



الشكل 6-6 متانة الجسم وقوّته ترتكزان على أربعة عناصر (العظم، العضلة، الوتر، الرباط).

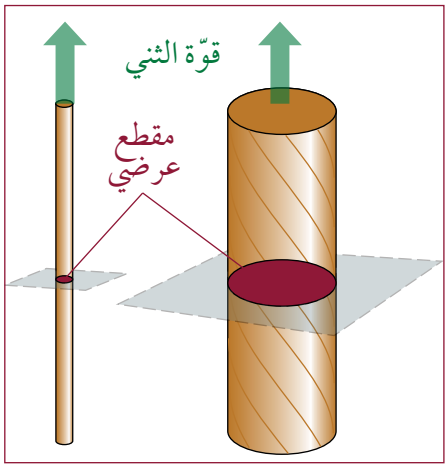
يتغيّر شكل وطول الأربطة والأوتار والعظام أيضًا استجابة للقوى المؤثرة فيها، كما في النابض (**الشكل 6-6**). تصف **مرونة Elasticity** المادة قدرتها على الانحناء، أو تغيير شكلها من دون أن تنكسر. فالمطّاط مرن جدًّا. يمكن أن تتمدّد الأربطة المطاطية بمقدار 400% قبل أن تنقطع. وبالمقابل، يكون الزجاج عكس ذلك؛ فهو قاسٍ وغير مرن. والموادّ الصلبة التي تنكسر قبل تمدّدها تُسمّى موادّ **هشّة Brittle**، وتشمل الزجاج والسيراميك والحجر. وتُتراوح الأربطة والأوتار والعظام بخصائصها بين هاتين الخاصّيتين. فالعظام قاسية وأقلّ مرونة، في حين أنّ الأربطة والأوتار أكثر ليونة وأكثر مرونة.



الشكل 6-7 القوى وتغيُّر شكل العظام.

الإجهاد

لا يستطيع خيط رفيع متدلٍّ من سقف أن يتحمَّل وزنك. ولكن إذا قمت بنسج العديد من الخيوط معًا لتكوّن حبلاً ، فقد يتحمّل الحبل وزنك بسهولة. لاحظ أنك استخدمت المادّة نفسها في كلتا الحالتين مع الحصول على نتائج مختلفة. وقد اختلفت النتيجة لأنّ القوة موزّعة على مساحة مقاطع عرضية مختلفة. **فالمقطع العرضي Cross-section** هو مساحة شكل تكوَّن بفعل عملية قطع وهميّة في جسم. وعند تحليل القوة، تكون القوة عمودية على المقطع العرضي. كما في **الشكل 8-6**.



الشكل 6-8 منطقة المقطع العرضي.

يُعرف مقياس القوة لكل وحدة مساحة في مقطع عرضي باسم **الإجهاد Stress**، وهو مقياس أكثر فائدة لمعرفة متانة تركيب معيَّن.

الإجهاد

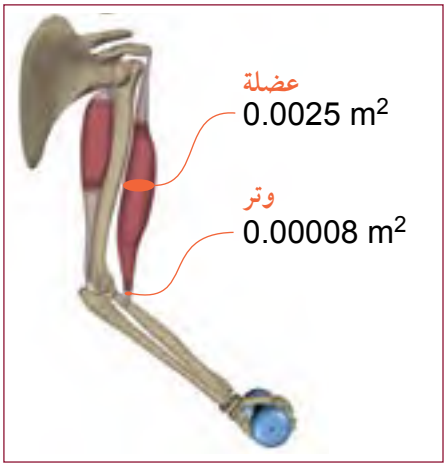
$$\sigma = \frac{F}{A}$$

σ	إجهاد (N/m^2)
F	قوة (N)
A	مساحة المقطع العرضي (m^2)

وحدة قياس الإجهاد هي وحدة قياس القوة مقسومة على وحدة المساحة ، أي N/m^2. ووحدات قياس الإجهاد هي وحدات قياس الضغط نفسها و $1\ N/m^2$ تساوي 1 Pascal (Pa). لا يمكن لخيط واحد أن يحمل جسمَك؛ لأنّ إجهاد الشدّ أكبر من قدرة المادّة على التحمّل. والقوة نفسها في حبل سميك تولّد إجهاد شد أقلّ كثيرًا؛ لأنّ القوة توزّعت على مساحة أكبر.

مثال 2

تولّد عضلة قوة مقدارها 200 N، وتنقل هذه القوة بواسطة وتر. احسب إجهاد الشدّ في كل من العضلات والوتر. كما هو مبيّن **بالشكل 9-6**.



الشكل 6-9 مساحة المقطع العرضي في العضلة والوتر.

الحل:

$$\sigma_{muscle} = \frac{F}{A_{muscle}} = \frac{200\ \text{N}}{0.0025\ \text{m}^2} = 80{,}000\ \text{Pa}$$

$$\sigma_{tendon} = \frac{F}{A_{tendon}} = \frac{200\ \text{N}}{0.00008\ \text{m}^2} = 2{,}500{,}000\ \text{Pa}$$

لاحظ أن إجهاد الشدّ في الوتر أكبر مما هو في العضلة.

انفعال الشدّ

الشكل 6-10 سلسلة حديدية بأربطة مطاطية.

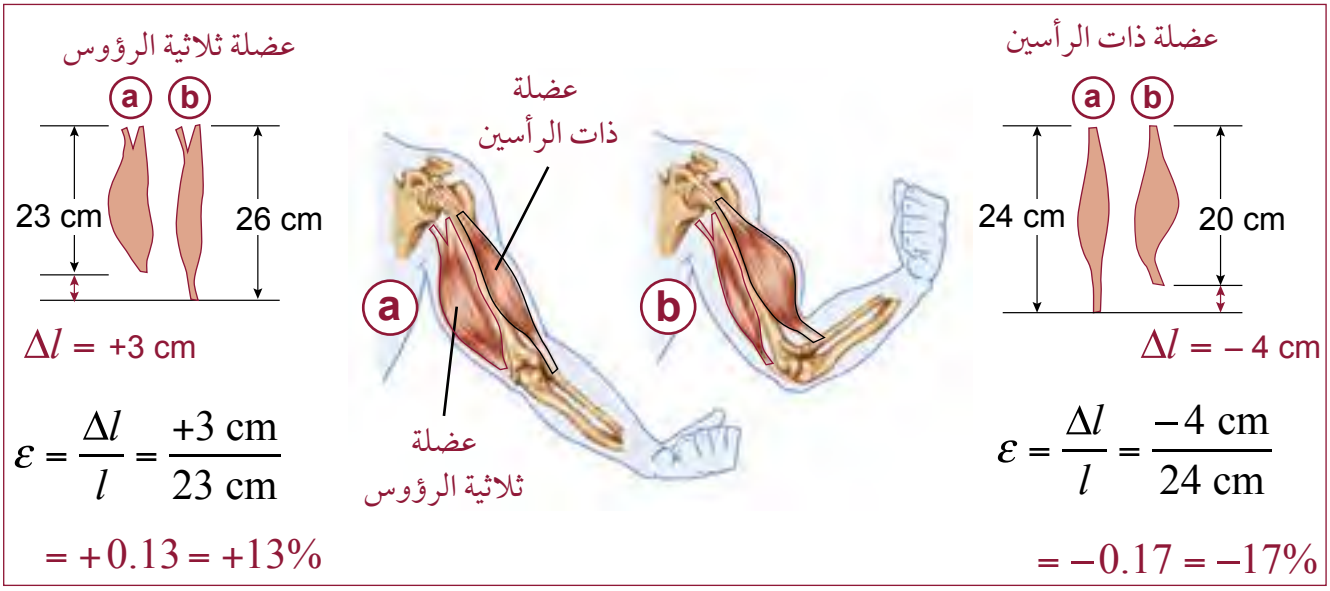
عندما تُطبَّق القوة على جسمٍ فإنه يتشوّه. فالأجسام عند انضغاطها تصبح أقصر، وعندَ شدّها يزداد طولها. يمكن مشاهدة ذلك بسهولة في أجسام مرنة، كالأربطة المطاطية أو النوابض. غير أن عين الإنسان لا تستطيع اكتشاف التغيُّرات في الأجسام الأكثر صلابة. لا يمكنك، مثلًا، أن تلاحظ التغيُّر في طول السلسلة الحديدية (**الشكل 6-10**)؛ لأن التغيير يمثّل نسبة مئوية صغيرة من الطول الكلّي.

انفعال **الشدّ Strain** هو نسبة التغيُّر في طول جسم مقارنة بطوله الأصلي، عند عدم تطبيق قوة عليه. يعني انفعال الشدّ الإيجابي أن الجسم يصبح أطول. أمّا انفعال الشدّ السلبي ، فيعني أن الجسم يصبح أقصر. الموادّ التي لها انفعال شدّ 0.1 + ، أو 10 % +، يعني أنها تصبح أطول بمقدار 1.1 مرة مما كانت عليه قبل تطبيق قوة عليها.

انفعال الشدّ (المطاوعة)

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l}$$

ε	انفعال الشدّ (لا وحدات أو %)
Δl	التغيُّر في الطول (m or cm)
l	الطول الابتدائي (m or cm)



الشكل 6-11 انفعال الشدّ في العضلة الثلاثية الرؤوس والعضلة ذات الرأسين عند تحريك ذراعك.

انفعال الشدّ مستقل عن الطول الفعلي لجسمٍ ما.

a. تبدأ العضلة الثلاثية الرؤوس بطول 23 سم، وتتمدَّد إلى 26 سم. لذلك، فإن انفعال الشدّ فيها يساوي 3 ÷ 23 = +0.13 = +13 %

b. تبدأ العضلة ذات الرأسين بطول 24 cm، وتتقلّص إلى 20 cm. لذلك، فإن انفعال الشدّ يساوي –4 ÷ 24 = –0.17 = –17 %.

مثال 3

طالب وزنه 450 N، تعلّق بحبل قطره 0.02 m. ما مقدار إجهاد الشدّ في الحبل؟

الحل:

$$F = 450N \quad d = .02m \quad r = .01m$$

$$\sigma = \frac{F}{A} = \frac{F}{\pi r^2} \qquad \sigma = \frac{450N}{\pi(0.01m)^2} = \frac{450N}{.000314m^2}$$

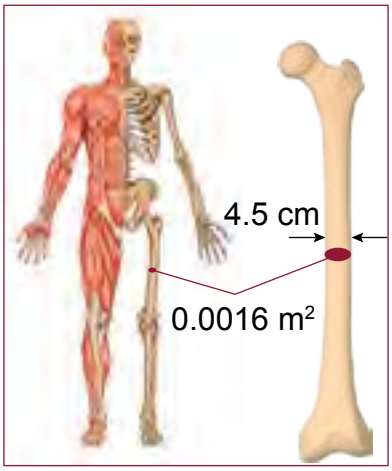
$$\sigma = 1,430,000Pa \quad \sigma = 1.43MPa$$

تكون قيمة إجهاد الشدّ في العادة كبيرة، وغالبًا ما يتم استخدام وحدات kPa و MPa.

1 MPa = 1,000,000 Pa و 1 kPa = 1,000 Pa.

مثال 4

شخص كتلته 82 kg ووزنه 804 N. احسب إجهاد الشدّ في عظم الفخذ على افتراض أن للساقين الوزن نفسه. (انظر **الشكل 6-12**)



الشكل 6-12 عظم الفخذ.

الحل:

$$\sigma = \frac{F}{A} = \frac{804\ \text{N}}{0.0016\ \text{m}^2} = 502500\ \text{Pa}$$

يمكن أن يتحمّل العظم السليم ما يصل إلى 170,000,000 Pa من إجهاد الشدّ قبل أن يبدأ بالتشقّق والتكسّر. ويساوي انفعال الشدّ في هذه المسألة 0.15% فقط مما يمكن أن تتحمّله العظام السليمة.

مثال 5

طالب وزنه 450N، تعلَّق بحبل كان طوله في الأصل 3m. تمدَّد الحبل بمقدار 1 cm (0.01 m). احسب انفعال الشدّ في الحبل.

الحل:

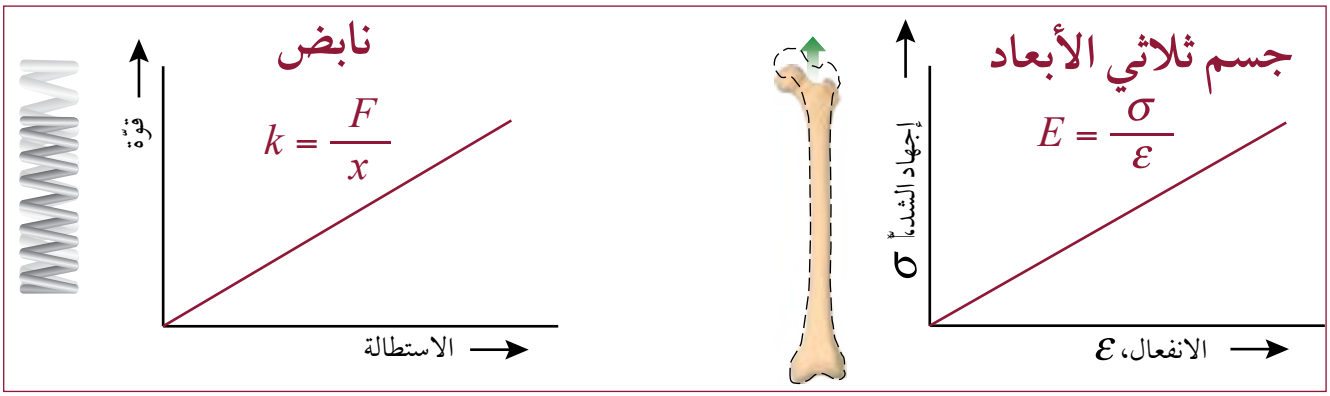
$$l = 3m \quad \Delta l = 0.01m$$

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l} \qquad \varepsilon = \frac{0.01m}{3m}$$

$$\varepsilon = 0.003 \quad \varepsilon = 0.3\%$$

معامل المرونة – معامل يونج

من دراستنا السابقة للنابض، وجدنا أنّ هناك علاقة بين القوّة وتمدَّد النابض، أو انضغاطه؛ وأنّ ميل الرسم البياني للقوة مقابل الإستطالة هو ثابت النابض k. وفي الأجسام الصلبة، توجد علاقة مشابهة حيث معامل المرونة هو ميل الرسم البياني لإجهاد الشدّ مقابل الانفعال، ويعرف أيضًا باسم **معامل يونج** E **Young's modulus**.



الشكل 6-13 سلوك المرونة لنابض وجسم ثلاثي الأبعاد.

وحدات القياس المستخدمة في مُعامِل المرونة هي وحدات قياس إجهاد الشدّ نفسها، ولا توجد وحدات قياس لانفعال الشدّ. وعندما تكون الموادّ بعيدة عن التكسّر، فإنّ التمثيل البياني لإجهاد الشدّ مقابل انفعال الشدّ يكون على شكل خط مستقيم، وهو يشبه التمثيل البياني للقوة مقابل الاستطالة في النابض. ويمثّل مَيل خط الرسم البياني مُعامِل يونج.

معامل يونج (معامل المرونة)

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon}$$

E	(معامل يونج) معامل المرونة (Pa أو N/m^2)
σ	إجهاد الشدّ (Pa أو N/m^2)
ε	انفعال الشدّ (عدد أو %)

يُعرف مُعامِل المرونة بمُعامِل يونج.

تعتمد صلادة الموادّ على قيمة مُعامِل يونج، E الخاص بها. عندما تكون E مرتفعة، فإن ذلك يتطلَّب وجود إجهاد شدّ أكبر لإنتاج مقدار انفعال الشدّ نفسه. تكون قيمة معامل يونج E للصلب مرتفعة (**الجدول 6-1**). وعندما تكون E منخفضة، فإن المادة تتطلب إجهاد شدّ أقل لإنتاج المقدار نفسه من انفعال الشدّ. والرباط المطّاطي له قيمة منخفضة من E.

الجدول 6-1 معامل يونج لموادّ مختلفة (1 MPa = 1,000, 000 Pa).

المادّة	E (MPa)	المادة	E (MPa)	المادة	E (MPa)
الماس	1,220,000	ألمنيوم	70,000	خشب	11,000
فولاذ	200,000	جرانيت	52,000	أوتا ر	1,200
ألياف كربون	150,000	عظم	17,000	مطاط طري	10

مسائل إجهاد الشدّ وانفعال الشدّ

مسائل إجهاد الشدّ وانفعال الشدّ وحلولها.

المسألة	كيفية حلها
حدِّد مقدار استطالة أو انضغاط جسم.	استخدم مقدار قوة معطاة لحساب إجهاد الشدّ، ثم استخدم مُعامِل يونج لحساب النسبة المئوية لانفعال الشدّ.
حدِّد القوة اللازمة لإحداث تشوّه في جسم بمقدار معيّن.	احسب انفعال الشدّ من معلومات معطاة، ثم استخدم مُعامِل يونج لحساب إجهاد الشدّ. استخدم إجهاد الشدّ والمساحة لإيجاد القوة.

مثال 6

طالب وزنه 450 N تعلّق بحبل طوله 10 m، وقطره 0.8 cm. فإذا علمت أن معامل يونج للحبل هو 130 MPa (1.3×10^8 Pa)، فما مقدار تمدّد الحبل بالأمتار؟

الحل: تتضمن معادلة مُعامِل يونج إجهاد الشدّ وانفعال الشدّ. لذلك نحتاج إلى استخدام المعلومات التي لدينا لإيجاد إجهاد الشدّ وانفعال الشدّ. وهذه المشكلة لها ثلاث خطوات للحل، هي:

حساب إجهاد الشدّ

قطر الحبل هو 0.8 cm، ونصف قطره 0.004 m.

$$\sigma = \frac{F}{A} = \frac{450\ \text{N}}{\pi\left(0.004\ \text{m}\right)^2} = 8952465.54\ \text{Pa}$$

حساب انفعال الشدّ

نستخدم مُعامِل يونج لإيجاد انفعال الشدّ.

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad \rightarrow \quad \varepsilon = \frac{\sigma}{E} = \frac{8952465.54\ \text{Pa}}{1.3 \times 10^8\ \text{Pa}} = 0.069$$

يتمدّد الحبل بمقدار 6.9 %.

حساب مقدار تمدّد الحبل

نستخدم معادلة انفعال الشدّ لإيجاد مقدار التغيّر في طول الحبل.

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l} \quad \rightarrow \quad \Delta l = \varepsilon l = \left(0.069\right)\left(10\ \text{m}\right) = 0.69\ \text{m}$$

يتمدَّد الحبل بمقدار 0.69 m أو 69 cm.

نشاط عملي

b1-6 مُعامِل يونج لمادّة

سؤال الاستقصاء	كيف نقارن بين مُعامِل يونج لموادّ مختلفة؟
الموادّ المطلوبة	حامل مختبر، حوامل معدنية ذات خطّاف، أوزان، موادّ مرنة مثل الأربطة المطاطية.

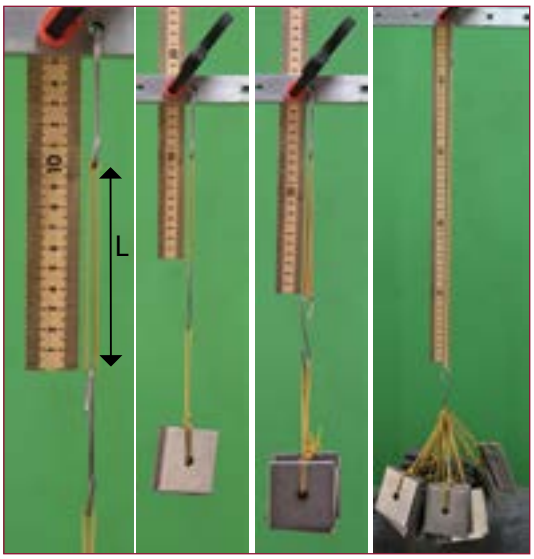
خطوات التجربة

الشكل 6-14 تجهيزات المختبر.

1. جهّز حاملين من حوامل المختبر في وضع رأسي، واربطهما معًا بقطعة عرضية (**الشكل 6-14**).
2. علِّق الرباط المطّاطي بالقطعة العرضية وعلِّق خطّافًا بنهايته الحُرّة.
3. سجِّل مكان الخطّاف الأوَّلي بعد إضافة كتلة صغيرة.
4. قس عرض الرباط المطّاطي وسماكته، كما هو مبيَّن في **الشكل 6-15**.
5. علِّق الأوزان بالخطّاف مُسجِّلًا الأماكن الجديدة للخطّاف، والكتلة، وعرض الرباط وسماكته في كل مرة حتى ينقطع الرباط فيها، أو لا تعود الأدوات قادرة على الاستجابة (**الشكل 6-16**).

الشكل 6-15 وَرْنيَّة قياس.

6. احسب قوة الوزن (F_w) والاستطالة (Δx) وانفعال الشد (ε) لكتل مختلفة.
7. احسب مساحة المقطع العرضي، A، وقوّة الشد، σ، لكل من الثنائيّات المكان والكتلة.
8. مثِّل الرسم البياني لقوة الشد مقابل انفعال الشد لمادة الرباط المطاطي.
9. حدِّد مُعامِل يونج من ميل المنحنى.



الشكل 6-16 قياس الأطوال.

الأسئلة

a. صف مدى مقاربة علاقة الشد والانفعال لأن تكون خطّية.

b. قدِّر مدى دقّة (%) النموذج الخطّي.

تقويم الدرس 6-1

1. يُستخدَم مُعامِل يونج لقياس أي من الأشياء الآتية؟
   a. كثافة مادة.
   b. صلادة مادة.
   c. القوة التي تستطيع المادة تحمّلها قبل أن تنكسر.
   d. نسبة القوة مقسومة على مساحة المقطع العرضي.

2. ما مقياس مدى صلادة نابض، ومقدار القوة اللازمة لتشويهه؟
   a. الهشاشة
   b. المرونة
   c. ثابت النابض.
   d. متانة الموادّ.

3. ما المصطلح الذي يصف قدرة الجسم على التمدّد من دون كسر؟
   a. الهشاشة
   b. المرونة
   c. ثابت النابض.
   d. مُعامِل يونج.

4. نابض له ثابت 6000 N/m، ما مقدار القوة التي تطبَّق عليه ليزداد طوله بمقدار 1.5 cm؟

5. هل تُعدّ المادة التي لها قيمة انفعال شدّ مرتفعة على الرسم البياني لإجهاد الشدّ، مقابل انفعال الشد، مادة هشّة أم مرنة؟

6. كيف يتغيّر إجهاد الشدّ لقوة ثابتة مع انخفاض المساحة؟

7. ما مقدار القوة المطلوبة للحفاظ على نابض له ثابت يساوي 500 N/m منضغطًا مسافة 0.3 m من طوله الأصلي؟

8. احسب إجهاد الشدّ لقضيب نصف قطره 2.50 cm، عند تطبيق قوة شدّ عليه تبلغ 20,000 N.

9. سلك ذو مقطع عرضي مستدير قطره 2.3 mm، وسلك ذو مقطع عرضي مربَّع، ضلعه 2.3 mm. إذا طُبِّقت عليهما القوة نفسها، فأيّهما سيتحمّل إجهاد شدّ أكبر؟

10. وتر مساحة مقطعه العرضي تبلغ $0.0001\ m^2$. ما مقدار القوة اللازمة ليزداد انفعال شدَّة بمقدار 5 %؟

الدرس 6-2
عظام الإنسان
Human Bones

من المثير مشاهدة عمليّة تشييد مبنى. فإذا كنت تشاهد شريطَ فيديو مُسرَّع اللقطات، فإنّك ستشاهد هذه العمليّة ككلّ، من الأرض الى القمة، في بضع دقائق. يستغرق عمل الأساسات وقتًا طويلًا، لكن عند البدء الفعليّ، يرتفع البناء بسرعة كبيرة. وأوّل ما تراه هو الهيكل وقد وضع في مكانه (**الشكل 6-17**). قد يُبنَى الهيكل من الخشب، أو الفولاذ، أو حتى من الخَرَسانة. ومع انتهاء هذا الجزء، يمكنك أن تحصل على فكرة عمّا سيكون عليه المبنى. وتعطيك الموادّ المُستخدمة في البناء مؤشِّرًا على مدى ضخامة المبنى المزمع إنشاؤه.

الشكل 6-17 هيكل مبني.

سنتعرّف في هذا الدرس العوامل نفسها التي تدخل في بناء أجسامنا.

مخرجات التّعلُّم

GP1104.1 يقارن معامل يونج لمواد مختلفة مع معامل يونج لعظام الإنسان.

GP1104.2 يصف تركيب العظام في جسم الإنسان، وأهميّة الكالسيوم في الحفاظ على متانتها.

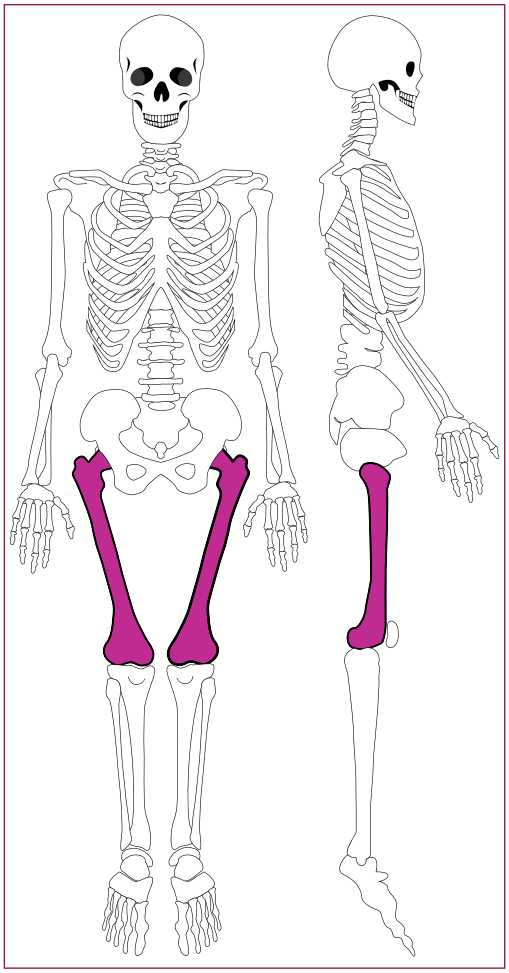
المفردات

Collagen	كولاجين
Hydroxyapatite	هيدروكسي أباتيت
Osteocytes	خلايا عظميَّة
Osteoblas	خلايا بانية للعظام
Osteoclasts	خلايا هادمة للعظام
Spongy (Trabecular)	إسفنجيّ (حويجزي)
Compact (Cortical)	كثيف (قشري)
Prosthetics	أعضاء اصطناعيّة

الهيكل

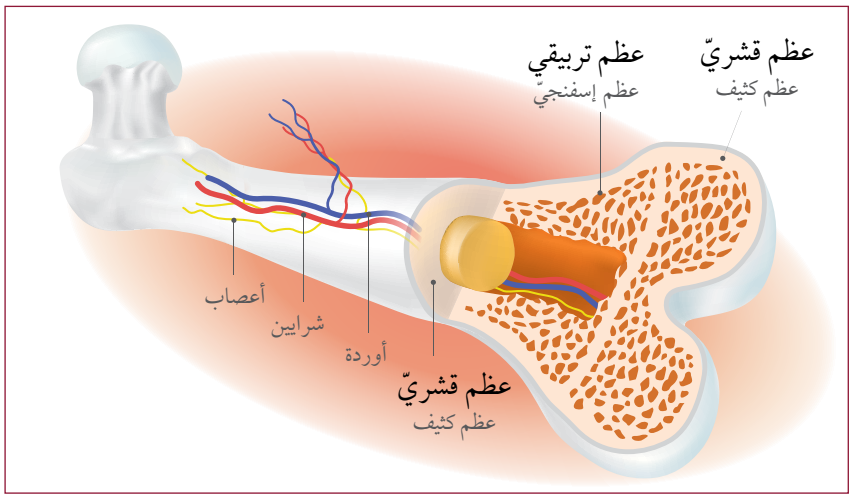
الهيكل العظميّ البشريّ (**الشكل 6-18**)، والهيكل العظميّ للفقاريات جميعها، يفيدان في الحركة الميكانيكيّة، وفي حماية الأعضاء الداخليّة.

يتكوّن العظم أساسًا من بروتين يُسمّى **الكولاجين Collagen**، ومركّب من الكالسيوم والبوتاسيوم يُسمّى **الهيدروكسي أباتيت Hydroxyapatite**. يُكْسِبُ الهيدروكسي أباتيت العظام متانتها، في حين يُكْسِبُها الكولاجين مرونتها. تحتوي العظام على أوعية دمويّة، وخلايا عصبيّة، **وخلايا عظميَّة حيّة Osteocytes** .



الشكل 6-18 الهيكل العظميّ البشريّ، ويبدو فيه عظم الفخذ بالأحمر.

تُصنَّف تراكيب العظم في فئتين مختلفتين من الأنسجة: الإسفنجيّ **التربيقي Trabecular** (الإسفنجي)، **والقشريّ Cortical** (الصلب). العظم الأطول في الجسم، هو عظم الفخذ (**الشكل 6-19**)، وهو عمود من عظم قشريّ كثيف، مع تجويف صغير يحتوي على نخاع العظم، والأوعية الدمويّة والأعصاب. يتحمل عظما الفخذين إجهاد الانضغاط الناتج من وزن الجسم. لنهايتيْ عظم الفخذ غطاء قشريّ، يقع داخله عظم إسفنجيّ أقلّ كثافة. وعلى الرغم من مظهره الشبيه بالإسفنج، فإنه يشكِّل منطقة من العظم القاسي الّذي يوفّر متانة إضافيّة، ومقاومة لقوى الشدّ الّتي تنتجها العضلات. يمثّل العظم الإسفنجيّ 20 % من الوزن الكلّيّ للعظم، وهو يوجد في المفاصل، وفي نهايات العظام.

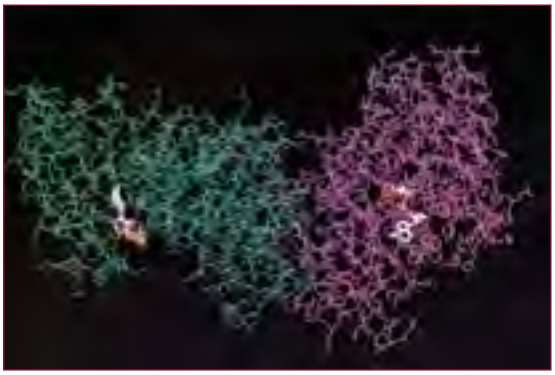


الشكل 6-19 رسم يوضّح تركيب عظم الفخذ.

قد تدهشك معرفة أنّ كثيرًا من الهياكل العظميَّة للديناصورات الموجودة في المتاحف قد أُعيد بناؤها من بضعة عظام فقط، أو حتّى من بقايا عظام. وما تبقّى من هيكل الديناصور يُسْتَدَلُّ عليه من تركيب العظام التي يُعْثَرُ عليها. تشير عظام الساق الثقيلة إلى ديناصور ضخم، في حين تشير العظام الرقيقة إلى تركيب غير منضغط.

الكولاجين

يتّصف جُزيء بروتين (**الشكل 6-20**) الكولاجين بتركيب معقّد (**الشكل 6-21**) يشكل في حد ذاته التركيب المجهري الأساسي للعظام. وتختلف كثافة هذا التّركيب بين العظم الإسفنجيّ والعظم الكثيف. ويمكن لتلك الكثافة أيضًا أن تتناقص مع التقدّم في السنّ، وفي بعض الحالات الطبّيّة. يتناول كثير من الناس أثناء تقدُّمهم في السن مكمِّلات الكولاجين للحدِّ من التناقص في كثافة العظم.



الشكل 6-20 جُزيء بروتين.

الشكل 6-21 تراكيب الكولاجين.

إنّ تركيب الكولاجين هو الذي يُكسب العظم ليونته وقدرته على استعادة حيويّته. وقد أفيد أنّ هذا التركيب كان مصدر إلهام للتصميم الهندسيّ الذي يتمتّع به برج إيفل (**الشكل 6-22**). وتمثّل الهندسة المجهريّة لتركيب الكولاجين الأساس الداعم لبقيّة مُكوِّنات العظم. يكوّن الكولاجين أيضًا الغضروف والجلد والأربطة، ما يجعله البروتين الأكثر شيوعًا في الجسم.

تتكوّن هياكل أسماك القرش من كولاجين العظم فقط. وهو الذي يكسبها الليونة والمتانة. لكنّه يفقده القدرة على حمل نفسه على اليابسة.

الشكل 6-22 نموذج برج إيفل يشبه تركيب الكولاجين في العظام.

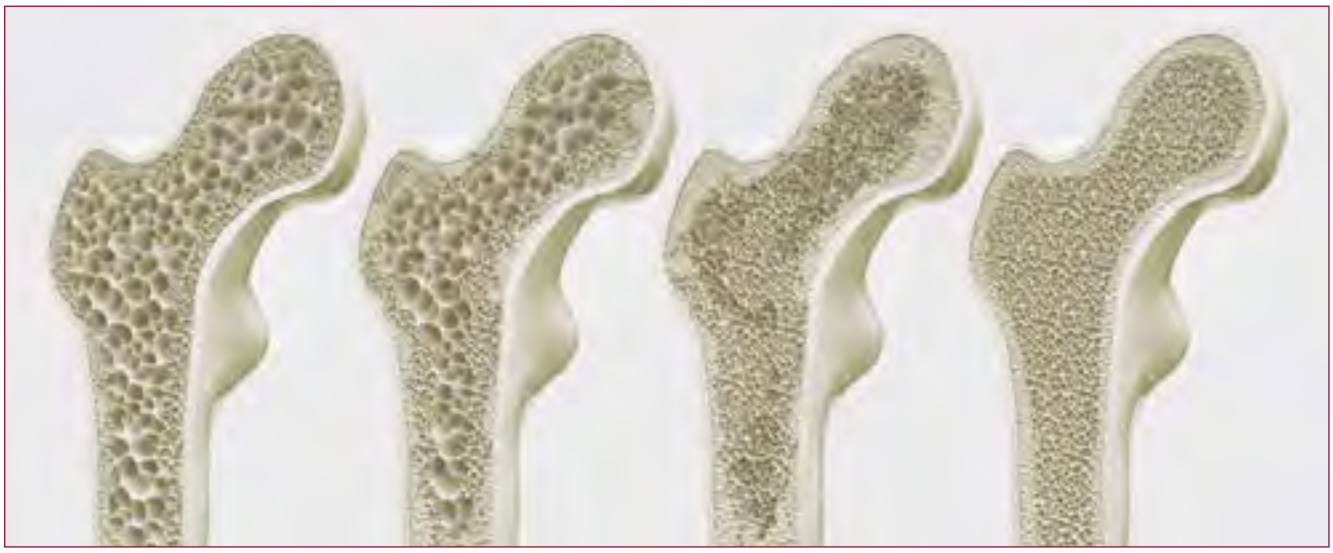
يشكِّل الكولاجين 90% من بروتين العظام.

تأتي متانة العظم وصلادته من الملح المعدنيّ للكالسيوم والبوتاسيوم المُسمّى هيدروكسي أباتيت. يتبلور هذا الملح على نسيج الكولاجين مكوّنًا على كلّ شريط فيه قشرة صلبة، وموفرًا زيادة شاملة في مقاومة قوى الانضغاط والشد. ومن المدهش أنّ حجم تلك البلّورات صغير جدًّا، ويُعتقد أنّها قد تكون السّرّ الكامن وراء متانة العظام.

الكالسيوم

أثناء نموِّك، يبني جسمك تركيب العظام وكتلتها. تعمل في هذه العمليّة خلايا تُسمّى **الخلايا البانية للعظام Osteoblasts**، التي تبني نسيج العظم، وترسّب المعادن فيه. وتعمل في العملية أيضًا خلايا أخرى تُسمّى **الخلايا الهادمة للعظام Osteoclasts**، التي تحطّم العظم، وتعيد امتصاص المعادن. هذا التوازن الثابت بين بناء العظام وهدمها يستمر طوال الحياة.

حتى سنّ العشرين، يكون معدّل النموّ أكبر من معدّل الامتصاص، وتصبح العظام أطول وأكثر سماكة. يُعدُّ شرب الحليب الغنيّ بالكالسيوم، وممارسة التمارين الرياضية أمرين مهمّين جدًّا لبناء عظام قويّة. ومع زيادة القوى على عظامك، فإنّها تستجيب بنموٍّ أكثر سماكة ومتانة. في عُمُر العشرين، يتوازن هذا الأخذ والعطاء، وتعيش بقيّة حياتك بجسم يمتصّ النّسيج العظميّ بمعدّل تكوين الأنسجة الجديدة نفسه. وهذا هو السبب في أنّ التغذية السليمة وممارسة التمارين الرياضيّة مهمّتان للشباب، كي يتمكّنوا من بناء كتلة العظام في الوقت المناسب.



الشكل 6-23 تتغيَّر كثافة العظم نتيجة هشاشة العظام.

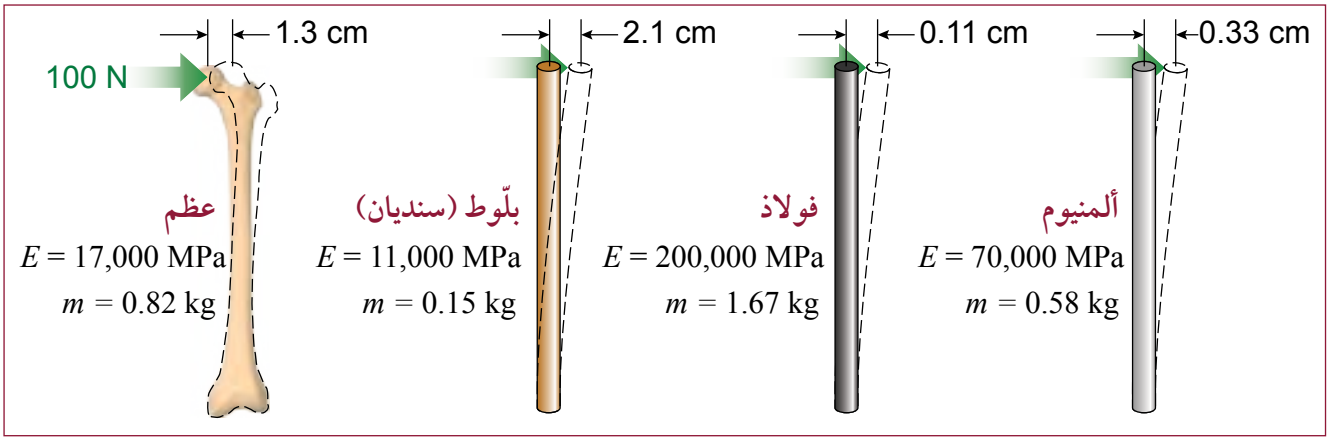
يساعد البناء والهدم المستمرَّان لتركيب العظام على شفاء العظم بعد الكسر. لكن الحالة المعروفة باسم هشاشة العظام تسبّب فقدان ذلك التوازن؛ إذ تبدأ العظام بخسارة كثافتها المعدنيّة ومتانتها (**الشكل 6-23**). ويُعزى حدوث هذه الحالة إلى التغيّرات الهرمونيّة، وإلى نقص الكالسيوم في النظام الغذائيّ ونقص الفيتامين د، أو إلى تدخين التبغ.

ويشار إلى أنّ العلماء يعملون بنجاح متزايد على محاكاة التركيب المعقّد للعظم كي ينتجوا بدائل اصطناعيّة (**الشكل 6-24**) لتراكيب العظم الرئيسة.

الشكل 6-24 رأس عظم فخذ لمفصل ورك اصطناعيّ.

مُعامِل يونج للعظام

العظام متينة جدًّا قياسًا على وزنها. ويُعدّ عظم الفخذ، أحد أمتن عظمين في الجسم؛ إذ يبلغ متوسّط طول عظم الفخذ لشخص ذكر بالغ 48 cm، ومتوسّط قطره 2.34 cm. ويمكن أن يدعم ما يصل إلى ثلاثين مرّة وزن شخص بالغ.



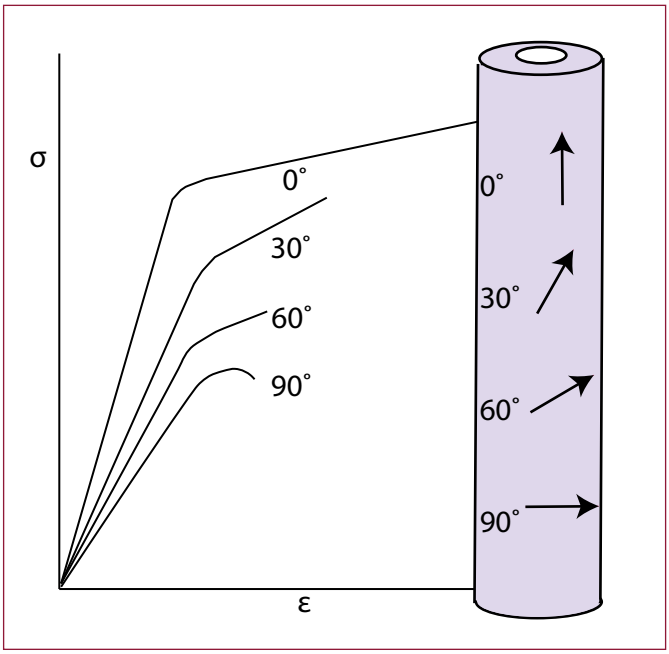
الشكل 6-25 مقارنة صلادة العظم بموادّ أخرى.

يبيّن **الشكل 6-25** كتلةَ عظم فخذ طوله 48 cm وانحرافه مقارنة بقضبان صلبة لها الحجم نفسه من البلّوط، والفولاذ والألمنيوم. حيث تمّ تطبيق قوّة إزاحة 100 N على نهاية واحدة في كل من القضبان. يتناسب الانحراف عكسيًّا مع مُعامِل يونج. مُعامِل يونج للفولاذ أكبر بمقدار 12 مرّة من العظم، ومقدار الانحراف أكبر بمقدار $\frac{1}{12}$ مرّة، تحت تأثير القوّة نفسها.

معروف أن العظم مادّة غير متّسقة؛ وبالتالي يختلف مُعامِل يونج تبعًا لقوى الانضغاط والشدّ، والقوى الجانبيّة (القصّ). يبيّن **الشكل 6-26** أنّ قيم مُعامِل يونج للمرونة E تتغيّر تبعًا لزاوية القوّة المؤثّرة.

يعطي اختبار الشدّ المجهريّ للعظم الإسفنجيّ مُعامِل يونج مقداره 10.4 GPa، في حين يعطي للعظم الكثيف 18.6 GPa.

وتشكّل كثافة المعادن المعيار الأكثر موثوقيّة لمتانة العظم. فَمَعَ نقصان كثافة المعادن، تنقص متانة العظم أيضًا. وتشكّل ممارسة التمارين الرياضيّة المنتظَمة، والغذاء المتوازِن طريقتين للحفاظ على سلامة العظام. ومع تقدّمنا في السنّ، نفقد الكثافة المعدنيّة، وما يمكننا القيام به بسهولة في سنّ الشّباب، قد لا يكون آمنًا عندما نكون أكبر سنًّا.



الشكل 6-26 مُعامِل يونج لمرونة العظم E مع قوى مؤثِّرة بزوايا مختلفة.

نشاط عملي

a2-6 كمّية الكالسيوم في العظام

سؤال الاستقصاء	كيف يسهم الكالسيوم في متانة العظام؟
الموادّ المطلوبة	عظام دجاج نظيفة، خلّ، مرطبان مع غطاء.

يستقصي الطلّاب، ضمن مجموعات صغيرة، مُعامِل يونج لعظام الدجاج، ويقارنونه بموادّ أخرى دُرِست من قبل. ثمّ يغمرون عظام الدجاج كلّه في الخلّ مدّة أسبوع، لملاحظة تأثيرات إزالة الكالسيوم من العظام.

الخطوات

1. ابدأ بالعمل على كثير من عظام الدجاج النظيفة. اختر العظام المتماثلة في الحجم والطول.
2. حاول إجراء اختبار متانة من ثلاث نقاط على عظم واحد. ضع قيمة متانة نسبيّة للعظم. لا تكسر العظم.
3. اغمر العظم في مرطبان الخلّ. أغلق غطاء المرطبان، وضعه جانبًا.
4. انتظر أسبوعًا واحدًا.
5. أخرج العظم، ونظّفه، وأعد اختبار متانة النقاط الثلاث.
6. سجّل ملاحظاتك.

الأسئلة والتّحليل

a. ما الفرق الذي لاحظته في متانة العظم النسبيّة؟

b. الخلّ حمض ضعيف، لكنّه قويّ بما يكفي لإذابة الكالسيوم من العظم.

c. ما الدّور الذي قام به الكالسيوم في متانة العظم؟

d. حاول ابتكار طريقة لقياس كمّيّة الكالسيوم التي كانت موجودة أصلًا في عظم الدجاج.

- زِنْ عظم الدجاج.
- اسحب العظم من الخل، ودعّه ليجفّ تمامًا.
- زِنْ عظم الدجاج مرّة أخرى.
- جرّب إن كان يمكنك كشف الاختلاف في الوزن.

نسبة المتانة إلى الكتلة

على الرغم من أنّ عظامَ الطائر الذي يطير هي عظام جوفاءُ، فإنّها لا تجعله أخفّ كتلة. حقيقة الأمر أن كتلة الهيكل العظميّ للطائر (**الشكل 6-27**) هي الكتلة نفسها لهيكل عظميّ في حيوان ثدييّ بالحجم نفسه. ونتيجة لتركيز العظم القشري على السطح الخارجيّ للعظم، يكون للطائر عظم أقوى قياسًا على الكتلة نفسها. تسمح هذه الميزة للطّائر بتركيز مزيد من القوّة على الجناحين، ما يسمح له بالطّيران. الخفافيش أيضًا تتّصف بهذه الميزة.

الشكل 6-27 صورة أشعة سينيّة لهيكل عظميّ لطائر.

الشكل 6-28 طائرة خفيفة جدًّا مع دعامات قويّة، لكنّها جوفاء.

تُعدّ نسبة المتانة إلى الكتلة متغيّرًا آخر يجب أن يُؤخذ في الحسبان عند بناء أيّ هيكل. وهذا المتغيِّر مهمّ جدًّا إذا كان الهدف أن يطير ذلك الهيكل. من الطائرة الخفيفة جدًّا (**الشكل 6-28**)، إلى الطائرة التجاريّة الكبيرة، القصد هو الحصول على أعلى متانة لأقلّ مقدار من الكتلة.

عند التفكير في بديل للعظم البشريّ، فإنّ متغيّرًا إضافيًّا يجب تفحّصه، ألا وهو الشكل. ذلك أن المقطع العرضي لعظم الفخذ مستدير، في حين أن المقطع العرضيّ لعظم الساق (القصبة tibia) مثلّث. يقوم الشكلِ بدور مهمّ عند النظر في الوظيفة المطلوبة من ذلك الطرف.

عند النظر إلى الهياكل الكبيرة، لا نتوقّف فحسب عند الموادّ الّتي تتألف منها الدعامات، رغم أهميتها، بل عند الشكل الذي تنتجه تلك الدّعامات. للمثلّث بعض الميزات الهيكليّة المثيرة للاهتمام (**الشكل 6-29**)، إضافة إلى بساطة استخدام ثلاث دعامات بدلًا من أربع.

يسهم شكل الهياكل المجهريّة داخل العظم في متانته ومرونته.

الشكل 6-29 دعامات مستديرة تشكّل مثلثات تركيبية في مبنى.

نشاط عملي

b2-6 تصميم العظام

سؤال الاستقصاء	كيف يسهم الشكل في متانة العظم؟
الموادّ المطلوبة	بطاقات فهرسة (بطاقات ملاحظات)، شريط لاصق، أوزان، حصيرة واقية.

يبحث الطلاب، ضمن مجموعات ثنائيّة، في تركيب عظام الإنسان.

الخطوات

1. استخدم بطاقات الفهرسة لتكوّن بعناية أشكالًا مختلفة تمثّل تركيب العظام: منها المستدير، ومنها المثلّث، فضلًا عن أشكال أخرى.
2. استخدم شريطًا لاصقًا لإلصاق البطاقات بعضها ببعض. لكن لا تستخدم كثيرًا من الشّريط، لئلّا يصبح جزءًا من متانة الهيكل.
3. غطّ بالستيروفوم أو بقطعة قماش منطقة الاختبار. فأنت تختبر درجة الهدم، ولا تريد سقوط الأوزان على سطح الطاولة فتتلفه.
4. ضع هياكل منفردة على الطاولة. وأضف بحرصٍ الأوزان (**الشكل 6-30**). تأكّد من موازنة الأوزان قبل أن تسمح للوزن الكلّيّ بالاستقرار على الهيكل.
5. استمر في إضافة الأوزان حتى تنحني بطاقتك. سجّل الوزن الكلّيّ الذي حمله الشكل.
6. كرّر الأمر مع أشكال أخرى.

الشكل 6-30 اختبار انضغاط الهيكل.

الأسئلة والتحليل

a. ما الشكل الذي كان قادرًا على تحمّل أكبر قوّة انضغاطية؟
b. بمجرّد انحناء الشكل، لن يعود قادرًا على دعم حتّى أقلّ الأوزان. ما سبب صحّة ذلك؟
c. ما مدى أهميّة بناء الأشكال الأصليّة بعناية؟
d. ما مدى أهميّة الشكل لمتانة العظام؟

تاريخ الأعضاء الاصطناعيّة

يتمتّع علم صناعة **أجزاء الجسم الاصطناعيّة Prosthetics**، بتاريخ طويل. وربّما كانت الأسنان الاصطناعيّة هي الأعضاء الاصطناعيّة الأكثر شيوعًا. يُعدّ الزّهراوي أعظم جراح في العصور الوسطى، وتُنسب إليه أول محاولة لإصلاح سنّ مفقودة، عن طريق إعادة زرع سنّ من متبرّع. ظل استخدام الأسنان الاصطناعية أمرًا غير ممكن حتى العام 1965، عندما تم بنجاح صهر التيتانيوم مع نسيج العظم، لتصبح الأسنان الاصطناعيّة حقيقة. فقد زُرع عمود تيتانيوم (**الشكل 6-31**) في عظم الفكّ. ومع مرور الوقت، نمت أنسجة عظميَّة حيّة حول العمود ليصبح لاحقًا جزءًا من الفكّ. وقد اختيرت موادّ مع مُعامِل يونج مناسب، لتطابق 18 GPa للفكّ، بما يضمن توزيعًا متّسقًا للإجهاد. إن متانة الشد والانضغاط مهمة جدًّا. وبينما تُواصِل السبائك المعدنيّة تلبية تلك المتطلّبات، تبقى زرعات الخزف، وكذلك الزركونيا الأكثر شيوعًا.

الشكل 6-31 زراعة أسنان.

وفي الوقت الذي لا تزال فيه البحوث جارية لمحاكاة طبيعة العظم المتعدّدة الجوانب، تجري محاولات لجعل الأطراف الاصطناعيّة الحديثة تحاكي وظيفة الأجزاء المفقودة أو التالفة. وقد كان للجانب الجماليّ في نظر كثير من الناس عبر التاريخ أهميّة خاصة، إذ رغبوا في أطراف اصطناعيّة تماثل في مظهرها مظهر الطرف المفقود. لذلك من الجيّد أن تتمّ هندسة جسم الإنسان لتزويده بقدم تماثل تقريبًا في وظيفتها ومظهرها القدم الطبيعيّة.

الشكل 6-32 قدم اصطناعية من ألياف الكربون مع غطاء.

ومع 26 عظمًا مختلفًا في قدم الإنسان الطبيعيّة، يمكن للعضو الاصطناعيّ فقط مقاربة الوظيفة. ذلك أن القدم الاصطناعيّة الحديثة لديها كعب ماص للطاقة شافية تقلّل من تأثير المشي، وباطن قدم يخزن قليلًا من الطاقة التي تعطي دفعة صغيرة للخطوة اللاحقة (**الشكل 6-32**). يمكن تغطية تلك القدم بغطاء مرن يسمح لمستخدمها بانتعال أحذية تقليديّة، وتتيح له مِشْيَة طبيعيّة. وبالجمع بين الساق الاصطناعيّة (**الشكل 6-33**)، ومَفْصِل الركبة، فإنّ ما كان سابقًا يشكّل إصابة موهنة، أصبح ببساطة جزءًا من روتين الحياة اليوميّ.

الشكل 6-33 ساق اصطناعية.

التقدّم في صناعة الأعضاء الاصطناعيّة

منذ القِدَم، كان هناك أشخاص يهتمّون بالأداء على حساب المظهر. فعندما كان الجندي يفقد يده في المعركة، كان يُطلَب إلى صانع الأسلحة تزويده بأيّ شيء يتيح له حمل درعه والمناورة به. وتماشيًا مع التزام الأداء، اكتشف المتسابقون النخبة أنّ ألياف الكربون المعزّزة بالبوليمر تتّصف بصلابة كافية، وبنسبة متانة إلى الكتلة عالية، تكفي لمحاكاة تخزين الطاقة في العضلات، والأوتار، وتركيب عظام الساق، والكاحل، والقدم. وهكذا، فإن الطرف الاصطناعيّ (المجذافيّ الشكل) الظاهر في **الشكل 6-34** الذي لا يبدو كالسّاق أو القدم، يسمح بالمنافسة على المستوى العالميّ، لمن يفتقدون ساقًا واحدة أو ساقين.

الشكل 6-34 الطرف الاصطناعيّ (المجذافيّ) لمنافسات الجري والقفز.

تسمح الموادّ الجديدة المُنتَجة من خلال الطباعة الثلاثيّة الأبعاد (3D) بالتقدّم على صعيد أجهزة الأعضاء الاصطناعيّة. لكنّها تواجه مشكلة بسيطة في التغذية الراجعة. فقد ترى الجهاز لكنك لا تستطيع أن تشعر به كما لو كنت تمتلك يدًا طبيعيّة. ومع التقدّم في تكنولوجيا الحاسوب، يجري تطوير نظام تغذية راجعة عصبيّة يسمح للمستخدمين بالسيطرة على الطرف الاصطناعيّ، والإحساس باللمس (**الشكل 6-35**) عبر استخدام المُستقبِلات العصبيّة في الدماغ.

الشكل 6-35 حركة بسيطة لأنظمة التغذية الراجعة مع الواقع الافتراضيّ.

تقويم الدرس 6-2

1. ما البروتين الذي يكوّن معظم نسيج العظم؟
   a. الكثيف
   b. الكولاجين
   c. الإسفنجيّ
   d. هيدروكسي الأباتيت
2. ما تركيب العظم الأكثر كثافة؟
   a. القشري
   b. الكولاجين
   c. الإسفنجيّ
   d. هيدروكسي الأباتيت.
3. ما مرض العظام الذي يسبّبه تدخين التبغ؟
   a. الخلايا العظميَّة.
   b. الخلايا البانية للعظام.
   c. الخلايا الهادمة للعظام.
   d. هشاشة العظام.
4. ما سبب المرونة الفائقة للهيكل في سمك القرش؟
5. ما الفرق الرئيس بين تركيب العظمين: الإسفنجيّ، والقشري؟
6. ما المشكلات التي تنشأ لدى العمل على محاكاة نسيج عظم الإنسان، ولا تنشأ لدى العمل على تحديد أفضل المواد لصنع معقّد؟
7. عظم الفكّ هو العظم الأمتن في الجسم. اشرح ضرورة ذلك.
8. يكون العظم أمتن إذا طُبِّقت عليه قوّة في اتجاه مواز له، ويكون أضعف إذا طُبِّقت عليه قوّة متعامدة معه. اشرح كيف يمكن لعظم ثلاثيّ الشكل، مثل الساق، أن يعطي العظم ميزة في المتانة.

العلم والعلماء

علي حسن نايفة 1933- 2017

الشكل 6-36 الدكتور علي حسن نايفة.

وُلد الدكتور نايفة من أبوين فلسطينيّين فقيرين في طولكرم بالضفّة الغربيّة (**الشكل 6-36**). واصل تعليمه ليصبح عالِمًا متميزًا، وأستاذًا في الرياضيّات، وفي مجالات أخرى، منها الديناميكيّات الهيكليّة، المجال الذي يبحث في سلوك الموادّ تحت تأثير قوى إجهاد الشدّ في الحالتين الخطّيّة وغير الخطّيّة.

على الرغم من أنّ والدَيْه أميَّان، فإنهما شجّعاه على متابعة كثير من الفرص التعليميّة التي كانت متاحة له. وفي أثناء عمله مدرِّسًا للرياضيات في فلسطين، حاز منحة للدراسة في جامعة ستانفورد بالولايات المتّحدة، حيث نال منها درجة الدكتوراه عام 1964.

وبينما كان يتابع دراسته العليا، طلب إليه صديق له المساعدة في حل مشكلة ديناميكيّات السفن (**الشكل 6-37**). أصبح علي نايفة مفتونًا بالمشكلة، وبكيفية تطبيق الرياضيات والفيزياء لحلّها. وواصل كتاباته لتصل إلى أكثر من أربعمئة مقالة، وعشرة كتب عن التقدّم في ديناميكيّات الموائع، والديناميكا الهوائيّة، والصوتيّات، والديناميكا المائيّة، وسواها من الموضوعات ذات الصلة. كانت رؤيته لكيفيّة البحث عن الاستقرار بخصوص ما يبدو عشوائيًّا قد وجدت تطبيقات لها في تصميمات هيكليّة كثيرة، منها المركبات الفضائيّة.

وتقديرًا لأعماله، حصل نايفة على ميدالية بنجامين فرانكلين في الهندسة الميكانيكيّة عام 2014، مضيفًا اسمه إلى قائمة مشاهير علماء، تضمّ ألبرت أينشتاين، وتوماس أديسون، وماري وبيير كوري.

ما بين العامين 1980 و 1984، أسّس نايفة كلّيّة الهندسة في جامعة اليرموك، التي تبعد نحو سبعين كيلومترًا شمال العاصمة الأردنية عمّان. وكان خبيرًا في مجال تقنيّات الاضطّراب (مجال أسهم في تأسيسه) لحلّ مشكلات معقّدة، عن طريق تجزئتها إلى مشكلات أصغر قابلة للحل. شارك في مؤتمرات دوليّة. ويعود إليه فضل التأثير في حياة آلاف الناس نتيجة أعماله.

الشكل 6-37 فُهمت حركة الفوضى بوساطة تقنيّات الاضطراب.

الوحدة 6

مراجعة الوحدة

الدرس 6-1: القوى في الموادّ

- يكون الجسم في حالة **انضغاط Compression** عندما تُطبَّق عليه قوّة لتجعله أصغر، في حين يكون في حالة **شد Tension** عندما يتمدّد بِفِعْلِ القوّة المطبَّقة عليه.
- ينصّ قانون هوك على أنّ القوّة التي يطبقّها نابض هي: $F = -k\,x$ حيث k ثابت النابض و x استطالته أو إنضغاطه.
- يصف **ثابت النابض Spring constant** مقدار القوّة المطبَّقة لاستطالة النابض لكلّ وحدة من وحدات الطول.
- **المادة المرنة Elastic material** تنحني لتستعيد شكلها الأصلي، وتميل الموادّ **الهشّة brittle** إلى الانكسار قبل الانحناء.
- **إجهاد الشدّ Stress** هو نسبة القوّة مقسومة على مساحة المقطع العرضيّ، **وانفعال الشد strain** هو مقدار التغيُّر في الطول مقسومًا على الطول الابتدائيّ.
- تربط **الأربطة Ligaments** المفاصل بعضها ببعض، في حين تربط **الأوتار Tendons** العضلات بالعظام.
- **مُعامِل يونغ Young's modulus** هو نسبة إجهاد الشدّ مقسومًا على انفعال الشدّ، ويصف صلادة المادّة.
- **المادّة المتينة Strong material** يمكنها أن تتحمَّل إجهاد شدّ أكبر قبل أن تنكسر.
- **المادّة الصلدة Stiff material** تتعرّض لتغيُّر أقل بتأثير الشدّ.**المادّة الصلبة Hard material** لا تنخدش بسهولة.**الجسم الليِّن Flexible body**يمكنه الانحناء أو الثني بدون أن ينكسر.

الدرس 6-2: عظام الإنسان

- **الكولاجين Collagen** بروتين، ومكوّن أساسي للعظام.
- **هيدروكسي الأباتيت Hydroxyapatite** مركّب يحتوي على الكالسيوم والبوتاسيوم، ويمنح العظام متانتها.
- **الخلايا العظميّة Osteocytes** هي خلايا العظام الحيّة.
- العظام فيها مناطق مختلفة، منها **العظم الإسفنجيّ (التربيقي Trabecular) والعظم القشريّ الصّلب Cortical**.
- يبني جسمك كتلة العظام بوساطة خلايا تسمّى **خلايا بانية للعظام Osteoblasts**. ويمكن إعادة امتصاص المعادن من العظام بوساطة خلايا أخرى تسمّى **الخلايا العظميّة الهادمة Osteoclasts**.
- يبلغ مُعامِل يونغ للعظام نحو 1,700 MPa مقارنة بـ 200,000 MPa للفولاذ و 11,000 MPa للبلّوط.
- **Prosthetics** هو **علم صناعة أجزاء اصطناعيّة للجسم**، بما في ذلك استبدال العظام والمفاصل.

اختيار من متعدِّد

1. أيٌّ من المصطلحات التالية توصيفٌ لنسبة التغيّر في طول جسم إلى طوله الأصليّ عند انضغاطه؟

   a. الانفعال.
   c. التشوّه المرن.
   b. الإجهاد.
   d. مُعامِل المرونة.

2. أيٌّ مما يأتي أفضل توصيف للرباط؟

   a. الجزء الأكثر قساوة من العظام القريب من المفصل.
   b. الموصِّل بين العظام والعضلات.
   c. مادّة تشبه النابض يتشكّل منها الهيكل العظمي لأسماك القرش.
   d. هيكل صلب، ولكنّه مرن، يربط المفاصل بعضها ببعض.

3. ماذا يُسمّى مقياس القوّة المطبّقة على مساحة مقطع عرضي لجسم؟

   a. انفعال الشدّ.
   c. التشوّه المرن.
   b. إجهاد الشدّ.
   d. مُعامِل المرونة.

4. ماذا يُسمّى ميل خط الرسم البيانيّ للقوّة مقابل التشوّه لنابض؟

   a. قانون هوك.
   c. متانة الموادّ.
   b. ثابت النابض.
   d. قوة الشدّ.

5. تُطَبَّقُ قوّة مقدارها 200 N على نابض، ثابته 4000 N /m، في اتّجاه تمدّده. ما مقدار تشوُّه النابض؟

   a. 0.02 m
   c. 0.5 m
   b. 0.05 m
   d. 20 m

6. أيّ نوع من الموادّ لديه ميل إلى الكسر، وتشوّه قليل جدًّا؟

   a. معدنيّ.
   c. قابل للسّحب.
   b. هشّ.
   d. متصدِّع.

7. إذا طُبِّقتْ قوّة مقدارها 100 N من خلال حبل له مقطع عرضيّ $0.1 m^2$ ما قيمة إجهاد الشدّ الذي يُنتجه؟

a. 10 Pa
b. 100 Pa
c. 1000 Pa
d. 10000 Pa

8. حبل طوله 25 m، إذا عُلِّقَتْ به حمولة تنتج انفعال شدّ مقداره 5 %، ما مقدار الزيادة في طول الحبل؟

a. 0.05 m
b. 0.5 m
c. 1.25 m
d. 12.5 m

9. ما جزء نسيج العظم الذي يمنحه قوّته؟

a. القشريّ
b. الكولاجين
c. الإسفنجيّ الحجيريّ.
d. هيدروكسي أباتيت.

10. ما جزء نسيج العظام الذي يمنحه مرونته؟

a. القشريّ
b. الكولاجين
c. الإسفنجيّ الحجيريّ.
d. هيدروكسي الأباتيت.

11. ما خلايا العظام المسؤولة عن ترسيب المعادن على الكولاجين ؟

a. الخلايا العظميّة.
b. الخلايا البانية للعظام.
c. الخلايا الهادمة للعظام.
d. هشاشة العظام.

12. ما مقدار مُعامِل يونغ قضيب مطاطيّ مربّع الشكل مقطعه العرضيّ إذا تمدَّد 10 % بتطبيق قوّة عليه مقدارها 100 N؟ مساحة المقطع العرضي تساوي $0.1m^2$.

a. 100 Pa
b. 1000 Pa
c. 10000 Pa
d. 100000 Pa

الدرس 6-1: القوى في الموادّ

13. اذكر مثالًا على قوّة الانضغاط.

14. اذكر مثالًا على قوّة الشدّ.

15. انظر إلى يدك التي تحمل جهازًا. أيّ جزء من يدك يكون في حالة انضغاط؟

16. كيف تحسب الثابت المجهول لنابض؟ صِفِ المعدّات التي تحتاج إليها، والبيانات التي ستعرضها.

17. ما هو ثابت نابض قوّة الشد فيه مقدارها 56 N، إذا تمدّد مسافة 0.16 m؟

18. ما مقدار انضغاط نظام الفرامل الأمامية الذي يحتوي على نابض بثابت مقداره 50000 N/m، عندما يضغط راكب الدراجة عليه بقوّة 1500 N؟

19. لماذا يقاس إجهاد الشدّ بوحدات الضغط (Pa) نفسها؟ في أثناء محاولة لتعليق كتلة بخيط طويل، ينكسر النابض على نحو متكرّر. إذا استخدمنا خيطًا أقصر، فهل يمنعه ذلك من الكسر؟

20. خلال إجراء تجربة، سجّل زميلك في المختبر انفعال الشدّ باستخدام وحدات cm. هل كان استخدام زميلك لتلك الوحدات صحيحًا؟

21. ما مقدار استطالة نابض ثابته 100 N/m، كي يحمل صندوقًا وزنه 22 N؟

22. ما مقدار ثابت نابض يطبِّق قوّة مقدارها 56 N، عندما يتمدّد مسافة 0.16 m؟

23. ما مقدار القوّة اللازمة لتوليد إجهاد شدّ مقداره 100,000 Pa، في حبل مساحة مقطعه العرضيّ تساوي $0.002\ m^2$؟

24. ما إجهاد الشدّ في عظم فخذ فيل وزنه 55000N ؟ قطر عظم فخذ الفيل يساوي 25 cm.

25. مادّة متجانسة طولها 3.00 cm، خاضعة لانفعال شدّ عليها مقداره 15.0 %. ما الطول الذي ستصبح عليه هذه المادّة عند قيمة انفعال الشدّ هذه؟

26. عيّنة من الألمنيوم شكل مقطعها العرضي مستطيل بُعداه 16.8 mm × 21.3 mm، سُحبت بشدّ قوته 36,750 N. احسب الشدّ الناتج إذا كان مُعامِل المرونة لعيّنة الألمنيوم 70 GPa.

الدرس 6-2: عظام الإنسان

27. وتر قطره 1 cm، يحمل قوّة مقدارها 250 N. يبلغ طول الوتر 5 cm:

a. احسب إجهاد الشدّ في الوتر.

b. احسب مُعامِل يونغ للوتر إذا كان الوتر يستطيع أن يتمدّد مسافة 0.2 cm بتطبيق هذه القوّة عليه.

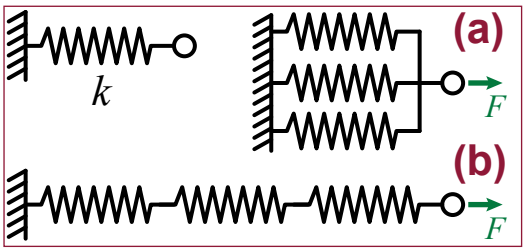
c. يمكن أن تتمزَّق الاوتار وتُصاب بجروح إذا تجاوز إجهاد الشد فيها 20,000,000 Pa. هل مقدار الحمل الذي وُصِفَ سابقًا يسبّب جروحًا للوتر؟

28. حبل طوله 10 أمتار، تبلغ مساحة مقطعه العرضيّ $0.0005\ m^2$. صُنِعَ الحبل من مواد ذات معامل يونغ يساوي 2,000 MPa (2×10^9Pa). طُبِّقَتْ قوّة شدّ على الحبل مقدارها 1000 N:

a. احسب إجهاد الشدّ في الحبل.

b. احسب انفعال الشدّ في الحبل.

c. ما مقدار تمدّد الحبل بالأمتار؟



29. نابض له ثابت k. ما قيمة ثابت النابض المكافئ في كل من الحالتين (a وb) كما في الشكل المقابل؟

30. كيف يُوَزَّعُ هيدروكسي الأباتيت على الكولاجين؟ ولماذا يعتقد العلماء أنّ هذا هو سرّ متانة العظم؟

31. صِفِ الغرضَ لكلٍّ من الخلايا البانية للعظم والخلايا الهادمة للعظم في تطوّر أنسجة العظم. واشرح لماذا تُعَدُّ هذه العمليّة هي الوحيدة التي يُعْزَى إليها سبب نموّ العظم.

32. ما هو الأكثر موثوقيّة عند تحديد قوّة العظام؟

33. صِفْ كيف تعطي نسبة المتانة إلى الكتلة ميزة للطيور تساعدها على الطيران.

34. كيف يختلف الطرف الاصطناعيّ عن زراعة العظام، مثل: زراعة الأسنان أو الورك الاصطناعيّ؟

35. ما المتغيّرات التي ينبغي مراعاتها عند اختيار موادّ لطرف اصطناعيّ؟

الوحدة 7

الكربون والأوزون

Carbon and Ozone

في هذه الوحدة

- **الدرس 7-1:** الأرض في توازن — GC1105
- **الدرس 7-2:** اختلال التوازن — GC1106
- **الدرس 7-3:** الجهود المبذولة لاستعادة التوازن — GC1107
- GC1108

الوحدة 7

مقدّمة الوحدة

الأرض كوكب كبير، نشأ منذ نحو 4.5 مليارات سنة. وخلال هذا التاريخ الطويل، شهد الكوكب العديد من التغيُّرات، بما في ذلك تجمُّده في القطب الشمالي و القطب الجنوبي، وإعادة تشكُّل قاراته ومحيطاته مرّات متعدِّدة. ويعدّ تاريخ الإنسان على الأرض قصيرًا جدًّا مقارنة بتاريخ الأرض. وخلال السنوات العشرة آلاف الأولى من تاريخنا، كان تأثير الإنسان ضئيلًا في الكوكب. أمَّا الآن، فيعيش على الأرض نحو 8 مليارات إنسان. وقد وصلت أنشطتنا إلى مستوى غيرت فيه دورات الأرض الطبيعية. لكن خلال المليون عام القادمة، سوف تهتم الأرض بنفسها، وتصلح الأضرار التي قد يسببها الإنسان لها.

ولسوء الحظ، لا يمكن أن يقال الشيء نفسه عن الناس الذين يعيشون على الأرض. ويعتقد معظم العلماء أننا نسهم في التحوّل الكبير الذي سيطرأ على حالة كوكب الأرض. وقد تؤدي التغيُّرات التي نسبّبها إلى زوالنا. غير أن فهم الطرق التي نغيّر بها كوكبنا قد يساعدنا على منع التغيُّرات المستقبلية، أو على الأقل التكيّف معها.

الأنشطة والتجارب

a1-7 تغيُّر درجة حرارة الأرض
b1-7 درجة حرارة الأرض وثاني أكسيد الكربون
c1-7 درجتا حرارة الأرض والماء وانعكاساتهما
d1-7 البراكين وغازات الدفيئة
a2-7 مركّبات الكلوروفلوروكربون
b2-7 محرِّك الاحتراق الداخلي
c2-7 الدور المزدوج للأوزون
d2-7 امتصاص الضوء
a3-7 الكشف عن الرصاص
b3-7 صعوبة العمل المتعدّد الجنسيات
c3-7 تأثير الأنشطة البشرية

الدرس 7-1
الأرض في توازن
The Earth in Balance

قليلة هي الأحداث التي تشهدها الأرض ويكون لها تأثير أكبر من تأثير بركان ثائر (**الشكل 7-1**). تقذف الأرض غازات وموادّ احتجزت تحت سطحها على مدى ملايين السنين. وتشكِّل الصخور ذات المنشأ البركاني جزءًا من دورة قد تؤدّي في النهاية إلى انفجار بركان آخر بعد **50** مليون سنة. ولا تزال الأرض تكرّر دوراتها الجيولوجية منذ نشأة الكوكب. ولسوء الحظ ، قد يكون لدى الإنسان ما يكفي من التكنولوجيا والطاقة البشرية للتأثير في دورات الأرض ، ولكن ليس إلى الأحسن.

الشكل 7-1 بركان.

مخرجات التّعلُّم

GC1105.1 يصف كيف تسهم الغازات الموجودة في الهواء في تأثير الدفيئة والعمليات الارتجاعية التي تنشأ عنها.

GC1105.3 يستخدم أنواعًا مختلفة من سجل المُناخ لاستخلاص الاستنتاجات، ووضع التنبؤات.

GC1106.1 يدرك قصور النماذج المستخدمة لكل من محاكاة تغيُّر المُناخ والتنبؤ به. ويقترح أسباب الشك في وجود تأثيرات ناتجة من الأنشطة البشرية في المُناخ.

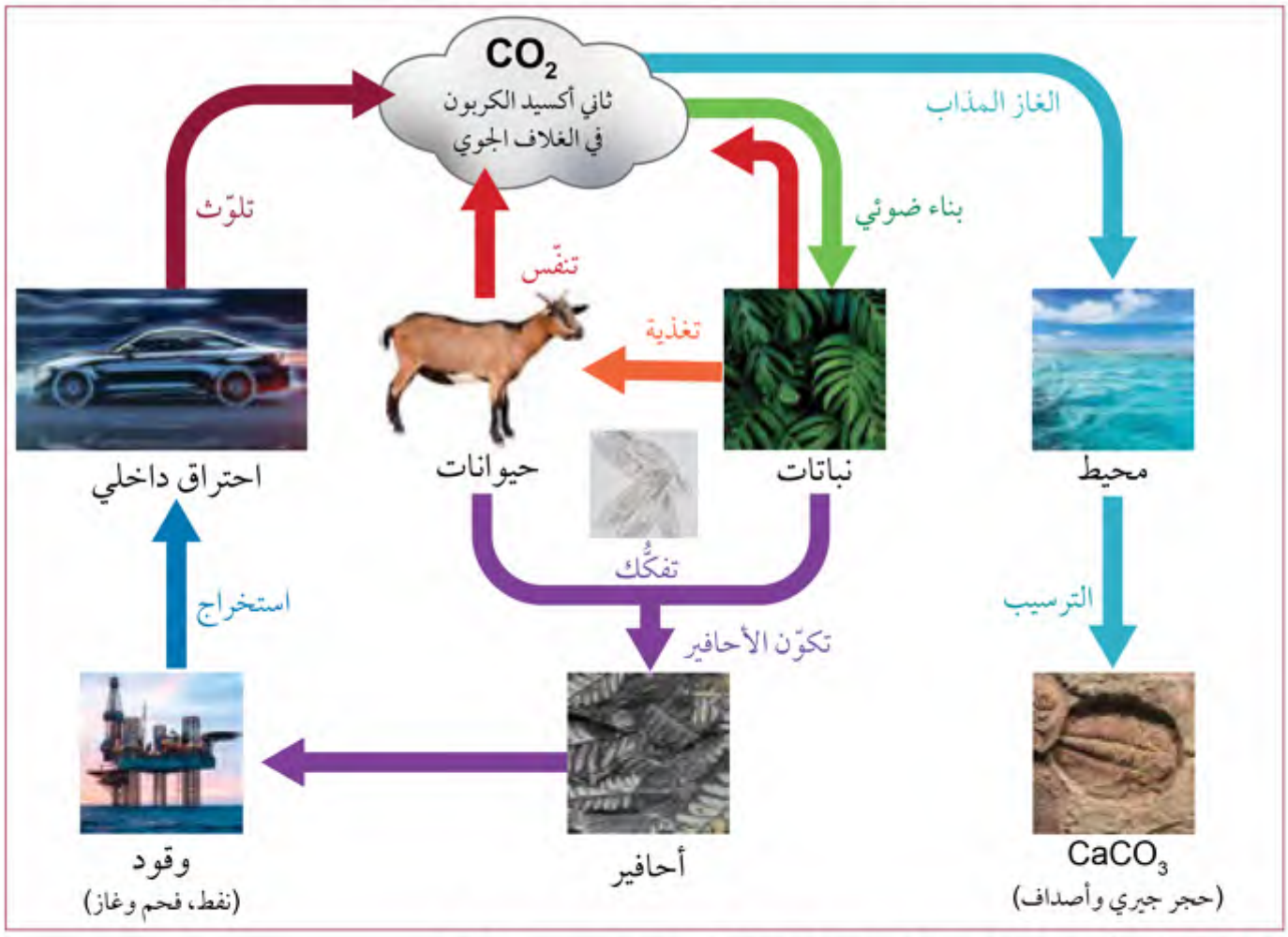
المفردات

Anthropogenic activities	الأنشطة البشرية
Greenhouse effect	تأثير الدفيئة
Greenhouse gases	غازات الدفيئة
Carbon dioxide	ثاني أكسيد الكربون
Sinks	خزانات
Correlation	ارتباط
Causation	النسبية
Ozone	الأوزون
Stratosphere	الستراتوسفير
Methane	الميثان
Nitrous oxide	أكسيد النيتروز
Climatologist	عالم المُناخ
Paleoclimatology	علم المُناخ القديم

دورة الكربون

يُعدّ الكربون العنصر الرابع الأكثر شيوعًا في الكون. فالأرض غنية به، وهو أساس الحياة عليها. ويكون الكربون الموجود في الهواء على شكل CO_2، ثاني أكسيد الكربون، الذي تأخذه النباتات وتُدخِله في تراكيبها أثناء عملية البناء الضوئي نهارًا، وفي الليل تعمد إلى إطلاق القليل منه. تأكل الحيوانات النباتات، وتطلق القليل من ثاني أكسيد الكربون في الهواء أثناء عملية التنفس (الزفير). ويمثل ذلك حلقة تغذية راجعة بسيطة للكربون في الطبيعة.

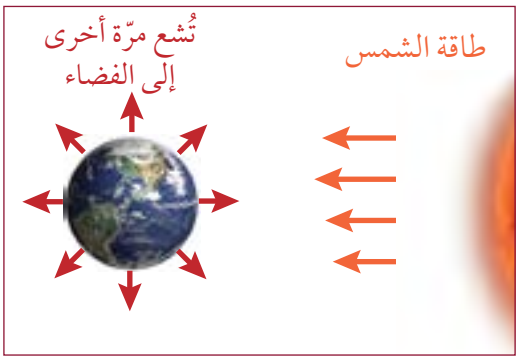
ويذوب ثاني أكسيد الكربون في المحيطات بمعدَّل تركيز يبلغ 50 ضعفًا عمّا في الهواء. وتجعل حيوانات البحر ذاك الكربون جزءًا من أجسامها. أما الحيوانات البحرية ذات الأصداف، فتحصل على الكربون ليتخذ في أجسامها شكل $CaCO_3$، كربونات الكالسيوم. وعندما تموت تلك الحيوانات، تصبح أصدافها جزءًا من الصخور الرسوبية التي تُسمّى الحجر الجيري. وعندما تصبح الأصداف جزءًا من القشرة الأرضية، ينصهر الكربون الذي تتضمّنه ويندفع خلال ثوران بركاني، في ما يُسمَّى الدورات الطبيعية.



الشكل 7-2 توضّح دورة الكربون العناصر الطبيعية والعناصر التي صنعها الإنسان.

هناك **أنشطة بشرية Anthropogenic activities** يقوم بها الإنسان، ولا تشكّل دورة بحدّ ذاتها **(الشكل 7-2)**. حيث يُستخرَجُ الكربون المحتجز في باطن الأرض على شكل وقود أحفوري، ويُطلق في الغلاف الجوي من دون توفير مصدر لاستعادة توازن الكمية نفسها من الكربون فيه. وقد أدّى ذلك إلى اختلال التوازن في دورة الكربون عبر الطبيعة.

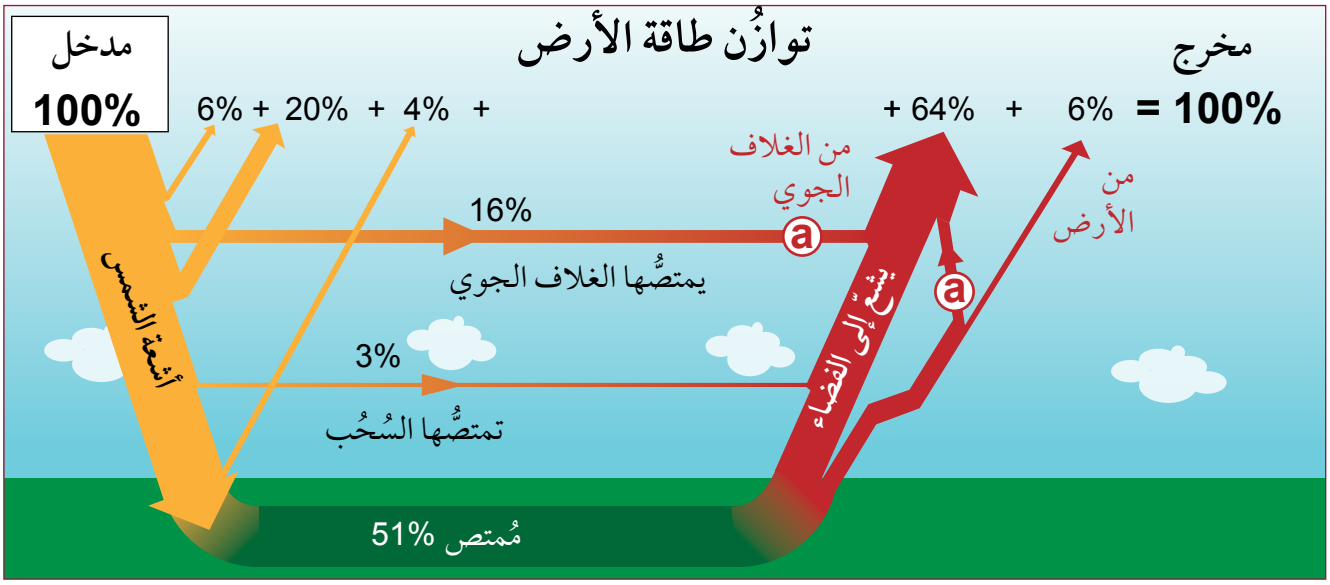
أثر الدفيئة



الشكل 7-3 توازن الطاقة.

ينعكس نحو نصف الطاقة الناتجة من أشعة الشمس التي تسقط على الأرض في الفضاء. ويتم امتصاص الباقي، وتحويل الطاقة إلى حرارة. أضف إلى ذلك أن الأجسام الدافئة جميعها التي ترتفع درجة حرارتها عن الصفر المطلق تُشعّ طاقة إلى الفضاء، بما في ذلك الأرض. (**الشكل 7-3**). يُحدَّدُ متوسِّط درجة حرارة الأرض من خلال حقيقة أن كوكب الأرض يجب أن يكون في حالة توازن.

ولا بد للطاقة الممتصة من الشمس من أن تشعّ كلها مرة أخرى إلى الفضاء. وكلما كانت الأرض أكثر دفئًا زادت الطاقة المشعّة إلى الفضاء. وإذا تم امتصاص المزيد من الطاقة، فيجب أن تصبح الأرض أكثر دفئًا لتشعّ الطاقة الإضافية مرة أخرى في الفضاء، لتحافظ على اتزانها.



الشكل 7-4 بعض تفاصيل توازُن طاقة الأرض.

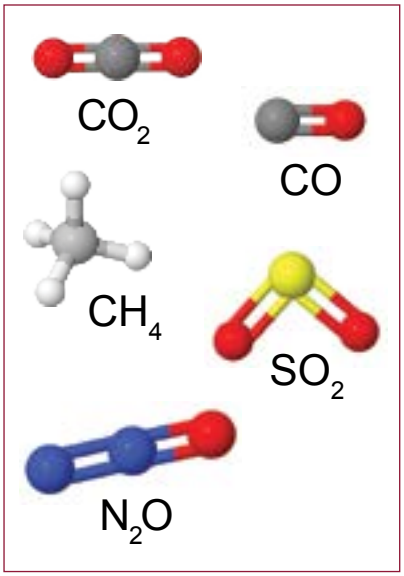
يوضِّح (**الشكل 7-4**) الطرق التي تنعكس بها طاقة الشمس التي تصل إلى الأرض، وهي إمّا تمتصها وإمّا تُشعِّها في الفضاء.

- ينعكس % 30 من ضوء الشمس الواصل إلى الأرض على النحو الآتي: % 6 من الغلاف الجوي العلوي، % 20 من الغلاف الجوي، و % 4 من اليابسة.
- يجب على الأرض أن تطلق الطاقة التي امتصتها على شكل أشعة تحت الحمراء ذات الطاقة الضوئية المنخفضة.

يمتصّ الغلاف الجوي للأرض بعض الطاقة الحرارية، بما في ذلك بعض الطاقة المشعّة من الأرض (**الشكل 7-4a**)، فتُضاف هذه الطاقة إلى الطاقة الممتصّة مباشرة من أشعة الشمس، وهذا ما يُعرف باسم ظاهرة تأثير الدفيئة. والطاقة التي يُعاد امتصاصها لا تشعّ مرة أخرى إلى الفضاء. يعم الدفء سطح الأرض كلها وذلك لحفظ التوازن. يعرف هذا التأثير باسم تغيُّر المُناخ، أو «الاحترار العالمي».

غازات الدفيئة

تُسمّى الغازات التي تمتص الطاقة الحرارية في الغلاف الجوي باسم **غازات الدفيئة Greenhouse gases**. ويعتبر بخار الماء، H_2O، أكثر غازات الدفيئة شيوعًا. أثناء النهار، يعكس ماء السُحُب ضوء الشمس إلى الفضاء الخارجي ليساعد في تبريد الأرض. وفي أثناء الليل، تحجز السحب الكثير من طاقة الأشعة تحت الحمراء التي يشعّها سطح الأرض، محافظة على دفء كوكب الأرض. فيحمل الهواء الأكثر دفئًا المزيد من بخار الماء؛ وهذا يؤدي إلى تكوّن المزيد من السحب، التي تعكس المزيد من أشعة الشمس إلى الفضاء الخارجي. تمثل هذه العملية «حلقة إنعكاسية» طبيعية، تحافظ على ثبات درجة حرارة الأرض.



الشكل 7-5 بعض غازات الدفيئة.

ثاني أكسيد الكربون Carbon dioxide CO_2، هو أحد غازات الدفيئة الأخرى الموجودة في الجوّ عند ارتفاعات منخفضة، وله تأثير كبير في الأرض. وحتى سنة 1800، كان الغلاف الجوي للأرض يحتوي على نحو 280 جزءًا من المليون من ثاني أكسيد الكربون (200 ppm = 0.028 %). تستخدم النباتات الكربون المستخلص من ثاني أكسيد الكربون في عملية البناء الضوئي. وتستخدم كائنات حيّة تعيش في المياه الكربون في صنع أصدافها. ويتم سحب كربون الغلاف الجوي إلى **خزانات Sinks**، أو مناطق من الكربون المحفوظ داخل الأرض **(الشكل 7-6)**.

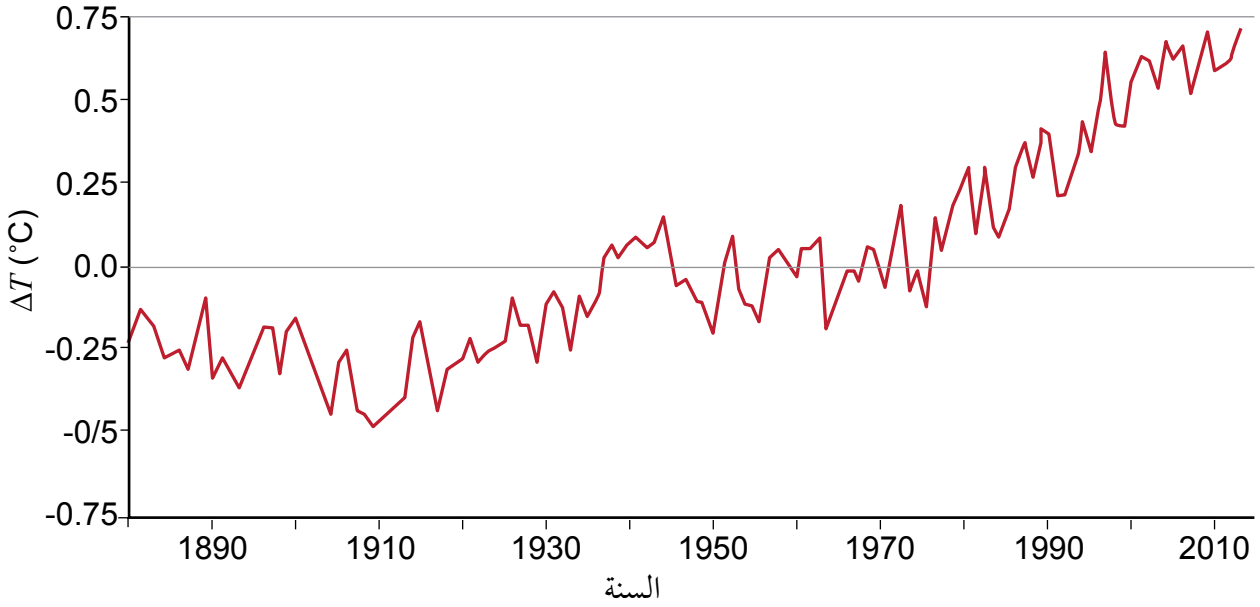
قبل وجود الإنسان على الأرض، كانت مصادر ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي تتضمن تحلّل الموادّ النباتية والحيوانية، والنشاط البركاني. وقد تم تعويض تلك المصادر عن طريق امتصاص الخزانات لكربون النباتات. ويبدو أن درجة حرارة الأرض تتبع دورات تسخين وتبريد تحدث كل 100,000 سنة، متزامنة مع تغيُّر محتوى ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي.

مرّت فترات منذ القدم، كانت فيها الأرض أكثر دفئًا منها في الوقت الحالي، ومرّت فترات كانت فيها أكثر برودة. وكانت هناك عصور جليدية غطّت فيها الأنهار الجليدية كثيرًا من مساحات اليابسة القطبية، حتى بلغت أقصى جنوب إسبانيا. وكانت هناك أيضاً فترات أكثر دفئًا، عندما لم يكن هناك جليد على الإطلاق على الأرض، حيث كان مستوى سطح البحر أعلى، عمّا هو عليه الآن بمئة متر تقريبًا.

الشكل 7-6 نباتات المحيط وحيواناته هي الخزان الرئيس للكربون.

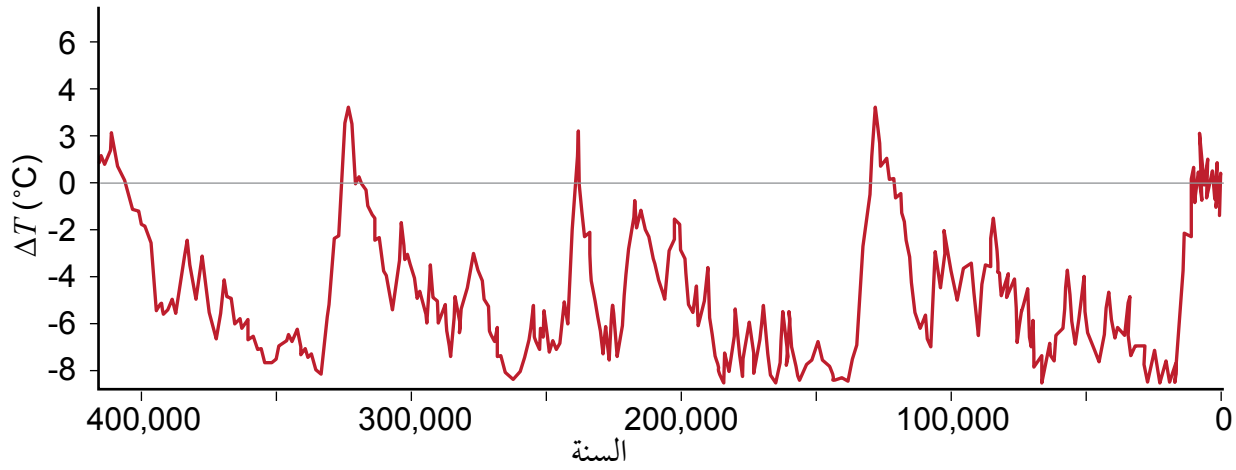
a1-7 تغيُّر درجة حرارة الأرض

عاين الرسم البياني أدناه الخاص بقراءات درجة الحرارة التي تمثِّل تفاوت درجات حرارة الأرض التي تعلو على معدلِّها أو تنخفض عنه، منذ بداية الثورة الصناعية (**الشكل 7-7**). ما الاستنتاجات والتنبّؤات التي يمكنك استخلاصها من هذا الرسم البياني؟



الشكل 7-7 رسم بياني لتفاوت درجات حرارة الأرض منذ سنة 1880 (استخدمت فترة 30 سنة للأعوام من 1980–2010).

عاين الآن، مجموعة البيانات التي تظهر تغيُّر درجات الحرارة في الرسم البياني الآتي، كما حدّده علماء المُناخ القديم، على مدار 400,000 سنة (**الشكل 7-8**). ما الاستنتاجات التي يمكنك استخلاصها؟

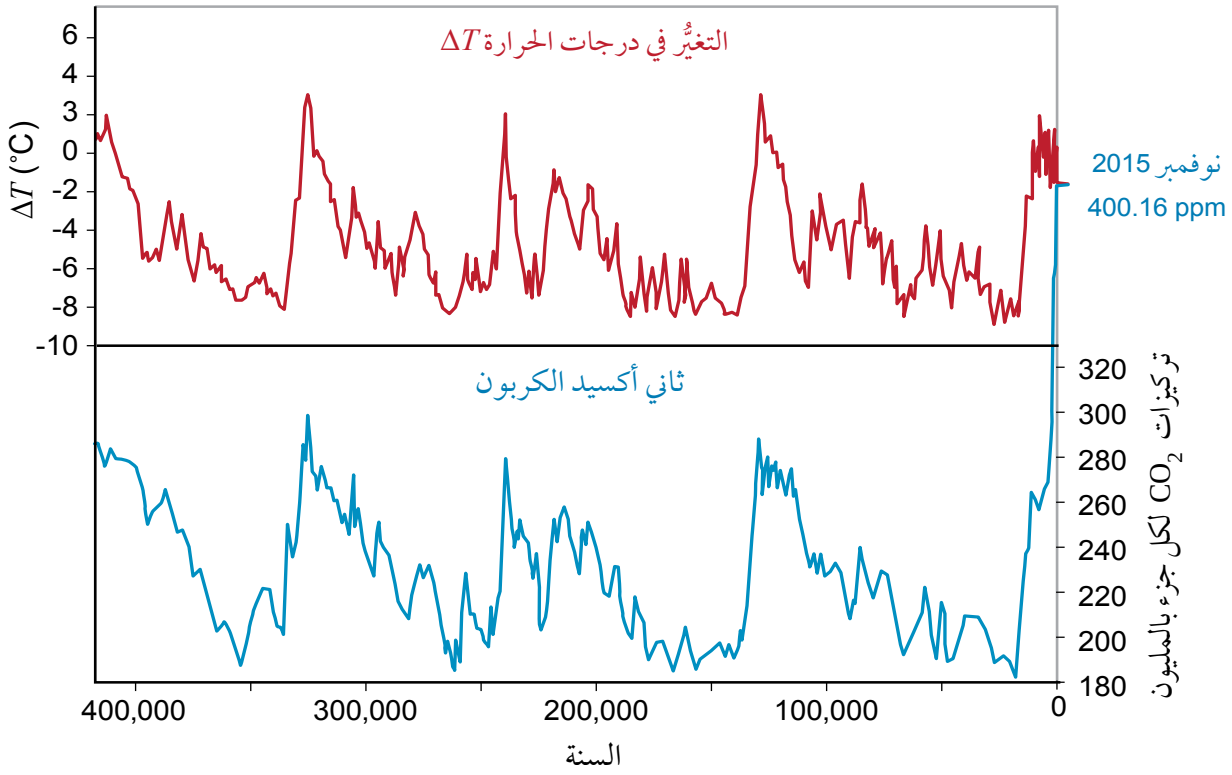


الشكل 7-8 رسم بياني لتفاوت درجات حرارة الأرض منذ 400,000 سنة.

b1-7 درجة حرارة الأرض وثاني أكسيد الكربون

عاين الرسمين البيانيين أدناه لفترة زمنية مدتها 400,000 سنة، حيث يمثّل الرسم البياني العلوي تباين درجة حرارة الأرض عن معدلها، في حين يظهر الرسم البياني السفلي تركيزات ثاني أكسيد الكربون/ جزء لكل مليون (mpp) في الغلاف الجوي للأرض.

الارتباط Correlation علاقة متبادلة بين شيئين (أو أكثر)، كالارتباط بين درجة الحرارة وثاني أكسيد الكربون CO_2 في الغلاف الجوي.



الشكل 7-9 تغير درجة حرارة الأرض (a)، وتركيز CO_2 الجوي (b) خلال 400,000 سنة.

السببيّة Causation تشير إلى أن حدثًا واحدًا وقع نتيجة لحدث آخر. هل يمكن أن توضِّح كيف أن التغيُّرات في مستويات ثاني أكسيد الكربون قد تؤدّي إلى تغيُّرات في درجة حرارة الغلاف الجوي؟ اكتب في الجدول الآتي التفاصيل المناسبة، لارتفاع أو لانخفاض مستويات CO_2 في الغلاف الجوي.

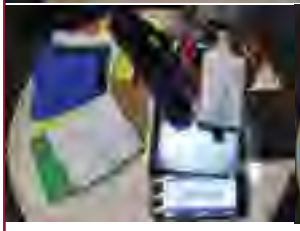
مستويات CO_2 التي تسبّب التسخين	مستويات CO_2 التي تسبّب التبريد

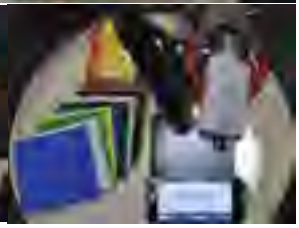
c1-7 درجتا حرارة الأرض والماء وانعكاساتهما

سؤال الاستقصاء	كيف يؤثّر لون السطح وملمسه في الضوء المنعكس إلى الغلاف الجوي؟
الموادّ المطلوبة	مستشعر إضاءة لاسلكي، مصباح إضاءة صغير، حاسوب بلوتوث، لوح، هاتف ذكي، حامل حلقي، مربط للمصباح اليدوي ولمقياس الإضاءة، أوراق ملوّنة مختلفة (ناعمة)، أقمشة (خشنة).

تغيُّرت درجة الحرارة بتغير سطح الأرض، بمرور الوقت. وتسارع هذا التغيُّر بفعل الضوء الساقط على الأرض، أو بما يمتصّه سطحها، أو ينعكس مرة أخرى في الغلاف الجوي.

الخطوات



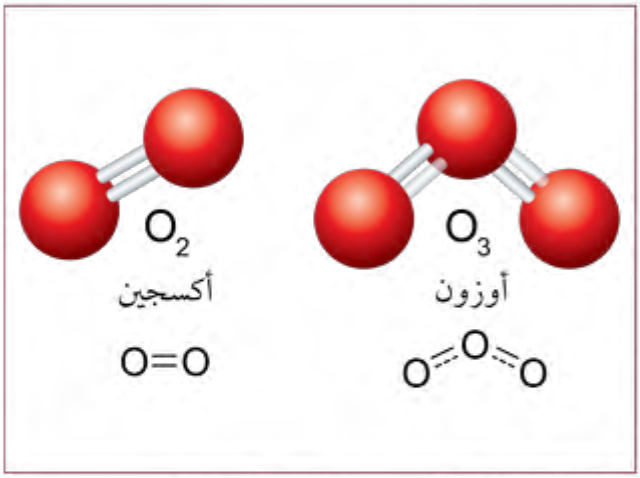


1. وجِّه المصباح اليدوي، حيث يسقط ضوؤه على الأوراق الملوّنة أو الأقمشة.
2. ضع مقياس الإضاءة، حيث يكشف الضوء المنعكس.
3. شغّل المقياس، وصله بالحاسوب.
4. اختر «بيانات الاستشعار»، واختر منها «الإضاءة» فقط.
5. اختر «أرقام» القراءات.
6. ابدأ التجربة.
7. أضئ المصباح.
8. ضع مرآة على السطح لتحديد كمية الضوء القصوى المنعكسة.
9. استخدم مختلف الألوان وملمس الأشياء التي ستختبرها، وسجّل كمية الضوء المنعكس في الجدول الآتي:

اللون	الملمس	القيمة
مثال: أخضر	خشن	230 lux
مثال: أخضر	أملس	420 lux

10. تنبّأ بدرجة حرارة الأرض، وهي مغطّاة بكلٍّ من الثلج الأبيض والجليد والغابات الخضراء. وضّح إجابتك.

الأوزون، والميثان، وأكسيد النيتروز



الشكل 7-10 الأكسجين O_2 والأوزون O_3.

الأوزون Ozone جُزيء يتكوّن من ثلاث ذرّات أكسجين (**الشكل 7-10**). ويوجد في أعالي طبقة **الستراتوسفير Tratosphere**، ذلك الجزء من الغلاف الجوي على ارتفاع ما يقرب من 15 كلم من سطح الأرض. طبقة الأوزون التي تمنع الأشعة فوق البنفسجية الضارّة من الوصول إلى الأرض. وجدير بالذكر أن معظم الحياة العضوية على الأرض، من دون طبقة الأوزون تلك، لا تستطيع تحمّل تأثير هذا الإشعاع المؤيّن.

تتكوّن طبقة الأوزون هذه بشكل طبيعي عندما يصل الأكسجين إلى الستراتوسفير، ويتعرّض للأشعة فوق البنفسجية . ويحدث **التحلّل الضوئي Photolysis** ليشطر جُزيء O_2، ويسمح بتكوين O_3.

الشكل 7-11 فقّاعات غاز الميثان متجمِّدة في الجليد.

الميثان Methane غاز طبيعي آخر يُنتج في أثناء عملية الهضم، أو تحلُّل الموادّ العضوية. وهو يدخل الغلاف الجوي من خلال تحلّل النباتات والحيوانات الموجودة على سطح الأرض، أو من الجهاز الهضمي للحيوانات. ويمكن للخزّانات الكبيرة من النباتات والحيوانات المدفونة، أن تُطلِق الميثانَ عند تحلّلها.

تتدفَّق غالبًا فقّاعات الميثان من قاع المحيطات (**الشكل 7-11**) مع ارتفاع درجة حرارة الماء. ومع بداية ذوبان حقول الخث، سُجّلت ارتفاعات في مستويات الميثان المنبعثة. (Peat مواد نباتية منحلة تراكمت على مدى فترات طويلة في أماكن رطبة تعرف باسم مستنقعات الخث أو حقول الخث. وهي، بصفة عامة، أولى مراحل تكوين الفحم الحجري).

الشكل 7-12 يستخدم أكسيد النيتروجين بصفته مؤكسداً في سيارات السباق.

أكسيد النيتروز Nitrous oxide (**الشكل 7-12**)، وهو واحد من غازات الدفيئة المهمّة وتأثيره في الدفيئة أكثر ب 300 مرة من تأثير ثاني أكسيد الكربون فيها. ينتج من خلال مسار دورة دمج نيتروجين الغلاف الجوي في تراكيب النباتات، التي تأكلها الحيوانات لاحقًا. وتطلق النترجة Nitrification بواسطة البكتيريا في التربة. وبالنظر إلى أن أكسيد النيتروز يشكّل NO، N_2O، و N_2O_5، فإنه غالبًا ما يكتب NO_X أكاسيد النيتروجين.

d1-7 البراكين وغازات الدفيئة

من المسلّم به أن النشاط البركاني يمكن أن ينتج تحوّلًا في توازن غازات الدفيئة بطريقة معقَّدة. فعلى سبيل المثال:

ينبعث غاز ثاني أكسيد الكبريت خلال ثوران البراكين. وعندما يدخل طبقة الستراتوسفير في الغلاف الجوي، يمتصّ الكثير من الطاقة اللازمة لتكوين طبقة الأوزون وهذا ما يقلّل من الأوزون في الستراتوسفير. ويطلق ثاني أكسيد الكبريت النشط الأكسجين الذي يمكن أن يكوّن الأوزون. ويتمثَّل التأثير النهائي لهذا الغاز في أن البركان قد يستنفذ الأوزون مؤقتًا، ولكنّه يجدّد مستواه.

يعرض معلِّمك فيلمًا قصيرًا عن تأثير الكوارث الطبيعية كالانبعاثات البركانية، التي يمكن أن تطلق موادَّ في الغلاف الجويّ للتفاعل مع الأوزون وتدميره.

بعد مشاهدة فيلم قصير أو أكثر عن تأثير تلك الانبعاثات وبالتحديد في هذا المجال:

1. لخّص هذه الآثار.
2. صف مجمل تأثيرها النهائي.
3. وضّح تسلسل الأحداث التي تشرح كيف يمكن لسلسلة من ثوران براكين ، أو بركان كبير إلى أقصى حدٍّ، أن تحدث فترة تبريد عالمية.

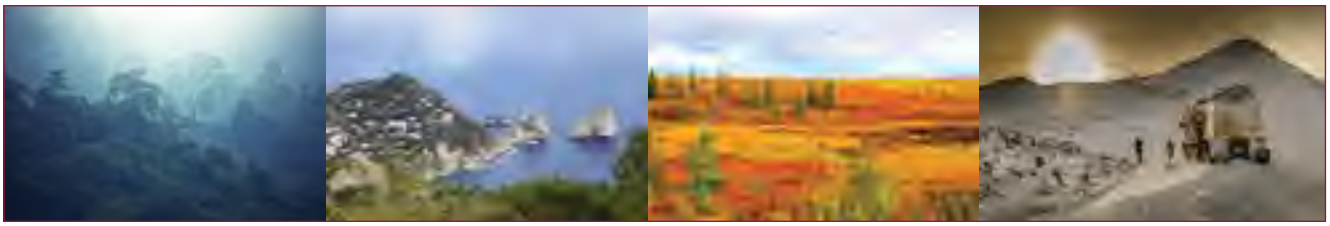
الخطوات	التأثير الأولي: بركان كبير
1	
2	
3	
4	

المُناخ

المُناخ مصطلح يُستخدم في وصف معدَّل الأحوال الجوية في منطقة على مدار 30 عامًا. ويشمل المُناخ درجة الحرارة، وهطول الأمطار، وسواهما من المتغيِّرات. ويُسمّى العالِم الذي يدرس المُناخ عالِم المُناخ. قرّر علماء المُناخ أن مدة 30 عامًا طويلة بما يكفي لتبيان الظواهر المُناخية القاسية، لكنّها قصيرة إلى درجة أنها لا تسمح برسم خريطة التغيُّرات في المُناخ.

المُناخ هو ما تتنبأ به. الطقس هو ما تتعرّض له.

يُصنّف المُناخ إلى استوائي، جافّ، معتدل أو بارد، قطبي. وهناك فئات متعدِّدة هي أكثر تحديدًا للمُناخات، تعتمد على موقع المُسطّحات المائية الكبيرة، شدّة الهطول، ودرجة الحرارة (**الشكل 7-13**).



الشكل 7-13 أنواع المُناخ: المنطقة القطبية، السهول، حوض البحر المتوسط، الاستوائي.

يُعدّ فهم المُناخ أمرًا مهمًّا لكثير من الناس. فالمزارعون تعتمد محاصيلهم على المُناخ، ويعتمد نموّها بصورة ناجحة على المُناخ أيضًا. ويتم تصميم مشروعات البناء الرئيسة كذلك لتراعي عناصر المُناخ. وعندما تذهب في إجازة، تهتم بمعرفة مُناخ منطقتك ومُناخ البلد الذي ستقضي إجازتك فيه. غير أن الطقس الفعليّ لا تتحكم به إطلاقًا، في حين أن الطقس الذي تتنبّأ به يعتمد على المُناخ. وحتى السياحة التي تعدّ صناعة رئيسة، تعتمد هي أيضًا على المُناخ، بالنظر إلى أن زيارات المواقع تكون مفضّلة في فصل من السنة دون آخر مثلًا.

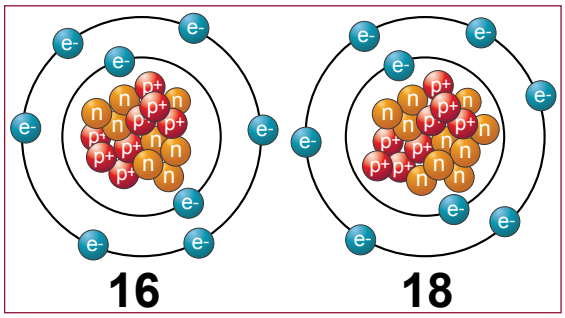
تؤثر متغيِّرات مختلفة في المُناخ المحلّي. وفي بعض الأحيان، تُحدِث سلسلة جبال واحدة فرقًا في المُناخ. مثلاً، تنتج الحقول الخصبة في كاليفورنيا بالولايات المتحدة الأمريكية 90 % من لوز العالم. ومع ذلك، وعلى بعد 240 كيلومترًا إلى الشرق منها، تقع منطقة ظل المطر لسلسلة جبال سييرا نيفادا، حيث يتصف وادي الموت بتسجيل أعلى درجة حرارة محيطة على كوكب الأرض (56.7°C).

قد تكون للتغيُّرات الصغيرة في المُناخ آثار بعيدة المدى. فمُناخ جافّ قليلاً في مكان واحد قد يعني منطقة أكثر رطوبة في مكان آخر. ويمكن أن يؤدّي إلى تغيُّر كبير في المُناخ الإقليمي، وينجم عنه هجرة مجموعات من الحيوانات، وحتى النباتات. ولقد حدث هذا أكثر من مرة في الطبيعة.

تغيُّر المُناخ

تعرّض مُناخ الأرض لتغييرات جذرية عبر التاريخ. وتحوَّلت الغابات الاستوائية التي كانت قديمًا نضرة إلى صحارى الآن (**الشكل 7-14**). لقد غطّى الجليد الجزء الأكبر من نصف الكرة الشمالي، وكانت مستويات المياه أقل كثيرًا مما هي عليه الآن. وتشير الدلائل إلى أن البراكين قد أدّت إلى تكوّن عصور جليدية صغيرة حتى في التاريخ المسجَّل للبشرية.

الشكل 7-14 شجرة متحجّرة وجدت في الصحراء الكبرى بالسودان.



الشكل 7-15 نظائر الأكسجين.

علم المُناخ القديم Paleoclimatology هو دراسة عوامل المُناخ عبر تاريخ الأرض. يستطيع العلماء تحديد التغيُّرات في درجات الحرارة مع مرور الوقت باستخدام نظيرَي الأكسجين، O^{16} وO^{18} (**الشكل 7-15**)، لأن O^{18} يوجد عند درجات الحرارة العليا، ولأن نسبة هذين النظيرين تتغيَّر مع تغيُّرات درجة الحرارة.

تتكوّن أصداف الحيوانات والشعاب المرجانية بشكل أساسي من كربونات الكالسيوم ($CaCO_3$). وتُحدَّد نسبة نظيرَي الأكسجين الموجودين في الماء عند تكوُّنها آنذاك، من خلال صنع نماذج تبيّن درجة حرارة الأرض في تلك الفترة.

الشكل 7-16 عيّنة في عمق جليد.

تُعدّ العيّنة الجليدية (**الشكل 7-16**) طريقة أخرى لجمع البيانات عن تاريخ مُناخ الأرض. وقد تمّ استخدام آلة حفر خاصة للحفر في عمق الجليد عبر القطب الجنوبي لاستخراج العيّنات التي تشكّلت قبل سنوات طويلة. وتُحلّل فقّاعات الهواء للحصول على معلومات عن الظروف التي كانت سائدة على الأرض. وتوجد تقنيات أخرى، تتيح وضع تاريخ تغيُّر المُناخ.

نماذج المناخ الحاسوبية

الشكل 7-17 وحدات أساسية.

ربما سمعت تحذيرًا عن طقس قاسٍ ستتعرض له منطقة ما، ثم لاحظت أن العاصفة ضربت مكانًا آخر. يعطيك ذلك فكرة عن صعوبة بناء نماذج معقَّدة باستخدام الحاسوب والعلاقات المتداخلة بينها لمحاكاة المناخ والتنبؤ به .

تعمل تلك النماذج على تقسيم الأرض إلى «خلايا» وحدات أساسية رياضية منفردة (**الشكل 7-17**)، وتقسيم الخلايا إلى مستويات مختلفة من الغلاف الجوي. فكلما زاد عدد الخلايا التي ستُدرس، زادت قدرة الحوسبة اللازمة لتشغيل النموذج.

تستخدم كل خلية معادلات رياضية وهي تمثِّل كيف تتفاعل المادة والطاقة مع أجزاء مختلفة من المحيط واليابسة والغلاف الجوي، ويتم إدخال متغيِّر الزمن. وكلما كانت الخطوة الزمنية لتلك التفاعلات أصغر، زادت قدرة الحوسبة المطلوبة؛ على أن يتم تمرير الحسابات من خلية إلى أخرى.

الشكل 7-18 رسم تخطيطي لنموذج مُناخ يشتمل على عدد من المتغيِّرات.

تواجه نماذج المُناخ (**الشكل 7-18**) المشكلات نفسها التي تواجهها نماذج الطقس. وهناك طريقة للتحقُّق من مستوى الثقة في نموذج المناخ تسمى "رصد الماضي hindcasting" والفكرة بسيطة؛ إذ يمكن للعلماء كتابة خوارزمية حاسوب للتنبؤ بما سيحدث في المستقبل. ولاختبار النموذج، تُدخَل البيانات الفعلية من وقت مضى، ثم يُشغَّل البرنامج.

يمكن للعلماء أن يقارنوا «التنبؤ» بالبيانات المسجَّلة فعليًّا، ويعرفوا إن كان البرنامج «يتنبأ» بما حدث فعلاً. لقد أسفر تحسين النموذج باستمرار عن نتائج دقيقة بصورة مدهشة.

تحتوي خدمة كوبرنيكوس "Copernicus" لمراقبة الأجواء CAMS، على شبكة إنترنت تتضمّن عدداً من البيانات المقدّمة فعليًّا بحسب وقت حدوثها، إضافة إلى تنبؤات قصيرة الأجل تعتمد على نوع الحاسوب المستخدم الخاصّ بها. وتقدّم CAMS أيضًا معلومات عن درجة تلوّث الهواء وتغيّر المناخ.

سؤال للمناقشة

كيف نستخدم نموذج المُناخ لمحاكاة تغيُّر المُناخ والتنبُّؤ به؟

تقويم الدرس 7-1

1. أيٌّ مما يأتي لا يُعدّ جزءًا من دورة الكربون في الطبيعة؟
   a. النباتات
   b. المحيط.
   c. الحيوانات
   d. الاحتراق الداخلي.

2. أيّ دورات التغذية الراجعة الآتية مُرتَّبة ترتيبًا صحيحًا؟
   a. الهواء، المحيط، الصدف، الحجر الجيري، البراكين، الهواء.
   b. المحيطات، الهواء، البراكين، الصدف، الهواء، الحجر الجيري.
   c. الهواء، المحيطات، الصدف، الهواء، البراكين، الحجر الجيري.
   d. الصدف، المحيطات، البراكين، الهواء، الحجر الجيري، الهواء.

3. أيٌّ مما يأتي يُعدّ من غازات الدفيئة؟
   a. الأكسجين
   b. الميثان
   c. الميثانول
   d. نيتروجين.

4. ما الظاهرة التي تحدث نتيجة مَيَلان محور الأرض؟

5. ما الغاز الطبيعي الرئيس من غازات الدفيئة؟

6. ما المقصود بخزانات الكربون؟

7. ما دور طبقة الأوزون في الستراتوسفير، من حيث حفظ الحياة على الأرض؟

8. كيف يرفع انصهار الثلج والجليد من درجة حرارة الأرض؟

9. ما العملية التي تُطلِق غاز أكسيد النيتروز في الغلاف الجوي؟

10. حدّد جانبين في نموذج المُناخ، واقترح طرقًا لجعلهما أكثر صدقية؟

الدرس 7-2
اختلال التوازن
Upsetting the Balance

يحمل المحيط بلايين الأطنان من CO_2 ويطلقها. وتؤدّي الكتلة الحيويّة على اليابسة المهمة نفسها، وذلك في توازن معقّد ومتغيِّر منذ ثلاثمئة مليون سنة. وكأيّ نظام معقّد (**الشكل 7-19**)، يمكن أن تؤدّي التغيّرات البسيطة فيه إلى تأثيرات كبيرة وغير متوقّعة. وفي كثير من الأحيان، تمثّل محاولة إعادة التوازن لنظام معقّد مشكلة معقّدة.

الشكل 7-19 نظام في توازن.

وفّرت التطوّرات التقنيّة البشريّة بعض الإسهامات الرائعة لمساعدة الإنسانيّة؛ وذلك من خلال علاج الأمراض، وإطعام الملايين، وتصنيع سيارات تختصر رحلة تستغرق عشرة أيام إلى ساعتين. ولكن إلى جانب ذلك، تبقى المشكلات المرتبطة بوجود ثمانية مليارات إنسان في مركب واحد.

مخرجات التّعلُّم

GC1105.2 يتعرّف إلى الأنشطة البشريّة المنتِجة لغازات الدّفيئة.

GC1107.1 يتعرّف إلى دور الأوزون بصفته مصدر تلوّث في طبقة التّروبوسفير، ووسيلة حماية في طبقة السّتراتوسفير.

GC1107.3 يدرك الفوائد العائدة من استخدام مركّبات الكلورفلوروكربون (CFC's)، والهالونات (مركبات هالوألكانات)، في السّلع الاستهلاكيّة والصّناعة.

GC1108.1 يصف سبب إضافة رباعيّ إيثيل الرصاص إلى الوقود.

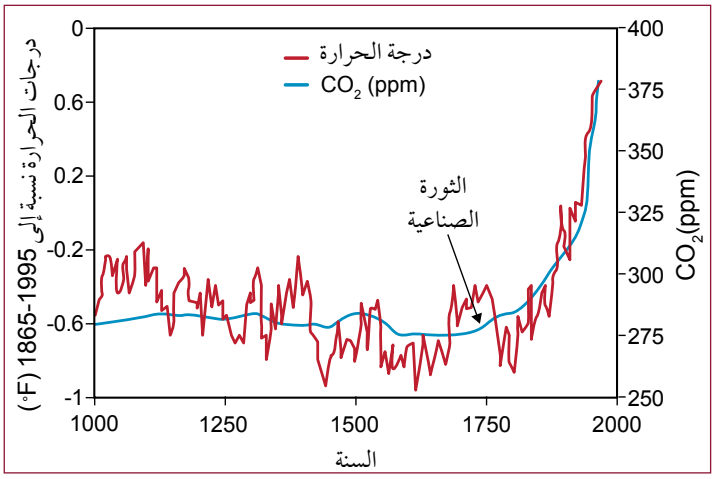
وبسبب عدم وجود ارتباط مباشر بين التغيّرات في مُناخ الأرض وأنشطة الإنسان، فمن الصعب إقامة دليل قاطع. لكن إذا نظرنا إلى السجلّ التاريخيّ، فمن الواضح أنّ التوازن قد تحوّل، وأنّ النَّشاط البشريّ أصبح جزءًا من السّبب إنْ لم يكن السببَ كلّه.

المفردات

ازدهار طحلبيّ	Algal blooms
تروبوسفير	Troposphere
ضبخن (ضباب دخاني)	Smog
كيمياء ضوئيّة	Photochemical
محوّلات حفّازة	Catalytic converters

الكربون

تشير قياسات فقّاعات الغاز المُحْتَبَسَة في أعماق جليد القارة القطبيّة الجنوبيّة إلى أنّ تركيز CO_2 يرتفع باطّراد منذ الثورة الصناعيّة في خمسينات القرن الثامن عشر، من 280 ppm (أجزاء بالمليون) إلى 400 ppm عام 2017 (**الشكل 7-20**). تنبعث الغالبية العظمى من غازات الدفيئة التي ينتجها النشاط البشري من أكسدة الهيدروكربونات: حرق الفحم، والنفط، والغاز الطبيعيّ.



الشكل 7-20 ارتباط درجة حرارة الأرض بِـ CO_2.

وينتج 44% تقريبًا من CO_2 المنطلِق من الوقود الأحفوريّ من عمليّات توليد الحرارة والكهرباء، في حين تُنتَج 29% أخرى عن صناعة النقل (**الشكل 7-21**). وأن تُعْزى النسبة المتبقّية إلى الإنتاج الصّناعيّ، وتصنيع الأسمنت.

الشكل 7-21 يشكّل النقل 30% تقريبًا من CO_2 المنطلِق إلى الغلاف الجويّ جرّاء النشاط البشريّ.

تشكّل مصادر CO_2 جرّاء النشاط البشريّ أقلّ من 4% من الكربون في دورة الكربون الكلّيّة. يمكنك القول إنّ تلك كمّيّة ضئيلة، ولكن يجب الأخذ في الحسبان عاملين، هما:

1. أن دورة الكربون الطبيعيَّة يمكن أن تستوعب 40% فقط من تلك الكمّيّة الإضافيّة من CO_2. لذا، يتطلب ارتفاع المستويات الكلّيّة إلى أعلى نقطة لها حوالى عشرة ملايين سنة.

2. قطع الغابات بمعدّل يُنْذِرُ بالخطر (**الشكل 7-22**)؛ فالغابات تخفض من كمّيّات الغاز، ويُحْرَقُ معظم الخشب وقودًا. علمًا أن الغابات جزء مهمّ من دورة الطّبيعة لإزالة كربون الغلاف الجويّ وإنتاج الأكسجين. ومن دون الغابات، يختلّ أكثر ذلك الجزء من التوازن.

الشكل 7-22 إزالة الغابات.

النيتروجين

يتمتّع النيتروجين بقدر كبير من الأهميّة للحياة النباتيّة. قد تقطع غابة لتوفير مساحة لمحصول أكثر جدوى اقتصاديّة. لكن يجب آنذاك تسميد التربة لجعلها مناسبة لزراعة المحاصيل، ما يعني إضافة كمّيّة كبيرة من النيتروجين (**الشكل 7-23**). وهذا يسهم في زيادة أكسيد النتروز في الغلاف الجوّي.

الشكل 7-23 تسميد الحقل لجعله مناسبًا للمحاصيل الاقتصاديّة.

يسهم الطلب العالميّ على اللحوم أيضًا في إدخال أكاسيد النيتروجين إلى الغلاف الجوّي. فتنميةُ الحبوب العلفيّة لدعم المزارع الصناعيّة (**الشكل 7-24**)، والنُّفاياتُ النهائيةُ للكمّيّات الهائلة من الفضلات النّاتجة، تعدّانِ مساهماتٍ رئيسة. لكنّ مصدر الأنشطة البشريّة هذا لا يتوازن مع آليّة التّخفيض لإزالة غاز الدفيئة الفاعل.

الشكل 7-24 مزرعة صناعيّة لتنمية الدجاج.

يحدث تأثير إضافيّ عندما يدخل النيتروجين والفوسفور من المزارع، وفضلات الحيوانات، إلى المُسطّحات المائيّة الكبيرة بسبب التعرية والأمطار؛ فزيادة في عناصر الغذاء المرتبطة بالأنشطة البشريّة تسبّب نموّ الطحالب على نحو غير طبيعيّ، مؤدّية إلى **الازدهار الطحلبيّ Algal blooms**. يكوّن هذا الازدهار مناطق واسعة من استنفاد الأكسجين، تعرف باسم المناطق الميتة، ما يزيد من اختلال التوازن الطبيعيّ نتيجة التناقص في التنوُّع البيولوجيّ في المنطقة المتأثّرة.

سؤال للمناقشة

هل تعتقد أنّ على الإنسان التوقُّف عن تناوُل اللحوم؟

الشكل 7-25 الازدهار الطحلبيّ.

الميثان

الشكل 7-26 أبقار في مزرعة مصنع.

يوجد ما يقارب 1.5 مليار بقرة في العالم، يعيش بعضها حرًّا يأكل العشب من الحقول، في حين يُنمّى معظمها في مزارع المصانع (**الشكل 7-26**)، ونادرًا ما تتجاوز حركتها بضعة أمتار. تُغذَّى تلك الأبقار بمجموعة متنوّعة من الحبوب والأعشاب. ويمكن للبقرة الواحدة، كجزء من هضمها الطبيعيّ، أن تطلق ما يصل إلى 120 kg من الميثان سنويًّا.

وفي حين أنّ الحيوانات العاشبة الكبيرة تعدّ جزءًا من المحيط الحيويّ الطبيعيّ، فإنّ العدد الهائل من حيوانات المزارع يفوق ما يمكن أن تعيله المراعي البسيطة. لذلك تُقطع الغابات من أجل توفير مساحات للمراعي، أو لزراعة أعلاف لتلك الماشية. وتعدّ ماشية المزارع مصدر نشاط بشريّ للميثان، الذي يشكل ما يصل إلى 18% من مجموع غازات الدفيئة.

يبيّن **الجدول 7-1** غازات الدّفيئة الناتجة عن إنتاج 1 kg من اللّحم، وذلك باستخدام CO_2 مقياسًا مكافئًا.

1 kg لحم من	تنتج kg مكافئ CO_2
الأبقار	34.6
النعاج	17.4
الدجاج	4.57

الجدول 7-1 مصدر اللّحوم ومكافئ ثاني أكسيد الكربون.

يُعَدُّ الميثانُ المكوِّنَ الرئيسَ للغاز الطبيعيّ، ولدى حرق الغاز الطّبيعيّ (**الشكل 7-27**) تنطلق إلى البيئة كمّيّات أقلّ كثيرًا من ثاني أكسيد الكربون. ولكن لهذا الميثان المنبعِث تأثير أكبر في غازات الدفيئة؛ ذلك أن قياس تأثيره على مدى مئة سنة، بيّن أنه أكبر بِـ 43 مرّة من تأثير CO_2، في حين أنّ تأثيره على المدى القصير (أكثر من عشرين سنة) أكبر بِـ 68 مرّة من تأثير CO_2.

الشكل 7-27 حرق الغاز الطبيعيّ: كربون أقلّ، لكن في الأغلب ميثان.

التروبوسفير Troposphere هي طبقة الغلاف الجويّ الأقرب إلى الأرض، والمزيل الأكبر للميثان. إذ يتفاعل الميثان في التّروبوسفير مع شقوق الهيدروكسيل (OH)، مكوِّنًا بشكل أساسيّ الماء وثاني أكسيد الكربون. يسرِّع وجود هذا الميثان في التروبوسفير تأثير الملوّثات الكيميائيّة الأخرى، ما يؤدي إلى تأثير مضرّ شامل.

a2-7 مركّبات الكلوروفلوروكربون (الفريون)

اكتشف البشر طرقًا لإنتاج مركّبات كيميائية جديدة، لكلٍّ منها فوائد وتأثيرات غير متوقَّعة. ومن الأمثلة الجيدة على ذلك، اختراع مُركّبات الكلوروفلوروكربون (CFCs).

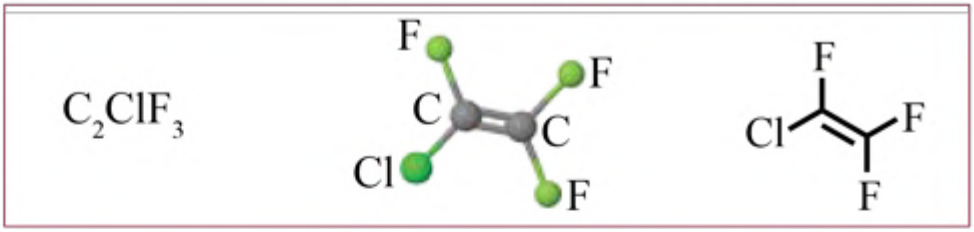
1. اعمل في مجموعات، مستخدمًا مجموعة من المصادر الخارجية لمعرفة نطاق الاستخدامات السابقة لمُركّبات الكلوروفلوروكربون بوصفها مذيبات، مثل سوائل التبريد في الثلّاجات (**الشكل 7-28**)، وعلب الهواء المضغوط (**الشكل 7-29**)، في النصف الثاني من القرن العشرين.

استعماله بوصفه مذيبًا	النوع

استعماله بوصفه مبرّدًا	النوع

الشكل 7-28 وحدات تكييف الهواء.

2. صف الخصائص المشتركة لتراكيبه الكيميائية.



الشكل 7-30 مثال: مركّبات الكلوروترايفلورو إيثيلين في ثلاث طرق.

الشكل 7-29 علبة الهواء المضغوط.

الخصائص العامة	نوع الكلوروفلوروكربون

b2-7 مُحرِّك الاحتراق الداخلي

1. شاهد فيلمًا قصيرًا أو رسومًا متحرِّكة تصف المبدأ الأساسي لمحرِّك الاحتراق الداخلي. تأكد من أنه يصف دور الأوكتان في طقطقة المُحرّك.
2. تأكد من أنه يعرض سبب إضافة الرصاص رباعي الإيثيل (**الشكل 7-31**) إلى البنزين.
3. صف التأثيرات الناتجة عن إضافة الرصاص رباعي الإيثيل إلى البنزين في البشر.
4. صف عواقب إضافة الرصاص رباعي الإيثيل إلى البنزين على تقنيات الحدّ من التلوّث، مثل المُحوّلات المحفّزة.

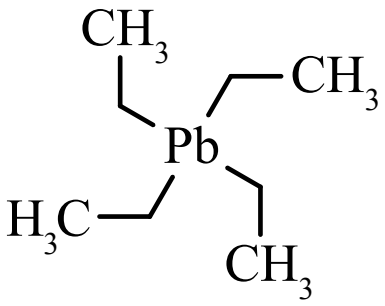
a. ما مشكلة الاشتعال المُبكِّر في محرِّك الاحتراق الداخلي؟	
b. ما المُشكلات التي عالجتها إضافة الرصاص رباعي الإيثيل؟	
c. ما تأثير الرصاص في البشر؟	
d. ماذا يسبِّب الرصاص للمحوّلات المُحفّزة؟	

ابحث عن الفيلم القصير:

Why Lead Used to be Added to Gasoline?

«**لماذا يضاف الرصاص إلى البنزين؟**»

لمعالجة السؤالين الأوَّلين عليك مشاهدة الفيلم القصير بعنوان:
C2 Octane Number and Knocking (SL,IB Chemistry)
الطقطقة ورقم الأوكتان C2.



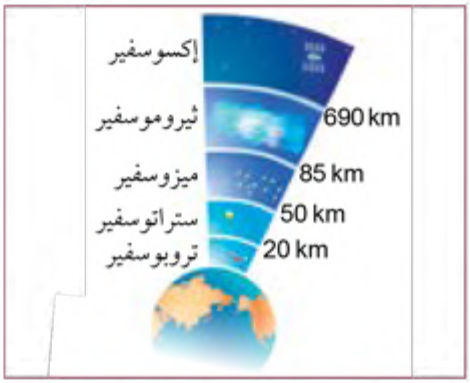
الشكل 7-31 الرصاص رباعي الإيثيل.

الضبخن smog (الضباب الدخاني)

الشكل 7-32 الضَّبْخَن

مع بداية القرن العشرين برز قلق متزايد من نوعيّة الهواء وتأثير الجدل عن أوّل من استخدم مصطلح «ضَبْخَن Smog» (الضباب الدخاني) ليجمع بين الدخان والضباب الموجودين في المناطق الصناعيّة، واتّجاه الرياح فيها (**الشكل 7-32**). في البداية، تم الربط مع الدخان الناجم عن حرق الخشب والفحم، في حين أنّ الظّاهرة في الواقع أكثر تعقيدًا.

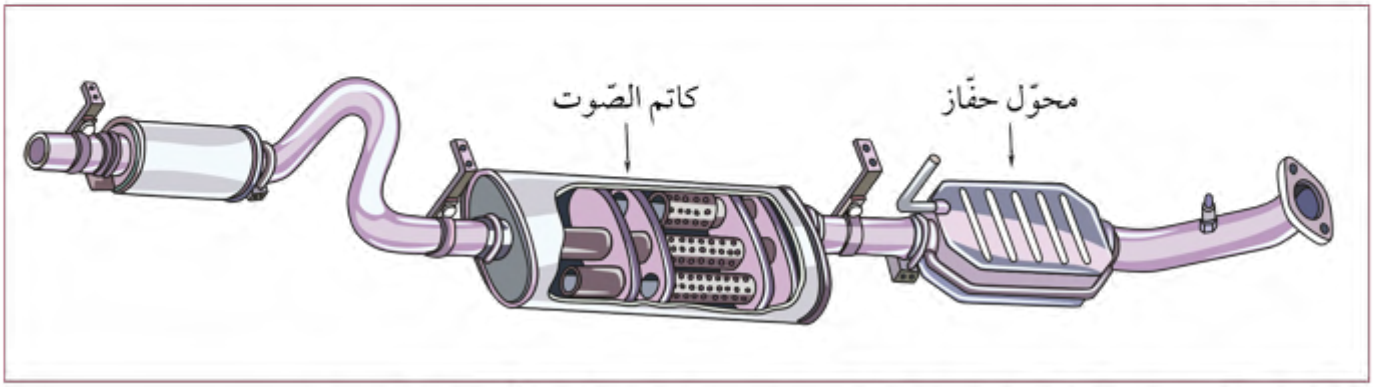
تشمل الموادُّ الكيميائيّةُ المنبعِثةُ من احتراق الهيدروكربونات، ثانيَ أكسيد الكبريت، وأكسيدَ النتروز، ومُرَكّباتٍ عضويّةً متطايرةً (VOC) أخرى. يتفاعل ضَوء الشمس مع أكاسيد النيتروجين، و CO_2، وأول أكسيد الكربون، و VOCs، منتجًا الأوزون. ويصبح الأوزون مضرًّا عندما يتراكم في الغلاف الجوّيّ السفليّ، التروبوسفير (**الشكل 7-33**)، ويسبّب كثيرًا من المشكلات الصحيّة.



الشكل 7-33 طبقات الغلاف الجويّ.

يتفاعل الأوزون مع ثاني أكسيد الكبريت وسواه من الموادّ الكيميائيّة، مكوِّنًا مُلوِّثات أخرى. ومعلوم أن هذه **التفاعلات الضوئيّة Photochemical** المُحفّزة من ضَوء الشّمس، تتأثر بالفصول وبعض أنماط الطقس. وتسبّب الغازات الناتجة ظاهرة الدفيئة، إضافة إلى مشكلات صحّيّة لمن يتنفّسون الضَّبْخَن.

سجلت حالات تراكم للضبخن تحوم فوق مدينة لعدة أيام مسببة أضرارًا صحية خطيرة. مدن أساسية، ممن يعانون من مشاكل الضبخن، تصدر تحذيرات وتضع حداً للقيادة أثناء حالاتٍ كهذه. وقد أفضى كل ذلك إلى إحداث جلبة كبيرة بين الناس، ما دفع الحكومات كي تبادر إلى وضع تشريع يستهدف (جودة الهواء)، ويتطلّب وجود **محوّلات حفّازة Catalytic converters** (تكنولوجيا تكافح التّلوّث) في نظام العادم (**الشكل 7-34**). غير أن تلك القوانين لم تُسَنّ في الدول جميعها. لذا يمكنك السفر إلى أماكن في العالم تعاني مشكلات الضَّبْخَن.



الشكل 7-34 رسم تخطيطيّ لنظام عادم السيّارات، بما في ذلك المحوّل الحفّاز وكاتم الصوت.

c2-7 الدور المزدوج للأوزون

يسمح أوزون الستراتوسفير لمعظم الكائنات الحيّة بالبقاء على الأرض. وهو ملوّث قاتل ومن غازات الدفيئة.

1. اعرض ملصقًا يوضِّح الأدوار المزدوجة للأوزون في الغلاف الجوي.
2. ضمّن الملصق عملية تكوين الأوزون، والآثار الناتجة عند كل مستوى.
3. ضع مقياسًا يوضِّح بُعد المسافة النسبية لكل طبقة عن الأرض، وكذلك سماكة كل طبقة.
4. حدّد على مقياسك الموقع النسبي لشركات الطيران التجارية، وبالونات رصد الطقس، وسواها من الأشياء التي صنعها الإنسان، متّخذاً ذلك مرجعاً.
5. حدّد الموقع التقريبي لأحداث طقس ما على مقياسك.

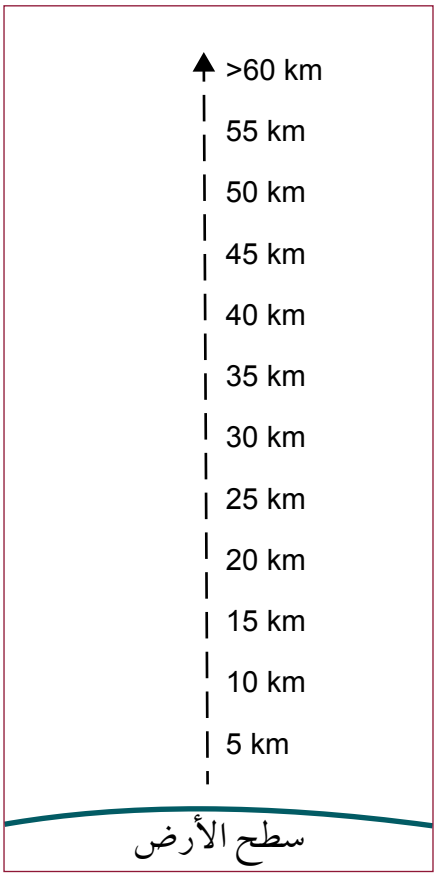
أسئلة

a. كيف يتكوّن الأوزون في الستراتوسفير؟

b. كيف يتكوّن أوزون التروبوسفير؟

c. ما الآثار البعيدة المدى إذا لم يعد الأوزون في الستراتوسفير جزءًا من الغلاف الجويّ للأرض؟

d. لو ظلّ أوزون التروبوسفير في المناطق ذات الكثافة السكانية العالية، فما الآثار البعيدة المدى له؟



d2-7 امتصاص الضوء

سؤال الاستقصاء	كيف تُمْتَصُّ الأملاح الذائبة في وعاء الضوء؟
الموادّ المطلوبة	مقياس (مستشعر) ألوان، أوعية بلاستيكية شفّافة للتحليل الطيفي للضوء، سوائل بألوان مختلفة، ملح، سكّر، كحول طبّي، أيّ سوائل شفافة، حاسوب بلوتوث.

العديد من غازات الدفيئة تمتصّ كمّيات مختلفة من طاقة الأشعة تحت الحمراء. يقيس مقياس الألوان شدّة امتصاص ألوان الضوء المرئي المختلفة. إن امتصاص اللّون من الضوء في الماء يشبه امتصاص الأشعة تحت الحمراء في الغلاف الجوي.

خطوات المختبر

1. صل مقياس الألوان بجهاز الحاسوب، متّبعًا التوجيهات لمعايرة مقياس الألوان إلى الصفر – ماء صافٍ –.
2. ضع قطرة واحدة من كل ملوّن الطعام في نحو 50 mL من الماء، لتحضير أربعة محاليل ملوّنة.
3. حضّر أربعة أوعية من الأوعية البلاستيكية الشفافة التي تستخدم في التحليل الطيفي للضوء المبيّنة في الشكل المجاور، وضعها في مقياس الألوان، وسجّل مستويات الامتصاص لكل من الألوان الأربعة.
4. استخدم سوائل شفّافة أخرى؛ مثل مياه غازية، كحول طبي، زيوت معدنية.

قياس درجة الامتصاص

اسم المحلول	بنفسجي	أزرق	أخضر	أصفر	برتقالي	أحمر
في الماء						
في سائل آخر غير الماء كما ورد في الخطوة 4						

الأسئلة

a. اشرح كيف تغيُّر الصبغة الحمراء الضوء الأبيض إلى ضوء أحمر. ما الذي يُمتصّ؟وما الذي ينتقل؟ وكيف انعكس ذلك في بياناتك؟

b. قدّم تفسيراً لكل من الألوان الأربعة، ما تمّ امتصاصه، وما نفذ.

c. يمكنك أن ترى من خلال الهواء في الفضاء. وضّح أن شفافية الغلاف الجوي للضوء لا تحجب الأشعة تحت الحمراء.

تقويم الدرس 7-2

1. معظم مصادر CO_2 من الأنشطة البشرية، تَنتُج من:
   a. تسميد الحقول.
   b. تنمية قطعان كبيرة من الماشية.
   c. تخليق مركّبات الكلوروفلوروكربون.
   d. أكسدة هيدروكربونات الفحم والنفط.

2. أيّ من الصناعات الآتية ليست مساهِمًا رئيسًا في CO_2؟
   a. النقل
   b. صناعة الأسمنت.
   c. استخدام الغاز الطبيعيّ في توليد الحرارة والكهرباء.
   d. استخدام الفحم والنفط في توليد الحرارة والكهرباء.

3. أيّ ممّا يأتي ليس استخدامًا لمُركّبات الكلوروفلوروكربون؟
   a. المذيبات
   b. علب الهواء المضغوط .
   c. مضافات النفط.
   d. سائل التبريد في الثلاجات.

4. إذا كانت مصادر CO_2 من النَّشاط البشريّ تشكّل 4% فقط من مجموع CO_2 في الغلاف الجوّيّ، فكيف يمكن أنْ يكون ذلك مهمًّا؟

5. اشرح كيف يؤثِّر حريق الغابة في غازات الدفيئة بطريقتين مختلفتين.

6. ما المشترَك في التركيب الكيميائيّ لمُركّبات الكلوروفلوروكربون؟

7. لماذا تزيد مستويات الضَّبْخَن خلال النهار.

8. اذكر بالتفصيل الدور المُزْدَوَج للأوزون.

الدرس 7-3
الجهود المبذولة لاستعادة التَّوازن
Efforts to Restore Balance

لنقُل إنّ لديك فكرة جيدة، وإنك لتحقيقها قد أسّست شركة. وإذا أردت زيادة رأس المال في الشركة قد تعمد إلى بيع أسهم مقابل أرباح تحقّقها لاحقًا. إذًا، هناك اتّفاق ضمنيّ بأنّ الهدف من تأسيس الشركة هو تحقيق الربح (**الشَّكل 7-35**). وبالمقابل تريد الحكومات توفير الخدمات الحديثة للمواطنين، وهو ما يتطلّب مالًا، لذلك تعمد إلى فرض ضريبة على شركتك للمساهمة في توفير هذا المال.وبناءً على ذلك، يصبح نجاح الحكومة مرتبطًا بنجاح عملك. يقلّد آخرون فكرتك، فيصبحون منافسين لك على الأرباح. عندها يأتي عالِم ليقول إنّ منتجك قد يدمّر العالم خلال مئة سنة. في هذه المرحلة، تصبح الأمور معقّدة.

الشكل 7-35 الأرباح.

مخرجات التّعلُّم

GC1106.1 يقترح أسباب الشكّ في وجود تأثيرات ناتجة من الأنشطة البشريّة في المُناخ.

GC1107.2 يصف الطرائق التي تُسْتَنْزَفُ بها طبقة الأوزون، سواء بواسطة مركّبات الكلوروفلوروكربون، أو الانفجارات البركانيّة.

GC1107.4 يدرك الحاجة إلى اتفاقيّات دوليّة لحلّ مشكلات العالم.

GC1108.2 يصف تأثيرات إضافة رباعيّ إيثيل الرصاص إلى الوقود في البشر، وفي تكنولوجيا الحدّ من التلوّث، مثل المحوّلات الحفّازة.

GC1108.3 يفسّر البيانات المتعلّقة بمستويات الرصاص في الغلاف الجوّيّ على أنّها نتيجة نحو الانتقال إلى استخدام البنزين الخالي من الرصاص.

المفردات

Pre-ignition	إشعال مبكر
Tetraethyl lead	رباعيّ إيثيل الرصاص
Freon	فريون
Aerosol	بخّاخ الهواء المضغوط
Volatile liquid	سائل متطاير
Conservation groups	جماعات الضَّغط البيئيّ
Global agreement	اتّفاقيّة دوليّة

الرصاص في الوقود

تساعد دروس التاريخ التي تتناول السنوات المئة الماضية على توضيح بعض المشكلات المرتبطة بحلّ بعض قضايا غازات الدفيئة. لقد أدّى استخدام البنزين في السيّارات، مع محرّكات الضغط العالي الجديدة، إلى **الإشعال المبكر Pre-ignition**. هذا الاحتراق المبكّر يؤدّي إلى الطقطقة (صوت خبط أو طرق في المحرك) التي تسبِّب الضرر للمحرِّك وتساعد على خفض قدرته. ولحل المشكلة تم إضافة 20% إيثانول (كحول) إلى البنزين. لكنّ شركات النفط قاومت استخدام الإيثانول لأنّها لا تتحكّم في إنتاجه، فهو مادّة كيميائيّة شائعة الاستخدام، ولا تتطلّب براءة اختراع.

الشكل 7-36 مضخّة وقود قديمة.

وبدلًا من الإيثانول، أُضيف رباعيّ إيثيل الرصاص **Tetraethyl lead** (TEL)، وجرى تسويقه بوصفه مُنْتَجًا جديدًا، وحلًّا للمشكلات المرتبطة بالإشعال المبكر. في مطلع عشرينات القرن الماضي، فُهمت أخطار الرصاص، لكن جرى التشكيك في البيانات، والتقليل من شأن الادّعاءات بهذه الأخطار عبر تكذيب العلماء وبحوثهم. أمّا الشركات التي تملك محطات الوقود، وتديرها، وتبيع الوقود (**الشكل 7-36**) فقد أخذت تجني الأرباح من رواج مبيعاتها.

مع انتشار البنزين الذي يحتوي على الرصاص، انتشرت أيضًا البيانات المتعلّقة بآثاره المضرّة، وبخاصة لدى الأطفال. لكنّ شركات النفط واصلت هزّ الثقة بالبيانات والعلماء. لم يكن هناك حافز ماليّ لإزالة رباعيّ إيثيل الرصاص، حتّى جرى إدخال المحوّل الحفّاز (**الشكل 7-37**).

الشكل 7-37 المحوّل الحفّاز.

أدّى ذلك إلى حفز الطلب على الوقود الخالي من الرصاص؛ فسارعت شركات النفط إلى توفيره؛ إذ كان لديها حافز ماليّ لإزالة الرصاص الذي أضرّ بالمحوّلات الباهظة الثّمن، مع نموّ سوق الوقود النظيف.وبحلول منتصف السبعينات من القرن العشرين، راحت الشركات تدّعي أنّها تقوم بدورها في حماية البيئة.

استمرّت الشركات الكيميائيّة التي تُصَنِّع رباعيّ إيثيل الرصاص بالادّعاء أنّ مُنْتَجَها آمن، لكنّ الطلب عليه انخفض. من المهم عدم وصف مدراء شركات النفط بأنهم أشخاص سيئون؛ لأنهم كانوا، ببساطة، يحاولون تحقيق أقصى قدر من الأرباح لشركاتهم وللمساهمين فيها. إنّه أمر يتعلّق بالاقتصاد أكثر من تعلّقه بالبيئة.

a3-7 الكشف عن الرصاص

سؤال الاستقصاء	هل يوجد بعض الرصاص على أسطح الموادّ التي تستخدم حاليًّا؟
الموادّ المطلوبة	حقيبة كشف فوري عن الرصاص، أسطح يشتبه باحتوائها على الرصاص لفحصها.

حُظِّر استخدام الرصاص في الدهانات. لكن بعض الدول لاتزال تستخدمه. قد تكون بعض تلك المنتجات قد وجدت طريقها إلى بيئتك فذلك يعتمد على المقاول ودقّة التفتيش.

الخطوات

الشكل 7-38 حقيبة الكشف عن الرصاص.

1. حضِّر قائمة بأسطح يشتبه بوجود الرصاص عليها؛ وهي إمّا مدهونة حديثاً، وإما أسطح قديمة مدهونة منذ سنوات.
2. اقرأ بعناية تعليمات استخدام حقيبة الكشف عن الرصاص (**الشكل 7-38**). تأكد من أن التعليمات لا تتطلب منك إرسال العيِّنات إلى المختبر لتحليلها.
3. سوف تقوم حقيبة الكشف الفوري عن الرصاص بتغيير لون السطح إذا وجد عليه رصاص. تأكد من اختيار بقعة نظيفة خالية حتى من الغبار.
4. سجِّل نتائجك، واعرضها على زملائك في الصف.
5. أعدّ قائمة ببعض الاستخدامات الأخرى للرصاص في المنتجات التجارية والمنزلية، وابحثها.

البيانات

سطح يشتبه بوجود الرصاص عليه	النتائج

استخدامات الرصاص	في التجارة	في المنزل

مُركّبات الكلوروفلوروكربون وأوزون الستراتوسفير

الشكل 7-39 ضاغط ثلّاجة منزليّة.

صُمِّمَت علامة تجاريّة مذهلة لِمُنْتَج رائع يُسمّى **الفريون Freon** في الثّلّاجات (**الشكل 7-39**). والفريون ذرّة كربون محاطة بالكلور والفلور (CFCs)، وهو غير سامّ، وعديم الرائحة والطعم، وغير قابل للاشتعال، وعلى درجة كبيرة من الاستقرار. وعند درجة غليان قريبة من 0°C فإنّه يكون مثاليًّا بصفته غاز ضغط في أجهزة التّبريد. وقد امتلكت شركة فريجيدير براءة اختراعه. وبحلول العام 1935، سيطرت سريعًا على سوق التبريد، باستبدالها الأمونيا القاتلة التي كانت تُستخدم حتى ذلك الوقت، وكانت الأرباح وفيرة.

بخّاخ الهواء المضغوط Aerosol جهاز يستخدم لتعليق جُسيمات دقيقة في الهواء. ومن الأمثلة على بخّاخات الهواء المضغوط، بخّاخُ الطّلاء، وطاردُ الحشرات، وبخّاخُ الشّعر. والبخّاخ علبة تحتوي على **سائل مُتطايِر Volatile liquid** يتحوّل إلى غاز في درجة حرارة منخفضة، ويمكن استعمالها بسرعة وسهولة. وقد تحوّلت علب بخّاخ الهواء المضغوط إلى الفريون كدافع آمن. وقد استُخدمت لمُنتجات كثيرة بما في ذلك الجبن.

بحلول العام 1912، لاحظ مستكشفو القارّة القطبيّة الجنوبيّة غيومًا عالية المستوى، غير اعتياديّة، هشّة فوق قطبي الأرض. وفي العام 1957، قاس باحثون بريطانيّون طبقة الأوزون تلك فوق القُطبَيْن. وفي العام 1985، بدأ الباحثون بالإبلاغ عن فقدان تلك الطبقة خلال أشهر الربيع. وحدّدت قياسات الأقمار الصناعيّة ظاهرة بعرض القارة، وُصِفَتْ بأنّها ثقب في طبقة الأوزون.

طُرحت نظريّاتٌ عدّة لتفسير الثقب، بما في ذلك الطّقس، ودورات الطاقة الشمسيّة. وفي العام 1974، نشر الكيميائيّ المكسيكيّ ماريو مولينا، ورقة أشارت إلى أنَّ مركّبات الكلوروفلوروكربون قد تدمِّر الأوزون. وحيث إنّها مستقرّة في التروبوسفير، فقد حسب أنها على ارتفاع عالٍ، قد تتكسّر بسبب الأشعَّة فوق البنفسجيّة العالية الطاقة، ويتفاعل CFCs مع الأوزون لإنتاج الأكسجين؛ وقد وجد أن كل جُزيء من CFCs يمكنه أن يحدث مئة ألف تفاعل كما في (**الشكل 7-40**).

$$CFCl_3 \xrightarrow{\text{إضافة UV}} CFCl_2 + Cl$$
$$CF_2Cl_2 \longrightarrow CF_2Cl + Cl$$
$$Cl + O_3 \longrightarrow ClO + O_2$$
$$ClO + O_3 \longrightarrow Cl + 2O_2$$
$$(2O_3 \longrightarrow 3O_2)$$

الشكل 7-40 عمليّة كيميائيّة تظهر كيف أنّ مركبات الكلوروفلوروكربون تتكسّر بسبب ضَوء الأشعَّة فوق البنفسجيّة، ويمكن أن يكسِّرَ الكلورُ المتحرّرُ الأوزونَ إلى أكسجين.

الاتفاقيّات الدوليّة

دحضت شركات الصناعة بحث مولينا ونماذجه الحاسوبيّة. وعلى الرغم من ذلك، أظهر الرصد المستمرّ للغلاف الجوّيّ ترقُّقًا مستمرًّا في طبقة الأوزون، وأخذت المخاوف العالميّة تتزايد. وسُجِّلَتْ بياناتٌ قاطعة سنة 1987، عندما أطلقت بعثة أوزون القارّة القطبيّة الجنوبيّة المحمولة جوًّا AAOE، طائرة بحوث إلى ارتفاعات شاهقة (**الشكل 7-41**) في دوامة القارّة القطبيّة الجنوبيّة. وقد أشارت البحوث إلى وجود ارتباط بين أول أكسيد الكلور والأوزون. فقياسات التركيز الأعلى من أكسيد الكلور تعني قياسات المستويات الأخفض من الأوزون، **ما ينسجم مع بحث مولينا ونماذجه الحاسوبيّة. وقد حاز مولينا على جائزة نوبل في العام 1955 لهذا العمل. (أنظر صفحة 102 بالكتاب)**

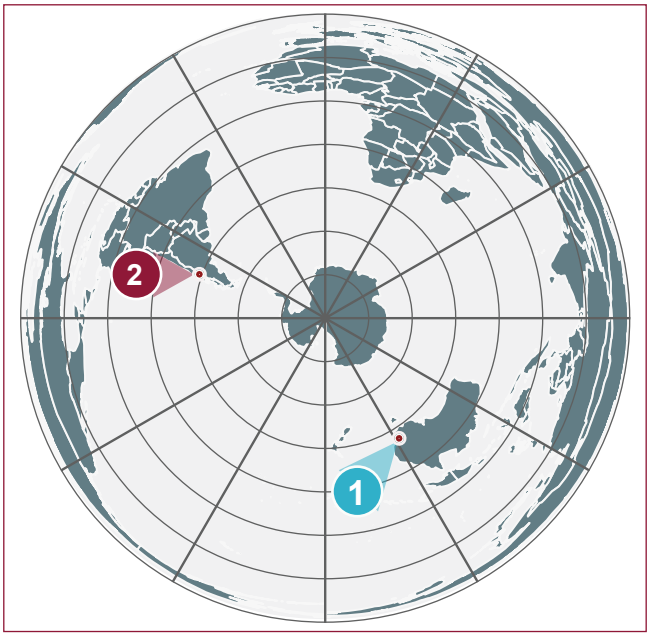
الشكل 7-41 طائرة بحوث AAOE.

أُثْبِتَ أنّ مركّبات الكلوروفلوروكربون تدمّر طبقة الأوزون.

أدّى ذلك الاكتشاف إلى معضلة؛ إذ لا يوجد حافز ماليّ لتقييد إنتاج CFCs واستخدامها، فهي تعمل جيّدًا، ولم تثبت الموادّ البديلة فاعليتها. أضف إلى ذلك أن الشركات (والمساهمين) التي تستخدم CFCs تحقّق أرباحًا جيدة، إضافة إلى أنَّ نفقاتِ البحث عن بدائل، وتغيير خطوط الإنتاج والمصانع كلّها، مرتفعةٌ جدًّا. كما أنّ الشركات الكيميائيّة التي تنتج CFCs تعتمد على ذلك المُنْتَج في وجودها بحدّ ذاته.

وحتّى الآن، سُجّلت أعلى معدّلات لسرطان الجلد نتيجة التعرّض للأشعّة فوق البنفسجيّة في أستراليا ونيوزلندا، مع معدّلات مرتفعة في تشيلي والأرجنتين (**الشكل 7-42**) كذلك. وكلّ هذه المناطق قريبة من منطقة استنزاف طبقة الأوزون. تلك مشكلة خطيرة، وإذا لم تُعالَج فقد تؤثّر في الكوكب كلّه.

لذلك، تتّفق حكومات العالم الآن على مناقشة المشكلة، وهي ترغب في إيجاد الحلول التي لن تفلس الشركات، وتمنع الخفض المستمرّ لطبقة الأوزون.



الشكل 7-42 نصف الكرة الجنوبيّ: أستراليا (1)، الأرجنتين (2).

بروتوكول مونتريال

الشكل 7-43 طفل يحمل الكرة الأرضيّة في حملة «احمِ مستقبلي».

جاءت الخطوات الأولى نحو الحلّ من **جماعات الضغط البيئيّ Conservation groups**، والأشخاص المهتمّين بسلامة الكوكب المستقبليّة. لقد نظّموا حملات، وندوات لتثقيف الناس عن مشكلات CFCs، وتأثيراتها المستقبليّة. وقد أبرزت الإعلانات التأثير المُحتمل كما يراه الأطفال (**الشكل 7-43**)، هؤلاء الذين ستكون حياتهم هي الأكثر تأثُّرًا إذا لم تُتَّخَذ إجراءات رادعة. أنشأ ذلك رأيًا عامًّا يطالِب بالتخلُّص من CFCs، ولّد بدوره حافزًا لدى السياسيين والشركات للعمل.

ولن يتمّ التوصُّل إلى **اتّفاق عالميّ Global agreement** على عمل مختلف المُساهمين الرئيسيين بِـ CFCs، ما لم يتمّ التوافق على تخفيض الإنتاج والاستهلاك في الوقت نفسه. ولن يكون الاتّفاق فاعلًا إذا اقتصرت الموافقة عليه على عدد قليل من الدول، واستمرّ أسوأ المخالفين في إطلاق الموادّ الكيميائيّة إلى البيئة. تلك هي حدود أي معاهدة دوليّة.

في أغسطس 1987 جرى توقيع معاهدة في مونتريال بكندا، شاركت فيها الدول التي وافقت على التخفيض التدريجيّ لإنتاج CFCs واستخدامها. ووُضع جدول زمنيّ لمستويات محدّدة للوفاء بها.

كان لا بدّ من موافقة الدول جميعها على البروتوكول، حيث لا تكتسب أيّ شركة أو دولة ميزة غير عادلة، أو تتحمّل عبئًا لا مبرِّر له. وقد أُضيفت بعض التّعديلات على الاتفاق الأساسي، من أجل السماح للشركات الصناعيّة في الدول المختلفة بتطوير بدائل للمُنتجات المستنفِدة للأوزون. في نهاية المطاف، وقّع على البروتوكول مئة وسبع وتسعون دولة،إضافة إلى الاتّحاد الأوروبيّ.

الشكل 7-44 لا لِـCFCs.

وجدت أقسام التسويق أن بإمكانها الإفادة من المشاعر العامّة لتسويق مُنتجات خالية من CFCs (**الشكل 7-44**)، وحتّى مُنتجات لا تحتوي أساسًا على تلك المركّبات.

ومع القبول العالميّ لبروتوكول مونتريال، أصبح يعدّ أنجع معاهدة من نوعها. وتشير أحدث البيانات إلى أنّ طبقة الأوزون تعمل على إصلاح نفسها. ومن المتوقّع أن تعود إلى مستويات 1980 في فترة 2070 – 2050.

b3-7 صعوبات العمل المتعدّد الجنسيات

تحمل الحكومات، والصناعات المتعدّدة الجنسيات، ومجموعات الضغط البيئية، آراءً متباينة حول الحاجة إلى اتفاقيات لحماية البيئة (مثل اتفاقية مونتريال)، أو التوصُّل إلى موافقة تلك الجهات عليها؛ وذلك أمرٌ صعب. سوف تدعو زملائك في الصف إلى الموافقة على إجراء معيّن. لذا عليك أن تُسجِّل الخطوات والتسويات التي يتّفقون عليها، لتحقيق ذلك الهدف.

الخطوات

1. اختر إجراءً مفيدًا لزملائك في الصف جميعًا. وناقشهم في الإجراء الذي اتّخذته، محاولاً إقناعهم بالموافقة على اتّباع توصياتك.

   أمثلة:
   - تناوُل كميات أقل من لحم البقر.
   - إعادة تدوير.
   - استخدام أكثر لوسائط النقل العامة.
   - تمارين رياضية أكثر.

2. ابتكر طريقة لإقناع زملائك بالتزام توصياتك.

   أمثلة:
   - تحسين الصحة الشخصية.
   - اعتماد أقلّ على الموارد المحدودة.
   - تحمُّل مسؤولية اجتماعية أكثر.

3. ابتكر طريقة لمراقبة التزام الاتفاقية.

   أمثلة:
   - مراقبة الساعات الذكية للنشاط.
   - نظام الشرف.

4. حدِّد الحوافز التي من شأنها إقناع غير الموافقين.

   أمثلة:
   - إعداد سجل للنتائج الفردية.
   - اقتراح توصيات لإحداث تعديل أكبر في السلوك.

5. نظّم نقاشًا جماعيًّا عن مشكلات المشاركة الكاملة. لماذا تردّد بعض الطلاب في المشاركة؟ هل اقترح بعض الطلاب أشياء كانوا يفعلونها شخصيًّا؟ هل كان ذلك عادلاً؟

c3-7 تأثير الأنشطة البشرية

1. فكّر مليًّا في القيود المفروضة على النماذج المستخدمة لمحاكاة المُناخ في الماضي، أو للتنبُّؤ به مستقبلًا، وابحث فيها جيدًا، أو تعرّف حقيقتها.
2. ركّز في أوجه عدم اليقين، وإعادة إنتاج النماذج، ولخِّص تلك العوامل.
3. أعدَّ نقاشًا بوصفه أساسًا لكتابة نص لبرنامج تلفزيوني هدفه الاعتراض على التأثيرات البشرية في المُناخ.

ليس هدف هذه المهمة إثارة الجدل عن تغيُّر المُناخ، بل الاستفسار عن تورُّط الإنسان في ذلك التغيُّر المُناخي. ويجب عليك أن تضع كثيرًا من المتطلبات المحدّدة للبرنامج التلفزيوني، على النحو الآتي:

a. تقديم البرنامج: أمر من شأنه جذب المشاهدين ولفت انتباههم. لذا احرص على جعل مقدمة البرنامج واضحة، ومرتبطة بصلب الموضوع مباشرة. وقد تشير إلى بعض البحوث أو البيانات الجديدة التي تثبت وجهة نظرك.

b. محتوى البرنامج: إذا احتوى البرنامج على بيانات كثيرة، فإنها لن تجذب انتباه كثير من المشاهدين. لذا حاول أن تطرح القضايا المثيرة للمشاعر والأحاسيس، مضمِّنًا قصتك بعض الحقائق. وحاول العثور على حوادث محدّدة وقع فيها تغيُّر المُناخ في الماضي بدلاً من العبارات العامة، واذكر أن ما نشهده الآن هو مجرد جزء من الدورة الطبيعية. لا تتجاهل معاناة البشر من الفيضانات، أو موجات الحرارة، أو المجاعات التي حدثت قديمًا، بل حاول ربطها بأحداث ما قبل الثورة الصناعية.

c. الاستنتاجات: توفير خطة عمل للمساعدة على التعامل مع «حتمية» دورة الكوكب. مثلًا: «نحن شاهدون حديثون لسلسلة من الدورات المستمرة منذ ملايين السنين. ويجب علينا أن نتعلَّم التكيّف، بدلاً من تقديم اللوم».

«لوحة تسلسل قصة/ الحدث story board» تقنية تستخدم في الإنتاج التلفزيوني والأفلام للمساعدة على وضع خط زمني للقصة أو الحدث. وقد تساعد على تحديد البرنامج وتنظيم المفاهيم.

وحالما تنتهي من كتابة البرنامج، يجب أن تجد مُعلنين يموّلون عملك، وينتجونه، ويروّجون له. وتحدِّد نوع الشركات التي ستهتم بدعمك.

تقويم الدرس 7-3

1. لماذا استخدم منتجو النفط في البداية رباعيّ إيثيل الرصاص لحلّ مشكلات الإشعال المبكر؟
   a. كان المنتج الوحيد المتاح في ذلك الوقت.
   b. كان المنتج الوحيد الذي يتحكّمون فيه ببراءة الاختراع.
   c. كان يعمل على نحو أفضل بكثير من الإيثانول لزيادة مستويات الأوكتان.
   d. كانوا يعرفون أنّه آمن، وأنّ استخدامه سيزيد الأرباح.

2. أيّ ممّا يأتي ليس سببًا لاستخدام الفريون في الثلّاجات؟
   a. أنّه قابل للاشتعال.
   b. أنّ درجة غليانه منخفضة جدًّا.
   c. أنّه أكثر أمانًا من الأمونيا.
   d. ليس سامًّا ولا متفاعلًا، لذا فهو آمن للبشر.

3. في أيّ سنة كان أوّل تنبّؤ بأنّ مركّبات الكلوروفلوروكربون قد تدمّر طبقة الأوزون؟
   a. 1921
   b. 1974
   c. 1985
   d. 1987

4. لمَ لا تزال بعض الدول تستخدم البنزين الذي يحتوي على الرصاص؟

5. لمَ يستمرّ منتجو النفط في إنتاج الوقود الذي يحتوي على الرصاص، على الرغم من علمهم أنه يسبِّب مشكلات صحّيّة؟

6. أيّ خاصّيّة للفريون تجعله آمنًا، وفي نهاية المطاف مميتًا؟

7. لماذا حاولت الصناعات الكيميائيّة التشكيك في بحوث العلماء ونماذجهم الحاسوبيّة التي تنبّأت بأنّ CFCs ستدمّر طبقة الأوزون؟

8. لمَ يتطلّب الحدّ من CFCs اتفاقيّة دوليّة؟

9. حدّد بعض المشكلات الناجمة عن التغيُّر المُناخيّ.

العلم والعلماء

ماريو مولينا: 1943 – الآن

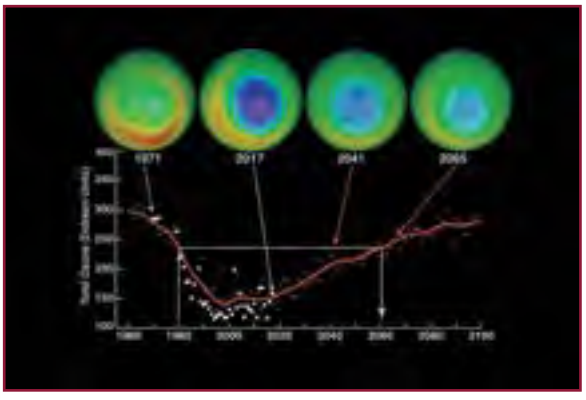
الشكل 7-45 ماريو مولينا.

درس ماريو مولينا **تأثير الأنشطة البشرية على طبقة الأوزون**، وأسهم في نشوء حركة أدّت بسرعة إلى توقيع اتفاقية مونتريال التي جمعت قادة العالم على هدف واحد، هو الحدّ من انبعاث مُركّبات الكلوروفلوروكربون.

وحفّزته السير الذاتية للعلماء المشهورين فأقنع الشاب خوسيه ماريو مولينا باسكيل إي هنريكيز (ماريومولينا) عمته الصيدلانية إستير مولينا بمساعدته على تحويل حمَّام منزله إلى مختبر كيمياء. وهو الذي استطاع باستخدام مجهر لعبة وخبرته في الكيمياء، استكشاف عجائب العالم من حوله.

وبعد انتهائه من المدرسة الثانوية، وتخرُّجه في إحدى الكليات بالمكسيك، درس في ألمانيا وفرنسا. ثم التحق ببرنامج الدكتوراه في جامعة بيركلي بكاليفورنيا. واستخدم في مشروعه البحثي أشعة الليزر الكيميائية. وكان الوضع في بيركلي ذلك الوقت يتّسم بالسلام والاحتجاج على الحرب الأمريكية في فيتنام. فقرّرمولينا في نهاية المطاف متابعة العلوم التي قد تكون مفيدة، وليست ضارة للعالم (**الشكل 7-45**).

وفي مقالته لمؤسسة نوبل، كتب قائلاً: «شعرت بالفزع لأن الليزر الكيميائي العالي الطاقة كان يُطوَّر في أماكن أخرى كسلاح. فأردت أن أشارك في البحوث التي تفيد المجتمع، ولا تُسخَّر لأغراض ضارة محتملة» (Molina ،2007).



الشكل 7-46 بيانات ناسا تظهر استنزاف ثقب الأوزون والإصلاح المتوقّع.

اشترك مولينا، عام 1974، مع المشرف على رسالته شيروود رولاند، في نشر بحثي وضّح فيه كيف يمكن لمُركّبات الكلوروفلوروكربون تدمير أوزون الستراتوسفير (**الشكل 7-46**)، وقد حدث فعلاً.

حاز جائزة نوبل عام 1995 ليس فقط لبحوثه، بل لالتزامه بإنقاذ العالم.

الوحدة 7

مراجعة الوحدة

الدرس 7-1 الأرض في توازن

- يقصد **بالأنشطة البشرية Anthropogenic** أنها من صنع الإنسان.
- يحدث **تأثير الدفيئة Greenhouse effect** عندما يسخّن الغلاف الجوي الأرض.
- **خزّانات الكربون Sinks** مصطلح يستخدم في تمثيل الكربون المخزَّن في البيئة.
- **الارتباط Correlation** يعني أن شيئًا ما يرتبط بآخر، مثل الارتباط بين درجة الحرارة وتركيز غاز CO_2 الجوي.
- **السببية Causation** تشير إلى أن هناك شيئًا ما يسبّب شيئًا آخر، مثل كيف يسبب غاز CO_2 الجوي تغيير درجة حرارة سطح الأرض بوجود الغازات الدفيئة؟
- **عالِم المُناخ Climatologist** العالِم الذي يدرس المُناخ.
- **علم المُناخ القديم Paleoclimatology** هو دراسة تاريخ المُناخ على الأرض.

الدرس 7-2 اختلال التوازن

- **ازدهار الطحالب Algal blooms** النمو غير الطبيعي للطحالب بسبب الأسمدة التي تدخل إلى مجرى المياه.
- **الضبخن (الضباب الدخاني smoke-fog)** مصطلح يشير إلى مستوى متدنٍّ من تلوّث الهواء.
- **التفاعل الكيميائي الضوئي Photochemical reaction** تفاعل يحصل على الطاقة من الضوء، أو من طاقة الأشعة فوق البنفسجية.
- **المحوّلات الحفّازة Catalytic converters** أجهزة لمنع تلوّث الهواء توضع في نظام العادم في السيارات.

الدرس 7-3 الجهود المبذولة لاستعادة التوازن

- أُضيف **الرصاص الرباعي الإيثيل Tetraethyl lead** إلى البنزين لحل مشكلة الطقطقة Knocking.
- **الفريون Freon** من مركّبات الكلوروفلوروكربون الشائعة الاستخدام بوصفه غازًا في الثلّاجات.
- **جماعات الضغط البيئي Conservation groups** مجموعة من الأشخاص المهتمين كرّسوا أنفسهم للحفاظ على البيئة.
- يتمّ اللجوء إلى **اتفاق عالمي Global agreement** لحلّ مشكلة، عندما لا تكون الحوافز المالية متاحة لإحداث التغيير في الصناعة.

اختيار من متعدِّد

1. أيٌّ مما يأتي يحتفظ بالمزيد من الكربون؟
   a. الهواء
   b. المحيط
   c. الاحتراق الداخلي.
   d. البناء الضوئي.
2. أيٌّ ممّا يأتي هو العنصرالرئيس في الأصداف البحرية؟
   a. ثاني أكسيد الكربون
   b. N_2O_5
   c. $CaCO_3$
   d. H_2SO_4
3. أيٌّ ممّا يأتي يتطلّبه تأثير ظاهرة الاحتباس الحراري؟
   a. الشمس
   b. الأرض
   c. وقت الليل.
   d. الغلاف الجوي.
4. ما تأثير السحب في درجة حرارة الأرض؟
   a. الأيام الباردة والليالي الأكثر دفئًا.
   b. الأيام الأكثر دفئًا والليالي الأكثر برودة.
   c. ارتفاع درجة الحرارة الإجمالية في كل مكان بسبب الدفيئة.
   d. انخفاض درجة الحرارة الإجمالية في كل مكان بسبب الدفيئة.
5. على مدى السنوات الـ 400,000 الماضية، كانت درجة حرارة الأرض:
   a. ترتفع بصورة مطردة.
   b. تنخفض كل 50,000 سنة باستثناء السنوات الـ 150 الماضية.
   c. ترتفع دوريًّا، ثم تنخفض كل 150 سنة تقريبًا.
   d. ترتفع دوريًّا، ثم تنخفض كل 100,000 سنة تقريبًا.
6. أيٌّ ممّا يأتي جزء من حلقة التغذية الراجعة الخاصة بالجليد؟
   a. يذوب الجليد، يعكس ضوءًا أقل، تسخن الأرض.
   b. يذوب الجليد، يبرد المحيط، تبرد الأرض.
   c. يذوب الجليد، تنمو النباتات، يعكس ضوءًا أقل، تبرد الأرض.
   d. يذوب الجليد، ترتفع المحيطات، تموت النباتات، يعكس ضوءًا أقل، تبرد الأرض.

7. مصدر معظم النيتروجين الذي تطلقه الأنشطة البشرية:

a. تسميد الحقول.

b. تربية قطعان كبيرة من الماشية.

c. تصنيع مركّبات الكلوروفلوروكربون.

d. أكسدة هيدروكربونات الفحم والنفط.

8. ما الخزّان الرئيس للميثان في الغلاف الجوي؟

a. الميزوسفير

b. الستراتوسفير

c. التروبوسفير

d. الغلاف الحراري.

9. لِمَ كانت المحوّلات الحفّازة ملزمة للسيارات الجديدة جميعها؟

a. للمساعدة على الحدّ من البنزين المحتوي على الرصاص.

b. لتقليل أصوات نظام العوادم في السيارات.

c. للضغط على عامة الناس بغية التحكُّم في الضباب الدخاني.

d. جعل مصنّعي السيارات سياراتهم أكثر أمانًا.

10. التفاعل الكيميائي الضوئي هو تفاعل:

a. يبدأ في الشمس.

b. تحفّزه أشعة الشمس.

c. ناتج من الهواء الدافئ.

d. ينتج عندما تتّحد ذرّتان.

11. متى لوحظ للمرة الأولى أن طبقة الأوزون أقلّ سماكة؟

a. 1921

b. 1974

c. 1985

d. 1987

12. ما الدليل القاطع على أن مركّبات الكلوروفلوروكربون كانت تُتلِف طبقة الأوزون؟

a. أظهرت نماذج الحاسوب استنفاد الأوزون.

b. أثبتت عيّنات من الهواء التي جمعتها طائرات البحث على ارتفاعات عالية وجود CFCs.

c. الصيغ الكيميائية التي أظهرت أن مركّبات الكلوروفلوروكربون يمكن أن تُتلِف الأوزون.

d. الاجتماعات الأولى لوضع تفاصيل اتفاقية مونتريال.

الدرس 7-1 الأرض في توازن

13. صف دورة عمليات ارتجاعية بسيطة للكربون تتضمّن البناء الضوئي.

14. ما المساران اللذان يمكن أن يتّخذهما الكربون في النباتات؟

15. ماذا يعني مصطلح «الأنشطة البشرية»؟

16. لماذا تكون درجات الحرارة في النهار والليل متفاوتة كثيرًا على القمر؟

17. ما الخاصّية الرئيسة لغازات الدفيئة؟

18. ماذا حدث لمعدَّل درجة حرارة الأرض على مدار الأعوام الـ 100 الماضية؟

19. ما العلاقة بين درجات حرارة الأرض وتركيز ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي؟

20. كيف تتكوّن طبقة الأوزون في الستراتوسفير؟

21. ما الدور الذي يؤديه الأوزون في الستراتوسفير بخصوص استمرارالحياة على الأرض؟

22. كيف يُطلق الميثان الطبيعي في الجوّ؟

23. اشرح أهميّة المُناخ للمزارعين.

24. أعطِ أمثلة على كيفية معرفتنا أن المُناخ قد تغيّر تغيُّرًا كبيرًا في الماضي.

25. اشرح كيف يمكن لبرنامج حاسوب ارتجاعي أن يساعد على تحسين النماذج الحاسوبية للكربون.

الدرس 7-2 اختلال التوازن

26. تستخدم صناعة الأسمنت الحجر الجيري. اشرح كيف يمكن أن تسهم هذه الصناعة في مستويات CO_2.

27. ما الدليل على أن الدورات الطبيعية لا يمكن أن تشمل ثاني أكسيد الكربون الذي مصدره الأنشطة البشرية؟

28. لمَ يجب إضافة النيتروجين إلى حقول الزراعة؟

29. ما المشكلة الناجمة عن زيادة النيتروجين في الكتل المائية؟

30. ما الاشتعال المسبق في محرِّك الاحتراق الداخلي؟

31. لمَ أُضيف الرصاص الرباعي الإيثيل إلى البنزين؟

32. ما المصدر الرئيس لأوزون التروبوسفير؟

الدرس 7-3 الجهود المبذولة لاستعادة التوازن

33. اشرح الدافع لإضافة الرصاص إلى البنزين بدلًا من الإيثانول.

34. لمَ يحاول منتجو النفط تشويه سمعة العلماء الذين كانوا يدّعون أنّ الرصاص مضرّ؟

35. ما نتيجة حظر استخدام البنزين الذي يتضمّن الرصاص على مستويات الرصاص في الغلاف الجويّ؟

36. ما الحوافز المالية المتاحة لإيقاف الشركات الكيميائية عن إنتاج مركّبات الكلوروفلوروكربون؟

37. ما البيانات الملموسة المتوافرة التي تظهر آثار استنزاف طبقة الأوزون؟

38. لمَ كانت الحملة العامة التي تقوم بها مجموعات الحِفاظ على البيئة مهمّة للحدّ من مُركّبات الكلوروفلوروكربون؟

39. لمَ يناقش الناس تأثير الأنشطة البشرية في تغيُّر المُناخ العالمي؟

40. ما المصادر الرئيسة لغازات الدفيئة الناجمة عن الأنشطة البشرية؟ وكيف يمكن للفرد أن يقلّل من مساهمته في إجمالي انبعاثات غازات الدفيئة في وطنه؟

41. ما دول العالم الأكثر تضرّرًا من تغيُّر المُناخ الذي أدّى إلى زيادة في مستوى سطح البحر؟

42. ما التكاليف الماليّة التي قد تتحمّلها الحكومة، أو الفرد، إذا أوقفت الاعتماد على الوقود الأحفوري؟

43. يمكنك تبنّي إحدى القضيتين الرئيستين الآتيتين:

الأولى، تغيُّر المُناخ، هو ببساطة جزء من الدورة الطبيعية، وليس هناك ما يمكن القيام به لتغيير ذلك.

والثانية، الأنشطة البشرية تُسرِّع تغيُّر المُناخ.

اشرح السلوك المسؤول الواجب عليك اتخاذه إذا تبنيّت إحدى القضيتين.

44. اشرح سبب توقيع الحكومات على اتفاق باريس، للحد من ارتفاع درجات حرارة الأرض، وفسّر سبب انسحاب حكومةٍ ما من هذا الاتفاق.

الوحدة 8

التَّنوُّع الحيويّ والتَّغيُّر المُناخيّ

Biodiversity and Climate Change

في هذه الوحدة

- **الدرس 8-1:** التَّنوُّع الحيويّ — GB1105
- **الدرس 8-2:** الإخلال بالتَّنوُّع الحيويّ — GB1106
- **الدرس 8-3:** الأمن الغذائي العالمي — GB1107
- GB1108

الوحدة 8

مقدّمة الوحدة

تمثّل زيارة إلى حديقة حيوان وطنيّة تجربة غنية؛ ستدهش هناك بروعة الحيوانات الّتي قد لا تكون على علم بوجودها من قبل. إلّا أنَّ جمال الحيوانات وفرادتها كانا في كثير من الأحيان سببًا مباشرًا في هلاكها. ولعلَّ أوضح الأمثلة على ذلك المَها العربيّة، التي تكاد تنقرض في البرية بسبب الصيد الجائر. وعلى الرّغم من إعادة تكثيرها، فإنها لا تزال مُدرجة ضمن قائمة الأنواع المهدّدة بالانقراض. ولقد أصبح الإنسان مدركًا للأهميّة المعقّدة والاستراتيجيّة البناءة للتّنوُّع الحيويّ الكبير على الأرض. وعلى الرغم من تنفيذ برامج للحفاظ على المواطن البيئيّة الطّبيعيّة لهذه الأنواع، فإنّ مصالح أخرى تدمّر هذه المواطن للاستفادة منها في تنمية وتكثير نباتات وحيوانات أكثر ربحيّة. إنّه لأمر أكثر من محزن أن نرى اختفاء نوع كامل من الكائنات الحيّة؛ ذلك أنَّ هذا الاختفاء قد يقلّل من قدرتنا على تغذية العدد المتنامي من البشر. ومن غير الواضح تمامًا أن ندرك الدّور الّذي قد تقوم به بعض الأنواع في المساعدة على تطوير المحاصيل اللّازمة وإمدادات الغذاء. وفي كلّ مرّة يختفي فيها نوع من هذه الكائنات من هذا الكوكب، فإنّ إفادتها لبيئتها تزول معها أيضًا. سنتطرق في هذه الوحدة لبعض هذه القضايا.

الأنشطة والتجارب

a1-8 التَّنوُّع الحيويّ المتغيّر
b1-8 فيلم قصير عن التَّنوُّع الحيويّ
a2-8 بصمة الكربون
b2-8 إجراءات الحكومة
c2-8 الأمن الغذائي العالميّ
a3-8 الأسمدة ومبيدات الآفات الصناعية
b3-8 المكافحة البيولوجيّة للآفات

الدرس 8-1
التَّنوُّع الحيويّ
Biodiversity

من أجمل الروائع أن تشاهد صقر الشّاهين (**الشكل 8-1**). كثير من الهواة يمتلكون ويدرّبون تلك الصقور الجميلة، ويستمتع آخرون بمراقبتها وهي تحلّق وتصطاد. ويتنافس عبر العالم كلّ سنة من يُدْعَوْن «مراقبي الطّيور» لتحديد موقع أكبر عدد ممكن من أنواع الطّيور ويسافر بعضهم مسافات طويلة لمشاهدة الأنواع النادرة، وإضافتها إلى قائمته. وقد تم رصد العلماء الى ما قد يصل الى ثمانية عشر الف نوع من الطّيور في العالم. ويضمن هذا التَّنوُّع الحيوي الكبير من الطّيور فعليًّا أنّك ستجد نوعًا واحدًا، على الأقلّ، يمكنه البقاء في أيّة بيئة.

الشكل 8-1 الصَّقر الجوّال (الشاهين).

مخرجات التّعلُّم

GB1105.1 يصف الأدلّة على التّغيُّرات المرتبطة بالمُناخ بالتَّنوُّع الحيويّ مع مرورالوقت، بما في ذلك لبّ الجفت والدّليل الأحفوريّ .

GB1106.1 يشرح تأثير تغيّر المُناخ في العوامل اللّاحيويّة في النُّظم البيئيّة، بما في ذلك انصهار جليد البحر، وشحّ هطول الأمطار، وزيادة هطولها، وارتفاع درجات الحرارة.

GB1106.2 يشرح كيف تؤثّر النُّظم البيئيّة المتغيّرة في التَّنوُّع الحيويّ، وتقييم الأدلّة لتغيير نطاقات الحيوانات والنَّباتات، وتغيير أنماط الهجرة ومعدّلات الانقراض.

المفردات

Biodiversity	التنوُّع الحيويّ
Anthropogenic	النشاط البشريّ
Indigenous	أصليّ
Wetlands	أراض رطبة
Fossil	أحفورة
Paleontologists	علماء الأحافير
Peat core	لبّ الجفت
Sea ice	جليد البحر
Migration pattern	نمط الهجرة
Extinction rate	معدّل الانقراض
Amphibians	برمائيّات
Pollinators	ملقحات

التَّنوُّع الحيويّ

يصف **التَّنوُّع الحيويّ Biodiversity** عدد الأنواع المختلفة من الكائنات الحيّة، وقد يشير أيضًا إلى الأرض ككلّ، أو إلى بيئة محدّدة، أو حتّى إلى أنواع مختلفة في مجموعة محدّدة. وعلى سبيل المثال، فقد يكون في العالم اليوم أربعمئة ألف نوع من النباتات المزهرة (**الشكل 8-2**).

الشكل 8-2 تنوُّع النَّباتات المزهرة.

ويعتمد نموّ النّوع وازدهاره في منطقة معيّنة على ظروف تلك المنطقة، وتكيّف ذلك النّوع. وإذا كانت النباتات والحيوانات الأصليّة هي تلك الموجودة في منطقة معيّنة، فإن كثيرًا من النّاس يزرعون في حدائقهم أنواعًا من النّباتات الأصليّة، ونباتات أخرى من مختلف أنحاء العالم (**الشكل 8-3**).

الشكل 8-3 حديقة مزروعة بنباتات دخيلة.

إنّ التَّنوُّع الحيويّ في منطقة معيّنة يتحدّد من خلال البيئة والمُناخ. وقد تكيَّفت الحشرات، النَّباتات، الحيوانات، والطّيور الأصليّة مَعَ مرور الوقت، فاستطاعت البقاء و التكاثر. ومن بين العوامل الّتي تؤثّر على بقاء الأنواع في منطقة ما:

- توافر الماء المناسب لبقاء الكائنات من حيث عذوبته وملوحته.
- مناسبة درجة الحرارة (الحرارة القصوى والحرارة الدنيا) لبقاء الكائنات.
- وجود أنواع أخرى، بما في ذلك البكتيريا، والفطريّات، والمفترسات، والفرائس، والنَّباتات.
- تأثيرات الإنسان على البيئة.
- ثبات الظروف المناخية لفترة زمنية في منطقة بيئية محددة.

وإذا كانت الطبيعة غنية جدًا بمواردها وقدرتها على الانتشار، فإنَّ ذلك يعني أنّه يوجد أو كان يوجد، مستوى معيّن من التَّنوُّع البيئيّ في كلّ بيئة على الأرض. ومع ذلك فإنّ آخر نقطتين في العوامل السّابقة حاسمتان؛ فالتَّنوُّع الحيويّ يحدث على مدى آلاف كثيرة من السّنين وتأثيرات الإنسان تحدث في كثير من الأحيان خلال عشرات قليلة من السّنين. وحدوث أحد العوامل، ولو لمرّة واحدة، قد يقلّل التَّنوُّع في منطقة برّيّة، تتكون من الآلاف من الأنواع إلى عدد قليل جدًا من تلك الانواع.

أهمّيّة التَّنوُّع الحيويّ

تعود أهمية التَّنوُّع الحيويّ لأسباب كثيرة: أحدها أنّ المرض والإجهاد البيئيّ مثل الجفاف، يؤثّران على الأنواع المختلفة بطرائق مختلفة. وإذا وُجِدَت أنواع كثيرة، فإنّ خسارة نوع يمكن تعويضها بنموّ أنواع أخرى مشابهة.

وتشكّل **الأراضي الرّطبة Wetlands** والمستنقعات المالحة، مساحات واسعة تدعم التَّنوُّع الحيويّ. وتوفّر غابات المانغروف (الذي يُعرف محليًّا بنبات القرم) في الذّخيرة موطنًا بيئيًّا لجماعات متنوّعة من الأحياء البحريّة، والّتي توفر طعامًا ممتازًا للطّيور المتنوّعة، بما فيها النُّحام الورديّ. والمانغروف أشجار تزدهر في الظّروف الحارّة والمالحة على امتداد السّاحل مع أنها تشكّل ظروفًا قاتلة لمعظم الأنواع الأخرى. وهي تمثّل، على الأغلب، النّوع الأول من النّباتات الّتي توجد في الأراضي السّاحليّة الرّطبة ، وتسهم في التَّنوُّع الحيويّ في المنطقة.

الشكل 8-4 تحتوي الأراضي الرّطبة على تنوُّع حيويّ كبير من النّباتات والحيوانات.

ويتمثّل أحد الدّروس الرّاسخة عن أهمّيّة التَّنوُّع الحيويّ في خيارات المحاصيل الّتي ننمّيها؛ تشتمل البطاطس على أكثر من أربعة الاف صنف تختلف عن بعضها البعض في كمية المحصول الذي ينتجه. وفي أوائل القرن التّاسع عشر، اعتمد معظم المزارعين في إيرلندا، بمرور الوقت، نوعين فقط من البطاطس وافرة الإنتاج بدلًا من التَّنوُّع التّقليديّ للأصناف ، وفي العام 1845، وفي أثناء طقس بارد ورطب على نحو غير اعتياديّ، أصاب الفطر *Phytophthora infestans* كلًّا من الأوراق والبطاطس الصّالحة للأكل من كِلا النّوعين. ومع أنّ أنواع البطاطس الأخرى تتّصف بمقاومتها للفطر، لكن لم يكن لهذين النّوعين مقاومة له. وبسبب عدم وجود تنوُّع في محصول البطاطا، فقد حدثت مجاعة أدّت إلى وفاة أكثر من مليون إنسان (**الشكل 8-5**).

الشكل 8-5 تأثير مجاعة البطاطس الإيرلنديّة.

وتحتوي الأنواع المختلفة على جينات مختلفة تجعلها قابلة للتّكيّف مع مختلف ضغوط البيئة. وعن طريق تنمية أنواع مختلفة من النّباتات معًا، تتطوّر أصناف جديدة بسمات مفيدة، مثل مقاومة الفطر، أو نموّ محصول أكثر وفرة. ومن دون التَّنوُّع، فإنه يتم فقد الكثير من السمات المفيدة التى تمنح الاصناف المختلفة القدرة على البقاء من الحوض الجيني. إنّها مشكلة في أنحاء العالم كلّه اليوم، إذ تمّ اللّجوء إلى التّضحية بالتنوّع، واختيار نوع واحد يعطي محصولًا أوفر.

تغيُّرات التَّنوُّع الحيويّ

على مقياس زمنيّ من عشرات آلاف السّنين، تغيّر التَّنوُّع الحيويّ استجابة للتّغيُّرات البطيئة في الأرض نفسها. وغالبًا ما تؤثِّر هذه التّغيُّرات في النُّظم البيئيّة من خلال المُناخ، مثل معدّل درجة الحرارة، أو معدل هطول الأمطار. وقد أدّت الزّيادة في عدد سكّان العالم، من بضعة ملايين إلى ثمانية مليارات إنسان، إلى تسارع أكبر في كلٍّ من التَّغيُّر المُناخيّ، وتأثيرات أخرى، مثل فقدان المواطن البيئيّة.

وتتمثّل مظاهر التغير في التنوع الحيوي كالتالي:

1. العدد الإجماليّ لمختلف الأنواع يمكن أن يزداد أو ينقص.
2. بعض الأنواع الأصليّة يمكن أن ينخفض عدده أو قد ينقرض.
3. أنواع جديدة يمكن أن تتطوّر أو تنتقل من بيئات أخرى.

الشكل 8-6 أحفورة ديناصور.

ويقدّر علماء الأحياء أنّ 99% من الأنواع جميعها الّتي عاشت على سطح الأرض قد انقرضت. تشير السجلات الأحفورية (**الشكل 8-6**) أنّه، في أثناء الانقراضات الجماعيّة، تسبّبت تغيُّرات سريعة في بيئة الأرض في انقراض ما يصل إلى 90% من الأنواع جميعها. وقد حدّد **علماء الأحافير Paleontologists** في السّجّل الأحفوريّ أكثر من 700 نوع منقرض من الدّيناصورات.

وتُسَجَّلُ التّغيُّرات الأحدث في التَّنوُّع الحيويّ في مستنقعات الجفت، وهي مناطق أراض رطبة تراكمت فيها على مدى القرون رواسب النَّباتات الميّتة (**الشكل 8-7**). ويمكن استخراج «**لبّ الجفت Peat core**» لتوضيح تاريخ النَّباتات في المنطقة مع تغيُّر المُناخ. ويمكن رسم تغيُّرات مميّزة في التَّنوُّع الحيويّ للحياة النّباتيّة على امتداد اللّب، إذ اكتشف العلماء من خلال فحص مئات عيّنات اللّب، أن نوعًا آخر يحلّ محلّ نوع معيّن قد انقرض بسبب تقلبات المناخ. لذا، فإنَّ التَّنوُّع الحيويّ الكلّيّ يبقى في المستنقع ثابتًا نسبيًّا.

الشكل 8-7 طبقات في مستنقع جفت (إلى اليسار) وحفر لاستخراج عينة لبّ (إلى اليمين).

a1-8 التَّنوُّع الحيويّ المتغيّر

هذا مشروع لمجموعة صغيرة.

اختر مع مجموعتك منطقة من العالم تأثّرت بتغيّر المُناخ.

ابحث في المنطقة لتوثيق الطّرائق الّتي تغيّر بها المُناخ، مثل هطول الأمطار، ودرجة الحرارة. قد يكون التَّغيُّر عبر الزّمن الجيولوجيّ (10 ملايين سنة) أو من وقت قريب.

صمّم مُلصقًا يبيّن أدلّة على تغيُّرات في التَّنوُّع الحيويّ مرتبطة بالمُناخ، بما في ذلك:

a. أدلّة جوهريّة، مثل الجفت، أوالجليد، أو جوف الأراضي الخُثّيَّة الّذي يحتوي على حبوب لقاح من النَّباتات التي تعيش فقط في أنواع مختلفة من المُناخ.

b. السّجلّات الأحفوريّة التي تظهر بقايا كائنات حيّة عاشت في بيئات شديدة البرودة، وشديدة الحرارة في الجزء نفسه من العالم، ولكن في أزمان مختلفة.

c. بيانات عن حلقات الأشجار، أو أي مصدر موثوق لبيانات المُناخ عبر مرور الوقت.

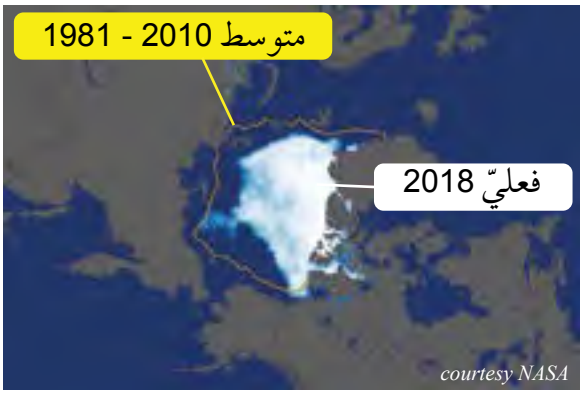
d. اعرض على الملصق مصادر معلوماتك ونتائج التَّنوُّع الحيويّ.

أدلّة على تغيُّرات التَّنوُّع الحيويّ المرتبطة بالمُناخ		
المصدر	نتائج المُناخ	نتائج التَّنوُّع الحيويّ
المصادر	المصادر	المصادر

جليد البحر

تتأثّر المناطق القطبية الشّماليّة بشكل كبير بالمُناخ الحارّ،ويتأثر به كلٌّ من جليد اليابسة وجليد البحر. وقد يصل عمق **جليد اليابسة Land ice**، إلى عدة كيلومترات، وهو يوجد في القارّة القطبية الجنوبيّة، وغرينلاند، وأيسلندا، وبعض الجبال. إلّا أن جليد اليابسة لا يطفو على سطح المحيط، لذا، فإنّ ذوبانه يرفع من مستوى سطح البحر في العالم.

ويشمل **جليد البحر Sea ice** الماء الّذي يتجمّد فوق البحار المفتوحة في مناطق القطب الشّماليّ، وفي القارة القطبية الجنوبيّة، وهو يذوب بمعدّلات متزايدة بسبب ارتفاع درجات الحرارة، والتغيرات المناخية **(الشكل 8-8)**. إلّا أن جليد البحر يطفو فعلًا، لذا فإنّ ذوبانه لا يسهم مباشرة في ارتفاع مستوى سطح البحر. ومع ذلك، فإن جليد البحر يوفر مواطن بيئيّة للدّببة القطبيّة التي تعتمد على سطح عائم لبقائها، بالإضافة إلى أن الجليد يضمن بقاء كثير من أنواع المحيطات.



الشكل 8-8 مقارنة بين غطاء الجليد البحريّ للقطب الشّماليّ بين 2018 – 1981.

الشكل 9-8 تبحث الدِّبّة القطبيّة عن الفقمة على الجليد البحريّ في القطب الشّماليّ.

تُعتَبر الدِّببةالقطبيّة **(الشكل 8-9)**، من الحيوانات القطبية التى تعيش بالقرب من ثقوب التّنفّس في الجليد البحريّ، بانتظار فُقْمَة القطب الشّماليّ الحلقية، لتفترسها بسهولة عند خروجها للتّنفّس. لذا، فإن فقدان هذا الموطن البيئيّ الحيويّ يقلّل من أعداد مجموعات الدّبّ القطبيّ.

وفي نهاية المطاف، يكون لانقراض الدّببة القطبيّة تأثير متغيّر في التّنوُّع الحيويّ في منطقة القطب الشّماليّ.

ويؤثّر فقدان الجليد القطبيّ في المُناخ العالميّ، عن طريق تغيير محتمل لأنماط الدّوران في المحيطات؛ فالماء البارد الكثيف من القطبين يغوص ويدفع تيارات عملاقة في المحيطات، تؤدّي إلى ارتفاع الماء الدافئ بالقرب من خطّ الاستواء. وتحمل هذه التّيّارات الحرارة من المناطق الاستوائية باتّجاه خطوط العرض الوسطى الشّماليّة والجنوبيّة. وتؤثر هذه الطّاقة الحراريّة في الطقس فوق الكوكب كلّه. وتحمل تيّارات المحيط الموادّ الغذائية الّتي تحافظ على استدامة سلسلة غذاء المحيط.

تأثيرات درجة الحرارة

استدل العلماء من تحليل بيانات لبّ الجليد أنّ السّنوات الخمس الأكثر حرارة، في القرون العشرة الأخيرة على الأقلّ، ومنذ بدء تسجيل درجات الحرارة العالميّة في العام 1880، هي الأعوام: 2014، 2015، 2016، 2017، 2018. ووجدوا أن التغيُّرات كثيرا في درجة الحرارة تؤثر على التَّنوُّع الحيوي:

- تتحرك الانواع المتكيفة مع ارتفاع درجة الحرارة ببطء الى خطوط العرض بعيدا عن خط الإستواء.
- تُعاني الأنواع المُتكيّفة مع درجات الحرارة الأبرد من إجهاد تسبّبه فصول الصّيف الحارّة، ولا تموت الطّفيليّات، مثل الحشرات، بسبب الشّتاء البارد.
- تموت بعض الكائنات الحيّة الّتي لا تستطيع التّنقّل بسبب درجات الحرارة العالية.
- يدفع ارتفاع درجات الحرارة سطح المحيط نحو مزيد من الطّقس القاسي، حيث يصبح الجفاف أسوأ في المُناخات الجافّة، والعواصف أسوأ في المُناخات المعتدلة.

الشكل 8-10 شعاب مرجانية ميتة / الحرباء تصطاد حشرة.

وتستطيع بعض أشكال الحياة التّكيّف، وإيجاد مكان ملائم لها، حتّى في أكثر الظّروف صعوبة؛ وعلى سبيل المثال، فإنَّ الحِرباء تستطيع البقاء في حرارة الصّحراء وفي برودتها على حدّ سواء. لكنّ الشّعاب المَرجانيّة، وكثيرًا من الأنواع الّتي تدعمها هذه الشّعاب، لا تستطيع البقاء حتّى بارتفاع درجة حرارة الماء 2°C (**الشكل 8-10**). وقد ابيضَّ أكثر من 30% من شِعاب العالم المَرجانيّة من الحرارة، مما أدّى إلى القضاء على الكائنات الحيّة المرجانيّة. هناك الآلاف من أنواع الأسماك والكائنات الحية الدقيقة التى تعيش على الشعاب المرجانية، وسوف تكون أكثر عرضة للخطر من ارتفاع درجات الحرارة.

الشكل 8-11
محاصيل متجمّدة.

ويسبّب الاحتباس الحراريّ مزيدًا من التغيرات الشديدة في الطّقس. ويؤدّي الصّقيع غير المتوقّع إلى دمار المحاصيل (**الشكل 8-11**) في المناطق الأبرد. وتسبّب موجات الحرّ القياسية تأثيرات مماثلة مدمّرة للمحاصيل في المناطق الحارّة. وتزيد درجات الحرارة أيضًا من شدّة عواصف المحيطات، وتحدّ من إمكانية التّنبّؤ بها. حتى إنَّ زيادة 1°C في درجة حرارة سطح المحيط تعادل أكثر من ثلاثين مرة ممّا يستخدمه العالم من الطّاقة في سنة واحدة، وهي طاقة تكفي لتكوين مئة إعصار إضافيّ في كلّ سنة.

هطول الأمطار

الشكل 8-12 هطول المطر.

في دورة المياه العامة على الأرض، يتبخّر الماء إلى الهواء، ويتكثّف لتكوين الغيوم، ثمّ يتساقط على شكل أمطار (**الشكل 8-12**). هذه الدّورة تحدث منذ مدّة طويلة جدًّا، وهي تمثّل مفتاح الحياة على الأرض. إلا أن مكان تساقط الأمطار، وزمانها، أمر شديد الأهمّيّة، ويصعب التّنبّؤ به؛ فهطول الأمطار يمكن أن يكون أعلى من متوسّط الثّلاثين عامًا السّابقة، أو أقلّ.

ويُعدُّ هطول الأمطار، جنبًا إلى جنب مع الحرارة، عاملًا مهمًّا آخر في المُناخ. وقد شهدت دولة قطر خلال الفترة من عام 2015 إلى عام 2018 أمطارًا شديدة وفيضانات. فهل كان ذلك نتيجة تغيّر في المُناخ، أم كان مجرد بضع سنوات من الأمطار غير العاديّة؟ وإذا كان المُناخ يُقاس على مدى ثلاثين عامًا، فإنه يتوجب علينا جمع المزيد من البيانات لتحديد نوع التغير الذي حدث.

الشكل 8-13 مشاهد الجفاف والخزانات الفارغة نتيجة عدم هطول الأمطار.

وتعتمد النَّباتات على الأمطار؛فإذا لم تحصل منطقة ما على كمّيّة كافية من الأمطار لبضعة أشهر أو لسنوات، فإنّ ظروف الجفاف (**الشكل 8-13**) ستحدّد النَّباتات التي سوف تبقى. ويعتمد البشر أيضًا على المياه العذبة من الأمطار أو على غيرها من المصادر. ويكون لأيّ عامل يؤثّرعلى معدل هطول الامطار تأثيرات في جوانب الحياة الطّبيعة وفي الحياة البشريّة جميعها. وتشير البيانات إلى أنّ هطول الأمطار السّنويّ قد انخفض بنسبة 3% إلى 5% في بعض أجزاء إفريقيّة، وازداد بمقدار مماثل في أجزاء أخرى.

وفي الوقت الذي تعاني فيه بعض الأماكن جفافًا، فإنّ بعضها الآخر يعاني من الفيضانات (**الشكل 8-14**). بالرغم من عدم ارتباط الحالتين على النحو المباشر ، إلا أن كلتيهما تعتمدان على أنماط الطّقس. وتشير البيانات إلى أنّ ارتفاع درجة حرارة الأرض يترافق مع تزايد حالات الجفاف وارتفاع وتيرة الفيضانات. وتواجه كثير من المناطق اليوم حالة «مئة سنة فيضان»، كلّ خمس سنوات في المتوسّط. ويعني المصطلح «مئة سنة فيضان» أنّ متوسّط حدوثه مرّة واحدة كلّ مئة سنة.

الشكل 8-14 مشاهد للمحاصيل والممتلكات التالفة من الفيضانات.

الهجرة

الهجرة Migration نمط سنويّ مُنتظم من التَّنقُّل من مكان إلى آخر، تقوم به الحيوانات، لتتبع به أنماط الغذاء أو الطّقس. وكثير من الأنواع، بما في ذلك الطّيور، والماشية البرّيّة الإفريقيّة مثل (النّوّ)، وحتّى الفراشات والخفافيش، يهاجر من موطن إلى آخر.

الشكل 8-15 لبؤة تطارد فريسة.

ومن الحقائق الثابتة أن الحياة صعبة على الأسد في نظام سيرينغيتي البيئيّ في تنزانيا، حيث يصارع معظم السّنة في منافسة شرسة للبقاء في المراعي الجافّة، إلى أن تتساقط الأمطار في نوفمبر، وتصل، بعد أسابيع قليلة، قطعان كبيرة من الماشية. وعلى هذا، فإنّ بقاء الأسود مرهون بوصول النّوّ مرة واحدة في السّنة بعد هطول الأمطار (**الشكل 8-15**).

وتشمل هجرة الماشية البرّيّة الإفريقيّة مئات الآلاف من الحيوانات، بما في ذلك الحمار الوحشيّ. ويعتمد التَّنوُّع الحيويّ في سيرينغيتي على التّنقّل المُنتظم لمكوّناته؛ فالفهد وغيره من الحيوانات المفترِسة، والطّيور الرمية، وحتّى الحيوانات الصّغيرة، والحشرات، تعيش على هذه الهجرة الموسميّة. حتّى إنَّ التماسيح نفسها تعتمد في الأنهار على وصول القطعان الكبيرة المهاجِرة (**الشكل 8-16**).

الشكل 8-16 نهر غروميتي (تنزانيا): التّماسيح تنتظر دورها كي تتغذّى.

وتتكيّف دورات كثير من الأنـواع مع هجرة الماشية البرّيّة الإفريقيّة؛ فأشبال الأسود مثلًا، تولّد توقعًا لوقت توافر الغذاء في نوفمبر. ولكن هذا كلّه سوف يتغيّر مع تغيّر المُناخ: عند تأخر هطول الأمطار سوف يتأخر نمو الأعشاب و عندما تصل الماشية قبل نموّ الأعشاب، فإنها ستجوع، ما يؤثّرفي النّظام البيئيّ كلّه في سيرينغيتي.

وتعدّ الماشية البرّيّة الإفريقيّة مثالًا على كثير من الهجرات المثيرة: تهاجر الطيور الخرشنة القطبية من جرينلاند إلى القارّة القطبية الجنوبيّة كلّ سنة. وينتقل الحوت الأحدب 9000 km إلى مناطق التّغذية. ويسبح بِطريق آديلي 17000 km من مناطق التّغذية إلى مناطق التَّكاثُر. وقد تطوّرت هذه التّنقّلات لتناسب التّغيُّرات الموسميّة في المُناخ، وهي تغيُّرات كانت مستقرّة منذ آلاف السّنين. ومع تغيّردورات المُناخ، تأثّرت كائنات حيّة كثيرة نتيجة تغيّر أنماط هجرة أنواع أخرى.

تغير المُناخ يؤثِّر في أنماط التَّكاثُر

يحفّز المُناخ دورات التَّكاثُر في معظم أشكال الحياة على الأرض؛ فالطّعام والموادّ الغذائيّة الّتي تضمن تهيئة فرص أفضل لنموّ الصّغار، ترتبط مباشرة بالفصول. ومن الممكن أن يتعرّض جيل كامل من الكائنات الحيّة للموت، إذا وُجِدَت الصّغار في بيئة جافة، شحيحة الطّعام.

الشكل 8-17 ينتقل سرطان البحر الأحمر في جزيرة كريسماس إلى المحيط ليتكاثر.

إنَّ سّلطعون جزيرة كريسماس الأحمر، وهو من فصيلة السرطانات البرّيّة وموطنه الأصليّ والوحيد في جزيرة كريسماس، ولم يُعْثَرْ عليه في أيّ مكان آخر في العالم. ومع بدء موسم الأمطار، تهاجر السّرطانات من أماكن وجودها في الغابة إلى السّاحل، لتتكاثر في المياه الضّحلة. ويضمن العدد الهائل من الصّغار بقاء بعض السّرطانات على قيد الحياة للعودة إلى الغابة.

البرمائيّات Amphibians هي حيوانات تقضي جزءًا من حياتها في الماء، والجزء الآخر على اليابسة، وتعتمد درجة حرارة جسمها على البيئة. وتستطيع البرمائيّات التَّكاثُر في الأماكن الرّطبة فقط، ما يجعلها حسّاسة جدًّا لتغيُّرات المُناخ، سواء في ذلك درجة الحرارة أو الأمطار. ويلاحظ اليوم أنّ معدّل الانقراض بين البرمائيّات أعلى منه في الطّيور والثّدييّات.

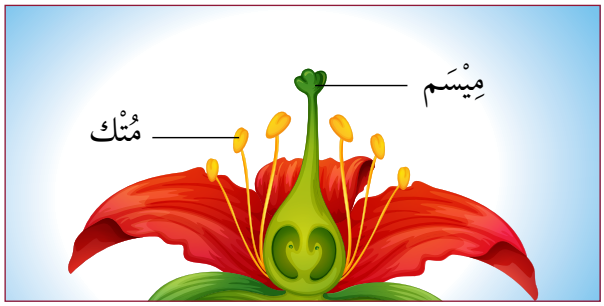
وكمثال، فإنَّ سَمَنْدَل الكهوف الفرنسيّ (**الشكل 8-18**) يحتاج إلى الماء للتَّكاثُر ونجاح فقس البيض. ويشير هطول الأمطار إلى إمكانية وضع البيض. ومع ذلك، فإذا كانت كمّيّة الأمطار غير كافية، فلن يبقى البيض ليفقس. هذه المجموعة من الكائنات الحيّة تكون عرضة على نحو خاصّ لتقلّبات المُناخ.

الشكل 8-18 سَمندل يحتضن البيض.

ومن بين سبعة آلاف نوع معروف من البرمائيّات، يعدّ أكثر من 40% منها في خطر مباشر للانقراض، وهذا يمثّل ما يقرب من نصف الأنواع المعروفة.

الملقِّحات

تسبّب تغيُّرات المُناخ مشكلات لكثير من أنواع الحشرات، والنَّباتات المزهرة الّتي ترتبط بعلاقة تبادل المنفعة، يعتمد فيها كلّ منهما على الآخر للبقاء، ذلك أن انقراض أحدهما يمكن أن يؤدّي إلى انقراض الآخر.



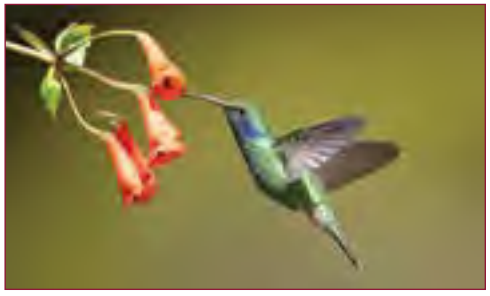
الشكل 8-19 شكل للزّهرة يبيّن المُتْك والمِيْسَم.

وعلى سبيل المثال، فإن الأزهار، وهي جزء التَّكاثُر في كثير من النَّباتات تكوّن الثّمار و/ أو البذور، بشرط وصول حبوب اللّقاح من المُتْك إلى المِيْسَم (**الشكل 8-19**). وفي كثير من الأحيان، تطوّر كائن حيّ آخر، يسمّى **الملقّح Pollinator**، لنقل حبوب اللّقاح إلى المِيْسَم، بالإضافة إلى امتصاص الرّحيق الّذي تكوّنه الزّهرة. وعلى ذلك، فإن الطّيور والحشرات تعتبر ضمن الملقحات الشائعة.

الشكل 8-20 النّحلة الطّنّانة على زهرة.

ويسبّب الرّبيع المبكر إزهـار النَّباتات قبل ظهور الملقّحات الجديدة أو وصولها، فتذبل الأزهار من دون تلقيح، لا تكوّن النَّباتات ثمارًا ولا بذورًا. وعندما تصل الملقّحات، ستجد أزهارًا أقلّ، وبالتّالي رحيقًا وحبوب لقاح أقلّ، فينخفض عدد أفرادها. ولأنّ كثيرًا من النَّباتات تعتمد على الملقّحات، فإنّ النّظام البيئيّ كلّه يصبح عرضة للخطر.

النّحلة الطّنّانة (**الشكل 8-20**)، هي واحدة من أكبر أعضاء عائلة النّحل الّتي تضمّ 5700 نوع مختلف. وتمثّل هذه النّحلة ملقِّحًا مثاليًّا، مع جسم مغطّى بالزّغب لالتقاط حبوب اللّقاح، ورفرفة أجنحة سريعة لنشره حولها. وبعد أن تفقس اليرقات في الرّبيع، فإنّها تقضي مدّة حياتها القصيرة تتغذّى على الرّحيق، معيدة حبوب اللّقاح إلى الخليّة لإطعام صغارها، وتصنع كمّيّة صغيرة من العسل لاستخدامها الخاصّ. وبحلول نهاية أشهر الصّيف، تكون حياتها قد انتهت، وتبقى الملكة فقط لتبدأ الدّورة من جديد.


الشكل 8-21 الطّائر الطّنّان.

وهكذا، فإنَّ العلاقة بين الملقِّح والزّهرة قوية جدًّا؛ ذلك أن بعض أنواع الأزهار تتلقّح فقط من نوع واحد بالغ التّخصّص مثل الطّائر الطّنّان (**الشكل 8-21**)؛ وأيّ إخلال بهذا النّظام يعني انقراض كلا النّوعين.

b1-8 فيلم قصير عن التَّنوُّع الحيويّ

العمل في مجموعات صغيرة.

1. تستقصي كلّ مجموعة أحد الأمثلة الآتية عن كيفيّة تأثير تغير المُناخ في التَّنوُّع الحيويّ.

	اختر أحد الأمثلة الآتية:
	تغيير نطاقات الحيوانات والنَّباتات
	تغيير أنماط الهجرة
	ارتفاع معدّلات الانقراض
	تأثير تغيّر الجماعات الحيوية على علاقات التّغذية
	تأثير غير مدرج

2. تُنجز كلّ مجموعة تقريرًا على شكل فيلم قصير، يحتوي على أكثر ما يمكن من **الأدلّة والأمثلة** الممكنة، من كلّ من دولة قطر والعالم. في ما يأتي عيّنة تقرير مصور.

FILM STORYBOARD 16:9 COMPANY: PRODUCTION: DATE: PAGE:

SCENE ___ SHOT ___ LOC. ___ DUR. ___ | SCENE ___ SHOT ___ LOC. ___ DUR. ___ | SCENE ___ SHOT ___ LOC. ___ DUR. ___

SCENE ___ SHOT ___ LOC. ___ DUR. ___ | SCENE ___ SHOT ___ LOC. ___ DUR. ___ | SCENE ___ SHOT ___ LOC. ___ DUR. ___

3. يتشارك الطلاب في مشاهدة كل الأفلام.

تقويم الدرس 8-1

1. شجرة Acacia tortilis المعروفة محليا باسم «السّمر»، هي واحدة من أكثر النباتات انتشاراً في قطر، وفي غيرها من المناطق الاستوائية. أي العبارات التالية تصف شجرة السمر؟

   a. منقرضة في قطر.
   b. مهدّدة بالانقراض في قطر.
   c. موطنها الأصلي في قطر
   d. تقلل التنوع الحيوي في قطر.

2. ما الّذي أتلف البطاطس في فترة مجاعة البطاطس الإيرلنديّة؟

   a. نوع من الفطريات.
   b. الزّراعة المكثّفة.
   c. نقص الأسمدة.
   d. نوع من خنفساء البطاطس.

3. ما هو المستنقع المالح؟

   a. أرض ناعمة.
   b. منطقة بالقرب من الشّاطئ.
   c. منطقة يمكن العثور فيها على الملح.
   d. منطقة تنمو فيها النَّباتات بالقرب من المياه المالحة.

4. ما العوامل الّتي تحدّد التَّنوُّع البيولوجيّ في منطقة محددة؟

5. كيف ساعد التَّنوُّع البيولوجيّ في أنواع البطاطس لتصبح محصولًا مهمًّا؟

6. ما هو لبّ الجفت؟

7. لماذا لا يعدّ ذوبان جليد البحر ذا أهميّة لارتفاع مستوى سطح البحر؟

8. ما العلاقة بين الجفاف في مكان، والفيضان في مكان آخر؟

9. اشرح العلاقة بين النَّباتات والملقِّحات. وكيف يمكن أن يكون الرّبيع المبكر مدمّرًا لكليهما؟

الدرس 8-2
الاخلال بالتنوّع الحيويّ
Upsetting the Biodiversity

قد تكون هناك أمثلة بسيطة تعكس تأثير البشر في كوكبنا، على نحوٍ أفضل من العثور على زجاجة مياه بلاستيكية، حملتها أمواج المياه إلى جزيرة نائية في وسط المحيط (**الشكل 8-22**). ولسوء حظنا، فإن هذه العلامة المرئية صغيرة، مقارنة بالأضرار التي نلحقها بالبيئة، والتي لا يمكن مشاهدتها بالعين المجردة. وعلى سبيل المثال، فإنَّ إضافة CO_2 والغازات الدفيئة الأخرى إلى الغلاف الجوي قد تغير من أعداد الكائنات الحية التي تعيش بطرق معقدة وغير متوقعة.

الشكل 8-22 زجاجة بلاستكية على شاطئ مهجور.

الاضطراب في الأنظمة البيئية المتوازنة بسبب تغير المناخ، أدّى إلى اختفاء أنواع بأكملها، لأنها أصبحت غير قادرة على التكيّف مع الظروف المتغيرة بسرعة. وتفاقمت ظروف التنوّع الحيويّ هذه عندما حاول البشر تأمين غذائهم، وهذا ما يزيد من الاستنزاف الشديد للمصادر التي تحتاج إليها أنواع الكائنات الحيّة لكي تبقى على قيد الحياة.

مخرجات التّعلُّم

GB1106.3 يناقش تأثير تغير المناخ في علاقات التغذية، ويشرح كيف يمكن أن يؤثر ذلك في التنوّع الحيوي .

GB1106.4 يقترح طرقًا يستطيع الإنسان من خلالها تقليل التغير المناخي والحفاظ على التنوّع الحيوي.

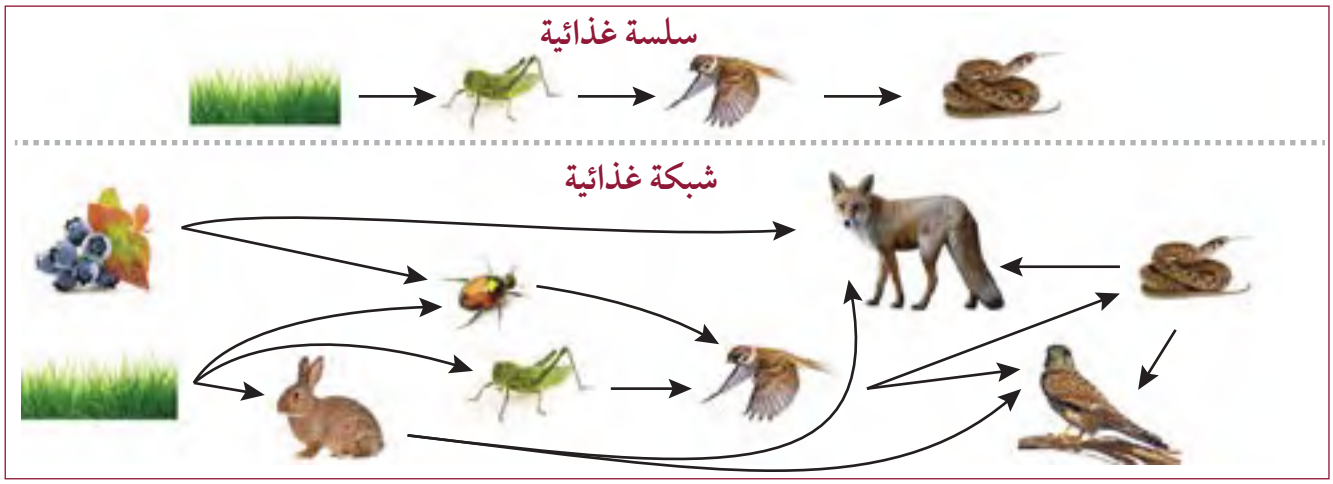
GB1107.1 يشرح المشكلات المتزايدة في إمداد الغذاء العالمي، بما في ذلك تزايد عدد السكان، وإزالة الغابات المطيرة لتربية الماشية، وزراعة نخيل الزيت، وخفض المحصول بسبب تغيّر المناخ، والظواهر المناخية القاسية، وصيد الأسماك الجائر.

المفردات

Food web	شبكة غذائية
Flora	الحياة النباتية
Krill	الكريل (قشريات صغيرة)
Carbon footprint	بصمة الكربون
Carbon offset	استعاضة الكربون
Infiltration	تسرّب
Teleconferencing	عقد مؤتمرات عن بُعد
Rumination	اجترار
Bycatch	الصيد العرضي
Overfishing	صيدالأسماك الجائر

الشبكات الغذائية

إن التغيرات المناخية التي تؤثر في نوع من الكائنات الحية تؤثر في النهاية على كثير من أنواع الكائنات الحية الأخرى، وذلك بسبب الترابط القائم بين النباتات والحيوانات. وتُظهر **السلسلة الغذائية Food chain** البسيطة أدناه كيف أن إزالة الجندب منها قد يؤثر على الطيور والثعابين. وتُظهر **الشبكة الغذائية Food web** العلاقات المتعددة بين المفترس والفريسة. وعليك أن تعلم أنَّ اختفاء الثعلب أو الصقر من الشبكة الغذائية، سوف يؤدّي إلى خروج النظام برمّته عن توازنه.



الشكل 8-23 سلسلة غذائية وشبكة غذائية.

وتتصف الشعاب المرجانية بوجود تنوّع حيويّ أكبر من أيّ نظام بيئي، بما فيه الغابات المطيرة الاستوائية. وعلى الرغم من أنّ الشعاب المرجانية تغطي أقل من واحد في المئة من قاع المحيط، فإنها موطن لخمسة وعشرين في المئة من الأحياء البحرية. والشعاب المرجانية هي الهياكل الخارجية لبوليبات الشعاب المرجانية الصغيرة التي تعيش في علاقة داخلية مع الطحالب. وتوفر الطحالب الخضراء ما يصل إلى 90 في المئة من الطاقة التي يحتاج إليها المرجان، غير أن المرجان يتخلص من الطحالب إذا ارتفعت درجة الحرارة. وعندما يجوع المرجان، فان الشعاب المرجانية تتحول إلى اللون الأبيض، وتُسمّى هذه الحالة بـِ «التبييض».

الشكل 8-24 شعاب مرجانية تم تبييضها، وأخرى لشعاب مرجانية طبيعية.

والسبب الرئيس لتبيض الشعاب المرجانية هو ارتفاع درجة حرارة الماء. ويمكن أن يؤدي ارتفاع متوسط درجة حرارة الماء بمقدار 1°C فوق المعدل الطبيعي إلى التبييض. ووفقًا لبرنامج الأمم المتحدة للبيئة، تبييض الشعاب المرجانية في الحيد المرجاني العظيم في الفترة من 2014 إلى 2016 أدى إلى القضاء على مابين 29 و 50 في المئة من الشعب المرجانية. وكان فقدان التنوّع الحيويّ فيها أمرًا مستغربًا **(الشكل 8-24)**.

اختلال الشبكة الغذائية

تجد الحيوانات حيّزها المناسب في النظام البيئي لمنطقة ما. ومع بدء الاحتباس الحراراي ، تغيّرت الشروط البيئية، فهاجرت الحيوانات في محاولة لإيجاد بيئات أكثر ملاءمة. ويمكن أن تؤدي هذه الهجرة إلى مشكلة لكل من النظام البيئي الأصلي والنظام البيئي الجديد بسبب عدم هجرتها معًا.

الشكل 8-25 الطيور الهازجة الصنوبرية.

وعندما انتقلت بعض أنواع الطيور الهازجة (**الشكل 8-25**) شمالًا إلى المناطق الأكثر برودة، بقيت فريستها، خنفساء الصنوبر الجبلية، ودمّرت أشجار بلسم التنوب، وهو مورد طبيعي ثمين. ومن جهة أخرى، فقد هاجر اليسروع من هولندا إلى الشمال، ودمّر الغابات التي لم تحتوي على طيورها الطبيعية المفترسة لها.

أمّا سمك السلمون فهو من الأسماك التي تعود إلى جداولها المائية الطبيعية، حيث فقست بيوضها لوضع بيض جديد. ويمكن لأسماك السلمون في المحيط الهادئ أن تنتقل إلى مسافة 4000 km بعيدًا عن جداولها بالقرب من اليابان وروسيا الى مناطق التغذية هناك. وعند عودتها إلى جداولها، بعد ما يقارب 7 سنوات، فإنك ستلاحظ أن الجداول لم تعد تتدفق إلى البحر، أو أن البشر بنوا عوائق أو تلوثت الأنهار. والسلمون مصدر غذائي مهم للحيتان وأُسود البحر والدلافين. إلّا أنَّ تغيّر المناخ قلّل من عدد أسماك السلمون في المحيط الهادئ إلى مستويات، تُعدّ الآن فيها أسماك السلمون من الأنواع المهدّدة بالانقراض.

الشكل 8-26 فراخ طائر البطريق الامبراطوري (a) الكريل (b).

وعلى الجوانب القطبية للكوكب، تُعدُّ الدببة في القارة القطبية الشمالية في خطر بسبب ذوبان الجليد البحري. ويعتمد طائر البطريق الأمبراطوري، في القارة القطبية الجنوبية، (**الشكل 8-26 a**) على **الكريل krill**، وهو نوع من القشريات الصغيرة التي تتغذّى على الطحالب التي تنمو على الجانب السفلي من الجليد البحري (**الشكل 8-26 b**). لأنَّ الجليد البحري يوفر مأوى لصغار البطريق، فإن فقدان هذا المأوى يقضي على تعداد البطريق الامبراطوري فيها.

والضفدع الذهبي في كوستاريكا مثال على نوع من الكائنات الحية التي انقرضت خلال ثلاث سنوات فقط. إذا أدّى نظام الطقس المعروف باسم «النينو» إلى ظروف أكثر دفئًا وجفافًا. وكانت هذه الظروف مثالية لانتشار مرض قضى على نحو 50% من أنواع البرمائيات. وتوجد الضفادع والعلاجيم عند قاعدة السلسلة الغذائية، ويعتمد عليها الكثير من حيوانات أخرى، بوصفها مصدراً غذائيًّا رئيسًا لها. ويشكّل فقدان هذا المصدرالغذائي خطرًا على حيوانات أخرى.

المبادرة الشخصية

إن تأثير تغير المناخ في التنوّع الحيويّ، وأهمية هذا التنوّع الحيوي على كوكبنا، ليست مفهومة بصورة واضحة لمعظم الناس. إنَّ العيش في بيئة جافة، مثل دولة قطر، يعني أن الكثيرين ليست لديهم فرصة لمشاهدة الحياة البرية في بيئتها الطبيعية. وإنَّ تشجيع الناس للقيام بمبادرات شخصيةقد يكون أكثر صعوبة عندما تكون الغاية بعيدة عن الوضوح.

ما الذي يمكن أن يفعله شخص واحد للمساعدة على حلّ المشكلة؟ عندما يتم فهم المشكلات، يبقى هناك سؤال يتعلق بما يمكن لجهود فرد واحد أن تساعد على حل هذه المشكلة العالمية. ولقدعلمتنا حضارتنا وتاريخنا أن الفرد المتحمس يمكن أن يكون له تأثير عظيم في العالم من حوله. ويمكنك أن تساعد على تشجيع الآخرين للاهتمام بمثل هذه القضايا، من خلال دفعك لتكون جزءاً من الحلّ، وليس جزءاً من المشكلة.

الشكل 8-27 مرجان قرون الأيائل.

الشكل 8-28 دبّ الباندا المسالم.

وقد اكتشف علم النفس الاجتماعي أنّ 50% من الناس كانوا أكثر ميلًا إلى تغيير أنماط السلوك الشخصي، استجابة لتغيّر المناخ، إذا أعلمهم آخرون بتغيير سلوكهم بفعل مثل هذه الاستجابات. ومن المثير للاهتمام، أنّ هذه مشكلة يمكن حلها باستخدام وسائط التواصل الاجتماعي.

وقد وجدت مجموعات الحفاظ على البيئة، مثل الصندوق العالمي للطبيعة (FWW)، أن الناس كانوا أكثر استعدادًا للتبرع بالمساعدة على حماية الحيوانات المسالمة اللطيفة، مثل دب الباندا (**الشكل 8-27**) مقارنة بشيء أقل جاذبية منه، مثل الشعاب المرجانية (**الشكل 8-28**)، على الرغم من أن تدمير الشعاب المرجانية كان له تأثير أكبر بكثير في التنوّع الحيويّ للنظام البيئي. لذا، فقد جاء شعار الصندوق العالمي للطبيعة على شكل صورة جميلة لدب الباندا، مع العلم أن إسهامات كثيرة تُخصَّص للمساعدة على الحفاظ على أكثر الأنواع المهدّدة بالانقراض، بغض النظر عن جاذبيتها للناس.

ماهي بعض الخطوات العملية التي يمكنك اتخاذها للبدء في حل مشكلة تغيرالمناخ، وبالتالي للمساعدة على الحفاظ على التنوّع الحيويّ؟

a2-8 بصمة الكربون

تُعرف **بصمة الكربون Carbon footprint** الخاصة بك بأنها مجموع انبعاثات ثاني أكسيد الكربون التي تنتجها. ويمكنك استخدام الكربون مباشرة عن طريق قيادة سيارة، أو بشكل غير مباشر، عن طريق تبريد منزلك بالكهرباء التي تنتج ثاني أكسيد الكربون عند توليدها. حتى إنَّ الطعام الذي تتناوله ينتج ثاني أكسيد الكربون في أثناء تصنيعه وشحنه.

1. استخدم إحدى الآلات الحاسبة لبصمة الكربون على الإنترنت لحساب انبعاثات الكربون التي تنفثها في عام واحد.
2. باستخدام آلةِ حاسبةِ بصمة الكربون، أدخل البيانات الخاصة بمنزلك وأسلوب حياتك، وقم بطباعة أو تسجيل بصمة الكربون الخاصة بالتدفئة المنزلية والتبريد والنقل وعوامل ثانوية، مثل الطعام والإلكترونيات والترفيه والنفايات.

	كميّة الكربون المستخدم لغايات:
تدفئة المنزل وتبريده	
التنقّل	
عوامل ثانوية	

3. **إستعاضة الكربون Carbon offset** هي وسيلة للتعويض عن بصمتك الإلكترونية. قد لا تكون في وضع يسمح لك بزراعة 1000 شجرة لتحقيق ذلك، ولكن يمكنك الإسهام مع منظمة ستزرع الأشجار في موقع مناسب لك. ابحث عن المنظمات التي توفر فرص تعويض الكربون وحدّدها.

مقاربة أخرى لتعويض الكربون وهي مواجهة إختيار لا يمكن الاستغناء عنه، مثل الحاجة الى ركوب السيارة لمسافة 18كم ممتنعاً عن عمل ما يعادل بصمة الكربون المكافئ له من الجدول المرافق مثل الامتناع عن تناول وجبة تشيزبرجر.

إنتاج 1 kg CO_2
قيادة سيارة مسافة 6 km
ركوب حافلة نقل مسافة 12 km
ركوب طائرة مسافة 2.2 km
تشغيل الحاسوب مدة 32 ساعة
إنتاج 5 أكياس بلاستيكية
إنتاج 1/3 شطيرة تشيزبرجر

استخدام الطاقة

قطر بلد غنيّ، وهذه نعمة من الله، وهي تصدّر الطاقة إلى بقية أرجاء العالم. ويشكل توافر الطاقة مشكلة فريدة لمواطنيها، فكيف يمكن إقناع الناس باستخدام طاقة أقل، عندما يكون هناك وفر كبير من الطاقة المتاحة للاستخدام؟

الشكل 8-29 عزل النوافذ.

ويساعد السفر، واستمرار الاتصال بالمؤهلين من المناطق المختلفة وزيادته، على وضع الموقف العالمي في منظوره الصحيح. وقد ساعد التأثير في التنوّع الحيويّ في كوكبنا، وكذلك في إنتاج الغذاء، الناس على معرفة الدور الذي يمكن أن يؤدّوه على مستوى العالم ككل.

واحدة من أكثر استخدامات الطاقة في المنزل هي لأغراض التدفئة وتكييف الهواء.

والتسرّب Infiltration هو نفاذ الهواء إلى منزلك. ويمكن تقليل حدوثه عن طريق التأكد من أن النوافذ والأبواب محكمة الغلق، ومعُزولة عزلاً صحيحًا (**الشكل 8-29**). ويمكن أن يوفر هذا العزل نحو 25 % من الطاقة المستخدمة في المنزل.

ثم إنّ إضافة منظّم حرارة قابل للبرمجة إلى نظام تكييف الهواء في المنزل، يمكن أن يساعد أيضًا على تقليل استخدام الطاقة. يظنُّ كثير من الناس أن الحفاظ على برودة المنزل في أثناء النهار، وعندما لا يوجد فيه أي شخص،يستخدم طاقة أقل، مقارنة بمحاولة تبريده مرة أخرى عند الرجوع إليه. إن هذا الظنّ ليس صحيحاً. فقد أصبح ممكنًا ضبط ثيرموستات قابلة للبرمجة لتعمل على تشغيل أجهزة التكييف قبل ساعة من وصولك إلى المنزل، وقد يكون هذا التوفير في النهار كبيرًا من دون تأثير يُذكر في راحة الناس.

وثاني أكبر استخدام للطاقة في المنزل هي أجهزة التدفئة. على أنّ تجفيف الملابس، بتعليقها على أسلاك منشر التجفيف، قد يساعد على توفير الطاقة. وغالبًا ما تكون المساحة عاملًا محددًا لاستخدام هذا الخيار. ثمَّ إنَّ تسخين المياه للاستحمام وتنظيف الأطباق هو المجال الذي يمكن أن توفّر الطاقة فيه. وأضف إلى ذلك أنَّ ضبط درجة حرارةعلى مقياس حرارة سخان المياه بخفضها قليلاً (**الشكل 8-30**) يمكن أن يوفر أيضًا من هذا الاستخدام للطاقة.

الشكل 8-30 سخّان ماء.

والفكرة ليست محاولة حلّ ظاهرة الإحتباس الحراري في وقت واحد، بل هي تبني فكرة توفيرالقليل من الطاقة عند توافر الفرص التي تُتاح لك. والمطلوب منك أن تقلّل من بصمة الكربون الخاصة بك، بغض النظرعمّا يفعله أيّ شخص آخر.

وسائط النقل العامة

أُجريت دراسة في العام 2017، شارك في تأليفها ك. نيكولاس من جامعة لوند، السويد، وحدّدت أكثر من 100 إجراء يمكن للأفراد القيام بها للحدّ من تغير المناخ. وفي مقدمة قائمة الإجراءات كان عدم امتلاك سيارة. وعند مقارنة ذلك بوسائط النقل الشخصية الأخرى، كانت السيارات هي الأكثر تلويثًا على الإطلاق. وإذا رغبت في إجراء خفض كبير في بصمة الكربون الخاصة بك، فابدأ باستخدام الحافلات أو القطارات في تنقّلك؛ وستفتتح قطر في العام 2020 مترو الدوحة الجديد الذي سيبلغ طول مساره نحو 76 km ، وعدد محطاته 37 محطة. وعند الانتهاء من تنفيذه، ستكون هناك 100 محطة. وسيكون ذلك أفضل نظام نقل عام في منطقة الخليج.

أمّا الطلب العالمي على السيارات فله تأثير مدمّر في التنوّع الحيوي على كوكبنا. وعندما تجبر الحيوانات على الهجرة من موطنها الطبيعي، فإنها تواجه عقبات من صنع الإنسان، ما يفرض عليها أن تسترشد بممرات غير طبيعية، وهذا له تأثير مزدوج في كلٍّ من الحيوانات والبشر.

وتشير دراسة أُجريت في البرازيل إلى أنّ نحو 1.3 مليون حيوان يُقتل يوميًّا بسبب صدمها بالسيارات والشاحنات. قد يتضاعف هذا الرقم ثلاث مرات في الولايات المتحدة. وفي فنلندا، ترش مجموعات الحفاظ على الحياة البرية طلاءً عاكسًا على الرنة لمحاولة الحدّ من وفيات الطرق التي تصل إلى 4000 حالة سنويًّا. ولا يُبلَّغ عن عدد وفيات الحيوانات الصغيرة، ذلك أن آكلات الجيف من الحيوانات تلتهم بسرعة بقاياها.

الشكل 8-31 جسر مخصص لعبور الحيوانات البرية.

وفي البلدان التي تشكل فيها الحيوانات البرية مشكلة خطيرة على الطرقات، تم بناء جسور الحياة البرية **(الشكل 8-31)** لتوفير مسالك آمنة عبر الطرق السريعة أو تحتها.

وعلى الرغم من أن الطائرات التجريبية التي تعمل بالطاقة الشمسية **(الشكل 8-32)** قد طارت في جميع أنحاء العالم، فلا يبدو أنّ هناك الآن وسيلة لتوفير الكربون للسفرالجوي. ثم إنَّ تأثير رحلة واحدة عبر المحيط الأطلسي على متن طائرة هو نفسه تأثير بصمة الكربون لمواطن على مدارعام. وتساعد التكنولوجيا على تقليل مصدر الكربون، عن طريق السماح للناس بممارسة الأعمال التجارية وذلك بعقد **المؤتمرات عن بُعد Teleconferencing**، واستخدام أجهزة الحواسيب وآلات التصوير للاجتماع وجهًا لوجه من دون الحاجة إلى سفر.

الشكل 8-32 طائرة تجريبية تستخدم الطاقة الشمسية.

b2-8 إجراءات الحكومة

1. يستقصي الطلاب ويقيّمون الإجراءات التي اتخذتها صناعات الغاز والنفط في قطر لتقليل تلوّث الهواء والماء واليابسة.

الجهود المبذولة لتقليل التلوّث:	
الهواء	
الماء	
اليابسة	

2. ينظّم المعلم نقاشًا في الصف حول مدى أهمية التنوّع الحيوي، وكيف يعمل الناس للحدّ من تغير المناخ، وصون التنوّع الحيوي.

لماذا يُعدّ التنوّع الحيوي مهمًّا	جهود للحدّ من تغيّر المناخ

3. يعمل الطلاب بعد ذلك في أزواج لإعداد منشورات، تشرح لأفراد الجمهور أهمية اتخاذ إجراءات للحدّ من تغير المناخ، والحفاظ على التنوّع الحيوي، بالإضافة إلى ما يُتخذ من إجراءات عملية في قطر.

زيادة استهلاك المنتجات يستنزف التنوّع البيولوجي

انخفض تعداد قاطني الكوكب من الحيوانات البرية، من ثدييات وطيور وزواحف وبرمائيات وأسماك – بنسبة 60 في المئة للفترة من العام 1970 إلى 2014. والسبب الرئيس في هذا الانخفاض هو فقدان المَواطن البيئية التي تدعم الاستهلاك البشري. وعلى سبيل المثال، فقد أصبح الكثير من الغابات المطيرة عرضة للخطر بسبب نجاح زراعة شجر زيت النخيل. يدخل زيت النخيل في تصنيع نصف المنتجات المعروضةعلى رفوف متجرالبقالة في منطقتك، بدءًا من الشامبو ومستحضرات التجميل والشوكولاتة والخبز والمعجنات والحلويات. ويُستخرج زيت النخيل من ثمرة شجرة نخيل الزيت التي تنمو في الغابات الاستوائية المطيرة. ويجري إزالة الغابات المطيرة في جنوب شرق آسيا وإفريقيا وأمريكا اللاتينية (وفي كثير من الحالات يتم حرقها ببساطة)، لزراعة شجر زيت النخيل ونموّه وحصاده ومعالجته(**الشكل 8-33**).

الشكل 8-33 أُزيلت غابات مطيرة لزراعة شجر زيت النخيل لغرض الاستهلاك البشري.

وأدّى تدميرهذه المَواطن البيئية، وإلى حدّ ما إلى انقراض بعض الحيوانات المعروفة جيدًا، مثل قرود الاورنجوتان Orangutans (**الشكل 8-34**) ،ونمر سومطرة (**الشكل 8-35**). ما جعل المستهلكين يتجنّبون شراء سلع تحتوي على زيت النخيل.

الشكل 8-34 قرد الاورنجوتان Orangutans

الشكل 8-35 نمر سومطرة.

وتشعر الكثير من الشركات بالقلق من هذه الظاهرة. لذا، فقد يضع أصحابها المكوّنات، مثل أوكتيل بالميتات، أو كحول النخيل، أو إستيرين النخيل، أو كحول الإسيتيل، أوالمستحلبات، أو إستيرات الجليسيريل، أو كيرنيلات الصوديوم، أو حمض الستيريك، ضمن منتجات أخرى كثيرة ليتماشى العرض مع الطلب. فإذا انخفض الطلب على زيت النخيل،فسوف ينخفض العرض، والأرباح أيضًا.

مشكلات المحاصيل النباتية

الشكل 8-36 ثمار التفاح.

يُعدُّ التفاح أحد أكثر الفواكه شيوعًا في العالم (**الشكل 8-36**)، ويواجه التفاح خطر الاختفاء من على طاولات عرض الفاكهة في المحالّ التجارية نتيجة للاحتباس الحراري. ويحتاج الكثير من أشجار الفاكهة وأشجار المكسرات، بما في ذلك الكرز والمشمش والجوز واللوز، إلى موسم بارد لبدءالإزهار. وقد قلّلت المواسم الأكثر دفئًا من قدرة وحيوية كل من مقاطعة يونان الصينية وجنوب أستراليا والمغرب ورأس الرجاء الصالح في جنوب إفريقيا على الزراعة. ويمكن نقل موسم الزراعة قليلاً لبعض المحاصيل. لكنَّ ذلك غير ممكن في ما يتعلق بالأشجار. ثم إنَّ ارتفاع درجات الحرارة قد يعيق عملية النضج التي تقلّل من كمية النشا والسكريات الذائبة والبروتينات الموجودة عادةً في الفاكهة.

الشكل 8-37 القهوة

قد ينخفض إنتاج البنّ (**الشكل 8-37**) إلى أكثر من 50% بحلول العام 2050 نتيجة الإحتباس الحراري. ففي العام 2015، أدّت ظروف الطقس القاسية إلى مضاعفة سعر حبوب القهوة العربيةّ التي تُعدّ الأكثر رواجًا في العالم. ويقتصر إنتاج البنّ في المناطق شبه الاستوائية على البرازيل وأمريكا الوسطى وشرق إفريقيا.وتتأثر القهوة بارتفاع درجات الحرارة، وفقدان الحشرات الملقّحة، وانتشارمجموعة أكبر من الأمراض، مثل فطرصدأ أوراق النباتات. ويعتمد منتجو البن على التنوّع الحيوي للبنّ العربي البري لتطوير سلالات جديدة من البنّ، ويمكن لفقدان البنّ العربي أن يؤثر تأثيراً دائماً في إنتاجه.

الشكل 8-38 ثمار الزيتون.

كانت درجة حرارة صيف العام 2017 أعلى بمقدار 2.5 درجة مئوية. وفي ذلك العام، انخفض إنتاج زيت الزيتون في العالم بنسبة % 20. والزيتون (**الشكل 8-38**) عبارة عن شجرة مفضلة ومرغوب فيها بوجه خاص. ولكن تغير المناخ قد تسبّب في حدوث صقيع وأمطار غزيرة غير معقولة، أدّت إلى انخفاض الإنتاج، وهدّدت بجعل المناطق غير مناسبة لمزيد من نموأشجار الزيتون. ويتوقع الباحثون أنه، بحلول العام 2040، قد تصبح منطقة كاتالونيا غير قابلة للحياة، وأن حوض البحرالأبيض المتوسط برمّته، والذي يصدّر 90% من زيت الزيتون في العالم، سيعاني المزيد من انخفاض الإنتاج، نتيجة لارتفاع درجات الحرارة.

الصيد الجائر للأسماك

منذ بداية التاريخ المسجل للبشر، كان صيد الأسماك مصدر رزق ثابت للأشخاص الذين يعيشون بالقرب من المياه. وقد كانت الشبكة التقليدية للصيد أو أسطول من القوارب الصغيرة (**الشكل 8-39**) مشهدًا شائعًا. وبعد كل مغامرة صيد في البحر، يجلب الصيادون ما يصطادونه إلى السوق لبيعه.

الشكل 8-39 رمي شباك الصيد التقليدية،وأسطول القوارب الصغيرة وعرض صيد اليوم للبيع.

غالبًا ما تجرّ أساطيل الصيد الحديثة شباك صيد بطول عدة كيلومترات عدة (**الشكل 8-40**) حيث تصطاد شباك الصيد بشكل عشوائي أيّ شيء في طريقها، ويُحتفظ بالأسماك التي تدرّ ربحًا وفيرًا، ويتم التخلص من الأسماك غير المرغوب فيها، والمعروفة باسم أسماك **الصيد العرضي Bycatch**. وفي بعض المناطق، يُحتفظ بأقل من 10% من الأسماك التي اصطيدت، ويتم التخلص من 90% الباقية منها ميتة. وتُجمَّد الأسماك في مصانع على متن السفن،ثم تُنقل إلى الشاطئ، حيث تتم معالجتها لحفظها، ويتم تعليب معظم الأسماك لتُشحن إلى جميع أنحاء العالم.

الشكل 8-40 شباك مفقودة، سفن تصنيع ومعلبات دون علامات مثبتة عليها.

الصيد الجائر Overfishing هو صيد أسماك أكثر مما يمكن استبداله عن طريق التكاثر. ويؤدي الصيد الجائر إلى انقراض بعض أكثرأنواع الأسماك المطلوبة. وقد بيعت سمكة واحدة من بعض أنواع الأسماك النادرة، مثل سمك التونة أزرق الزعانف، في مزاد العام 2019 بما يساوي 10.9 مليون ريال قطري.

الشكل 8-41 سمكة قرش غرينلاند ،أقدم الفقاريات الحيةعلى الأرض.

والصيد بشباك الجرّ وسحبها عبر قاع البحر مدمّر للمحيط. بالإضافة إلى أن نحو 90 % من الأسماك تُصطاد عرضيًّا (**الشكل 8-41**)، وتدمّر الشبكات النظم البيئية للشعاب المرجانية وغيرها من النظم البيئية في المحيطات. وهذا يؤدي إلى اختلال في المَواطن البيئية، ومناطق تكاثر أنواع كائنات حيّة لاحصر لها. وقد تم توقع بأن الضرر الذي يحدث للمحيط سيكون له تأثير أكبرمن ذلك التأثير الذي يحدث في الغابات المطيرة.

c2-8 الأمن الغذائي العالميّ

1. العمل في مجموعات. تستقصي كل مجموعة أحد الأسباب الآتية لمشكلات إمداد الغذاء العالمي:

اختر واحدًا من أسباب مشكلات الأمن الغذائي العالمي:	
زيادة تعداد السكان	
فقدان الغابات المطيرة لتربية أبقارااللحوم، وتأثير ذلك في مناخ العالم	
فقدان الغابات المطيرة لزراعة شجر زيت النخيل، وتأثيرذلك في مناخ العالم	
انخفاض إنتاج المحاصيل بسبب تغيرالمناخ وأحداث المناخ القاسية	
الصيد الجائر للأسماك	

2. تعرض كل مجموعة على طلاب الصف ما اكتشفوه، مشيرين إلى مصدر معلوماتهم، وينظمون نقاشًا صفيًّا لتحديد مشكلات أخرى في توفيرإمدادات غذائية مستدامة، ويشرحون أهمية البيانات الموثوقة في اتخاذ القرارات.

مصادر المواد
مشكلات أخرى في توفير إمداد مستدام للغذاء العالمي
أهمية البيانات الموثوقة في اتخاذ القرارات

تقويم الدرس 8-2

1. مصطلحا الحياة الحيوانية والحياة النباتية يصفان التنوّع الحيويّ جميعه في منطقة ما. فماذا يعني مصطلح الحياة الحيوانية؟
   a. كل النباتات في المنطقة
   b. كل الحيوانات في المنطقة
   c. أنواع الأزهار.
   d. الحيوانات المفترسة الأولى.

2. ما هي بصمة الكربون الخاصة بك؟
   a. الآثار التي تتركها في الفحم.
   b. كمية CO_2 المسؤول عن إطلاقها في البيئة.
   c. كمية CO_2 التي يطلقها مجتمعك في البيئة.
   d. كمية CO_2 التي تستعيضها مجموعات الضغط من مجتمعك.

3. ما مقدار الطاقة التي يمكن حفظها عند تقليل تسرّب الهواء إلى المنزل؟
   a. 10% كحد أقصى
   b. 25% كحد أقصى
   c. 75% كحد أقصى
   d. 100% كحد أقصى

4. ما تأثير التخلص من الذئاب جميعها في منطقة ما في التنوّع الحيويّ؟

5. صف المشكلات التي تواجهها أفواج الأسماك عندما تهاجر.

6. ما أهمية تقليل تسرّب الهواء إلى المنزل؟

7. ما الميزة المترتبة على عدم تناول لحوم الابقار بالنسبة للبيئة؟

8. ستنظم حملة لتقليل استخدام زيت النخيل. فسر أهمية هذه الحملة.

9. لماذا تُعدّ أشجار الفاكهة حسّاسة لتغيّر المناخ؟

الدرس 8-3
الأمن الغذائي العالمي
Feeding the World

عندما تزرع حديقتك الصغيرة (**الشكل 8-42**)، فإنَّ بإمكانك، وبقليل من البحث، معرفة نوع التربة التي تحتاج إليها. فتزرع فيها بعض النباتات وترويها يوميًّا، وقد تقدّم لها كلامًا طيّبًا وأنت وحيد معها، لا يراقبك أحد. وإذا لاحظت بعض الحشرات، فقد يخطر لك أن تلتقطها قبل أن تُحدث للنباتات أذًى، فتصبح هذه النباتات صديقة لك؛ وعندما يحين الوقت فإنها تردّ لك الجميل، فتقدِّم ثمارها لتأكلها. وقد يجد الناس الذين يعيشون في المدن الكبيرة طرائق لإنشاء حدائق على سطوح الأبنية للحصول على الخضراوات الطازجة.

الشكل 8-42 حديقة صغيرة.

ووفقًا لبيانات حديثة، فإنّ عدد سكان العالم بلغ في العام 2019 ما يقارب 7.7 مليارات نسمة، ما يعني حاجة كلٍّ منهم إلى أن يأكل. ولكنَّ عدد سطوح المباني غير كافٍ لتزويدنا بهذه الكميات من الغذاء، ما يفرض استخدام طرائق أخرى. وفي هذا الدرس سنختبر بعضها.

مخرجات التّعلُّم

GB1108.1 يصف الفوائد والمشكلات الناجمة عن استخدام الأسمدة الصناعية والمبيدات الحشرية لزيادة غلة المحاصيل، والحد من الخسائر التي تسبّبها الآفات.

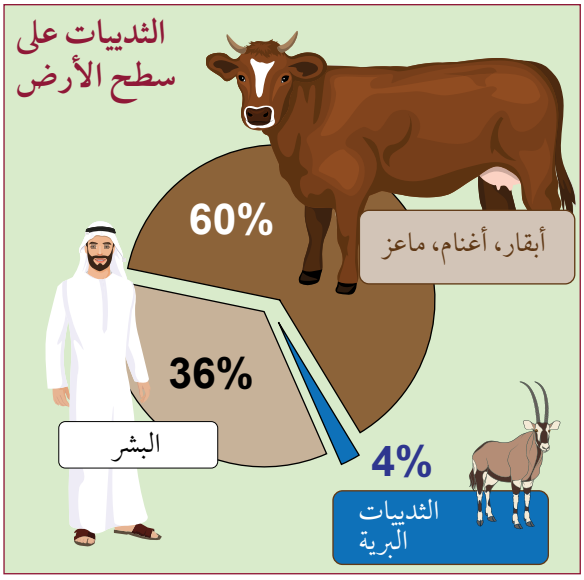
GB1108.2 يشرح الفوائد الممكنة لاستخدام المكافحة الحيوية للآفات في إنتاج الغذاء العالمي.

GB1108.3 يعرّف التعديل الجيني، ويناقش إمكانات هذه التقنية في توفير الإمدادات الغذائية المستدامة للمستقبل.

المفردات

Cellulose	سليلوز
Chlorophyll	كلوروفيل
Fertilizer	سماد
Pesticides	مبيدات الآفات
Nocturnal	ليليّ
Mutagenesis	تطفير (إحداث الطفرة)
Hydroponics	الزراعة المائية
Aquaponics	الزراعة المائية المركّبة

إنتاج الغذاء وفقدان التنوّع الحيويّ



أصبح الإنسان والحيوانات الأليفة أكثر أنواع الثدييات وفرة على سطح الأرض.

- 60% من الثدييات على سطح الأرض هي: أبقار، وأغنام ، وماعز.
- 36% بشر.
- تشكّل الثدييات البريّة 4% فقط.

إنّ تعداد البشر كبير؛ وتُعدّ خسارة الكثير من المَواطن لإنتاج الغذاء والانتاج البشري السبب الرئيس لانقراض الأنواع اليوم. فقد دُمّرت الغابة المطيرة لإفساح المجال للماشية، ولتحقيق غايات أخرى. والغابات المطيرة تحتلّ حاليًّا 6% فقط من سطح الأرض، مع أنها تمثّل 50% من التنوّع الحيويّ؛ وإذا استمرَّ المعدّل الحالي لتدمير المَواطن والبيئات المختلفة، فإن الغابات المطيرة ستختفي في نهاية القرن.

ويُعدّ غاز الميثان الذي تنتجه الأبقار أحد غازات الدفيئة الرئيسة. فلو افترضنا أن للأبقار دولة، فإنها ستحتل المرتبة الثالثة في إنتاج غازات الدفيئة، بعد كلٍّ من الصين والولايات المتحدة الأمريكية. إضافة إلى ذلك، فإن الكثير من الأبقار تُغذّى بالحبوب لتسريع نموّها؛ وبذلك، فإن هذه الحبوب لن يتغذّى بها الإنسان؛ ولإنتاج (1) كغ من لحوم الأبقار، يفقد الإنسان (6) كغ من الحبوب التي كان يمكن أن يتغذى هو نفسه بها.

المزيد من الناس يختارون عدم تناول اللحوم، لأن عملية إنتاجها غير مستدامة. وهناك الكثير من الناس يختارون يومًا واحدًا في الأسبوع، يمتنعون فيه عن تناول اللحوم؛ وقد نظّمت عدّة مدن حملات إعلانية لهذا الخيار، بخاصة وصفات الوجبات الخالية من اللحوم (**الشكل 8-43**). وفي حال انخفض الطلب على اللحوم، فإنّ إنتاجها سيقلّ أيضًا ، وسيقل معه الضغط على الغابات المطيرة المتبقية.

الشكل 8-43 وجبة تتكوَّن من الفاكهة والخضراوات والحبوب والمكسرات واللبن ولا تحتوي على اللحوم.

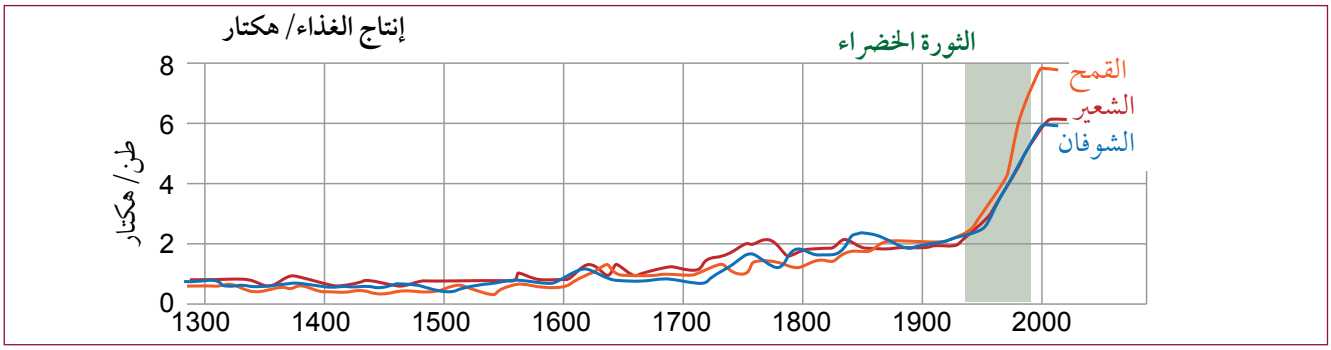
الزراعة والسكان

لا يستطيع الإنسان اليوم أن يستغني عن الغذاء الناتج من الزراعة. لكنَّ النباتات لا تنمو في الرمال الجافة، بل هي تحتاج إلى الماء والموادّ الغذائية الأساسية، ومنها: النترات، والبوتاسيوم، والفسفور. وكلّما استُنفدت العناصر الغذائية من التربة، وجب علينا أن نترك التربة من دون زراعة لتعمل البكتيريا التي تعيش في التربة، إضافة إلى عمليات أخرى، على تعويض هذا النقص. وقد أدّى استنزاف العناصر الغذائية، وتقلّب الطقس، إلى محدودية إنتاج الغذاء لأربعة آلاف من السنين القادمة.

الشكل 8-44 عقد البكتيريا المثبّتة للنيتروجين.

تُعاد النترات إلى التربة عن طريق البكتيريا المثبّتة للنيتروجين التي تعيش على جذور البقوليات، ومنها: البرسيم، والفاصولياء، والبازيلاء وفول الصويا، الشكل **8-44**. وقد عرف المزارعون أهمية زراعة البقوليات في الحقول التي تحتاج إلى النيتروجين، فلجؤوا إلى عملية تناوب المحاصيل. وعلى الرغم من ذلك، فإن الحقول لا يمكن أن تنتج سوى كمية محدودة من المحاصيل.

وقد كتب الاقتصادي الإنجليزي توماس مالتوس في عام 1798، أن الزيادة في إنتاج الغذاء حسّن مقدار رفاهية البشر، غير أنّ هذا التحسّن كان مؤقتًا؛ إذ إنّه أدّى إلى زيادة عدد السكان، وهو الأمر الذي يتطلب المزيد من الغذاء. وقد تنبّأ توماس باستمرار النمو السكاني إلى حدّ لن يعود فيه الغذاء المُنتَج كافيًا، وستحصل مجاعة كبيرة كارثية. ومع أنَّ تعداد سكان العالم كان في العام 1798 نحو 1.6 مليار نسمة؛ ويبلغ حاليًّا 7.7 مليارات نسمة، إلّا أن المجاعة الكبيرة لم تحدث، لماذا؟



الشكل 8-45 الإنتاج الزراعي على مدى 700 سنة مضت.

لقد زادت التكنولوجيا الحديثة من الإنتاجية الزراعية في جميع أنحاء العالم نحو 800 % بين العامين 1940 و 1990. وأسهمت «الثورة الخضراء» في زيادة إنتاج المحاصيل المهجّنة، والأسمدة الصناعية، والزراعة الآلية، ومبيدات الآفات؛ يضاف إلى ذلك أنها قدّمت فهمًا علميًّا لتحسين إنتاج الحبوب الأساسية، مثل إنتاج الشعير والقمح من 1 طن/ هكتار في العام 1700 إلى (6-8) أطنان/ هكتار في العام 2000 (**الشكل 8-45**). ما ساعد غالبية سكان العالم على تجنب مجاعة كانت مرتقبة. ويُطلق على الموادّ التي تُضاف إلى التربة، ومنها الفوسفات والنترات والبوتاسيوم، «أسمدة صناعية».

الأسمدة الصناعية

عُرفت عملية تسميد المحاصيل منذ أنْ أصبحت الزراعة جزءاً من الثقافة. وقد استُخدمت عدة طرائق للتسميد، غيرأن هذه الطرائق جميعها كان لها الغاية نفسها، وهي إعادة الأملاح المعدنية إلى التربة.

الشكل 8-46 الكمبوست

ويمكن تحويل الموادّ العضوية إلى سماد (الكمبوست) في المزارع الصغيرة (**الشكل 8-46**).حيث تتحوّل فضلات الحديقة والمائدة بفعل البكتيريا إلى أملاح معدنية. وتحتاج عملية تحضير«الكمبوست» إلى الأكسجين والماء، ما يوجب أن يكون للهواء مجال للدوران في منطقة إعداد الكمبوست.إلّا أن طرائق إعداد الكمبوست تتنوّع في المنازل والحدائق حول العالم.

وقد صُمّمت المزارع الكبيرة لإنتاج غذاء لعشرات الآلاف من الناس، هي مزارع لا يمكنها الاعتماد على بقايا فضلات المائدة لتسميد محاصيلها؛ لذا، فهي تعتمد على إضافة العناصر الغذائية اللازمة. وقد تحتاج التربة إلى الكالسيوم، والمغنيسيوم والكبريت، فضلًا عن النيتروجين والفسفور والبوتاسيوم. وتُضاف أيضًا كميات ضئيلة من البورون، والنحاس، والحديد، والمنغنيز، والزنك. ولايميز النبات بين العناصر الطبيعيَّة والصناعية. وعلى ذلك، فإن المزارعين يعملون على فحص كيميائية التربة بدقة، وشراء ما يتمم عناصرها الغذائية لضمان إنتاج محصول صحّي (**الشكل 8-47**)، بالإضافة إلى دراسة أوقات التسميد وشروطه بهدف جني المحاصيل الأكثر وفرًا (**الشكل 8-48**).

الشكل 8-47 أكياس السماد.

الشكل 8-48 نشر السماد.

لا تميِّز النباتات بين الأسمدة الطبيعيّة والصناعيّة.

يكتشف العلماء الجوانب السلبية للثورة الخضراء: فالأسمدة الصناعية لا تضيف البكتيريا المفيدة إلى التربة، بل قد تكون ضارة بالكائنات الحية التي تعيش فيها، ومبيدات الآفات تضرّالكائنات الحيّة المفيدة مثلما هي ضارة بالآفات؛ وتتدفق الأسمدة الزائدة إلى المجاري المائية فتقتل الأسماك. أمّا حراثة التربة ميكانيكيًّا، فتقلّل من البكتيريا التي تعيش فيها.

مبيدات الآفات

الشكل 8-49 جراد يتغذّى على ورقة نبات.

«طاعون الجراد» عبارة تبعث الخوف في قلوب المزارعين. ومبعَث الخوف ما ورد في القرآن الكريم عن هذه الحشرات، وما نقله التاريخ عنها، فقد كانت تُحفر أشكالها على قبور المصريين القدماء. وقد يدخل الجراد طور الهجرة، فتنتقل جماعات كبيرة منه في أسراب ضخمة آكلة النباتات التي تصادفها.

وبدراسة عادات هجرة هذه المخلوقات وتكاثرها، تمكّن العلماء من تقديم النصائح للقضاء على هذه الآفات قبل أن تصل إلى طور الهجرة. ويُطلق على المبيدات المستخدمة للقضاء على الآفات، وعلى أيّ كائنات حيّة مؤذية اسم «مبيدات الآفات pesticides».

تنقسم المبيدات إلى عدة مجموعات، بحسب هدفها المحدّد:

- مبيدات الحشرات، وهي تُستخدم لقتل أو تثبيط الحشرات التي تتغذّى على النباتات والمحاصيل الزراعية.
- مبيدات الأعشاب، وهي تضبط نموّ الأعشاب، أو أيّة نباتات أخرى قد تستنفد الموادّ الغذائية من التربة.
- مبيدات الفطريات، وهي تمنع نموّ العفن أو العفن الفطري.

الشكل 8-50 تنتج مبيدات الآفات في المختبرات لاستخدامها في المنازل والحقول.

تُستخدم مبيدات كيميائية معقدة في حدائق المنازل والمزارع الصناعية. (**الشكل 8-50**). وقد قُدّر أن 50 % من المحاصيل تقريبًا تتلف بسبب الآفات سنويًّا، وأن تطوير إنتاج مبيدات الآفات لا يزال يمثّل استراتيجية رئيسة في إطعام سكان العالم.

وقد ظهرت آثار جانبية لاستخدام مبيدات الآفات، إذ أثرت على كلّ من المُلقّحات والبشر الذين يتناولون الثمار، من دون غسلها... ولايزال البحث مستمرًا.

a3-8 الأسمدة ومبيدات الآفات الصناعية

1. استخدم، أنت و/ أو زميلك، مصادر ثانوية كالإنترنت على سبيل المثال، للمساعدة على البحث والاستكشاف.
2. يبحث أحدكم (طالب واحد) في فوائد استخدام مبيدات الآفات والأسمدة الصناعية لزيادة المحاصيل.
3. يبحث الطالب الآخر في المشكلات الناتجة من استخدام مبيدات الآفات والأسمدة الصناعية.
4. يشترك طلبة الصف في إنشاء جدول يُعبِّئ فيه كلٌّ منهم ما توصّل إليه.

فوائد استخدام مبيدات الآفات والأسمدة الصناعية	المشكلات الناتجة من استخدام مبيدات الآفات والأسمدة الصناعية

5. ناقش ما إذا كانت الفوائد الإجمالية لاستخدام المبيدات تفوق المشكلات الناتجة من استخدامها.
6. اطلب من زملائك إجراء اقتراع لتقرير ما إذا كنت ستوصي باستخدامها أم لا.

مزايا المكافحة البيولوجية للآفات

في كل حديقة في العالم تقريبًا يمكن العثور على خنفساء صغيرة؛ وقد يصل عدد أنواع الخنافس إلى ما يزيد على 5000 نوع (**الشكل 8-51**). والخنفساء واحدة من أولى الحشرات التي يظنُّ الأطفال أنها صديقة. وعلى الرغم من مظهرها الجميل، وأجنحتها المرقّطة، وتتغذى على كلّ من حشرة المن وآفات نباتية أخرى (**الشكل 8-52**).

الشكل 8-51 الخنفساء الودودة (الصديقة).

الشكل 8-52 الخنفساء الدعسوقة تأكل المنّ.

ومن الكائنات الحية التي تكافح الآفات وتقضي عليها **دبور الدرقية Ichneumon wasp**، وتُعدّ العائلة التي ينتمي إليها من أكبر عائلات الحيوانات، فهي تضم أكثر من 100000 نوع. وتعمل هذه المخلوقات المخيفة على اصطياد فريستها ثم تشل حركتها، وتضع بيوضها داخل جسد ضحيتها الذي يبقى حيًّا إلى أن تفقس البيوض، وتخرج منها اليرقات التي تتغذّى على جسد الضحية، إلى أن تموت. ويعدُّ الخنفساء ودبور الدرقية مثالين على المكافحة البيولوجية، وهما من الكائنات الحية التي تقضي على الآفات. ويقدّر المزارعون هذه الكائنات ويشترونها ليطلقوها في حدائقهم. وقد شاع الاعتماد على هذا النوع من مكافحة الآفات في المزارع التي تستخدم اللفظ «عضوي» أو «خالٍ من المبيدات».

الشكل 8-53 دبور الدرقية Ichneumon wasp.

يتغذّى البط والدجاج على الرخويات والحشرات في الحديقة. وتأكل الخفافيش ما يعادل وزن جسمها من الحشرات ليلًا. أمّا الطيور، فتأكل الحشرات نهارًا. وعلى هذا، فإنَّ الكثير من المزارعين يبنون مساكن وأعشاشًا لجذب هذه الحيوانات المفيدة.

وهناك بعض النباتات التي تُستخدم لطرد الحشرات، منها على سبيل المثال: اللافندر والنعناع. وتُعدّ زراعة هذه النباتات حول حديقتك طريقة طبيعية لطرد بعض الحشرات.

مشكلات المكافحة البيولوجية للآفات

يمكن أن يسبّب إدخال أنواع غير أصيلة في نظام بيئي للقضاء على الآفات مشكلات جديدة.

أولًا: إنّ الأنواع الجديدة لا تريد القضاء على مصدر غذائها؛ لذا، فهي تضبط المشكلة فقط و لكنَّها لا تنهيها تمامًا. وثانيًا: قد يسبّب النوع الدخيل مشكلات جديدة.

سمكة البعوض أو سمكة الجامبوزيا Gambusia affinis (**الشكل 8-54**) تعيش في المياه الضحلة، على طول نهر المسيسيبي في الولايات المتحدة. وقد أُدخلت إلى الأنهار في أمريكا الجنوبية، وجنوب روسيا، وأكرانيا في العشرينيات، لمنع تفشي مرض الملاريا، حيث تتغذى هذه الأسماك على يرقات البعوضة التي تؤدي إلى انتشار المرض. إلّا أنّ هذه الأسماك عدوانية، وتتكاثر بوتيرة متسارعة، لذا، فهي تُعدّ في أستراليا آفة، لأنها تؤدّي إلى حدوث اختلال في التوازن البيئي.

الشكل 8-54 سمكة البعوض Gambusia affinis.

الشكل 8-55 النمس القزم الآسيوي Herpestes javanicus.

وقد أُدخل في جزر هاواي **النمس القزم الآسيوي Herpestes javanicus** (**الشكل 8-55**) لضبط أعداد الجرذان في حقول قصب السكر. ولكنْ، وللأسف، فإنَّ المزارعين لم يكونوا يعلمون أن النمس القزم يصطاد في النهار، أمّا الجرذان تنشط ليلًا. ونظرًا إلى أن النمس لم يكن يجد جرذانًا ليأكلها، فقد كان يتغذى على الحشرات، والقطط الصغيرة، والأفاعي، والضفادع، والبذور، والثمار، فضلًا عن ذلك كله بيوض السلاحف والطيور. ونظرًا إلى عدم وجود مفترسين طبيعيين للنمس القزم في هاواي، فإن هذه الكائنات العدوانية تسبّب خسائر سنوية، تبلغ قيمتها 75 مليون ريال قطري.

وفي الوقت الذي يواصل فيه العلماء البحث عن طرائق لزيادة المحاصيل، وتوفير الغذاء لسكان العالم، فإنهم ينظرون إلى أكثر من مصدر لتحقيق ذلك. ويجب القيام بدراسات مستفيضة لتغذية وتكاثر أيّ شكل من أشكال الحياة، يمكن استخدامه في المكافحة البيولوجية.

b3-8 المكافحة البيولوجية للآفات

1. إجراء عصف ذهني للتوصل إلى ما يعرفه الطلبة عن المكافحة البيولوجية للآفات.
2. يستخدم الطلبة مصادر ثانوية، بما فيها الإنترنت، للبحث عن مثال واحد لمكافحة ناجحة لآفة بيولوجية.

اختيار مثال واحد على المكافحة البيولوجية للآفات، في ما يأتي أمثلة يمكن عدم الاقتصار عليها:
استخدام حشرة عثة الصبّار للسيطرة على الصبّار، حصريًّا (صبّار الكمثرى الشائك) في أستراليا.
استخدام خنفساء *vedalia* للسيطرة على «البق الدقيقي الأسترالي» على نباتات الحمضيات في كاليفورنيا/ الولايات المتحدة الأمريكية.
الاستخدام المحتمل للبكتيريا للسيطرة على أمراض تبقّع أوراق النخيل.

3. ومثال واحد على مسبّب المشكلات.

استخدام علاجم القصب للسيطرة على خنافس الظهر الرمادي في أستراليا.

4. أَعدَّ ملصقًا تقارن فيه بين فوائد المكافحة البيولوجية للآفات وأخطارها، واستخدام المبيدات التقليدية التي تُتّخذ وسيلة للإمداد الغذائي المستدام.

التعديل الوراثي

تُنبئ المحاصيل المعدّلة جينيًّا Genetically modified crops (GMOs) بمستقبل واعد في مجال الزراعة، لإنقاذ هذا الكوكب الذي يعاني الاحتباس الحراري. فقد تمكّن العلماء من تحسين إنتاج المحاصيل، وذلك بإحداث تغيير مقصود في جينات الكائن الحي. وأصبح بالإمكان تحسين إنتاجية المحاصيل، وزيادة مقاومتها للحشرات وزيادة قدرتها على مقاومة الأمراض، إضافة إلى زيادة المحتوى الغذائي فيها. ومن أمثلة التعديل الوراثي في الزراعة الإبقاء على الطماطم المنتجة طازجة لمدة أطول، وإنتاج ثمار عنب وبطيخ لا تحوي بذورًا.

التعديل الوراثي Genetic Modification (**الشكل 8-56**) هو العلم الذي يُؤخذ فيه الحمض النووي DNA من كائن حيّ، ويُدمج في آخر، للحصول على كائن حيّ جديد، تظهر عليه صفات من كليهما.

الشكل 8-56 تمثيل فني (غير حقيقي) للتعديل الوراثي الذي يوضح استخدام أجزاء من الحمض النووي DNA لدمج الخصائص في شيء جديد.

ويعود التعديل الوراثي إلى الوقت الذي أصبحت فيه الذئاب البرية جزءًا من ثقافة الإنسان. وقد أنتجت عملية التزاوج الانتقائي على مدى آلاف السنين أنواعًا مختلفة من الكلاب الأليفة، لكل منها صفات خاصة.

ومنذ 9000 سنة،اعتاد المزارعون، في الهلال الخصيب في الشرق الأوسط، وفي شمال إفريقيا، على إجراء عمليات التزاوج الانتقائي، لإنتاج سلالات من نبات القمح الوافر الإنتاج.

إحداث **الطفرة Mutagenesis** هو تعريض النباتات للأشعة أو لموادّ كيميائية، لإحداث طفرة عمدًا. وتستمر هذه العملية إلى حين الحصول على الصفات المرغوبة.

وفي العام 1973 سنحت التكنولوجيا للباحثين بقطع جزء من الحمض النووي ولصقه بآخر. وفي العام 1982 أُنتج الأنسولين البشري من البكتيريا E. coli المعدّلة وراثيًّا، بما يُعرف اليوم (بالهندسة الوراثية).

وتتحكّم شركات التكنولوجيا الحيوية في براءات الاختراع الخاصة بهذه النباتات المعدّلة وراثيًّا، ويُطرد صغار المزارعين من العمل فيها. ومع ذلك، فلا يزال هناك سوق للمواد الغذائية الخالية من الكائنات المعدّلة وراثيًّا؛ إلّا أن تلك المزارع التي تلبي احتياجات هذه السوق تبيع منتجاتها بسعر أعلى.

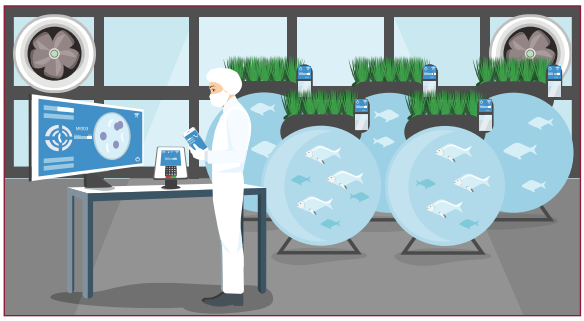
تقنيات التنمية المبتكرة

مع التقدم التكنولوجي، أصبح بالإمكان زراعة المحاصيل وتنميتها بأقل كمية من الماء؛ وبالإمكان الاطلاع على التكنولوجيا الحديثة التي تُستخدم في مركز البحوث والتجارب للزراعة المائية في الخور في قطر.

الزراعة المائية Hydroponics هي تنمية النباتات في المياه الغنية بالموادّ الغذائية من دون استخدام التربة (**الشكل 8-57**). وعلى الرغم من استخدام هذه التقنية على مرّ التاريخ، فإن التقدم التكنولوجي المتسارع جعلها أكثر انتشارًا وشيوعًا. وقد اقتُرح أن تُستخدم هذه التقنية في تنمية النباتات على كلٍّ من: القمر والمريخ.

الشكل 8-57 مزرعة مائية، تظهر في الشكل جذور النباتات في الماء.

غالبًا ما يتم التحكم في درجات الحرارة والحشرات في الزراعة الداخلية، وتكون إنتاجية الزراعة المائية أكبر من الزراعة التقليدية، إضافة إلى تناقص استخدام مبيدات الآفات؛ ذلك أن معظم الآفات تعيش في التربة.



الشكل 8-58 رسم تخطيطي لمزرعة مائية.

الزراعة المائية المركّبة Aquaponics تُضاف فيها الأسماك إلى أحواض الزراعة المائية، **الشكل 8-58**. وتزوّد الأسماكُ النباتاتِ بالموادّ الغذائية. وفي النهاية، تُحصد بوصفها مصدرًا غذائيًّا ثانويًّا. وتُغذّى الأسماك على غذاء يُختار بعناية، وتُراقَب جميع الجوانب الموجودة في هذا النظام لضمان عدم دخول أيّة كائنات غير مرغوبة أو معدية إليه. والزراعة العمودية هي تقنية زراعة مبتكرة (**الشكل 8-59**)، وهي عملية تنمية النباتات في طبقات مرتبة فوق بعضها البعض لزيادة مقدار المحصول مقارنة بمساحة الأرض التي تُشغل في هذه العملية. وتُروى هذه النباتات من الأعلى بنظام ريّ خاص، يحوي مياهاً غنية بالموادّ الغذائية. وتكون هذه المياه إمّا من نظام زراعة مائية، أو من نظام زراعة مائية مركّبة.

الشكل 8-59 زراعة عمودية.

تقويم الدرس 8-3

1. من أين يحصل النبات على الكربون اللازم لبناء جزيئات الجلوكوز؟
   a. الهواء
   b. الماء
   c. السماد
   d. البناء الضوئي.

2. ما العناصر الأساسية المكوّنة للسليولوز؟
   a. النيتروجين، الحديد، الزنك
   b. الزنك، الهيدروجين، الأكسجين.
   c. الزنك، البوتاسيوم، النيتروجين.
   d. الهيدروجين، الأكسجين، الكربون.

3. ما النسبة المئوية للمحاصيل التي تتلف بسبب الآفات سنويًّا؟
   a. 10 - 20%
   b. 20 - 30 %
   c. أكثر من 50 %
   d. أكثر من 70 %

4. لماذا لا يستطيع الإنسان هضم السليولوز؟

5. ما العناصر الثلاثة التي يتطلب تزويد النبات بها عن طريق إضافتها إلى التربة؟

6. ما دور كلٍّ من الخنفساء ودبور الدرقية في الزراعة؟

7. ما المشكلتان الأساسيتان الناتجتان من إدخال النمس القزم الآسيوي إلى هاواي للقضاء على الجرذان؟

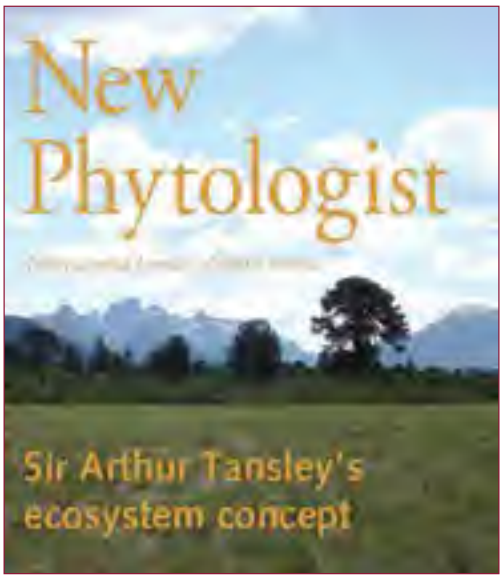
8. ما التطفير (إحداث الطفرة)؟

9. ما الفرق بين الزراعة المائية والزراعة المائية المركّبة؟

10. اقترح بضعة حلول مختلفة يمكن تطبيقها مجتمعةً لضمان استدامة الغذاء في قطر.

العلم والعلماء

سير أرثر تانسلي: 1871 -1955



الشكل 8-60 أسس تانسلي مجلة «عالم النبات الجديد» العلمية.

يدرس علم البيئة كيفية تفاعل الأجناس بعضها مع بعض ومع البيئة المحيطة بها. ويُعدُّ السير أرثر جورج تانسلي، الأحيائي الإنكليزي، من الروّاد الأوائل لهذا العلم. وقد كتب تانسلي أن الكائنات الحية تشكل مع محيطها نظامًا طبيعيًّا مترابطًا، أطلق عليه إسم «النظام البيئي». وقدّم تانسلي الفكرة بأن النظام البيئي هو الوحدة الأساسية للطبيعة. وهذه الفكرة هي محور علم الأحياء الحديثة اليوم.

تتطور العلوم بمشاركة الأفكار. وتُعدُّ المجلات العلمية من الوسائط المهمة لهذه المشاركات، إذ تخضع للمراجعة والقراءة من قبل خبراء، كلٌّ في مجاله. وكان تانسلي في الثلاثين من عمره؛ عندما أسس المجلة العلمية، «عالم النبات الجديد» في العام 1902، واستمرّ في تحريرها حتى العام 1931. ولا تزال المجلة تصدر في يومنا هذا منبرًا للأبحاث في علم البيئة النباتية.

وقد أسهمت المبادئ الأساسية، كالنظام البيئي، التي أرسى تانسلي أُسسها في تطوير علم البيئة الجديد. وباندفاع كبير لنشر المفاهيم الجديدة حول البيئة، وحول الترابط بين الكائنات الحية، كتب تانسلي عددًا من الكتب الفاعلة، تضمّنت العمل البحثي الأكاديمي: «الحياة النباتية في الجزر البريطانية» The British Islands and their Vegetation (1939). وقد ساعدت كتبه: «المدرسة وعلم البيئة النباتي(1946) The Plant Ecology and the School» و«رداء بريطانيا الأخضر (1949) Britains Green Mantle» في تقديم الأفكار عن البيئة إلى جمهور أوسع.

استلم سير تانسلي مرتبة الشرف الأولى في علوم الأحياء من كلية ترينيتي-جامعة كامبردج. وخدم بصفة أستاذٍ لعلم النبات في جامعة أوكسفورد حتى تقاعده في العام 1937. كان قائدًا ملهمًا للحركات المحافظة، وأدّى دورًا فعّالًا في تأسيس الوكالة البريطانية للحفاظ على الطبيعة في العام 1949، وكان أول رئيس لها. انتخب زميلًا في الجمعية الملكية في العام 1915، ومنح لقب فارس في العام 1950.

الوحدة 8

مراجعة الوحدة

الدرس 8-1 التنوّع الحيويّ

- **التنوّع الحيويّ Biodiversity** هو تنوّع الحياة في العالم أو في منطقة ما.
- **الأراضي الرطبة Wetlands** هي مناطق نموّ النبات بالقرب من المسطحات المائية.
- **علماء الأحافير Paleontologists** هم علماء يدرسون بقايا وآثار الكائنات الحية المتحجرة.
- **جليد البحر Sea ice** عبارة عن صفائح من المياه تجمّدت فوق البحار المفتوحة.
- **المستوطن Endemic** تعني غير موجود أصلًا في أي مكان آخر في العالم.
- **معدل الانقراض Extinction rate** هو عدد الأنواع التي لم تعد حيّة.
- **الملقّحات Pollinators** هي الطيور والحشرات التي تلقّح زهرة.

الدرس 8-2 الاخلال بالتنوّع الحيويّ

- **الشبكة الغذائية Food web** تعني علاقة معقّدة بين مفترس وفريسة.
- **بصمة الكربون Carbon Footprint** هي مجموع كلّ انبعاثات CO_2 التي يكون الإنسان مسؤولًا عن إنتاجها.
- **التسرب Infiltration** هو تسرّب الهواء إلى منزلك.
- **المؤتمرات عن بُعد Teleconferencing** تعني استخدام أجهزة الكمبيوتر والكاميرات في الاجتماعات لمشاهدة المعنيين.
- **صيد الأسماك الجائر Overfishing** هو صيد كميات من الأسماك، أكثر مما يمكن أن يحل محلها بعملية التكاثر.

الدرس 8-3 الأمن الغذائي العالمي

- **السماد Fertilizer** هو موادّ تُضاف إلى التربة لزيادة المعادن فيها.
- **مبيدات الآفات Pesticides** هي طرائق تُستخدم للقضاء على الآفات والكائنات المؤذية الأخرى.
- **التطفير Mutagenesis** هوتعريض النباتات للأشعة أو الموادّ الكيميائية عمدًا لإحداث طفرة.
- **الزراعة المائية Hydroponics** هي تنمية النباتات في ماء غني بالموادّ الغذائية من دون استخدام تربة.

اختيار من متعدِّد

1. لماذا أصبحت البطاطس مصدرًا غذائيًّا مهمًّا في العالم؟
   a. لأنها تمثّل مصدرًا تاريخيًّا للغذاء.
   b. يمكن أن تناسب أذواقًا مختلفة في كل الفصول.
   c. لارتفاع نسبة إنتاج محصولها مقارنة بغيرها من الأغذية.
   d. لحاجتها إلى قدر كبير من العناية والحماية من الأمراض.
2. ما الفريسة الطبيعية للدببة القطبية؟
   a. الحيتان الصغيرة.
   b. اليرقات والتوت.
   c. الفقمات المحلّقة.
   d. البطريق الإمبراطوري.
3. أيّ من الحيوانات الآتية لا تتوقع أنه يستطيع العيش في قطر؟
   a. الكريل
   b. السحالي
   c. الحشرات
   d. الصقور
4. أي مما يأتي ينتج من تغيُّر المناخ؟
   a. الجفاف
   b. الفيضانات
   c. تجمّد غير معتاد.
   d. تغيّر أنماط الطقس.
5. ما الذي يحدّد أنماط هجرة الحيوانات البريّة إلى سيرينجيتي (في تنزانيا)؟
   a. المطر
   b. درجة الحرارة.
   c. محاولة تجنّب الأسود.
   d. أنماط هجرة التماسيح.
6. أيٌّ ممّا يأتي هو أكثر عرضة للانقراض؟
   a. الطيور
   b. الزواحف
   c. الثدييات
   d. البرمائيات

7. كيف يؤثر انصهار جليد البحر في البطريق الإمبراطوري؟

a. تختفي أماكن تعشيشه.
b. تقلّ كميات الكريل المتوافرة.
c. لا يضطر للانتقال إلى البحر.
d. تعجز صغار البطريق عن إيجاد آبائها.

8. ما هي أكبر خطوة يمكنك اتخاذها لتقليل بصمة الكربون؟

a. ألّا تمتلك سيارة.
b. ألّا تأكل شطائر الجبن.
c. أن تحاول المشي ما لا يقل عن 1 كم في اليوم.
d. أن تقلّل كمية المياه التي تشربها.

9. أيٌّ مما يأتي لا يُعدّ سببًا في أن تسهم الأبقار إسهامًا رئيسًا في الاحتباس الحراري؟

a. لأنها مجترّة.
b. تُغذَّى على الحبوب.
c. تُقطع الغابات المطرية لإنشاء مناطق رعي.
d. أنواع الأبقار كثيرة بحيث يتعذّر اختيار واحد منها.

10. أيّ من الحيوانات الآتية يُعدُّ خيارًا منطقيًا لتمثيل حملة للتوقف عن استخدام زيت النخيل؟

a. الذئب الرمادي.
b. قرد الاورنجوتان
c. دبّ الباندا
d. النمس الهندي.

11. أيٌّ مما يأتي يُعدّ سبب القلق من استخدام السماد الصناعي؟

a. يفضل النبات المعادن من المصادر الطبيعية.
b. قد تضر الأسمدة الصناعية بالكائنات الدقيقة التي تعيش في التربة.
c. السماد الطبيعي ينتج من الكمبوست، لذا فهو أفضل.
d. تُصنّع الأسمدة الصناعية في المصانع، ما يجعل طعم الأغذية سيّئًا.

12. أي من التالي يتم تصنيعه من خلال DNA معاد التركيب؟

a. الإنسولين البشري.
b. الكلاب الأليفة.
c. القمح المحلي.
d. البطيخ من دون بذور.

الدرس 8-1 التنوّع الحيويّ

13. ما خصائص البيئة التي ستؤدي إلى تنوع حيويّ أكبر؟
14. لماذا كان نقص التنوّع الحيويّ مشكلة في فترة مجاعة البطاطس الأيرلندية؟
15. أين تتوقع أن تجد أشجار المانغروف؟
16. كيف تسهم غابات المانغروف في التنوّع الحيويّ في منطقة ما؟
17. كيف يمكن أن يكشف الخُث معلومات عن تغيّر التنوّع الحيويّ؟
18. كيف يكون جليد البحر مهمًّا للدببة القطبية؟
19. ما الخصائص التي تجعل الحيوان أكثر عرضة لتغير المناخ؟
20. ما الفرق بين تغير المناخ والطقس السيء؟
21. لماذا تعتمد أنماط الهجرة على المناخ؟

الدرس 8-2 الاخلال بالتنوّع الحيويّ

22. كيف زاد إدخال الذئاب إلى حديقة يلوستون الوطنية عدد القنادس؟
23. لماذا زاد عدد خنافس الصنوبر الجبلية؟
24. ما تأثير انقراض الضفادع في الشبكة الغذائية؟
25. لماذا استُخدم دبّ الباندا رمزًا للصندوق العالمي للطبيعة WWF وليس ستاجورن المرجان؟
26. لماذا تعلن مجموعات الحفاظ على البيئة عن جهودها للمحافظة على التنوّع الحيويّ؟
27. ما الغاية من توازن الكربون؟
28. ما الإجراءات التي يمكنك اتخاذها في المنزل لتقليل بصمة الكربون؟
29. صف بعض العقبات التي يجب التغلب عليها، إذا أرادت قطر تقليل عدد السيارات المستخدمة.
30. ما تأثير السيارات في التنوّع الحيويّ في منطقة ما؟

31. لماذا لا تستطيع أن تسافر بسهولة بطائرة تعمل بالطاقة الشمسية؟

32. كيف يساعد عقد المؤتمرات عن بُعد على تقليل بصمة الكربون؟

33. كيف يمكن لشخص واحد أن يحدث فرقًا كبيرًا في الاحتباس الحراري؟

34. لماذا لا يكتب منتجو زيت النخيل اسمه بوصفه أحد مكوّنات منتج ما؟

35. ما «الصيد العرضي»؟ ولماذا يُعدُّ ضارًّا بالتنوّع الحيويّ في المحيطات؟

الدرس 8-3 الأمن الغذائي العالمي

36. كيف يعمل التسميد؟

37. ما الفرق بين مبيدات الحشرات ومبيدات الأعشاب؟

38. تقنية الزراعة الحديثة لا تقتلع الأعشاب، بل تسمح لها بالنمو على طول جانب المحاصيل. كيف يكون ذلك مفيدًا؟

39. ما الجوانب التي يجب دراستها قبل استخدام كائنٍ ما في المكافحة البيولوجية؟

40. ما المشكلات المرتبطة بالمكافحة البيولوجية للآفات؟

41. ما الطريقة التي استُخدمت في التعديلات الوراثية في البدايات؟

42. ما مزايا الزراعة المائية؟

43. ما مزايا الزراعة العمودية؟

44. كيف يسهم سكان الكوكب في الحدّ من التنوّع الحيويّ فيه؟

45. ما المشكلات الأساسية التي نجمت عن إدخال النمس الآسيوي إليها، وإدخال العلاجم إلى أستراليا؟

الوحدة 9

مصادر الطاقة

Energy Sources

GP1105
GP1106
GP1107

في هذه الوحدة

- **الدرس 9-1:** الطاقة
- **الدرس 9-2:** تكاليف إنتاج الطاقة

الوحدة 9

مقدّمة الوحدة

يُعد الاستخدام الأمثل للطاقة مقياسًا للتطور، فالدول ذات أنظمة الطاقة المتطوِّرة تحقّق لسكّانها مستوًى معيشيًّا أفضل. وتدور في عالمنا اليوم نقاشات حول طرائق الحصول على الطاقة واستخدامها والحدّ من هدرها.

سنتعرّف في هذه الوحدة إلى بعض مصادر الطاقة وكيفية استخدامها في أعمال مفيدة، ثمّ نلقي نظرة على الطاقة المُتجدِّدة كونها مصدرًا لا ينضب للطاقة، ونتعرّف إلى مصادر الطاقة غير المُتجدِّدة وإيجابياتها وسلبياتها.

أخيرًا، سنبحث في كلفة الطاقة والمتغيّرات المعقّدة في اختيار مصدر الطاقة واستخداماته. وسنستكشف أيضًا المشكلات في مصادر الطاقة وفي كيفيّة معالجتها.

الأنشطة والتجارب

1-9 بناء نموذج محطّة للطاقة

a2-9 إيجابيات محطّات الطاقة وسلبيّاتها

b2-9 مشروع البحث: مقارنة بين الطاقة المتجدّدة والطاقة غير المتجدّدة

الدرس 9-1
الطاقة
Energy

تُستخدَم الطاقة في كثير من نواحي الأنشطة الإنسانية. والطاقة هي القدرة على إحداث تغيير أو أداء شغل. كانت مُحرّكات البخار هي الآلات الأولى التي تعمل بالطاقة، والتّي استُخدِمت لضخّ المياه بدلًا من الحصان. لذلك، تُقاس قدرة المِضخّات الحديثة بقدرة الحصان (horse power hp).

وتستخدم كلُّ صناعة وحدةَ قياس مختلفة للطاقة:

- وحدة قياس طاقة الطعام هي «السعرات الحراريَّة أو الكالوري Calorie».
- يُقدّر استهلاك الطاقة الكهربائية بالكيلوواط ساعة kWh.
- يستخدم العلماء وحدة الجول لقياس كل أنواع الطاقات. يتضمَّن ذلك طاقة الطعام والطاقة الكهربائية حيث يعادل كالوري الطعام 4,184 J. ويعادل الكيلوواط–ساعة 3,600,000 J.

وبغض النظر عن وحدة القياس، فإننا نستطيع تحويل الطاقة من شكل إلى آخر. على سبيل المثال، يُمكن للطاقة الكهربائية أن تشغّل محرِّكًا فتتحوّل إلى طاقة ميكانيكيّة.

مخرجات التّعلُّم

GP1105.1 يتذكر أنواعًا مُختلفة من مصادر الطاقة ويوضِّح أنّ جميع الطاقة المتوفرة لكوكبنا، مصدرها في الأساس من الشمس.

GP1105.2 يصف عملية توليد الطاقة في محطات توليد الطاقة المختلفة. على سبيل المثال حرق الوقود الأحفوري لانتاج البخار الذي يدوِّر توربينًا متصلًا بمولّد.

GP1106.1 يصف الفرق بين مصادر الطاقة المُتجدّدة وغير المُتجدِّدة.

المفردات

الجول	Joule
مصادر الطاقة المُتجدِّدة	Renewable energy sources
الهيدروكربونات	Hydrocarbons
الوقود الأحفوري	Fossil fuels
مصادر الطاقة غير المتجدِّدة	Non-renewable energy sources
حفظ الطاقة	Conservation of energy
التوربينات	Turbines
التوربينات البخارية	Steam turbines

مصادر الطاقة المُتجدِّدة وغير المتجدِّدة

تُقسم مصادر الطاقة، التي يستخدمها الإنسان، إلى قسمين رئيسين: مصادر متجدّدة ومصادر غير متجدّدة.

تتعلّق **الطاقة المُتجدِّدة Renewable energy** بالمصادر التي:

a. تتجدّد بشكل طبيعي مثل ضوء الشمس.

b. تستعيد نموها في فترة لا تتعدّى عشر سنوات.

c. لا يمكن استنفادها بالاستهلاك المتكرر.

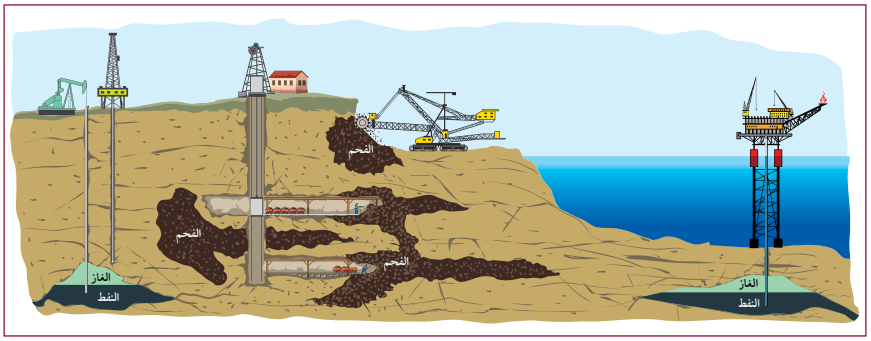
والأمثلة على ذلك كثيرة منها:

- ضوء الشمس مصدر متجدّد، لأنّ الإنسان لم يستنفد طاقة الشمس بمحطات الطاقة الشمسية التي أنشأها.
- النبات مصدر متجدّد للطاقة بسبب تكرّر نموه دوريًّا.
- استخراج الوقود من النبات كالإيثانول، هو مصدر طاقةٍ متجددة.
- طاقة الرياح هي مصدر آخر متجدّد، لأن الاستخدام المتكرر لها لم يؤدّ إلى نفادها.

مصادر الطاقة غير المتجدّدة

يشكّل الفحم والنفط والغاز «**الوقود الأحفوري**» **Fossil fuels**، وجميعها **مصادر طاقة غير متجدّدة Non-renewable sources of energy** لأنّ إعادة إنتاجها في الأرض تتطلّب ملايين السنين. إن بقايا الحيوانات الميّتة والنباتات التي تحوّلت إلى غاز ونفط، كانت مطمورة تحت الأرض بفعل العوامل الجيولوجيّة منذ ما يقارب 240 مليونًا من السنين.

إذا طمرت النباتات والحيوانات في باطن الأرض لملايين السنين، ومن دون أن تتعرَّض للأكسجين الحرّ، فإنَّ كربون وهيدروجين هذه النباتات والحيوانات ينتج **الهيدروكربونات Hydrocarbons**، لكنْ، إذا جرت هذه العمليّة في قاع المحيط، فإنَّ ذلك يمكن أن ينتج النفط والغاز (**الشكل 9-1**).



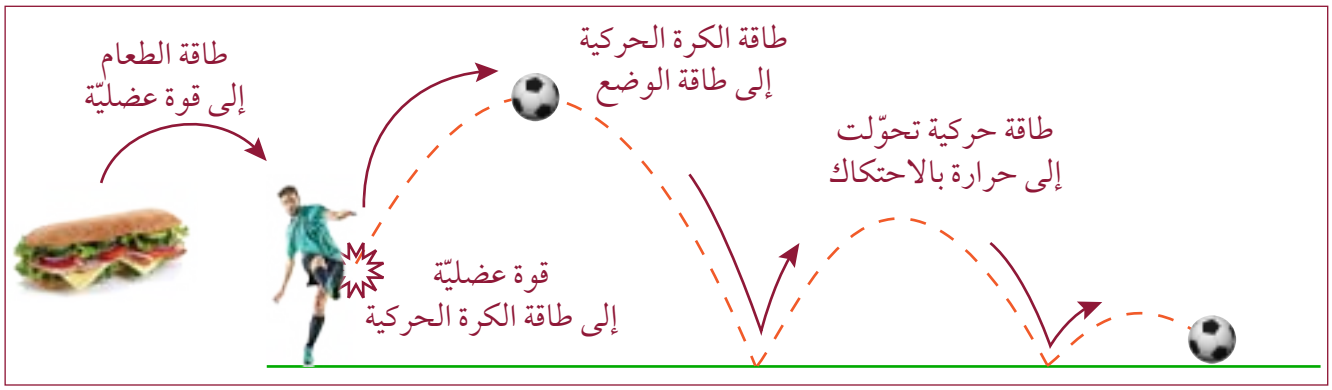
الشكل 9-1 الحفر والتعدين بحثًا عن مصادر للطاقة.

باستثناء أنواع قليلة من الطاقة، تُعدُّ الشمس مصدر جميع أنواع الطاقة على الأرض. يتشكّل الوقود الأحفوري من النباتات، وهي تستمدّ طاقتها من الشمس. وتتكوّن طاقة الرياح بسبب حرارة الشمس غير المتساوية على الأرض والهواء المحيط بها.

تحوّلات الطاقة

«**قانون حفظ الطاقة Law of Conservation of energy**» هو أحد أهم قوانين الطبيعة. وينصُّ القانون على «أنَّ الطاقة لا تَفنى ولا تُستحدث من عدم، بل يمكن تحويلها من شكل إلى آخر فقط».

عند ركلك كرةً إلى الأعلى لتسقط على الأرض مصحوبةً بعددٍ من الارتدادات (**الشكل 9-2**)، تتحوَّل طاقة الطعام لدى الرامي إلى طاقة عضليّة لإنتاج قوّة، وتحوِّل القوّة هذه الطاقة إلى طاقة حركيّة (بحسب سرعة الكرة). وتفقد الكرة طاقتها الحركية لتكتسب طاقة الوضع (الطاقة الكامنة). ومع كلِّ ارتداد، تتحوّل بعض طاقة الكرة إلى حرارة بسبب الاحتكاك إلى أن تتوقّف الكرة في النهاية عندما تفقد كلَّ طاقتها الحركيّة.



الشكل 9-2 تحوُّلات الطاقة لركل الكرة.

ومع كلِّ ارتداد للكرة، يتحوّل جزء من طاقتها إلى حرارة وإلى أشكال أخرى من الطاقة. وهذا يعني تناقص مجموع الطاقة وانخفاض سرعتها.

تُفقَد الطاقة على شكل حرارة عندما تتحوّل من شكل إلى آخر.

الأشياء المتحرِّكة، أو المتوهّجة، أو تلك الخاضعة للتمدّد، أو التسخين والتبريد تتبادل الطاقة مع محيطها. مثال على ذلك، طاقة ضوء المصباح التي تحوّلت من الطاقة الكهربائيّة؛ فالمصابيح القديمة المتوهِّجة تفقد 95% من طاقتها الكهربائية على شكل حرارة، ويتحوّل الـ 5% الباقية إلى ضوء! أمّا مصابيح LED الحديثة (**الشكل 9-3**) فتحوِّل 80% من الطاقة الكهربائيّة إلى ضوء وتفقد 20% منها على شكل حرارة.

الشكل 9-3 المصباح الكهربائي ومصباح LED.

توليد الكهرباء

الشكل 9-4 مولِّد كهربائي بسيط.

لا ينتج المولّد الكهربائي (**الشكل 9-4**) الطاقة، بل إنَّ المولّد يعمل على تحويل طاقة الدوران الحركيّة الى طاقة كهربائية. ويحتاج المولّد إلى أشكال أخرى من الطّاقة ليعمل. وتُستخدَم طاقة الرياح في تدوير «التوربين»، وهو جهازٌ يشبه المروحة ويؤدّي دورانه السريع بسبب قوّة الرياح إلى تشغيل المولّد الكهربائي. وقد تستخدم طاقة المياه المنحدرة أيضًا لتشغيل التوربينات في «المحطات الكهرومائية».

تستخدم قطر الغاز الطبيعي مصدرًا أساسيًّا للطاقة بسبب وفرته في أراضيها، فالماء الذي تشربه اليوم يمكن أن يكون مصدره محطة توليد الطاقة وتحلية مياه البحر في راس أبو فنطاس. تعمل توربينات هذه المحطة بالغاز الطبيعي، فيعمل مولِّدها على إنتاج الطاقة الكهربائيّة. هذه المنشأة الحديثة تنتج الطاقة الكهربائيّة وتزيل الملح من ماء البحر.

الشكل 9-5 توربينات بخاريّة.

إلاّ أنّ أكثر المصادر المولّدة للطّاقة المستخدمة في العالم اليوم هو الوقود الأحفوري. تستعمل معظم محطات الطاقة الكهربائية الحرارة لتحويل الماء الى بخار عالي الضغط وتشغيل **توربين بخاريّ Steam turbine** (**الشكل 9-5**) تكون بعض أجزائه بحجم منزل!

تعرّف محطّات الطاقة بمصدرها الرئيس للطاقة:

- محطّة الغاز الطبيعي الأعلى كفاءة تستخدم التوربينات الغازيّة (ما يشبه المحرِّك النفّاث) لتشغيل المحرِّك مباشرةً (كما هو في قطر).
- محطّات النفط أو الفحم أو الغاز الطبيعي التقليدية تستخدم الحرارة لرفع ضغط البخار في التوربينات ليعمل المحرِّك.
- تستخدم المحطّات النوويّة الحرارة الناتجة من الانحلال الإشعاعي لمادّة اليورانيوم لتحويل الماء الى بخار لتشغيل التوربين والمولِّد.
- المحطّات الكهرومائية تستخدم طاقة المياه المنحدرة لتشغيل التوربين الذي يدير المحرِّك.
- يمكن إنتاج الحرارة لتحويل الماء إلى بخار لتشغيل التوربين والمحرِّك عبر حرق الكتلة الحيوية، مثل القُمامة ونفايات النباتات، في محطات خاصّة للطّاقة المتجدّدة تستخدم أجهزة التوربينات والمولّدات ذاتها التي تكون في محطات الوقود الأحفوري.

نشاط 9-1 بناء نموذج محطّة للطاقة

سؤال الاستقصاء	كيف يمكنك بناء نموذج محطة للطاقة؟
الموادّ المطلوبة	مُحرِّك صغير يعمل بالتيار المستمر DC، مصابيح LED، مواد معاد تدويرها.

الخطوات

الشكل 9-6 المحرّك

1. أحضر مُحرِّك DC (**الشكل 9-6**). تؤدي إدارة المحرّك إلى توليد الكهرباء بين القطبين المعدنيين البارزين على المُحرّك.
2. صِل مصباح LED (**الشكل 9-7**) بقطبي المحرّك.

الشكل 9-7 LED

3. قم بإدارة المحرّك لإضاءة مصباح LED. إذا لم تتم إضاءة المصباح، فاعكس اتجاه الدوران، أو اعكس طرفي توصيل المصباح في الدائرة الكهربائية.
4. أنت بذلك تكون قد أنشأت نموذجًا لتوليد الطاقة الكهربائية.

ومهمتك هي ابتكار طريقة مُختلفة لتشغيل المحرّك. استخدم أدوات بسيطة ومواد معاد تدويرها كي تصمّم نموذج محطّتك الخاصة.

5. تذكّر أنّ سرعة دوران المحرّك، إضافة الى عوامل أخرى، تحدّد كميّة الكهرباء التي تتولّد. حاول الحصول على أكبر قدر من السرعة من دون أن يحترق مصباح LED.
6. قد تحتاج إلى مجموعة تروس مسنّنة للحصول على السرعة الكافية من الدوران.

الأسئلة

a. ما المشكلات التي واجهتك عند محاولة إدارة المحرّك بصورة مباشرة؟

b. كيف تغلّبت على هذه المشكلات؟ ما الإجراءات التي قمت بها للموازنة بين سرعة الدوارن وكفاءة المحرّك؟

c. كيف يمكنك تحديد الكفاءة لجهازك الذي ركّبته؟

تقويم الدرس 9-1

1. أيّ من وحدات القياس الآتية هي وحدة لقياس الطاقة؟

a. نيوتن (N)
b. جول (J)
c. فولت (V)
d. لتر (L)

2. أيّ مما يأتي استخدم فيه الناس مصطلح «قدرة حصان» أول مرة؟

a. السيّارة
b. الكهرباء
c. مضخّة المياه.
d. المُحرِّك البخاري.

3. لماذا يُعدُّ الفحم وقودًا «أحفوريًّا»؟

4. ما أهمية الضغط في التوربينات البخارية؟

5. يستخرج النفط والغاز من البترول (النفط الخام)، وهو بقايا النباتات والحيوانات المجهريةالتي طُمرت بمعزل عن الأكسجين، والتي استمدت طاقتها من الشمس. لماذا تُعدّ كلٌّ من هذه المواد طاقة غير متجدّدة؟

6. ما تحولات الطاقة التي تتم في محطات الطاقة التي تحرق الغاز الطبيعي لانتاج الطاقة الكهربائية؟

7. ابحث في الطاقة المنتجة في قطر لتحديد أنواع محطّات الكهرباء الأكثر استخدامًا. أعطِ أسبابًا لاختيار هذا النوع من الطاقة في قطر.

الدرس 9-2
تكاليف إنتاج الطاقة
Cost of Energy Production

ترتكز الحضارات المتطورة الآن على استخدام الطاقة، يُظهر **الشكل 9-8** التوربين الضخم في أم الحول، جنوب مدينة الوكرَة لمحطّة الطاقة ذات الدّورة المركّبة. يبلغ متوسِّط استخدام الطاقة في قطر 25,000 W لكل شخص في اليوم، أمّا المتوسِّط العالمي لاستخدام الطاقة فهو 2700 W لكل شخص في اليوم. لكن من أين يتم تأمين المصادر الإضافيّة للطاقة إذا تطوّرت احتياجات العالم أسوةً بدولة قطر؟

الشكل 9-8 التوربينات الضخمة في محطة الدورة المُركَّبة للطاقة في أم الحول جنوب مدينة الوكرة.

يُواصل العُلماء والمخترعون البحث في مجال الطاقة للتّوصّل إلى المزيد من الطّاقة في كلّ وحدة مساحة (وهو ما يعرف بـ **كثافة الطاقة Energy density**) رغم قيود قوانين الفيزياء الأساسية، وهو ما يجعل من الصعب إيجاد مصادر جديدة للطّاقة. وسنتعرَّف في هذا الدرس إلى مصادر الطاقة الشائعة، وإلى الطرائق التي يمكـــن اسـتخدام الطاقة فيها لأداء أعمال مفيدة.

مخرجات التّعلُّم

GP1106.2 يوضح إيجابيات مصادر الطاقة الرئيسة وسلبياتها، بما في ذلك الطاقة الشمسية، وطاقة الرياح، والطاقة الحرارية الأرضية، إضافة إلى الوقود الأحفوري والوقود النووي.

GP1107.1 يصف القدرة الناتجة من مجموعة من محطات توليد الطاقة، ويجري عمليات حسابية لمقارنة تكاليف وفوائد كل منها .

المفردات

Energy density	كثافة الطاقة
Efficiency	كفاءة
Combined cycle	الدورة المُركَّبة
kilowatt-hour (kWh)	كيلو واط ساعة
Photovoltaic cell (PV)	الخلايا الشمسية الكهروضوئية
Dry steam	البخار الجاف
Flash plant	محطة الطاقة بالتبخير
Binary system	محطات الدائرة المزدوجة
Nuclear fission	الانشطار النووي
Control rods	قضبان التحكّم
Non-Dispatchable	غير قابلة للتوجيه
Cost per kW	التكلفة لكل كيلو واط
Cost per kWh	التكلفة لكل كيلو واط ساعة

القدرة والطاقة

عندما نريد معرفة كلفة الكهرباء، فإنَّ علينا أن نأخذ عامل القدرة في الحسبان. والقدرة هي معدّل الطاقة المستخدمة أو المتدفّقة. القدرة تساوي الطاقة (بالجول) مقسومة على الزمن (بالثانية) وفقًا للمعادلة: $P = \frac{E}{t}$ ووحدة قياسها الواط Watt.

القدرة

$$P = \frac{E}{t}$$

P	القدرة (واط، W).
E	الطاقة (الجول، J).
t	الزمن (الثانية، s).

تبلغ قُدرة الإنسان الرياضي 300 W عند استخدامه كامل قوته. وتمتلك السيّارة الصغيرة قُدرة 50,000 W. ويمتلك مكيّفُ الهواء المتوسط قدرة 1,500 W. لذا، يتمّ النّظر إلى التكنولوجيا على أنّها تعطي قدرة للقيام بأعمال أكبر بكثير ممّا يمكن لقدرة عضلات الإنسان القيام به.

تُباع الطاقة الكهربائيّة بوحدة **الكيلو واط ساعة**، kWh، **kilowatt–hour** وهي وحدة للطاقة وليس للقُدرة. ويُمثِّل استهلاك ما، قدرته 1 kW لمدة ساعة واحدة 1h بحسب القاعدة:

$$E = P \times t$$

وبالتالي، فإنَّ مكيّف هواء قدرته 1500W يستهلك في ساعتين ما مقداره 3 kWh من الطاقة الكهربائيّة. يبيّن (**الجدول 9-1**) الطاقة المستهلكة في منزلك بضرب قُدرة كل جهاز في عدد ساعات تشغيله.

الجدول 9-1 أمثلة حول تقدير بسيط للطاقة.

الجهاز	القدرة (W)	الزمن (h)	الطاقة (kWh)
محضّر القهوة	1200	0.5	0.600
المصباح	60	8	0.480
الكمبيوتر	50	12	0.600
شاشة التلفاز	60	12	0.720
مكيّف الهواء	1500	20	30.000
المجموع			32.400

هناك كثير من أساليب توفير الطاقة يمكن اللّجوء إليها في المنزل والمدرسة والمصنع. ويتم وضع ميزانية للطاقة في معظم المُنشآت للبحث عن أجهزة أقلّ كلفة لاستهلاك الطاقة.

سؤال للمناقشة

كيف يمكنك خفض استهلاك الطاقة في منزلك؟

الكفاءة

الكفاءة Efficiency هي كميّة الشغل الناتجة من نظام ما مُقارنة بكميّة الطاقة المُدخلة إليه، ويعبّر عنها كنسبة مئويّة (%)، كأن نكتب 60 %. مثال على ذلك، سيّارة كفاءتها 15 % تُنتج فقط 15 J من الطاقة الحركيّة لكلِّ 100 J من الطاقة الحراريّة المستمدّة من النفط المحترق في المحرِّك.

لم تتوصّل التكنولوجيا بعد إلى نظام يعمل بكفاءة 100 %، بعض الطاقة تفقد على شكل حرارة دائمًا بالاحتكاك.

تفقد أنظمة الطاقة دائمًا بعض قدرتها بالاحتكاك، فتقل كفاءتها عن 100 %. ويستحيل أن تكون الكفاءة 100 %.

الشكل 9-9 توربينات الرّياح.

إذا افترضنا أن كفاءة توربينات الرّياح (**الشكل 9-9**) تصل إلى 100 %، فإنّها سوف تحوِّل كل طاقة الرياح الحركيّة، وسيتوقف الهواء عن الحركة، وعن الاندفاع لاختراق التوربينات. يبلغ الحدّ الأقصى الفعليّ لكفاءة توربينات الرياح 59 %، وهذا يعني أنّ 41% من طاقة الرياح لن تؤثر في حركة التوربينات.

يُظهر **الشكل 9-10** كيف يمكن زيادة كفاءة التوربين الغازي: إضافة توربين بخار آخر لاستخدام حرارة العادم من التوربين الغازي. ويختلف معدّل الكفاءة أيضًا بين عمليّة إنتاج الغذاء وعمليّة إنتاج الطّاقة. وبغض النظر عن الوحدات التي تُستخدم، فإنَّ عملية الحساب تبقى هي نفسها:

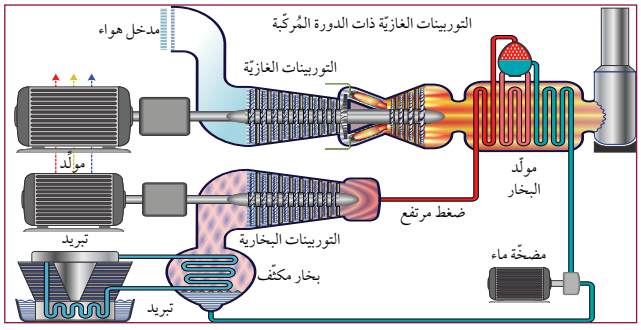
$$\text{الكفاءة} = \frac{\text{الطاقة الناتجة (المفيدة)} \times 100}{\text{الطاقة المُدخلة}}$$

مثال (1)

محرِّك كهربائي يستهلك 1500 J من الطاقة الكهربائيّة وينتج 1250 J من الطاقة الميكانيكيّة لرفع أحمال. ما كفاءة المحرِّك؟

الحل:

$$\text{الكفاءة} = \frac{1250\ \text{J} \times 100\ \%}{1500\ \text{J}} = 83.3\ \%$$



الشكل 9-10 يستخدم محرّك التوربينات الغازيّة العادم الحراري لتشغيل توربينات البخار.

الطاقة الشمسية

الشكل 9-11 الألواح الشمسيّة الكهروضوئية.

تشمل مصادر الطاقة المتجدّدة:

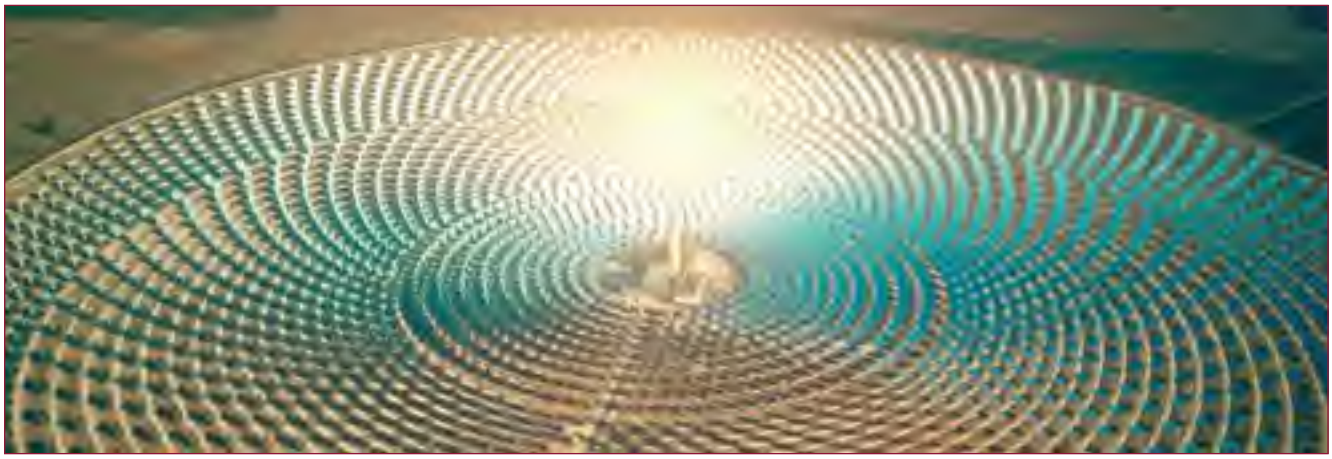
1. **الطاقة الشمسيّة.**
2. الطاقة الكهرومائيّة.
3. طاقة الرياح.
4. الطاقة الحرارية الأرضية.

تستقبل قطر 2140 kWh لكل متر مربع من أشعة الشمس المتجدِّدة بمتوسط 9.2 h يوميًّا على مساحات مفتوحة تزيد على $1.15 \times 10^{10}\ m^2$ وهي مناسبة تمامًا لاستثمار تلك الطاقة الشمسية.

تحوّل **الخلايا الشمسية الكهروضوئية Photovoltaic Cells PV** أشعّة الشمس مباشرة إلى كهرباء ولم تكن كفاءتُها لتزيد عن 10 % حتى العام 2000 م. وبذلك، فإنّ أقلّ من 10% من طاقة الشمس قد حُوِّلت إلى طاقة كهربائيّة. وقد ارتفعت كفاءة أنظمة الخلايا الكهروضوئية مع ازدياد البحوث لتكون بين 13 % و17 %؛ وقد أدّت جهود بعض العلماء إلى رفع كفاءة الخلايا الشمسية إلى 46 % باستخدام الأسلاك المتناهية الدِّقّة. تُعدُّ زيادة الكفاءة ذات أهمّيةٍ لإنّ أنظمة الخلايا الشمسيّة الكهروضوئيّة مرتفعة الثمن وسريعة الاستهلاك.

يعتمد المزيد من استخدام الطاقة الشمسية على زيادة كمية الكهرباء المنتجة لكل من الألواح الشمسية، ما يؤدّي إلى انخفاض كلفة الكهرباء.

لا تزال كلفة إنتاج الكهرباء من الألواح الشمسيّة مرتفعةً مقارنة بكلفة إنتاجها باستخدام الغاز الطبيعي.



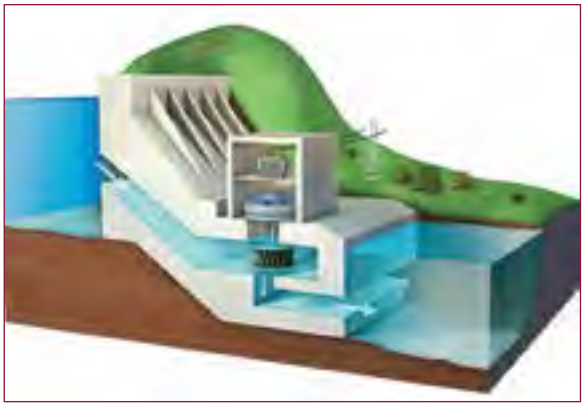
الشكل 9-12 الطاقة الشمسية المركّزة باستخدام المرايا التي يتحكّم فيها الحاسوب، لتركيز الطاقة الشمسية.

أدّت **الطاقة الشمسية المُركَّزة Concentrated solar power CSP** (**الشكل 9-12**) دورًا في أسطورة المُخترع اليوناني أرخميدس الذي استخدم مرآة عملاقة لإشعال النار في السفن الرومانية في العام 212 ق.م. وعلى الرغم من الشكوك المحيطة بصحة تلك الرواية، فإن الفيزياء تؤكد صحتها. وتُستخدم الطاقة الشمسية المركّزة في كثير من الأماكن لغلي الماء من أجل دفع التوربينات البخارية وتحلية المياه. إلّا أنّ كفاءة مولِّدات الطاقة الشمسية المُركَّزة لا تتعدّى 21 % .

الطاقة الكهرومائيّة

تشمل مصادر الطاقة المتجدّدة:

1. الطاقة الشمسيّة
2. **الطاقة الكهرومائيّة**
3. طاقة الرياح
4. الطاقة الحرارية الأرضية



الشكل 9-13 محطة توليد الطاقة الكهرومائية بكفاءة 90 %.

فكّر في نهر عند هبوطه مئتي متر ما بين منبعه ومصبّه في البحر. يشكّل منحدر تدفّق الماء مصدرًا للطّاقة. تتطلّب الاستفادة من هذه الطاقة بناء سدّ لرفع منسوب المياه خلف السد (**الشكل 9-13**) ويشكّل ضغط الماء في قاع السدّ قوّة دفع كبيرة للماء لتشغيل توربين يساعد على تدوير المحرّك الكهربائي. كلّما ازداد ارتفاع الماء في السدّ، ازداد معه ضغط الماء وازدادت الطاقة المنتجة.

الطاقة الكهرومائيّة هي الأدنى كلفة لإنتاج الكهرباء في جميع أنحاء العالم، وتبلغ تقريبًا 0.17 ريال قطري لكل كيلو واط ساعة. وعلى هذا، فلا بدّ من توافر المساقط المائيّة للاستفادة منها!

تستخدم الطاقة الكهرومائيّة قوّة سقوط الماء لتشغيل التوربين الذي يدير المحرِّك.

عندما يُخطَّط مشروع رئيس لتوليد الطاقة الكهرومائية، يستدعي في أكثر الأحيان إخلاء القرى والبلدات الواقعة فوق مستوى السد تحسُّبًا للفيضانات. وبمجرد اكتمال المشروع وبدء ملء الخزّان (**الشكل 9-14**)، فإنّ تلك القرى والبلدات ستكون جميعها تحت مستوى سطح الماء. وقد أقامت الصين أكبر سدّ في العالم، وهو سدّ الممرّات الثلاثة (**الشكل 9-15**)، فأوجب ذلك ترحيل 1.3 مليون شخص. تُعدُّ الطاقة الكهرومائيّة، مصدرًا ممتازًا للطاقة المتجدِّدة. غير أنّ محدوديّة توافر الماء العذب و خسارة الأرض الواقعة خلف السدّ بالفيضان يضعف من اختياراتنا للأماكن المناسبة لبناء السدود.

الشكل 9-14 خزّان السدّ.

الشكل 9-15 سدّ الممرات الثلاثة.

طاقة الرياح

تشمل مصادر الطاقة المتجدّدة:

1. الطاقة الشمسيّة
2. الطاقة الكهرومائيّة
3. **طاقة الرياح**
4. الطاقة الحرارية الأرضية

الشكل 9-16 مولِّد طاقة كهربائية بوساطة الرياح.

تستخدم توربينات الرياح (**الشكل 9-16**) طاقة الهواء المتحرِّك لتشغيل المحرِّك الكهربائي.

تتمتَّع الرياح بميزة إضافية، فهي مفيدة في المواقع البعيدة. إنَّ متوسِّط سرعة الرياح في دولة قطر، هو 4.4 m/s، يجعل مولّدات الرياح الكهربائية الصغيرة المستخدمة ذات كفاءة عالية تنافس توربينات الغاز الحاليّة

يمكن تسخير طاقة الرياح باستخدام توربينات الرياح ذات المحور الأفقي (HAWT) التقليدية، وهي ذات كفاءة عالية، مع وجوب توجيهها نحو الرياح: تُثبَّت على أعمدة طويلة للاستفادة من سرعات الرياح الأعلى في المرتفعات وإعطاء شفرات التوربين فضاء أوسع للحركة، إلّا أن ذلك يستلزم تكاليف إضافية، ويزيد من الخطر في أثناء الصيانة الروتينية لها.

بالمقابل، فإن استخدام توربينات الرياح ذات المحور الرأسي (VAWT) الأقلّ كفاءة (**الشكل 9-17**) يُنتِج في الواقع كفاءة إجمالية أعلى، حيث لا تُفقد أية طاقة عندما يتغيّر اتجاه الرياح، وتكون المُعدّات فيها أقرب إلى الأرض، فتسهل صيانتها.

لكنْ، يجب أن تبدأ توربينات الرياح ذات المحور الرأسي عملها بوساطة محرِّك؛ ثم إنَّ بناءها أسهل وأكثر أمانًا، وتتعامل مع الرياح المضطربة بكفاءة أكبر كثيرًا من توربينات الرياح ذات المحور الأفقي، وتسمح التصميمات الإبداعية لها بحركات فنية وعملية.

الشكل 9-17 توربينات الرياح ذات المحور الرأسي باستخدام كل من الأجنحة وتصميم سافينوس الشائع.

الطاقة الحرارية الأرضية

الشكل 9-18 نافورة ماء حارّ.

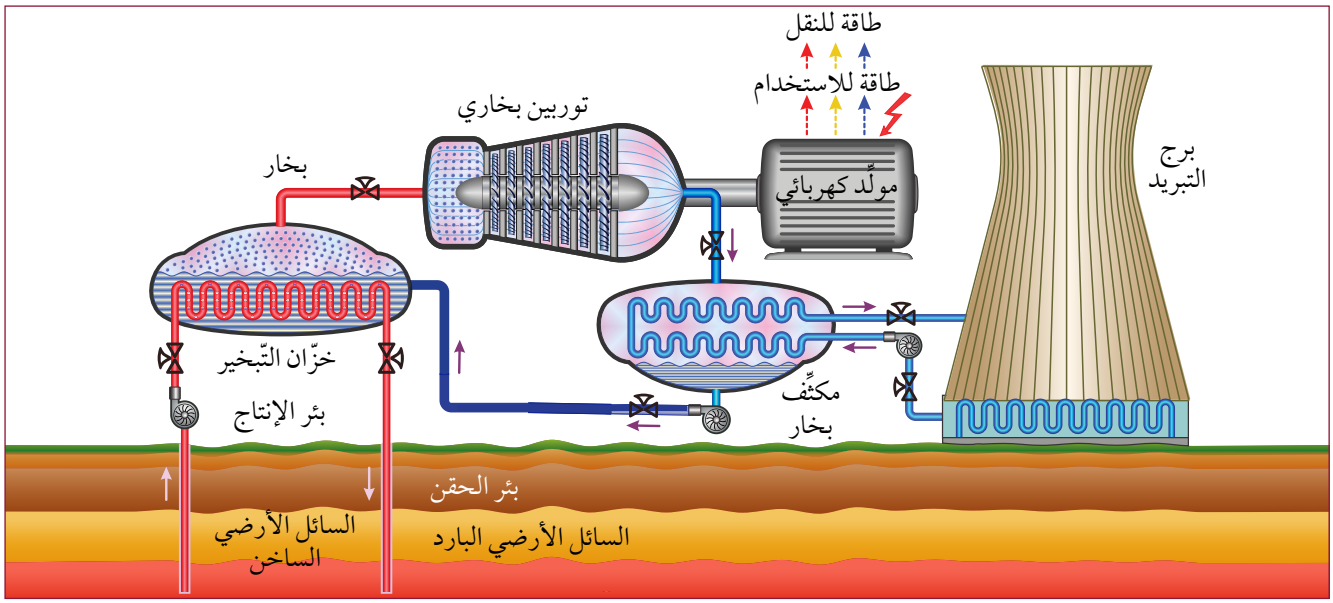
تشمل مصادر الطاقة المتجدّدة:

1. الطاقة الشمسيّة
2. الطاقة الكهرومائيّة
3. طاقة الرياح
4. **الطاقة الحرارية الأرضية**

تستخدم الطاقة الحرارية الأرضية المُتجدّدة حرارة باطن الأرض في الأماكن التي تكون فيها هذه الحرارة قريبة من سطح الأرض، يمكن لهذه الطاقة أن تُنتِج الينابيع الحارّة ونوافير المياه الساخنة (**الشكل 9-18**).

إنَّ كلفة تشغيل محطة الطاقة الحرارية الأرضية مرتفعة؛ لكن التكنولوجيا تمكّنت من خفضها، فأصبح إنتاج تلك الطاقة أكثر سهولة. هناك ثلاثة أنواع من التقنيات لاستخراج الطاقة:

- **محطّة الطاقة** بالبخار الجاف التي تعمل بضخّ البخار الطبيعي من باطن الأرض عبر المنافذ المتوافرة، وتوجيهها مباشرة بأنابيب لتشغيل توربينات توليد الكهرباء للأغراض السكنية والصناعية.
- **محطة الطاقة** بالتبخير التي تسحب السوائل الحرارية الأرضية المرتفعة الضغط من آبار عميقة، وتستخدمها في تحويل الماء إلى بخار. (**الشكل 9-19**)، ثم يقوم البخار بتحريك التوربينات، ثم يصار إلى تبريده بعد ذلك باستخدام الطرائق التقليدية.



الشكل 9-19 محطة توليد الطاقة الحرارية الأرضية متّصلة بتوربين بخاري.

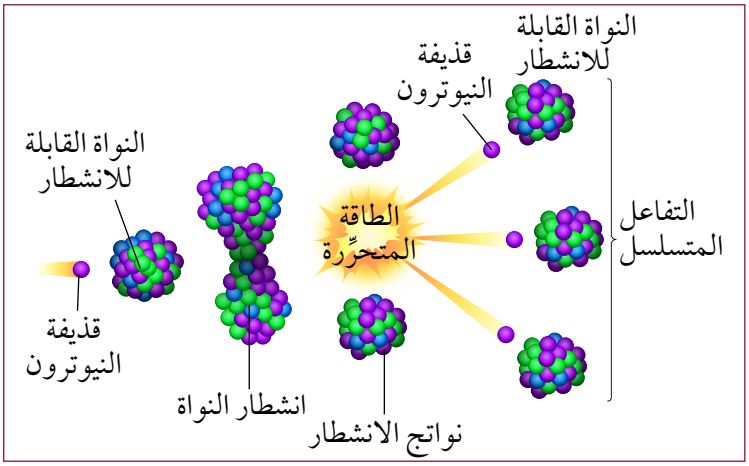
- **محطّة الدائرة المزدوجة** التي يُستخدم فيها سائل ذو درجة غليان أدنى كثيرًا من الماء لإنتاج بخار، لذلك، فإن السائل الحراري الأرضي لا يحتاج إلى أن يكون ساخنًا جدًّا؛ وتُستخدم الدائرة المزدوجة في كثير من الأحيان بتكاليف مماثلة للوقود الأحفوري. لذلك، تُعتبر تلك المحطات حلًّا ملائمًا لمشكلة الاحتباس الحراري العالمي.

الطاقة النوويّة

تشمل مصادر الطاقة غير المتجدّدة:

1. **الطاقة النوويّة**
2. الوقود الأحفوري

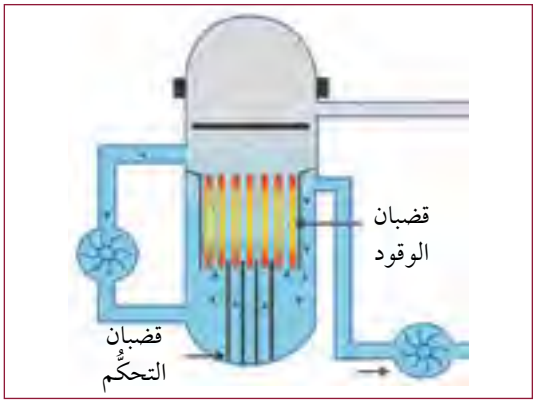
بعض العناصر المشعّة مثل اليورانيوم، تطلق كميّة هائلة من الطاقة عند انشطارها إلى عناصر أخفّ في عمليّة نسمِّيها **الانشطار النووي Nuclear fission**.



الشكل 9-20 انشطار اليورانيوم إلى أجزاء أصغر ونيوترونات وطاقة.

يوضِّح **الشكل 9-20** عملية الانشطار النووي الذي تتحرّر فيه الطاقة منتجةً المزيد من النيوترونات.

- تنشطر ذرّات اليورانيوم في المفاعل منتجة 2-3 نيوترونات. تستمر النيوترونات، وفق شروط التفاعل، في إحداث مزيد من تفاعلات الانشطار في ما يسمى «**التفاعُل المُتسلسل**».
- في المفاعلات النووية نلجأ لاستخدام قضبان الكادميوم التي لها القدرة على امتصاص النيوترونات لإبطاء التفاعل المتسلسل أو إيقافه.
- عندما تُسحب قضبان التحكُّم ببطء من بين قضبان الوقود (اليورانيوم) يبدأ التفاعُل المتسلسل، حيث يحدث عدد محدود جدًّا من الانشطارات (**الشكل 9-12**)، وتعمل الطاقة الناتجة على تحويل بعض الماء إلى بخارٍ يعمل على تدوير توربين بُخاري.
- يُكثِّف البخار المنطلق من التوربين مرّة أخرى إلى ماء في أبراج تبريد ضخم، فيتدفق الماء في عودته إلى قلب المفاعل، ليبدأ دورة جديدة.

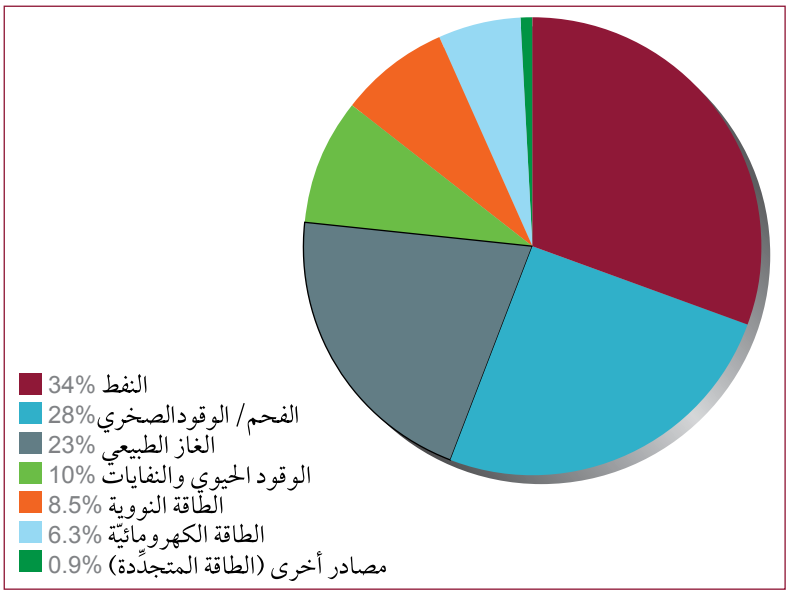


الشكل 9-21 مخطَّط بسيط لمُفاعِل يستخدم لغلي الماء.

- الطاقة النووية هي طاقة غير متجدّدة. وعلى الرغم من الحوادث التي يتمّ تضخيمها إعلاميًّا، فإن للطاقة النووية سجلًّا أكثر أمانًا من أيّ مصدر آخر للطاقة، ولها أعلى كثافة طاقة؛ بالتالي، فإنَّ الطاقة النووية خيار مهمٌّ للاستدامة، وبديل خالٍ من الكربون يكفي لمدى طويل. ولقد تقدَّمت تكنولوجيا المُفاعِلات النووية بشكل كبير، فأصبحت أكثر أمانًا، وأضحت تصاميمها أكثر كفاءة وجاهزية للاختبار.

الوقود الأحفوري

يمثّل الوقود الأحفوري 85% من مصادر الطاقة المُستخدَمة في العالم (**الشكل 9-22**). وهو من المصادر غير المتجدِّدة، ويُسهم بنسبة 6% من الاقتصاد العالمي؛ وتكتمل صورة الطاقة في العالم منذ الثورة الصناعية في القرنين الثامن عشر والتاسع عشر، إذا علمنا أن صناعات بأكملها تعتمد على الوقود الأحفوري.



الشكل 9-22 الطاقة المستخدمة في العالم حسب النوع.

والفحم الحجري هو الوقود الأحفوري الأكثر وفرة على هذا الكوكب، يستخرج من باطن الأرض بآلات ضخمة، وينقل بعد ذلك إلى محطة توليد الكهرباء ويُعالج ويُحرق ويُزال الرماد عنه (**الشكل 9-23**). وعلى هذا، فلا بدّ لكل الصناعات المعنية من مواكبة الطلب العالمي على الطاقة.

الشكل 9-23 أعمال الحفر والنقل والمعالجة والتخلّص من نفايات الفحم.

يقع النفط والغاز الطبيعي عميقًا في الأرض بين طبقات الصخور. وقد حُفرت آبار النفط الأولى بوساطة أعمدة من الخيزران في الصين في العام 347 م وكان عمقها 240 m. كان محمد بن زكريا الرازي أول من قام بتقطير النفط في القرن التاسع. وقد وصلت تلك العملية إلى أوروبا الغربية عبر الأندلس (دولة إسبانيا الإسلامية) في القرن الثاني عشر. تستخدم منصّات النفط الحديثة (**الشكل 9-24**) الحفر الأفقي للحصول على خزانات احتياطية للنفط وتقليل الأثر على سطح الأرض. وقد سجّلت قطر الرقم القياسي، في فترة من الزمن، لأعمق بئر نفطية في العالم بلغ عمقها 12,289 m.

لا يزال النفط هو المعيار المستخدم لمقارنته بالطاقات الأخرى. ذلك أن كل لتر من البنزين يعطي 9.32 kW، وكل لتر من الديزل يعطي 10.64 kW؛ هذا يعني ان للنفط كثافة طاقة مرتفعة، ويمكن حساب كلفة كل كيلوواط من الغاز بقسمة السعر الحالي للتر الغاز على الطاقة الناتجة منه.

الشكل 9-24 منصة حفر.

سلبيات أنواع الطاقة

الأمان: معلوم أن لكلّ صناعة مخاطر. ويمكن قياس هذه المخاطر في صناعة الطاقة بدلالة معدّل الوفيات لكل تيراواط ساعة (pTWh). يبيّن **الجدول 9-2** أدناه عدد ضحايا العمل بمصادر الطاقة أو نتيجة استخدامها مقارنةً بالكمية الإجمالية للطاقة المتولّدة. وقد أُدرِجت بعض التفاصيل حول معدّلات الوفيات.

الجدول 9-2 متوسط معدل الوفيات في العالم لكل تيرا واط ساعة.

مصدر الطاقة	معدَّل الوفيات (الوفيات لكل TWh)
الفحم	100,000
النفط	36,000
الوقود الحيوي/ الكتلة الحيوية	24,000
الغاز الطبيعي	4,000
الطاقة الكهرومائيّة	1,400
الطاقة الشمسية (أعلى السطح)	440
طاقة الرياح	150
الطاقة النووية	90

1. الفحم هو أكبر مصدر للطاقة المستخدمة في جميع أنحاء العالم، وهو أكثرها فتكًا أيضًا، ذلك أن حوادث تعدين الفحم وصعوبات التنفُّس لدى الأشخاص الذين يعيشون حول مصانع الفحم تمثِّل معظم الوفيات.
2. تحتوي إحصائيات الطاقة الكهرومائيّة على وفيات نتيجة الانهيارات في خزّان السد، ومن الأمثلة على ذلك انهيار خزّان سد بانزياو (الصين) في العام 1975 والذي تسبَّب في وفاة 230,000 شخص بسبب الفيضانات.
3. كانت الوفيات في صناعة الطاقة الشمسية بشكل أساسي نتيجة سقوط الأشخاص الذين يقومون بتركيب المعدات أو صيانتها (المشكلة نفسها في طاقة الرياح).
4. سُجِّلت 90 حالة وفاة فقط في تاريخ الطاقة النووية في جميع أنحاء العالم نتيجة الحوادث. فعلى سبيل المثال نُسِبَت حالة وفاة واحدة فقط لكارثة فوكوشيما دايتشي النووية التي وقعت في اليابان في العام 2011.

الغازات الدفيئة: ينُتج الوقود الأحفوري غازات دفيئة مسؤولة عن تسريع تغيّر المناخ.

الموقع: هناك كثير من مصادر الطاقة لا يمكن استخدامها في كل مكان، فالطاقة الكهرومائيّة لها شروط جيولوجية وبيئية تجعلها غير مفيدة في دولة قطر. أما الطاقة الشمسية فهي ليست اقتصادية في المناطق القصوى لدوائر العرض الشمالية والجنوبية، في الوقت الذي أصبحت فيه مثالية في دولة قطر.

محطة الطاقة غير القابلة للتوجيه والتحكُّم: تعتمد التكنولوجيا في هذه المحطات على البيئة، ولا يُمكن السيطرة عليها لضبط ارتفاع الطلب. ذلك أن محطات الطاقة الشمسية وطاقة الرياح هي محطات طاقة غير قابلة للتوجيه والتحكّم، وتستدعي في العادة تعزيزها بوساطة البطّاريات.

كلفة بناء محطة للطاقة

يكون المقياس الأهم عند بناء محطّة طاقة هو **كلفة كل كيلو واط** (**الجدول 9-3**). فإذا كانت كلفة كل كيلو واط لمحطة التوربينات الغازية ذات الدورة المُركَّبة 3,640 ريالًا قطريًّا، فإنّ بناء محطة 20 kW ستكون كلفته 20 × 3,640 = 72,800 ريال قطري.

قد تختلف هذه القيم اختلافًا كبيرًا بحسب مكان إنشاء المحطة؛ ذلك أنَّ التكاليف التأسيسية تعتمد على أجور العمال ومدى بُعْد الإمدادات عن موقع البناء، بالإضافة إلى توافر الطرق والطاقة في موقع البناء، لا سيّما وأن الكهرباء يجب نقلها عبر أسلاك عالية الجهد. لذلك، فإن تحديد موقع محطّة الطاقة يعدّ أمرًا اقتصاديًّا.

التكنولوجيا	تكلفة الكيلو واط ريال قطري
الغاز/ النفط	3,640
الرياح البرية	5,824
الرياح البحرية	23,660
الطاقة الشمسية الكهروضوئية (الثابتة)	3,858
الطاقة الشمسية الكهروضوئية (المتحركة)	4,113
تخزين البطاريات	7,280
الطاقة الكهرومائيّة	9,755
الطاقة الحرارية الأرضية	10,192
الفحم النظيف	13,104
الطاقة النووية	21,840
خلايا الوقود	26,208

الجدول 9-3 تكلفة الكيلوواط (ر.ق).

وهناك تكاليف إضافية قد تستجدّ عند استخدام تكنولوجيا محطّات الطاقة المتجددة غير القابلة للتوجيه والتحكُّم، حيث ستكون بحاجة إلى مرفق لتخزين بطاريات (**الشكل 9-25**) لتكون بديلًا لطاقة المصدر المتجدّد، سواء كانت هذه الطاقة هي الشمس الساطعة أو الرِّياح بدرجاتها... في جميع الحالات، يكون وقود تشغيل المحطة مجانيًّا، وتبقى التكاليف الإجمالية تنافسية. المقياس المشترك الآخر هو **كلفة كل كيلو واط ساعة** النهائية، وهذا هو ثمن وحدة استهلاك الكهرباء عند بدء تشغيل المحطة. هناك طرائق كثيرة لضمان انخفاض سعر كل كيلو واط ساعة حيث تدعم حكومات كثيرة كلفة الطاقة، وقد تؤخذ الكلفة الأصلية للمواد في حسبان الدعم؛ على سبيل المثال، فإن الخلايا الكهروضوئية الجديدة قد تنتج الكهرباء بسعر 0.15 ريالًا قطريًّا لكل كيلو واط ساعة مع إمكانية شراء الألواح «المجدّدة» بمبلغ 0.03 ريال قطري لكل كيلو واط ساعة.

الشكل 9-25 شاحن شمسي لهاتف.

نشاط a2-9 إيجابيات محطّات الطاقة وسلبياتها

تحقّق، باستخدام شبكة الإنترنت، من جميع الفئات التي تنطبق على كل مصدر طاقة.

املأ الجدول بالإجابة على الأسئلة:

- هل هي متجددة؟ هل يمكن وضعها في أي مكان؟ هل تولِّد الغازات الدفيئة؟
- ما هو معدَّل الوفيات المتعلّق بها؟ هل تُعدُّ الكلفة الرأسمالية الأولية لبناء محطة توليد الكهرباء منها منخفضة؟
- هل يمكن أن يُستخدم نوع الطاقة في دولة قطر؟

	متجدّدة	في أي مكان	الغازات الدفيئة	آمنة الإنتاج	تكلفة رأس المال منخفضة	صالحة للاستخدام في قطر
الفحم						
الطاقة الحرارية الأرضية						
الطاقة الكهرومائيّة						
الغاز الطبيعي						
الطاقة النووية						
النفط						
الطاقة الشمسية						
طاقة الرياح						

التقنيات	متوسِّط تكلفة كل كيلو واط (ريال قطري)
حرق الفحم الحجري القديم	2,730
دورة الغاز الطبيعي المُركّبة	3,640
توربينات الرياح	5,824
الطاقة النووية	21,840
الطاقة الشمسية الكهروضوئية	3,850
الطاقة الكهرومائية	9,755

المشروع

1. اعمل ضمن مجموعة صغيرة، واختر واحدًا من مصادر الطاقة.
2. باستخدام الأرقام المقدَّمة لمتوسِّط كلفة كل كيلو واط، احسب كلفة محطة طاقة 200 kW باستخدام التقنية التي اخترتها.
3. ابحث في الاعتبارات الأخرى وفي التكاليف الرأسمالية لتقويم تكنولوجيا الطاقة الخاصة بك كونها قابلة للتنفيذ ومفيدة لدولة قَطَر.
4. اكتب تقريرًا واعرضه على زملائك في الصف لمناقشة خيارات الطاقة المختلفة.

إعادة التدوير وحفظ الطاقة

قد يكون أسهل مصدر للطاقة المتاحة هو إعادة استخدام ما يتم توليده فعلًا. إنَّ إعادة التدوير هي أكثر من مجرَّد منعِ التلوُّث، بل إنَّ إعادة التدوير هي تجميع للطاقة أيضًا.

وتستعيد إعادة تدوير الألومنيوم ما يصل إلى 95 % من الطاقة التي نحتاج إليها لإنتاج المعدن. ويُستعاد قدر كبير من الطاقة والموارد، من خلال إعادة تدوير جميع الفلزّات. يمكن فصل الفلزّ بسهولة، وهو أمر حيوي لإعادة التدوير باستخدام المغناطيسية والاختلافات في الكثافة.

يمكن أن تستعيد إعادة تدوير البلاستيك 88 % من الطاقة الإنتاجية. لكنْ، ولسوء الحظ، يُصرَف قدر كبير من الطاقة في فرز البلاستيك، وهذا يجعل إعادة تدويره غير اقتصادية في كثير من الأحيان.

الشكل 9-26 قوارير بلاستيكية لإعادة التدوير.

تصرّ الكثير من أنظمة إعادة التدوير على الالتزام الجاد بفصل الأنواع المختلفة من البلاستيك (**الشكل 9-26**). يمكن للشركات تعويض بعض الكلفة الإضافية عن طريق فرض رسوم على المُنتَجات المصنوعة من البلاستيك «المعاد تدويره» مع مراعاة المخاوف العامة.

تستعيد إعادة تدوير الزجاج ما بين 25-30 % من الطاقة المُستهلَكة مقارنةً بإنتاجه من المواد الخام، فطنٌّ واحد من الزجاج المُعاد تدويره يوفِّر 42 kWh.

تستعيد بطاريات إعادة التدوير الكثير من الطاقة التي كانت تُستخدم لإنتاجها من المواد الخامّ. وتسهم إعادة تدوير بطاريات الرصاص الحمضية في إعادة استخدام الرصاص وتحويل الحمض إلى منتجات أخرى. يجب إعادة تدوير الأنواع الأخرى من البطاريات، لأنها قد تسرّب السموم إلى البيئة إذا لم يتمَّ التخلُّص منها بشكل آمن؛ ويجري البحث اليوم عن طرائق آمنة واقتصادية لإعادة تدوير تلك البطاريات.

- يوفِّر طن واحد من ورق الصحف المُعاد تدويره 601 kWh من الطاقة.
- توفِّر إعادة تدوير طن واحد من ورق المكاتب 17 شجرة و7000 جالون من المياه، و11 برميلًا من النفط، و15000 kWh من الطاقة.
- إنَّ تصنيع طن واحد من ورق المكتب باستخدام مخزون الورق المعاد تدويره يمكن أن يوفّر ما بين 3000 - 4000 kWh.

الشكل 9-27 لفائف الكرتون المجمّعة لإعادة التدوير.

- يمكن أن توفِّر إعادة تدوير طن واحد من الورق المقوّى 390 kWh من الكهرباء (**الشكل 9-27**). في كثير من الحالات تكون إعادة التدوير في مكانها أقل كلفة من نقلها لمرافق الاستصلاح لتدويرها.

نشاط b2-9 مشروع البحث: مقارنة بين الطاقة المتجدّدة والطاقة غير المتجدّدة

مُهمّات البحث

1. أنشئ جدولًا بالمصادر المختلفة للطاقة المتجدِّدة.
2. حدِّد إيجابيات كل مصدر للطاقة.
3. حدِّد سلبيات كل مصدر للطاقة.
4. أنشئ جدولًا بالمصادر المختلفة للطاقة غير المتجدِّدة.
5. حدِّد إيجابيات كل مصدر للطاقة.
6. حدِّد سلبيات كل مصدر للطاقة.
7. هناك عدد من مصادر الطاقة الناشئة في مرحلة البحث والاختبار. ابحث عن واحد من تلك المصادر، وحدِّد إيجابيات هذا المصدر الجديد وسلبياته.
8. اختر مصدرًا واحدًا للطاقة، واشرح سبب اعتباره الخيار «الأفضل» الذي يمكن استخدامه في جميع أنحاء العالم.

الأسئلة

a. الطاقة النووية لها الكثافة الأعلى بين مصادر الطاقة المستخدمة، وهي لا تسهم في إنتاج الغازات الدفيئة في البيئة، وجميع نواتج النفايات تكون في منطقة محلية صغيرة. ما هي بعض المخاوف الأخرى التي تمنع هذا المصدر ليكون على رأس قائمة «الأفضل» للجميع؟

b. يستخدم الوقود الحيوي في عدد من البلدان، لكنه مثير للجدل، بخاصة في الأماكن التي ينتشر فيها الجوع. ما أسباب ذلك الجدل؟

c. قم بإجراء بحث عن معنى تعبير «الحركة الدائمة». ما هي الآلة ذات الحركة الدائمة؟ ولماذا لا يمكننا بناؤها؟

d. لِمَ لا نستطيع إنتاج الحركة الدائمة؟

ماذا إذا؟

إذا أمكنك بناء مصدر طاقة «مثالي» من دون العودة إلى قوانين الفيزياء أو الكيمياء، فما هو شكل مصدر الطاقة ذاك؟ وكيف يمكن استخدامه؟

تقويم الدرس 9-2

1. أية تكنولوجيا تجميع للطاقة الشمسية تتطلَّب توربينًا بخاريًّا؟
   a. تسخين المياه بالطاقة الشمسية.
   b. محطّة الطاقة الشمسية الكهروضوئية.
   c. التدفئة المنزلية بالطاقة الشمسية.
   d. الطاقة الشمسية المركَّزة.
2. ما تكنولوجيا التجميع الشمسي التي تُحوِّل ضوء الشمس مباشرة إلى كهرباء؟
   a. تسخين المياه بالطاقة الشمسية.
   b. محطة الطاقة الشمسية الكهروضوئية.
   c. التدفئة المنزلية بالطاقة الشمسية.
   d. الطاقة الشمسية المركَّزة.
3. أيُّ نوع من محطَّات توليد الكهرباء لا يحتاج إلى مصدر تبريد، مثل برج التبريد؟
   a. الطاقة النووية.
   b. محطة الطاقة بالتبخير.
   c. محطة الطاقة الكهرومائيّة.
   d. الطاقة الشمسية المُركَّزة.
4. لماذا تُعدُّ الطاقة الشمسية مصدرًا للطاقة المُتجدِّدة؟
5. ما الذي ينتج الطاقة في محطة الطاقة الكهرومائيّة؟
6. لماذا يُعدُّ مصباح LED أعلى كفاءة من المصباح المشابه له، والذي يطلق كميّة الإضاءة نفسها؟
7. ما سبب طاقة الرياح؟
8. ما سبب الطاقة الحرارية الأرضية؟
9. ما الذي يُشترط لبدء تفاعل الانشطار النووي؟
10. ما القيد الرئيس لاستخدام الطاقة الشمسية؟
11. بناءً على معدل الوفيات لكل تيرا واط ساعة، أيُّ مصدر من مصادر الطاقة هو الأكثر أمانًا؟
12. إذا كانت تكلفة كل كيلو واط من طاقة التوربينات البخارية 3716 ريالًا قطريًّا، فما تكلفة استهلاك منشأة لـ 2 MW؟

تقويم الدرس 9-2

13. أيّة محطة لتوليد الطاقة سيكون لها أعلى سعر لكل كيلو واط في دولة قطر؟

a. النفط

b. المحطّة الكهرومائيّة.

c. محطّة الطاقة الشمسية الكهروضوئية.

d. محطّة الغاز الطبيعي.

14. تدعم دولة قطر المزيد من مصادر الطاقة المُتجدِّدة التي يستخدمها المواطنون. حدِّد المصادر المُتجدِّدة التي ستكون مثالية لتحقيق أهداف أصحابها، والمصادر التي لن تكون ناجحة. وضّح إجاباتك.

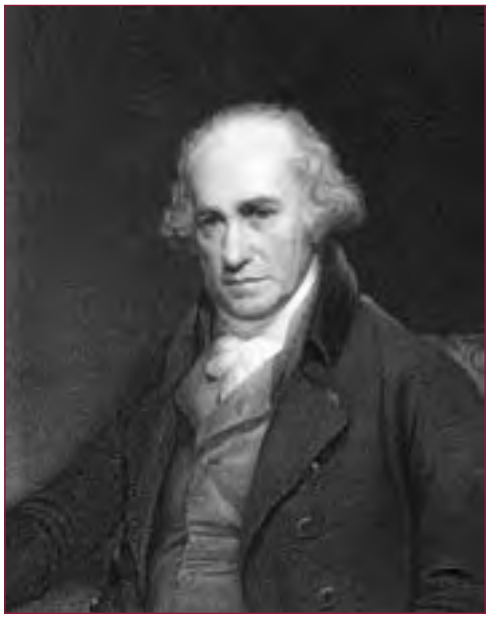
الطاقة	ناجحة أم غير ناجحة / الأسباب
الطاقة الشمسية	
طاقة الرياح	
الطاقة الحرارية الأرضية	
الطاقة الكهرومائية	

15. وجد باحث أنّ الطاقة الموجَّهة إلى توربين الرياح تبلغ 3,768,000 J إذا كانت سرعة الرياح 4 m/s، لتمرّ عبر دائرة قطرها 50 m في دقيقة واحدة. ينتج التوربين 942,000 J من الطاقة الكهربائيّة. احسب كفاءة التوربين لهذه السرعة.

ملاحظة: تكون توربينات الرياح أقلُّ كفاءة عند السرعات المتدنّية.

العلم والعلماء

جيمس واط James Watt: 1736-1819

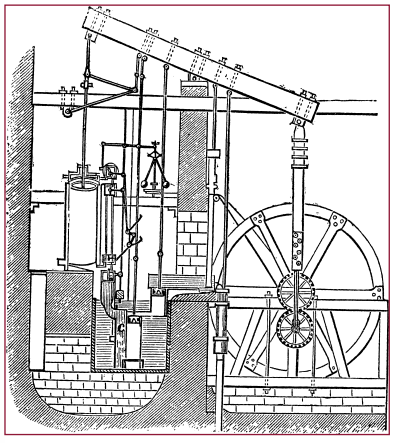


الشكل 9-28 جيمس واط.

كان جيمس واط (**الشكل 9-28**) حرفيًا ماهرًا في العمل اليدوي. وقد وجد وظيفةً في حياته المبكرة في إصلاح الآلات الرياضيّة في غلاسكو، وهي باسكوتلندا. ثم عُرض عليه، قبل إنهائه فترة التدريب المهنيّة، فرصة العمل على بعض المُعدّات في جامعة غلاسكو. كُتِب له النجاح إثر عرضٍ لتجهيز ورشة في الجامعة التي يعمل فيها فضلًا عن عدد من الأدوات والآلات، بما فيها الإسطرلاب التام الذي اخترعه محمد بن موسى الخوارزمي منذ أكثر من ألف عام.

في يوم مصيري من العام 1763 أُحضِرَ المحرِّك البخاريّ لنيوكومان بغية إصلاحه؛ كان المحرِّك البخاري آنذاك يُعدُّ تقنية مُتقدمة، فقد كانت تلك الآلة تستخدم البخار في الأسطوانة لتدفع المكبس نحو الأعلى؛ عندها تبرد الأسطوانة مسبِّبةً تكثّفًا للبخار، الأمر الذي يسمح لضغط الهواء بسحب المكبس والعودة به نحو الأسفل. وعلى الرغم من استخدام هذه التقنية على مدى 50 عامًا في ضخ الماء، فقد كان واط أول من اكتشف عيب التصميم ووجد طريقة لإصلاحه: بدلاً من تبريد الأسطوانة كلها، والتي كان من المطلوب إعادة تسخينها، صمّم واط طريقة لدفع البخار إلى غرفة تبريد مُنفصلة. وقد ضاعف ذلك من كفاءة المُحرّك البخاري ليُصبح أساسًا لجميع التوربينات البخاريّة الحديثة.

ابتدع واط أيضًا طريقة لتحويل حركة صعود المكبس وهبوطه إلى حركة دائريّة لتدوير عجلة. وبتعليقه على دولاب الموازنة الثقيل الذي يمكن أن يُستخدم لتنظيم عمل الآلات وقيادة القطارات والقوارب، أطلق «مُحرِّك واط البخاري» الثورة الصناعية. وباستخدام بخار مرتفع الضغط والمزيد من المكابس، ثبّت واط مكانته في التاريخ. ويجري اليوم اختبار تصاميم واط الأصليّة طريقةً لزيادة كفاءة محطات الطاقة التي تُنتج «حرارة ضائعة».



الشكل 9-29 محرِّك واط البخاري مع الحركة الدورانية.

الوحدة 9

مراجعة الوحدة

الدرس 9-1 الطاقة

- وحدة الطاقة هي الجول **Joule**.
- **الطاقة المُتجدِّدة Renewable** تتضمّن مصادر تتجدّد بشكل طبيعي مثل ضوء الشمس، أو تستعيد نموّها في فترة لا تتعدّى عشر سنوات ولا يمكن استنفادها بالاستهلاك المتكرر.
- **الطاقة غير المُتجدِّدة Non-renewable energy** تتضمّن «**الوقود الأحفوري Fossil fuels**»، مثل الفحم والنفط والغاز لأنّ إعادة إنتاجها في الأرض تتطلّب ملايين السنين. وتشمل اليورانيوم المتوافر بكميّة محدودة لا يمكن التعويض عنها.
- **التوربين Turbine** آلة لتحويل طاقة السائل المتدفّق إلى حركة دورانيّة.
- تستخدم **التوربينات الغازية ذات الدورة المركّبة Combined cycle gas turbine** الطاقة التي ينتجها مصدر حراري بفعالية أكبر، عبر مرحلتين: الاولى تدير المحرّك الأوّل عبر التوربين الغازي، والثانية تستخدم حرارة البخار الناتج من أنبوب غلي الماء لتدوير المحرّك الثاني.

الدرس 9-2 تكاليف إنتاج الطاقة

- **القُدرة Power** هي معدّل استهلاك الطاقة أو تحوُّلها في وحدة زمنيّة وتقاس بوحدة جول لكل ثانية Joule/s (واط).
- «**قانون حفظ الطاقة» Law of conservation of energy** ينص على أن الطاقة يمكن أن تتحوّل، ولكن لا يمكن فناءها أو استحداثها.
- **الكفاءة Efficiency** تصف نسبة الطاقة المفيدة الناتجة إلى الطاقة المدخَلة للعمليّات.
- **الكيلو واط ساعة kilowatt-hour** هي وحدة قياس للطاقة الكهربائية المُستخدمة.
- **الطاقة الشمسيّة** تستخدم ضوء الشمس لإنتاج الكهرباء مباشرة بواسطة **الخلايا الشمسيّة الكهروضوئيّة Photovoltaic cells (PV)** أو لرفع حرارة البخار لتدوير التوربين.
- **طاقة الرياح Wind Energy** يتم اكتساب طاقة الرياح باستخدام توربينات الرياح لتدوير المحرِّك.
- **الطاقة الحرارية الأرضية Geothermal** تستخدم مصادر الحرارة من الأرض.
- **الطاقة الكهرومائية Hydroelectric** تستخدم طاقة المياه المنحدرة.
- **الطاقة النووية Nuclear energy** تستخدم التفاعلات النوويّة مصدرًا أوليّاً للطاقة المستمدّة من اليورانيوم في المحطة النووية؛ ويمكن **لقضبان التحكّم Control rods** أن تضبط الطاقة الناتجة بامتصاصها للنيوترونات.
- **الوقود الأحفوري Fossil fuels** غير المُتجدّد يؤمّن 85 % من استخدامات العالم من الطاقة.
- **حساب التكلفة لكل كيلو واط Cost per kW** يتضمَّن، بحسب الموقع، تقديرات كلفة البناء.

اختيار من متعدِّد

1. أيّ من الطاقات المتجدِّدة الآتية تأتي من الشمس؟

a. الرياح
b. الفحم الحجري
c. الخشب
d. النووية

2. ما وحدة قياس القدرة؟

a. الواط
b. الجول
c. المتر
d. النيوتن

3. أيّ من أشكال الطاقة غير المتجددة لا يسبّب توليد الغازات الدفيئة؟

a. النفط
b. الفحم الحجري
c. النووية
d. الغاز الطبيعي.

4. تحوّل النباتات طاقة ضوء الشمس إلى كربوهيدرات. أيُّ من المصطلحات الآتية تصف هذا التّحوّل؟

a. التقطير
b. التحوّل الكهرو ضوئي.
c. التحوّل الهيدروكربوني.
d. البناء الضوئي

5. أيٌّ مما يأتي يتضمّن تسلسلاً صحيحاً من مصدر إنتاج الطاقة الأوّل إلى الطاقة المستخدمة؟

a. الشمس، النبات، النفط ، البترول.
b. النبات، الشمس، البترول، النفط .
c. الشمس، النبات، البترول، النفط .
d. النفط، البترول، الشمس، النبات.

6. ما الشيء المُشترك بين مولِّدات الكهرباء جميعها؟

a. الطاقة الشمسيّة.
b. التوربينات.
c. المجال المغناطيسي.
d. محرّك البنزين.

7. ما العاملان المطلوبان لتشغيل التوربينات؟

a. البرودة والضغط المُنخفض.
b. الحرارة والضغط المرتفع.
c. الشمس والضغط المرتفع.
d. الضغط المرتفع والضغط المنخفض.

8. أيّ من تقنيات التجميع الشمسيّة تحتاج إلى التوربينات البخارية؟

a. الكهروضوئية.
b. تسخين الماء الشمسي.
c. تدفئة المنزل الشمسية.
d. الطاقة الشمسية المُكثَّفة.

9. ما نوع محطة الطاقة التي لا تحتاج إلى مصدر تبريد، مثل برج التبريد؟

a. الطاقة النووية
b. محطة التبخير.
c. الطاقة الكهرومائيّة.
d. الطاقة الشمسية المُكثّفة.

10. ما المشكلة الرئيسة في إعادة تدوير البلاستيك؟

a. لا يمكن إعادة استخدامه.
b. فيه الكثير من القوارير البلاستيكية.
c. يحتاج إلى الكثير من الطاقة لتصنيفه.
d. عدم اهتمام الناس بإعادة التدوير.

11. أيّ مصدر لمحطة الطاقة لن يكون عمليًا في دولة قطر؟

a. النفط.
b. الكهرومائيّة.
c. الكهروضوئية PV.
d. الرياح البحرية.

الدرس 9-1 الطاقة

12. ما أهمية التوربينات؟

13. لماذا يُعدّ الفحم الحجري وقودًا أحفوريًّا؟

14. ما هي إحدى سلبيات الطاقة المُتجدِّدة؟

15. يمكن لبندول أن يمتلك 5 J من الطاقة (الأوّلية). حدّد كميّة الحرارة المُتولِّدة منه عندما يتوقّف.

16. قم بإجراء بحث عن فكرة «آلة الحركة الدائمة». لِمَ تُعدُّ آلة الحركة الدائمة مستحيلة؟

17. ما هي إحدى مميزات الطاقة المتجدِّدة التي تختلف فيها عن الوقود الأحفوري؟

18. كثير من الناس يحرقون الخشب كوقود. اشرح إسهام ذلك في إجمالي محتوى الكربون في الغلاف الجوي.

الدرس 9-2 تكاليف إنتاج الطاقة

19. ما نوع الأجهزة الموجودة في منزلك، والتي تستهلك معظم الطاقة؟ فسّر اختيارك.

20. مُستخدمًا العلاقة $P = E/t$، اشرح الفائدة من وجود سيّارة سباق خفيفة الوزن.

21. أحسب الشُّغل الذي يُبذل من مضخة قدرتها 200 W تعمل لمدة 45 s.

22. حدّد الزمن اللازم لمصباح قدرته 100 W في بذل 80 J من الشغل.

23. ما الفرق بين الطاقة والقدرة؟

24. ما القُدرة المستخدمة عند بذل شغل مقداره 250 J في خلال 30 ثانية؟

25. ما قدرة محرِّك يستطيع بذل 25,000 J من الشغل في دقيقة واحدة؟

26. لماذا تستخدم مصابيح LED طاقة أقلّ من المصابيح المتوهِّجة؟

27. آلة، كفاءتها 20 %، تبلغ طاقتها المُدخلة 70 J. ما الشُّغل المُستفاد الذي ستبذله؟

28. كم من الطاقة يستهلك كمبيوتر قدرته 12 W في مدَّة 15 ساعة؟

29. كم من الطاقة يستهلك محرّك قدرته 25 W إذا شُغِّل لمدة ثلاثة أيام؟

30. اشرح مميزات السيارة التي تمتلك معدّلًا من القدرة أعلى من سيّارات أخرى.

31. كيف يمكن استخدام الطاقة الكهرومائيّة لتخزين الطاقة؟

32. ما أهمية السدّ في المحطّة الكهرومائيّة؟

33. حدِّد سببًا رئيسًا يمنع استخدام الطاقة الكهرومائيّة؟

34. ماالشرط اللازم لبدء تفاعُل الانشطار النووي؟

35. ما الوقود المُستخدَم في تفاعُل الانشطار النووي؟

36. ما أهمية الماء في المفاعل النووي؟

37. كيف يمكن لقضبان التحكّم في المفاعل النووي أن تتحكّم فعليًا بالتفاعل؟

38. ما الخطر الرئيس الذي يجعل من مصدر الطاقة الكهرومائيّة هو الثالث من حيث الخطورة؟

39. ما المُتغيِّرات التي يجب أن تؤخذ بالحسبان عند تحديد سعر لكل كيلو واط لمحطة الطاقة؟

40. ما الاختلاف بين لكل (كيلو واط ساعة) و لكل (كيلو واط)؟

41. أعطِ مثالًا على تكلفة عمليّة لمحطة طاقة؟

42. لِمَ تُعدُّ الطاقة الكهرومائيّة تكنولوجيا غير قابلة للتوجيه والتحكّم؟

43. تكلّف سيارتك الكهربائيّة 32,000 QR أكثر من السيارة العادية، لكنك تكون قد وفّرت 4,100 QR كل عام من النفط. ما السبب الآخر الذي يدعوك إلى شراء السيارة الكهربائية؟

44. ما الميّزة الاقتصادية للطاقة الشمسية؟

45. ما المُتغيِّرات الخاصة التي يمكن وضعها بالحسبان عند حساب تكلفة الكهرباء في منطقة نائية؟

46. لِمَ قد تختلف عروض أسعار لكل كيلو واط بين شركتين تُزوِّدان الألواح الشمسيّة؟

47. لِمَ لا يكون السعر هو المعيار الوحيد لاختيار مصدر الطاقة؟

الوحدة 10

الكوارث الطبيعية

Natural Disasters

في هذه الوحدة

- الدرس 10-1: الحرارة GP1108
- الدرس 10-2: أحداث الطقس GP1109
- الدرس 10-3: الزلازل

الوحدة 10

مقدّمة الوحدة

تشير الأدلة الجيولوجية إلى أن الأرض كانت موجودة منذ وقت طويل. في خلال ذلك الوقت، شاركت عدة عوامل في تشكيلها لتكون كما هي عليه اليوم، فقد شارك كلٌّ من البراكين والزلازل والفيضانات والأعاصير والجفاف والتسونامي في إحداث تغييرات مذهلة على سطح الأرض. بالإضافة إلى ذلك كلّه، كان لكل من المطر الخفيف والأمواج وظروف التجمّد، التـأثير نفسه بمرور الوقت في تغيير سطح هذا الكوكب. جميع هذه التغييرات يشترك فيها عاملا الحرارة والجاذبية في إحداثها. ولا يزال عاملا الحرارة والجاذبية، حتى يومنا هذا، موجودَيْن، ولا تزال الأرض تتغير.

إنّنا نبني الأبنية بجانب مصادر الماء، ونُنشئ مدننا على اليابسة، ونزرع محاصيلنا في الحقول المنخفضة الخصبة حيث وفرة الماء، ونعوّل على الظروف المناسبة للاستمرار في عمل ذلك. لكنْ، عندما تتغير هذه الظروف في الطبيعة لتصبح أكثر عنفًا، فإنها توصف بالكارثة.

تختبر هذه الوحدة القوى الأساسية المشاركة في إحداث هذه التغييرات الكارثية. ما الذي يسبّبها؟ وكيف نكون أفضل استعدادًا لمواجهتها والتخفيف من آثارها المدمرة؟

الأنشطة والتجارب

1-10 خلايا الحمل الحراري

2-10 الاستعداد للكوارث

3-10 أضرار الزلزال

الدرس 10-1
الحرارة
Heat

تأمَّل كوب الشاي الذي نشربه: في مرحلة ما، علينا أن نغلي الماء (**الشكل 10-1**) لإعداد ذلك الشاي. إن العوامل التي تساعدك على غلي الماء هي ذاتها التي تسبّب كلًّا من مظاهر الطقس والزلازل والبراكين على الأرض. تلك العوامل هي أكبر بكثير، وتأثيرها بعيد المدى، وإن كانت المبادئ الفيزيائية لهذه العوامل، والعوامل التي أسهمت في غلي الماء لإعداد كوب الشاي، متشابهة.

الشكل 10-1 غلي الماء.

تُغيِّر الحرارةُ الأشياءَ بطرائق مختلفة، تمامًا كما يحدث في غلي الماء، غير أن الحرارة – وهي عنوان هذا الدرس–تغيّر الخصائص الفيزيائية للمادة أوّلًا.

مخرجات التّعلُّم

GP1108.1 يوضّح كيف تتشكّل تيارات الحمل الحراري في الموائع عن طريق حركة المناطق الأكثر سخونة، والأكثر برودة في المائع.

GP1108.2 يصف كيف تتشكّل التيارات البحرية (مثل تيار الخليج) بواسطة الحمل الحراري، وكيف يمكن ارتفاع درجة حرارة مياه المحيطات أن يهدد توازن هذه التيارات.

المفردات

الحمل الحراري	Convection
الضغط	Pressure
الأرصاد الجوية	Meteorology
علم المحيطات	Oceanography
جيولوجي	Geologist
الصفائح التكتونية	Tectonic plates
جهاز رصد الزلازل	Seismograph

التمدّد الحراري

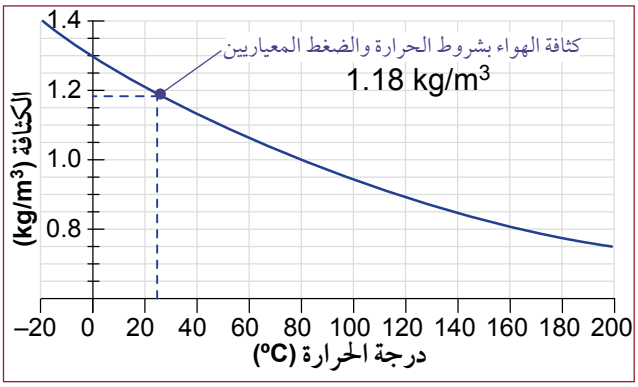
يصف التمدّد الحراري كيف يتغيَّرحجم الموادّ نتيجة التسخين.

عند تعرّض المادة للتسخين، فإن جزيئاتها تتحرك على نحو أسـرع. وكلما ارتفعت درجة الحرارة تطلّبت الجزيئات حيّزًا أكبر، فتتمدَّد المادة. يمكنك مشاهدة تمدّد الماء في محرك السيارة وتمدّد سائل التبريد المتصل بخزّان خاص لاستيعاب هذا التغيّر في الحجم، (**الشكل 10-2**).

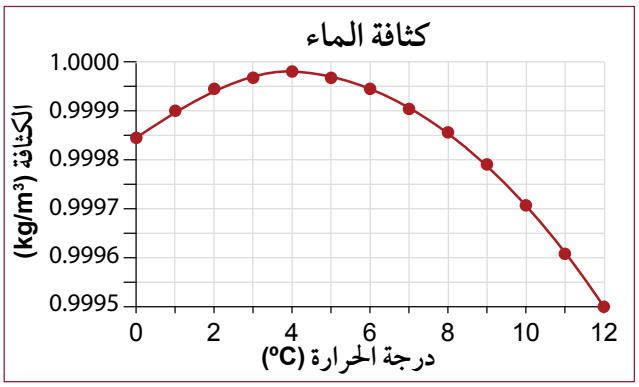
الشكل 10-2 خزّان تمدُّد الماء في السيارة.

تمتص المحيطات ما يقرب من 90 % من زيادة درجة حرارة الأرض، ما يؤدي إلى ارتفاع درجة حرارة الماء وتمدّده، فيرتفع مستوى سطح البحر. ويُسهم ارتفاع مستويات سطح البحر والطاقة الإضافية الناتجة من ارتفاع درجة الحرارة في زيادة شدة العواصف.

يؤدي ارتفاع درجة الحرارة إلى تقليل الكثافة؛ ذلك أن الكتلة ذاتها ستشغل حيّزًا أكبر، أيْ يصبح حجمها أكبر، فتقلّ الكثافة (**الشكل 10-3**).



الشكل 10-3 العلاقة بين درجة حرارة الهواء وكثافته.



الشكل 10-4 العلاقة بين درجة الحرارة والماء.

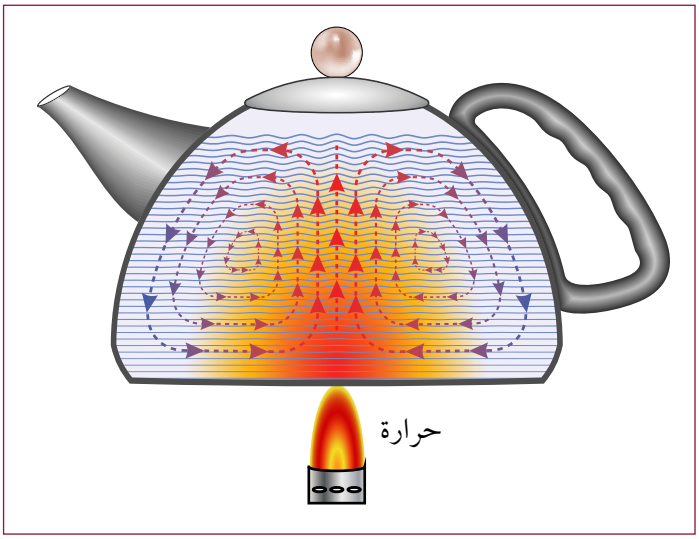
هذه العلاقة العكسية بين درجة الحرارة والكثافة صحيحة في معظم المواد، فكثافة الهواء البارد أكبر من كثافة الهواء الساخن، وكثافة الماء البارد أكبر من كثافة الماء الساخن؛ غيرأن هذه القاعدة لا تنطبق على الماء في درجات الحرارة بين 0°C و4°C، فكلما ارتفعت درجة الحرارة من صفر إلى 4°C، ازدادت معها الكثافة فعليًّا بمقدار قليل (**الشكل 10-4**).

ويُعدّ انصهار الـجليـد إلى ماء بارد عذب يتدفق إلى البحر أحد أسباب ارتفاع مستوى سطح البحر، إضافة إلى أن له تأثيرًا آخر في إحداث تغييرات في تيارات المحيط، وهذا ما يؤثر في المناخ.

تيارات الكثافة (تيّارات الحمل الحراري)

إنَّ الفرق في الكثافة لا يكفي لإنتاج الحركة؛ فتيّارات الكثافة، كالتي تَدفع تيارات المحيط والرياح، قد تولّدت بقوّة الجاذبيّة. فالسوائل حرّة الحركة بسبب الجاذبية، حيث ينسحب الماء والهواء الأكثر كثافة إلى الأسفل ليحلّ كلٌّ من الماء والهواء الأقل كثافة مكانها في الأعلى. لذا، فإنَّ الأصح أن نقول إن الهواء البارد يدفع الهواء الساخن إلى الأعلى، بدلًا من القول إن الهواء الساخن يرتفع إلى الأعلى. ويوضح **الشكل 10-5** كيف يؤدي ذلك إلى إنتاج تيارات الحمل الحراري.

1. يُعرَّض منتصف الإبريق للحرارة، فيتمدَّد الماء في منتصفه، ويصبح أقل كثافة.
2. يدفع السائل البارد ذو الكثافة الأعلى، والموجود على جوانب الإبريق، الماءَ الأدفأ إلى الأعلى، ساحبًا المزيد من الماء البارد إلى الداخل في منتصف الإبريق.
3. يَسخُن الماء البارد ويتمدَّد، وتستمرّ العملية مسبّبة حركة في داخل الإناء.

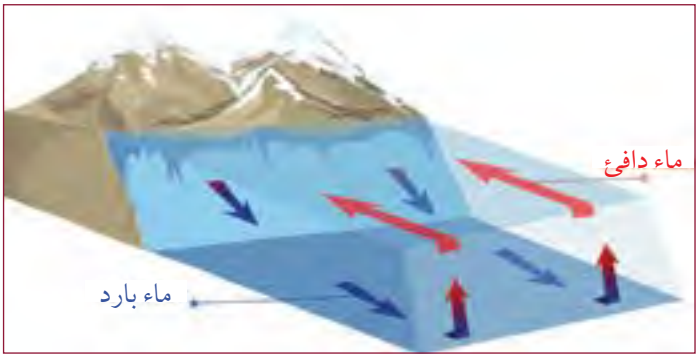


الشكل 10-5 تيارات الكثافة موضحة في إبريق شاي.

هذه الحركة تنتج من اختلاف في الكثافة، فعندما يسخن ماء الإبريق كله، تصبح الحركة في داخله غير واضحة.

وعلى هذا، فإن تيارات الكثافة هي المسبّب لحركة تيارات المحيط. لاحظ **الشكل 10-6** الذي يوضّح العمليَّة.

1. يسخن الماء عند خط الاستواء.
2. يتحرك الماء البارد من المناطق القطبية على طول الجزء السفلي من المحيط، ليحلّ مكان الماء الدافئ.
3. يتحرك الماء الدافئ بعيدًا عن خط الاستواء على طول السطح. ويسبّب ذلك الكثير من ظروف المناخ حول العالم.



الشكل 10-6 تنتج تيارات المحيط من اختلاف الكثافة.

ومن الممكن أن تقلّ هذه التيارات، وتتغير مساراتها بارتفاع درجات حرارة المحيطات. ويصبح هذا الأمر أكثر تعقيدًا بدخول كميات من المياه العذبة الناتجة من ذوبان الجليد إلى المحيطات.

نسيم البحر ونسيم البرّ

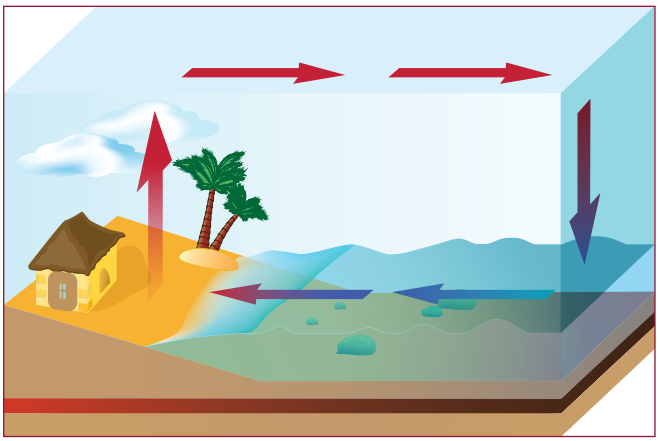
«نسيم البحر» هو حركة الهواء البارد من الماء باتجاه اليابسة (**الشكل 10-7**). هذه الحركة تحدث بسبب اختلاف درجة الحرارة بين الماء واليابسة، ويمكن ملاحظة ذلك في النهار على ساحل البحر.

1. يصبح الهواء فوق الأرض دافئًا، فتقلّ كثافته ويتمدّد.
2. يتحرك الهواء البارد الذي يكون فوق الماء، ليحل مكان الهواء الدافئ.
3. يتحرّك الهواء الدافئ الذي أُزيح، ليصبح فوق الماء، ويبرد.
4. يصبح الهواء الذي فوق اليابسة أكثر دفئًا.
5. تتكرّر الدورة.

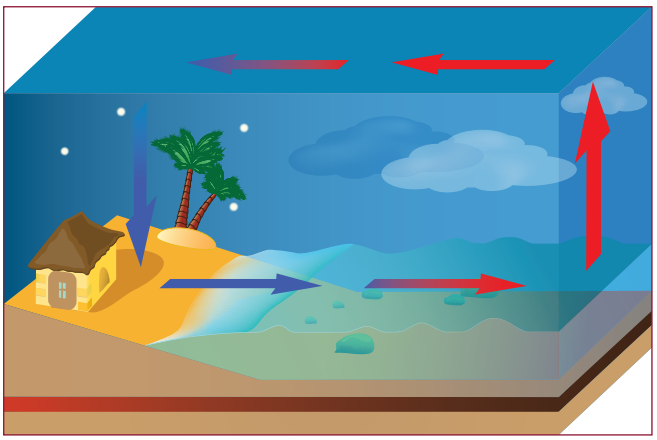
الحمل الحراري Convection يصف حركة الحرارة في نظام ما بفعل تيارات الكثافة، ويُسمَّى هذا النمطُ التكراري «تيارات الحمل الحراري» (**الشكل 10-8**)، أو «خلية الحمل الحراري».

يختفي «نسيم البحر» عند الغسق، حيث تكون درجة الحرارة فوق اليابسة وفوق الماء متساوية تقريبًا. وبحلول الليل، يكون الماء أكثر دفئًا من اليابسة، فينعكس اتجاه تيارات الحمل الحراري، ويسبّب ذلك «نسيم البرّ» (**الشكل 10-9**).

الشكل 10-7 نسيم البحر.



الشكل 10-8 تيار الحمل الحراري.



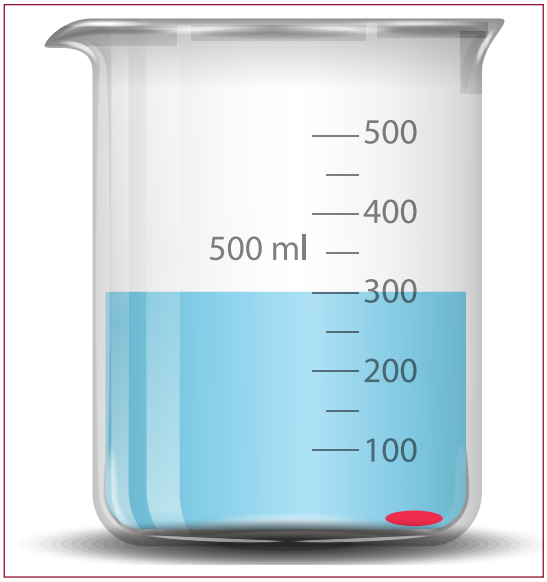
الشكل 10-9 نسيم البرّ.

نشاط 10-1 خلايا الحمل الحراري

سؤال الاستقصاء	هل يمكنك إنشاء خلية حمل حراري في صفك؟
الموادّ المطلوبة	كأس مخبرية 500 ml، ماء بارد، صبغة طعام، قطارة، مصدر حرارة، ساعة توقيت.

- ابحث وزميلك، أو في مجموعات صغيرة، في التيارات البحرية، وفي كيفية تكوّنها.
- قم بمحاكاة هذه التيارات باستخدام صبغة طعام (أو مواد أخرى مثل برمنجنات البوتاسيوم) ومصدر للحرارة، مثل لهب بنزن.
- قم بمحاكاة آثار ارتفاع درجات حرارة المحيط.

الإجراءات



الشكل 10-10 كأس زجاجية فيها ماء وقطرة من صبغة الطعام.

1. ضع الكأس المخبرية على منصة (حامل) التسخين، بطريقة تسمح للحرارة بالوصول إلى أحد طرفي الكأس.
2. املأ الكأس بماء بارد إلى النصف. ثم أعطِ الماء الوقت الكافي لاستعادة سكونه في الكأس.
3. تأكد من أن صبغة الطعام حُفظت في مكان بارد. ثم أضف بضع قطرات من صبغة الطعام باستخدام قطارة في قاع الكأس من الطرف الذي سيتم تسخينه (**الشكل 10-10**).
4. أشعل مصدر التسخين وشغّل ساعة التوقيت.
5. سجّل ملاحظاتك عن درجة تغيّر لون الماء إلى أن يختلط لون صبغة الطعام بالماء، وسجّل وقت كل مشاهدة، ولا تجعل الماء يغلي.

الأسئلة والتحليل

a. ما مقدار الوقت الذي مرّ قبل أن تختلط صبغة الطعام بالماء؟

b. إن تسخين الماء يحاكي تأثير ارتفاع درجات حرارة المحيط، فما تأثير ذلك في معدّل تيارات الحمل الحراري وقتئذٍ؟

c. هل ينجح هذا النشاط إذا بدأتَ التجربة بماء ساخن؟ وضّح إجابتك.

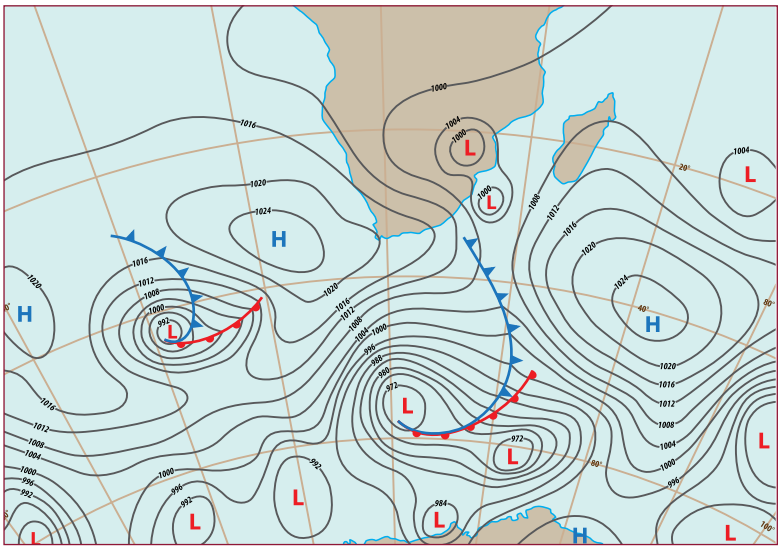
تيارات الكثافة في الهواء

يمكن أن يغيّر بخار الماء ضغط الهواء، فعند إدخال جزيئات الماء، فإنها تحلّ مكان جزيئات الهواء، فتقلّل من كثافة الهواء وضغطه.

عند أخذ حركة الهواء في الحسبان، فإن درجة حرارة الهواء ورطوبته تسهمان في قراءة الضغط.

الضغط الأعلى	بارد، جاف
	دافئ، جاف
	بارد، رطب
الضغط الأقل	دافئ، رطب

تُظهر خريطة الطقس مناطق ضغط مرتفع «H»، ومناطق ضغط منخفض «L». تشير الخريطة أيضًا إلى ضغط الهواء الفعلي، باستخدام خطوط تساوي الضغط. وتكون الأرقام الكبرى أقرب إلى «H»، والصغرى أقرب إلى «L» (**الشكل 10-11**). وكلما كان الفرق في الضغط أكبر كانت الرياح المتوقّعة أشدّ.وإذا كانت المنطقة فوق البحر فإنَّك تستطيع أن تتوقَّع كميةً من الرطوبة، هي أكثر ممّا لو كانت المنطقة فوق اليابسة.

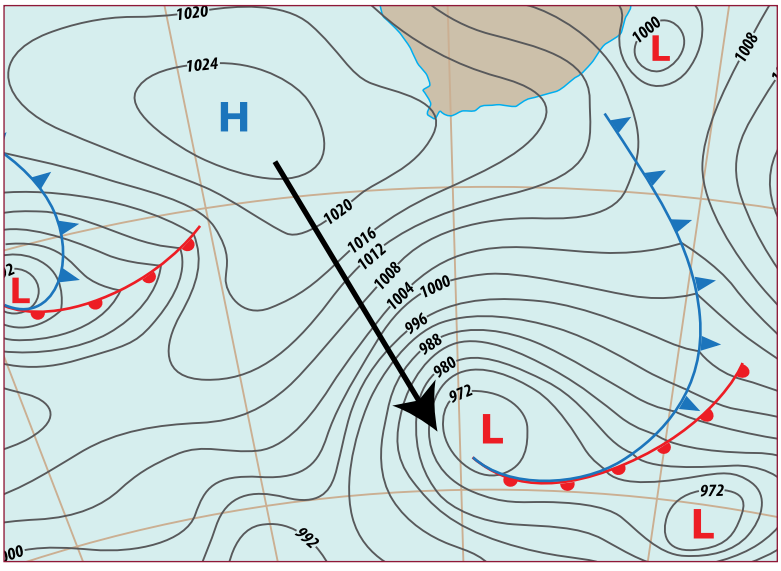


الشكل 10-11 عيِّنة خريطة الطقس.

ويمكنك توقّع مكان تيارات الهواء على خريطة الطقس، حيث تنتقل من مناطق الضغط المرتفع إلى مناطق الضغط المنخفض. وتكون التيارات أقوى عندما تكون الخطوط قريبة بعضها من بعض (**الشكل 10-12**).

علم الأرصاد الجوية Meteorology

هو علم دراسة الطقس. هناك كثير من المتغيرات التي تؤخذ في الحسبان، بالإضافة إلى درجة الحرارة والرطوبة عند التنبؤ بنشاط عاصفة ما. يُغيّر الارتفاعُ الضغطَ متأثرًا بجيولوجية الأرض. وكلَّما كانت البيانات المجمعة أكثر، كانت تنبؤات الراصد الجويّ أدقّ.

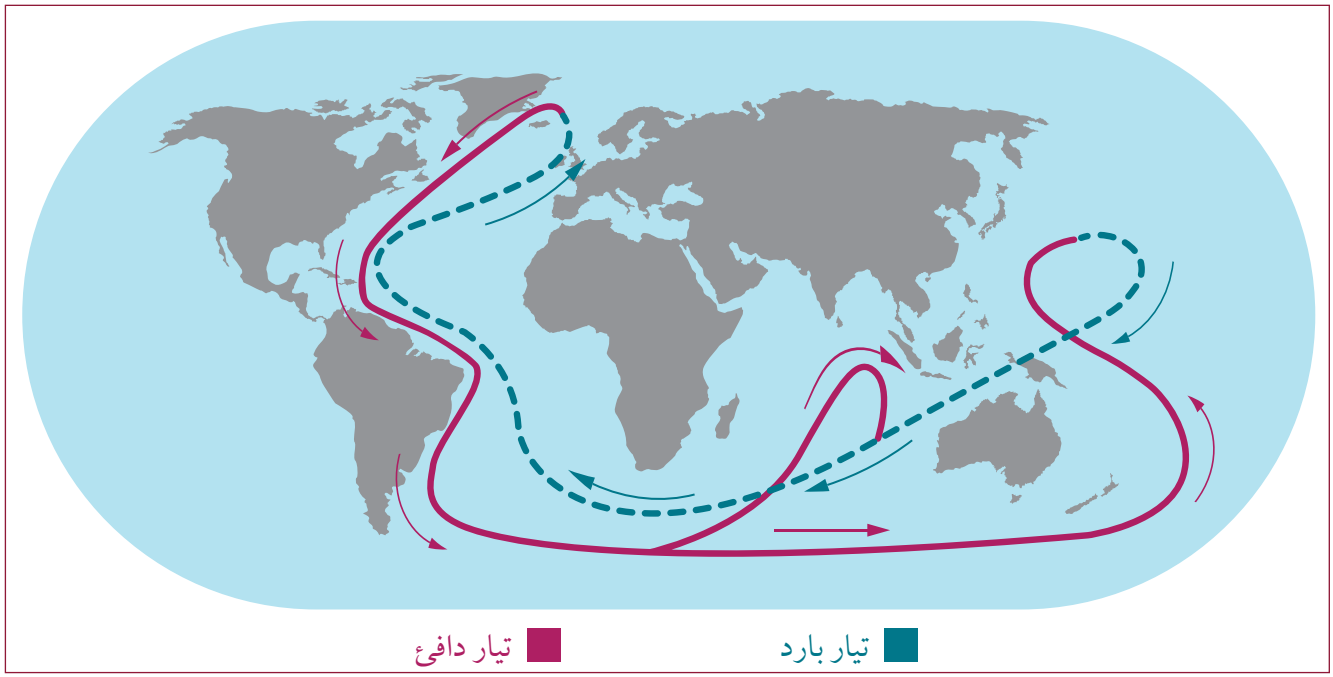


الشكل 10-12 منطقة مكبّرة تُظهر تيار هواء محتمل من الضغط المرتفع الى الضغط المنخفض.

تيارات الكثافة في الماء

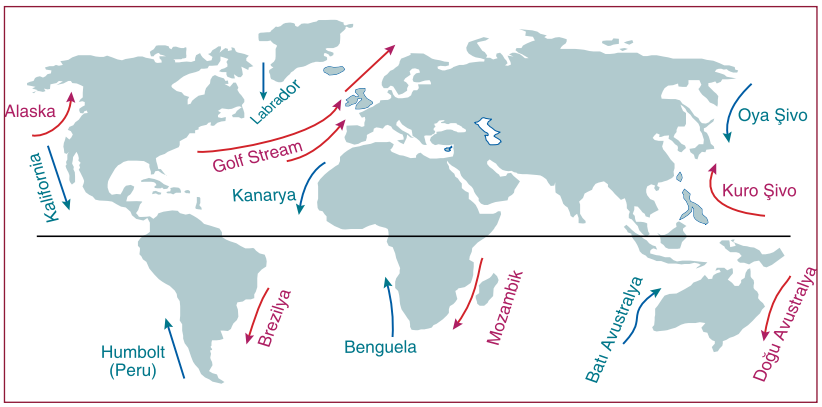
هناك تيارات كثافة في محيطات العالم تُحرِّك الماء البارد ببطء، من المناطق القطبية إلى المناطق الأدفأ بالقرب من خط الاستواء. وتزحف تيارات الماء البارد على طول قاع المحيط، ويتطلب ذلك من 1000إلى 500 عام لإكمال دورة كاملة، وهذا ما يُسمّى «حزام ناقل المحيط العالمي».

ويكون تدفّق الماء هذا مدفوعًا بمتغيّر آخر، وهو الملح الذائب في المحيط، حيث يزيد الملح كثافة الماء. ذلك أن الماء البارد المالح كثيف جدًّا. لذا، فإنه ينزل إلى قاع المحيط.



الشكل 10-13 تيار كثافة عالمي تحرّكه الملوحة ودرجة الحرارة.

تدفع هذه الحركة الضخمة لكتل الماء كميات هائلة من العناصر الغذائية إلى الأعلى مما يوفّر مصدرًا غذائيًا للكائنات البحرية.



الشكل 10-14 تيارات المحيط الرئيسة.

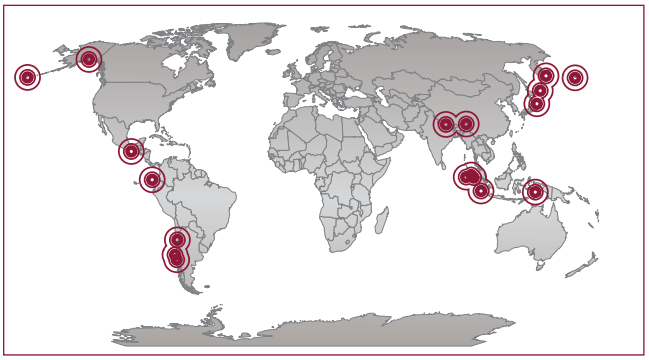
يؤدي ارتفاع درجات الحرارة وذوبان الجليد إلى الإخلال بخلايا الحمل الحراري، وهذا يؤثّر في الحزام الناقل وعلى تيارات المحيط (**الشكل 10-14**). ويحذّر علماء المحيطات من أن تغيّرات تيارات المحيطات ستؤثر بشكل درامي في الطقس، وفي سلامة هذا الكوكب.

تيارات الكثافة تحت الأرض

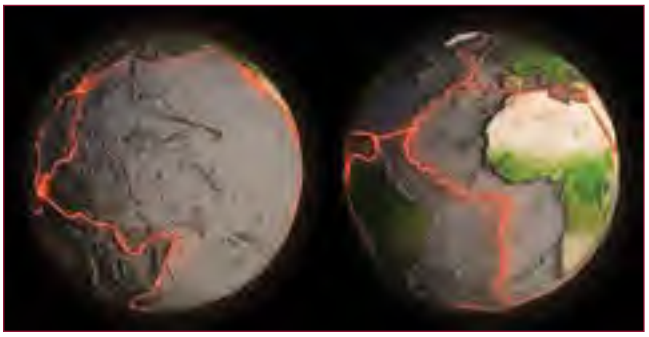
الجيولوجي Geologist هو المتخصّص الذي يدرس بنية الأرض وتاريخها، ويقوم بدراسة الصخور وجميع العمليات المتعلقة بتغيير بنية الأرض، ويدرس أيضًا علاقة كوكب الأرض بالكواكب الأخرى والأجرام السماوية. وقد لاحظ الجيولوجيون أنماط أماكن حدوث الزلازل (**الشكل 10-15**) والبراكين (**الشكل 10-16**) على الأرض.

إن سطح الأرض أقلّ سمكًا من قشرة تفاحة مقارنة بحجم الكوكب. وقد تصدّع الصخر الصلب قليل السماكة الذي على السطح إلى 22 صفيحة تكتونية تطفو على الوشاح شبه المنصهر (**الشكل 10-17**). تتحرك الصفائح التكتونية ببطء، فتُفصل في بعض الأماكن لتشكّل المحيطات، وتصطدم في أماكن أخرى لتشكّل الجبال.

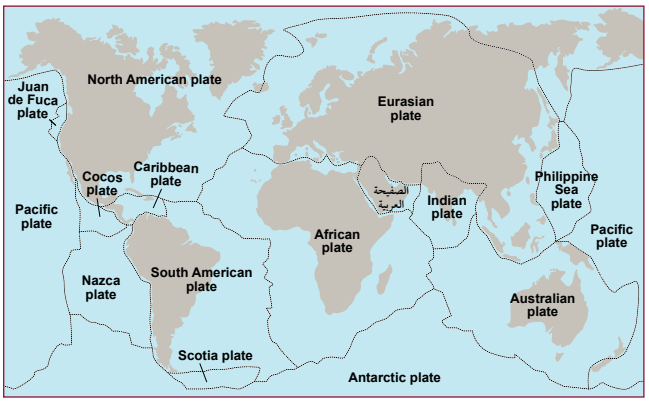
يؤدّي تدفّق الحرارة من لبّ كوكب الأرض إلى حركة لخلايا الحمل الحراري من صخور منصهرة. تكون خلايا الحمل هذه بطيئة، ولكنها قوية تحرّك الصفائح التكتونية، وتعيد تشكيل القارات والمحيطات باستمرار. يحدث هذا منذ ملايين السنين، غير أن الطاقة كبيرة جدًّا؛ لذا، فإنّها تنتج البراكين والزلازل (**الشكل 10-18**).



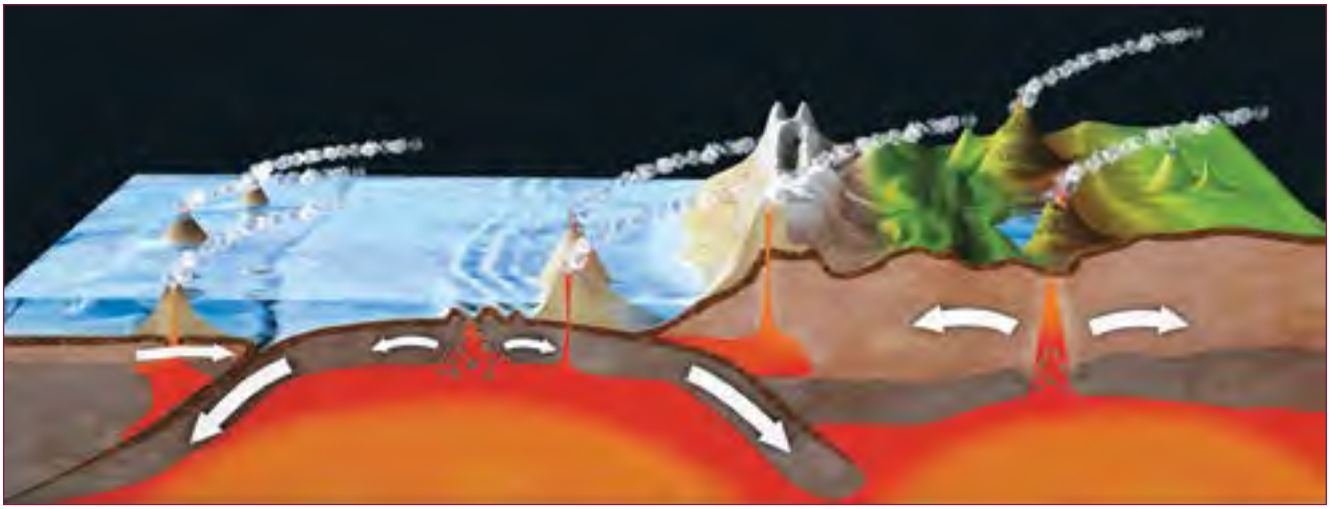
الشكل 10-15 الزلازل الرئيسة.



الشكل 10-16 النشاط البركاني.



الشكل 10-17 صفائح السطح.



الشكل 10-18 تحفز خلايا الحمل نشاط الزلازل و البراكين.

تقويم الدرس 10-1

1. كيف يؤثر الاحترار العالمي في منسوب مستوى سطح البحر؟
   a. يتمدّد الماء بسبب الحرارة.
   b. تعمل الحرارة على إبطاء حركة جزيئات الماء.
   c. عدم تغيّر منسوب مستوى البحار بدرجة كبيرة.
   d. تسبّب الحرارة انخفاض اليابسة، فتندفع مياه الشاطئ إلى اليابسة.

2. ما الذي يُنتِج تيارات الحمل الحراري؟
   a. اختلافات في الكتلة.
   b. اختلافات في الحجم.
   c. اختلافات في الكثافة.
   d. اختلافات في الحمل الحراري.

3. عند النظر إلى خريطة الطقس، كيف تتنبأ بالرياح الشديدة؟
   a. مناطق انخفاض الضغط كثيرة.
   b. مناطق ارتفاع الضغط كثيرة.
   c. مناطق ارتفاع الضغط بعيدة عن مناطق انخفاض الضغط.
   d. مناطق ارتفاع الضغط قريبة جدًا من مناطق انخفاض الضغط.

4. ما تأثير تعرض مادة ما للحرارة على جزيئاتها؟

5. ما تأثير بخار الماء في ضغط الهواء؟

6. ما الذي تحتاج إليه خليَّة الحمل الحراري لتتكوّن؟

7. ما دلالة الخطوط المنحنية على خريطة الطقس؟

8. كيف يؤثر ذوبان جليد البحار في تيارات المحيط؟

9. ما الذي لاحظه العلماء الأوائل ليضعوا نظرية الصفائح التكتونية؟

الدرس 10-2
أحداث الطقس
Weather Events

الشكل 10-19 إعصار

يُعدّ التورنادو (الإعصار القمعي) أعنف أحداث الطقس جميعها (**الشكل 10-19**). وتحدث الأعاصير في كل مكان ما عدا القارة القطبية الجنوبية، وهي أكثر شيوعًا في شرق أستراليا، واليابان، وشرق الصين، وأوروبا، وأمريكا الجنوبية، وفي الولايات المتحدة على نحو خاص، حيث يحدث فيها نحو 1000 إعصار سنويًّا. ولا تزال أسباب حدوث الأعاصير وغيرها من أحداث الطقس، حتى هذه اللحظة، غير مفهومة بالكامل. غير أن الظروف التي تؤدي إلى حدوثها تكاد تكون متشابهة.

مخرجات التّعلُّم

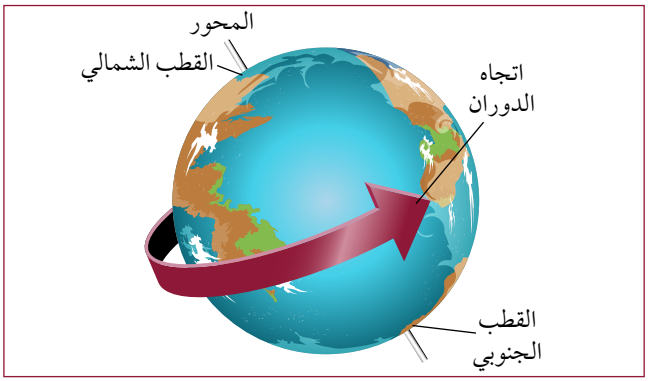
GP1108.3 يوضّح كيف تنشأ الأعاصير نتيجة تيارات حمل حراري قوية في الغلاف الجوي.

المفردات

Coriolis effect	تأثير كوريوليس
Cyclonic storm	العاصفة الإعصارية
Hurricanes	أعاصير استوائية (هوريكين)
Typhoons	أعاصير موسمية (تايفون)
Cyclones	أعاصير حلزونية (سايكلون)
Landfall	إعصار اليابسة
Storm surge	اندفاع العاصفة
Super cell	السحابة الخارقة
Gustnadoes	دوّامات

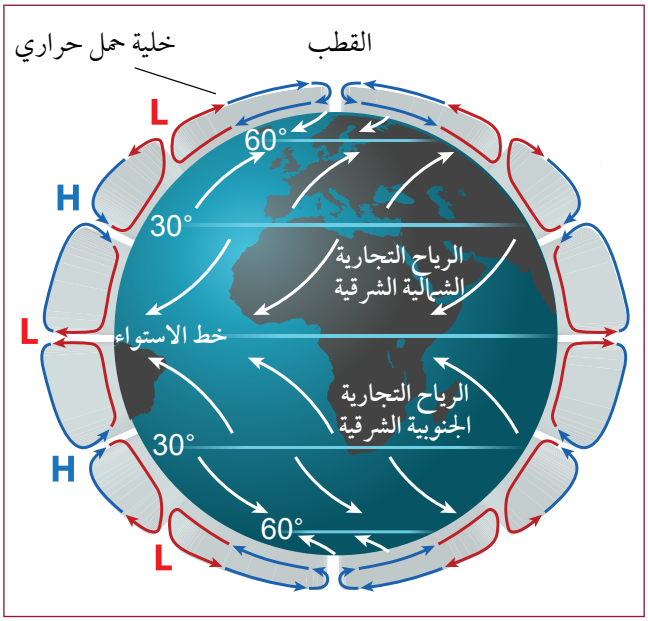
تأثير كوريوليس

تدور الأرض حول نفسها، وهي كرة مثالية تقريبًا (**الشكل 10-20**). تتحرك الأرض بسرعة تبلغ 1600 km/h عند خط الاستواء، لتدور مرة واحدة حول نفسها كلَّ يوم. ويتناقص محيط الأرض كلما اتجهت نحو القطبين. لذلك، فإنَّ اليابسة والهواء الذي يرافقها يتحركان على نحو أبطأ. وعندما يرتفع الهواء الدافئ عند خط الاستواء، ويتحرك إلى القطب الشمالي أو إلى القطب الجنوبي، يحدث اختلاف في سرعته، ما يؤدي إلى منع تكوّن خلية حمل حراري. نتيجة لذلك، تتكوّن سلسلة من خلايا حمل حراري أصغر حول العالم، مع حركة رياح ذات اتِّجاه على السطح، وباتجاه آخر على ارتفاعات أخرى.



الشكل 10-20 دوران الأرض.

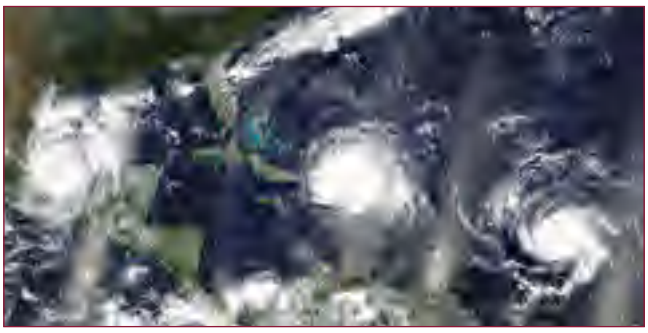
تُعدّ خلايا الحمل الحراري حول الأرض (**الشكل 10-21**) مسؤولة عن تيارات الرياح والماء التي يمكن التنبّؤ بها، والتي استفاد منها البحّارة على مدى قرون من الزمن.



الشكل 10-21 خلايا الحمل الحراري في الغلاف الجوي.

ينتج من دوران الأرض حول نفسها (**الشكل 10-20**) تأثير «كوريوليس»، وهو ظاهرة تؤدي إلى انحناء الموائع عند مرورها فوق سطح الأرض، فيتحرك الهواء عند خط الاستواء، باتجاه دوران الأرض حول نفسها من الغرب إلى الشرق. وعندما يتحرك الهواء باتجاه الشمال، يستمر بحركته من الغرب إلى الشرق، غير أن الأرض تكون أبطأ. لذا، فإن الهواء ينحني باتجاه الشرق. أمّا في نصف الكرة الجنوبي، فيحدث العكس.

الإعصار الاستوائي هو منطقة ضغط منخفض تشكَّلت بسبب ارتفاع الهواء الدافئ الرطب. عندما يندفع الهواء البارد ذو الضغط العالي ليحل مكانه، فإنه ينحرف بسبب تأثير كوريوليس، ما يؤدي إلى حدوث عاصفة تدور بعكس عقارب الساعة في النصف الشمالي من الكرة الأرضية (**الشكل 10-22**)، وباتجاه عقارب الساعة في النصف الجنوبي من الكرة الأرضية.



الشكل 10-22 أعاصير استوائية (هوريكين) في نصف الكرة الأرضية الشمالي.

الأعاصير المدارية

إنّ الأعاصير الاستوائية، والموسمية، والحلزونية، جميعها حدث جوي واحد هو: «عاصفة إعصارية». والعاصفة الإعصارية تدور نتيجة تأثير كوريوليس، وتكون قريبة من سطح الأرض، وتبدأ كمنخفض استوائي. وعندما تزداد سرعة دوران الرياح تصبح عاصفة استوائية. فإذا وصلت سرعة الرياح إلى نحو 120 km/h، فإنها تصبح إعصارًا حلزونيًّا (سايكلون). يتحدّد اسم العاصفة بالمكان الذي تنشأ فيه: فالعواصف التي تنشأ من المحيط الأطلسي وشمال المحيط الهادي تُسمّى «هوريكين» (أعاصير استوائية)، وتلك التي تنشأ من غرب المحيط الهادي، فتُسمّى «تايفون» (أعاصير موسمية)، أمّا التي تنشأ من المحيط الهندي أو من جنوب المحيط الهادي، فهي «سايكلون» (أعاصير حلزونية).

الشكل 10-23 عاصفة إعصارية صغيرة فوق منطقة في نصف الكرة الأرضية الشمالي.

يمكن لارتفاع الهواء أن ينتج عواصف رعدية، فيندفع الهواء ذو الضغط العالي إلى الداخل ليكوِّن تأثيرًا دورانيًّا (حلزونيًّا)، ما قد يولّد إعصارًا قمعيًّا (تورنادو). عندما يحدث ذلك فوق ماء دافئ، وبوجود رطوبة كبيرة، فقد يكبر حجم العاصفة وتشتدّ قوتها، وقد يصل حجم التايفون (الأعاصير الموسمية) على سبيل المثال إلى 1000 km مصحوبًا برياح تفوق سرعتها 300 km/h (**الشكل 10-23**). هذه العواصف الضخمة تتحرَّك بفعل الحرارة والرطوبة. ويُسمّى منتصف العاصفة، حيث يكون ضغط الهواء منخفضًا، «عين العاصفة».

الشكل 10-24 إعصار موسمي كبير (تايفون كبير) في نصف الكرة الأرضية الجنوبي.

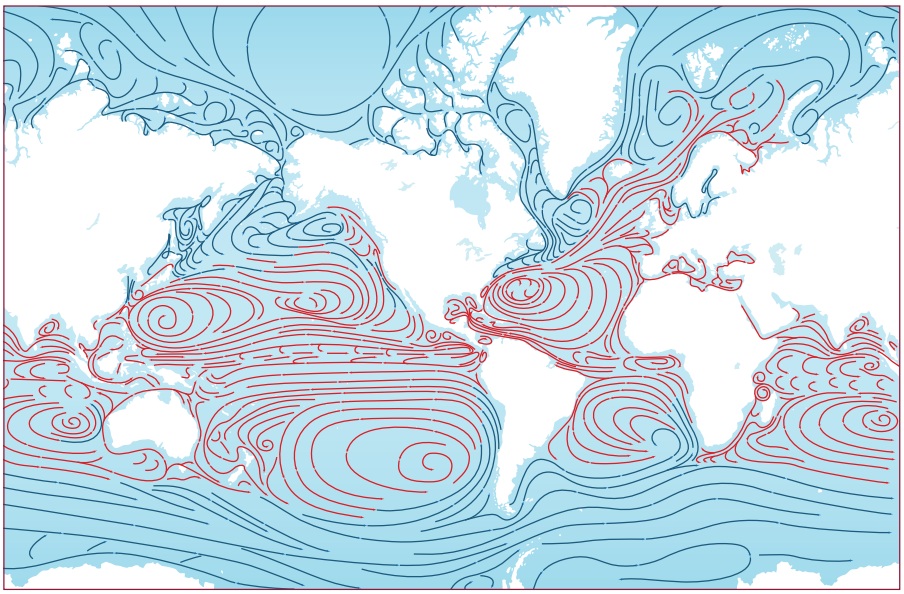
إعصار اليابسة

الشكل 10-25 دمار التايفون بعد بلوغ الإعصار اليابسة واندفاع العاصفة.

يحدث **إعصار اليابسة Landfall** عندما تعبر عين الإعصار المداري الساحل من المحيط إلى اليابسة. وتكون الرياح مدمّرة بمقدار ما تدفع معها من كمية كبيرة من الماء، وتُسمّى عندئذٍ **اندفاع العاصفة Storm surge**. يؤدي هذا الماء إلى معظم الدّمار الناجم عن العاصفة. وإذا ضرب الإعصار (*hurricane*) عند ارتفاع المدّ، يكون «اندفاع العاصفة» 12 مترًا.

من أبرز عشر كوارث طبيعية مدمّرة في التاريخ الحديث كانت اثنتان منها أعاصير حلزونية (السايكلون)، فقد ضرب السيكلون كورينجا-الهند في العام 1839، وفي العام 1881 ضرب التايفون هايفونج-فيتنام. وقد حصدت العاصفتان أكثر من نصف مليون شخص.

عندما تهبط العاصفة على اليابسة، تخسر مصدر حرارتها ورطوبتها، فلا نلاحظ هناك هواءً دافئًا رطبًا يرتفع. لذا، يبدأ النشاط الإعصاري بالتباطؤ، إلى أن يتوقف تمامًا عند تبدّد طاقته.



الشكل 10-26 تيارات سطح المحيط.

مع ظهور الأقمار الصناعية ومراقبة المحيطات، أصبح خبراء الرصد الجوي أكثر قدرة على التنبّؤ بمسار العواصف وضراوتها، ما أعطى الناس مدة كافية للاحتماء من هذه العواصف، أو لإخلاء مساكنهم قبل وصولها.

ولسوء الحظ، وبسبب احترار المحيطات وتبدل أنماط تيار السطح، فإنَّ قوة هذه الأحداث ومدّتها تستمران بالازدياد. ولا يبدو أن عدد العواصف التي تحدث سنويًّا قد تغيّر، غير أن الرياح في كثير من العواصف أصبحت تبلغ سرعات أعلى. وبالترافق مع ارتفاع مستوى البحر، تزداد الأضرار الناجمة عن هذه الكوارث الطبيعية سوءًا مع مرور الوقت.

الأعاصير القمعية (التورنادو)

الشكل 10-27 تورنادو (إعصار قمعي) يُحدث أضرارًا على اليابسة.

إن الأعاصير القمعية هي سكّين الجرّاح للكوارث الطبيعية **(الشكل 10-27)**، فعندما تهبط في جهة ما، وبعرض بضع مئات من الأمتار، فإنها قد تدمّر في بعض الأحيان صفًّا كاملًا من البيوت تاركةً الجانب الآخر من الشارع كما هو. وبسرعة رياح تتجاوز 480 km/h يُمكن أن تتشكّل الأعاصير لتستغرق بضع ثوانٍ، أو أن تستمر في التدمير لبضع ساعات. ويُطلَق على خبراء الرصد الجوي الذين يتابعون الأعاصير «مطاردو العاصفة»، فبعضهم لديه مركبات متطوّرة مزوّدة برادار معقّد للطقس وتقنيات تعانق الأرض، فتسمح لهم بالاقتراب من أعمدة الهواء الملتفّة الفريدة.

إن الظروف التي تؤدي إلى تكوّن التورنادو مشابهة لتلك التي كوّنت العواصف الإعصارية الأخرى، على الرغم من عدم وضوح هذا التشابه تمامًا.

يمكن أن تتكوّن غيوم كبيرة من تيار الهواء الدافئ الرطب الصاعد. وتكون حركة الرياح السريعة في طبقات الجو العليا بزاوية مختلفة عن حركة الرياح في الطبقات التي تحتها؛ وهذا يؤدي إلى قوة التفاف تُسمّى «عزم رياح القص». ويواجه الهواء الدافئ الرطب القادم من الجنوب الهواءَ البارد الجاف من الشمال، فتتكوّن السحب الخارقة. وتعرّف **السحابة الخارقة Super cell** على أنها عاصفة رعدية لها حركة إعصارية. وتولّد 30 % من السُّحب الخارقة أعاصير قمعية. وليس غريبًا أن تولّد هذه السحب أكثر من إعصار قمعي في الوقت نفسه **(الشكل 10-28)**.

الشكل 10-28 سحابة خارقة تولّد أعاصير قمعية في الوقت نفسه.

الشكل 10-29 دوّامة.

ربما شاهدت ما يشبه أعاصير قمعية تدوّم في الصحراء، **(الشكل 10-29)** وهذه تُسمى «دوّامات». تشكّل هذه الدوّامات هبوبًا قويًّا للرياح لتضرب الأرض، ثم ترتفع مرة أخرى بحركة مغزلية إلى أعلى. لماذا تُعدُّ العاصفة الإعصارية مثار اهتمام جدّي؟

العواصف الرملية

الشكل 10-30 عاصفة رملية في تونس.

العواصف الرملية وعواصف الغبار هي ظواهر جوية شديدة في المناطق القاحلة وشبه القاحلة. ويمكن التنبؤ بهذه الأحداث في أغلب الأحيان، لأنها تسبق العواصف الرعدية القوية، يمكن أن تتكوّن على نحوٍ غير متوقع، عندما يكون هناك فرق كبير في الضغط عند تحرّك الهواء البارد إلى منطقة الهواء الساخن، حيث تلتقط الرياح الشديدة الجزيئات المفكّكة، وتحملها إلى مسافات بعيدة.

وتكون العواصف الرملية (**الشكل 10-30**) قريبة من الأرض، حيث إنَّ الجزيئات التي تحملها كبيرة. وتعتمد كمية الرمل التي تنقلها على سرعة الرياح. وتؤدي الكهرباء الساكنة المتشكلة في الرمل المتحرك إلى حمل كمية أكبر من الرمال.

الشكل 10-31 عاصفة غبار، أريزونا، الولايات المتحدة.

تدفع عواصف الغبار (**الشكل 10-31**) جُزيئات أصغر بكثير، وتحملها إلى عدة كيلومترات في الهواء، حيث يمكن أن تنتشر في جميع أنحاء الكوكب. تنشر هذه العواصف المواد الغذائية المعدنية في جميع أنحاء العالم، ولكنها تكون مسؤولة أيضًا عن فقدان المحاصيل والتسبب في صعوبات في التنفس.

نشاط 10-2 الاستعداد للكوارث

سؤال الاستقصاء	ماذا تفعل في حالة التحذير من حدوث إعصار؟
الموادّ المطلوبة	موادّ بحث، ملصقات.

ابحث في أسباب الأعاصير القمعية (تورنادو) والأعاصير الاستوائية (هوريكان)، وأعدَّ ورقة حقائق لشرح الأخطار والاحتياطات اللازمة في المناطق المهدّدة.

الإجراءات

1. هناك أماكن كثيرة تضع لوحات تبين الخطوات الواجب اتخاذها استعدادًا للكوارث الطبيعية.
2. اختر كارثة طبيعية: سايكلون (من الممكن أن تبحث عن الهوريكان)، التورنادو، أو عاصفة رملية.
3. حدّد العلامات التحذيرية التي يمكن أن يلاحظها مركز الأرصاد الجوية.
4. عدّد هذه العلامات التحذيرية.
5. حدّد الإجراءات التي يمكن اتخاذها استعدادًا للحدث الذي اخترته.
6. لخّص الإجراءات على شكل ملصق أو منشور.
7. ضمّن الملصق أو المنشور الأخطار المحتملة المصاحبة للكارثة الطبيعية.

كارثة الطقس الطبيعية	علامات التحذير	خطوات الاستعداد	الأخطار

الأسئلة والتحليل

a. عندما يُتوقّع حدوث إعصار مداري (سايكلون) تُعطى تحذيرات لإخلاءالمناطق المتضررة. لماذا لا يكون ذلك خيارًا للكثيرين؟

b. مَنِ المتأثّر الأكبر بالعواصف المحفّزة لتغيُّر المناخ؟

تقويم الدرس 10-2

1. أيٌّ ممّا يأتي من المناطق يمكن الذهاب إليها مع ضمان عدم تعرّضك لحدوث عاصفة تورنادو؟

   a. الصين
   b. أوروبا
   c. أستراليا
   d. القارة المتجمدة الجنوبية.

2. ما الذي يحدّد ما إذا كان نظام الضغط المنخفض يُصنَّف على أنه سايكلون؟

   a. سرعة الرياح.
   b. اتجاه دوران الرياح.
   c. شدّة اندفاع العاصفة.
   d. المسافة قبل وصولها إلى المدينة.

3. في أيّ من الأماكن الآتية يمكن أن يحدث الإعصار ويبلغ اليابسة؟

   a. طوكيو، اليابان.
   b. مومباي، الهند.
   c. داروين، أستراليا.
   d. ميامي، الولايات المتحدة.

4. وضّح سبب تحرُّك الأرض عند خط الاستواء على نحو أسرع من الأقطاب؟

5. ارسم مخططًا لخليّة حمل حراري على الأرض، موضِّحًا عليها أبرز ملامحها.

6. ماالذي يتطلّبه تشكُّل عاصفة إعصارية؟

7. ما الفرق بين كلّ من: هوريكين، وتايفون ، وسايكلون؟

8. ما السحابة الخارقة؟

الدرس 10-3
الزلازل
Earthquakes

قد لا يكون هناك ما يُقلق أكثر من أن تشعر بأن الأرض تهتزّ من تحتك؛ فالقول إنَّ الأرض قد تنشقّ لتبتلع ما فوقها لا يستطيع كثيرون تصديقه. والحقيقة أن للزلازل سببًا، وأنَّ بعض الأماكن على الأرض آمنة غير معرّضة لحدوث هذه الكارثة الطبيعية. وتُعدّ قطر من أكثر الدول أمنًا من الزلازل.

الشكل 10-32 طريق دمّرها زلزال.

يعيش بعض الناس في أماكن يتكرّر فيها حدوث الزلازل، ويحاولون قدر الإمكان الاستعداد لها على نحوٍ كبير؛ فقد ينجم عن حدوثها دمار وكوارث (**الشكل 10-32**). وقد أدّت الزلازل إلى حدوث ثماني كوارث طبيعية من أصل عشر في تاريخنا الحديث.

مخرجات التّعلُّم

GP1109.1 يوضّح أن حركة الصفائح التكتونية يمكن أن تكوّن موجات زلزالية تسبّب زلازل كارثية.

GP1109.2 يصف كيف أن رصد الموجات الزلزالية الأولية والثانوية في محطات مختلفة حول الأرض قد مكن العلماء من فهم التركيب الداخلي للأرض.

GP1109.3 يصف تشكّل موجات التسونامي من إزاحة الماء في المحيط بسبب حركة الصفائح التكتونية.

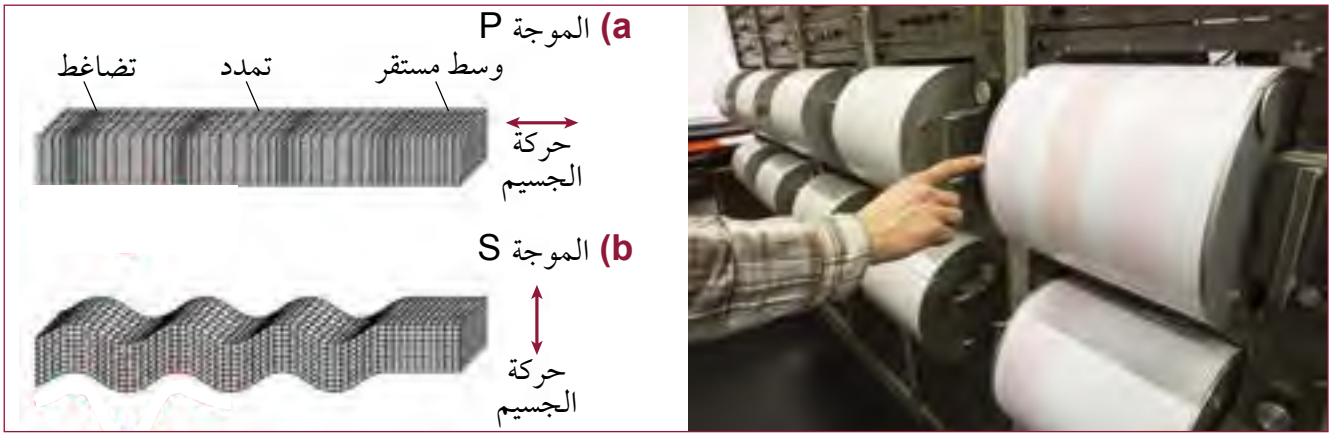
المفردات

Seismic	زلزالي
Subduction zone	منطقة الانغماس
Earthquakes	الزلازل
Seismologist	خبير زلازل
Epicenter	المركز السطحي
Triangulation	التثليث
tsunami	تسونامي
Plate tectonics	الصفائح التكتونية

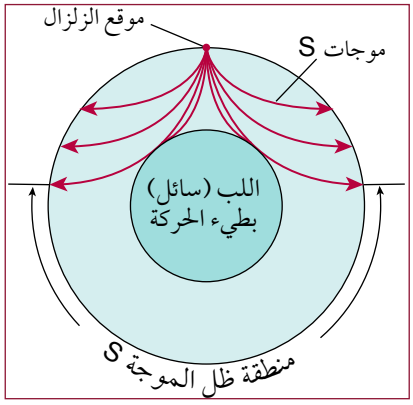
رسم الخرائط لداخل للأرض

كيف يعرف الجيولوجيون تركيب الأرض من الداخل؟ لَمْ يستكشف الإنسان أعماق الأرض، غير أن الجيولوجيين يستخدمون أداة تعتمد في مبدأ عملها على الموجات الصوتية، ليتوصلوا إلى تصوّر عن طبيعة الأرض من الداخل ويبنوا نموذجًا لها.

يقيس جهاز السيزموجراف الاهتزازات في الأرض (**الشكل 10-33**). وقد أُنشئت محطات لرصد الزلازل في جميع أنحاء الكوكب بشكل دائم. يتولّد في أثناء هذه الأحداث نوعان من الموجات، هما:موجة أوليّة تُسمّى الموجة «P»، وهي تنتقل بسرعة في الأرض، ثم تتبعها موجة ثانوية أبطأ تُسمّى الموجة «S». وتنتقل الموجات «P» في داخل الموائع والموادّ الصلبة على حدٍّ سواء، أمّا الموجات «S»، فلا يمكنها الانتقال في داخل الموائع.

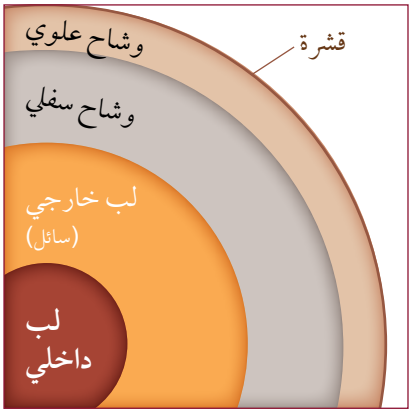


الشكل 10-33 السيزموجراف لقياس الاهتزازات الناتجة عن موجات P وS.



لاحظ الجيولوجيون أن محطات رصد الزلازل التي تقع بعيدة عن موقع الزلزال رصدت موجات «P»، ولم ترصد موجات «S». وكان ذلك مؤشرًا على أن هناك شيئًا ما في الأرض، منع انتقال الموجات «S». يُطلق على هذه المنطقة منطقة «الظل». وقد تيقّن الجيولوجيون، اعتمادًا على حقيقة الموجات الزلزالية والنماذج التي وضِعت، أنّ اللبّ الخارجي للأرض هو صخر سائل ساخن جدًّا.

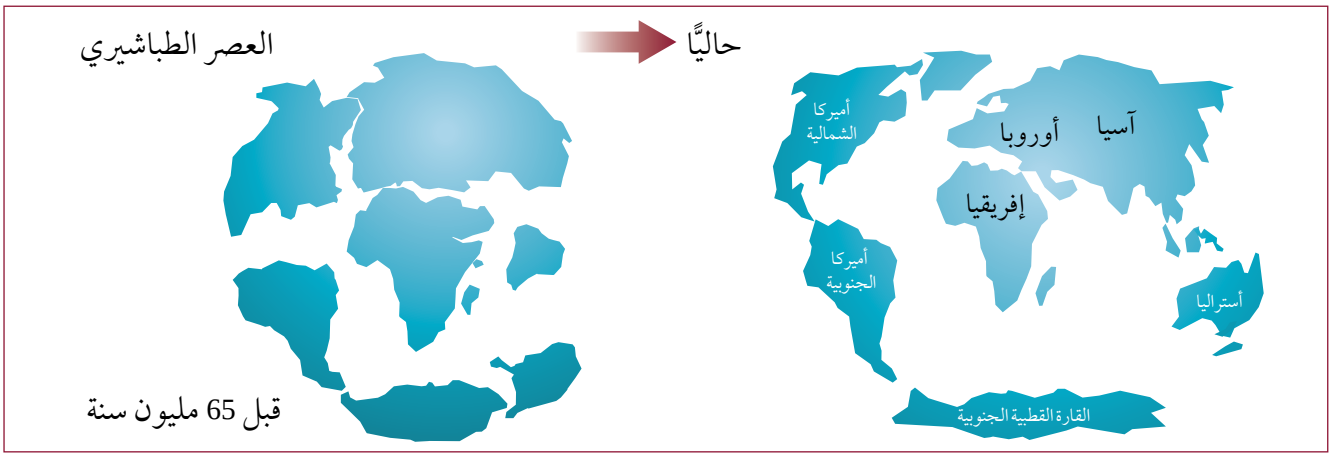
تنتقل كلٌّ من الموجات «P» والموجات «S» بسرعات مختلفة في كثافات مختلفة من الصخور. إن مقدار ليونة الصخر ومقدار سيولته يؤثران أيضًا في الموجات «P». هذه المعلومات تبيّن أن داخل الأرض يتكوّن من أربع مناطق رئيسة كما هو مبين في **الشكل 10-34**: الوشاح العلوي والوشاح السفلي، وتكون هاتان الطبقتان منصهرتين جزئيًّا، واللبّ الداخلي يكون صلبًا بسبب مقدار الضغط الكبير. أما الطبقة الرابعة فهي اللبّ الخارجي، وهي طبقة منصهرة.



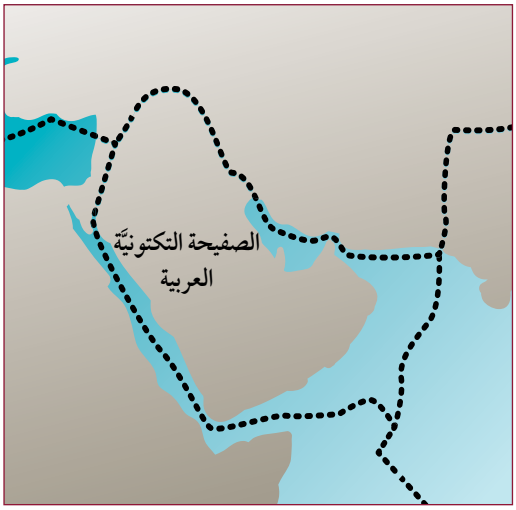
الشكل 10-34 تركيب الأرض الداخلي.

الصفائح التكتونية

تنصّ نظرية الصفائح التكتونية على أن الألواح التكتونية تطفو فوق الوشاح (الستار). وتفسّر هذه النظرية أيضًا ما يحدث لهذه الصفائح التكتونية والأنشطة المتوقعة الناجمة عن ذلك.



الشكل 10-35 الصفائح التكتونية تُظهر حركة كتل اليابسة بمرور الزمن.



الشكل 10-36 الصفيحة التكتونيَّة العربية.

تشير الأدلّة الجيولوجية إلى أن حركة تيارات الحمل الحراري المستمرة للصفائح التكتونية الأرضية أنتجت على مر الزمن خريطتنا الحالية (**الشكل 10-35**). فإذا نظرنا إلى قسم صغير منها، سنجد الصفيحة التكتونية العربية (**الشكل 10-36**). يمكننا حساب حركة هذه الصفيحة التكتونيَّة إلى الشمال بمعدل 10-15 mm/ سنويًّا. تحدث الزلازل على الحدود بين الصفائح التكتونية، إلّا أن دولة قطر لن تكون على هذه الحدود لملايين من السنين القادمة. أمّا إيران فتقع على تقاطع حدود عدة صفائح تكتونية، ما يجعلها واحدة من أكثر البلدان المعرّضة للنشاط الزلزالي في العالم.

الشكل 10-37 طابعة سيزموجراف ترصد اهتزازات.

يُستخدم مصطلح «زلزالي» للإشارة إلى الاهتزازات التي تحدث في الأرض، إمّا لأسباب جيولوجية، وإمّا نتيجة لانفجارات. ويُقاس النشاط الزلزالي باستخدام مقياس لوغاريتمي (للأساس 10)، وتكون 5 في هذا المقياس أكبر بعشر مرات من 4، وتكون 6 أكبر بعشر مرات من 5. وقد أنشأ العالم تشارلز ريختر في العام 1934 هذا المقياس اعتمادًا على أعلى قراءة سُجّلت بسيزموجراف خاص (**الشكل 10-37**). اليوم، نستخدم (Mw) أو ما يُسمّى «مقياس العزم الزلزالي»، وهو أيضًا مقياس لوغاريتمي، فيشار فيه مثلًا إلى زلزالٍ قوّته 5 أو 5 M.

حدود الصفيحة التكتونية

تُنتج حركة الصفائح التكتونية تراكيب جيولوجية نميّزها في يومنا الحاضر. ويُظنُّ أن قمة إفرست (**الشكل 10-38**) وجبال الهيملايا تشكّلت في العصر الحجري القديم، عندما اصطدمت الصفيحة التكتونية الهندية بالصفيحة التكتونية الآسيوية.

الشكل 10-38 قمة إفرست أعلى نقطة فوق سطح البحر (8,844 م).

الشكل 10-39 منطقة الانغماس.

عند التقاء الصفيحة التكتونية العربية بالصفيحة التكتونية الأوراسية، فإنّ الصفائح التكتونية العربية تنزلق تحت الصفيحة التكتونية الأوراسية. وتسمى منطقة انزلاق صفيحة تكتونية تحت أخرى **منطقة الانغماس Subduction zone** (**الشكل 10-39**)، وهي تُنتج مجموعة مختلفة من التشكيلات الجيولوجية. ويُظنُّ أن هذه الحركة هي المسؤولة عن تكوّن جبال زاجروس في إيران.بِسحْبِ إحدى الصفائح التكتونية إلى الوشاح، تنصهر أجزاء منها مكوّنةً براكين. وتُعدّ بقايا البراكين في «قالية حسن علي» شواهدَ على هذه الحركة.

تتحرك الصفيحة التكتونية العربية بعيدًا عن الصفيحة التكتونية الإفريقية، ويُظن أن ذلك أنتج البحر الأحمر وخليج عدن. وتعد حركتها الشمالية عاملًا مساهمًا في نشاط زلزالي في تركيا.

حدثت معظم الحركات التكتونية على مدى عشرات الملايين من السنين. ولا تُعدّ الحركة البطيئة والناعمة على مدى الزمن الجيولوجي مشكلة كبيرة، بل إنَّ المشكلات تبدأ عندما تَعلق الصفائح التكتونية.

شدّة الزلزال

في الوقت الذي تتحرك الصفائح المتقاربة، تَعلق أجزاء من صفيحة بأجزاء من صفيحة أخرى، فيتولَّد من ذلك ضغط بين الصخور في كل منطقة، إلى أن يتحرّر الضغط. وبدلًا من أن تتحرك بمعدل 20 ملم/ عام، فإنها قد لا تتحرك إلى عدة أعوام، ثم تتحرك 40-50 ملم دفعة واحدة. ويسبّب ذلك موجات الصدمة في الأرض التي نسمّيها زلازل، فزلزال شدّته M2.5 يحدث مرارًا (**الجدول 1.10**)، ولا يُشعر به في أغلبها.

الجدول 10-1 شدّة الزلزال، آثاره، عدد مرات حدوثه سنويًا.

شدّة الزلزال (M)	آثاره	العدد المقدَّر سنويًّا في العالم
2.5 أو أقل	لا يُشعَر به، ولكنه يُرصد بالسيزموجراف.	900,000
2.5 إلى 5.4	غالبًا يُشعر به، ويسبّب أضرارًا ثانوية.	30,000
5.5 إلى 6	يسبّب أضرارًا طفيفة للمباني والإنشاءات.	500
6.1 إلى 6.9	قد يسبّب أضرارًا كثيرة في مناطق مأهولة بالسكان.	100
7 إلى 7.9	زلزال كبير، يسبّب أضرارًا جسيمة.	20
8.0 أو أكثر	زلزال كبير يمكن أن يدمّر مجتمعات قريبة من مركز الزلزال.	واحد كل 5 سنوات إلى 10
10	غير معروف	لم يُختبر (لم يحدث في عصرنا).

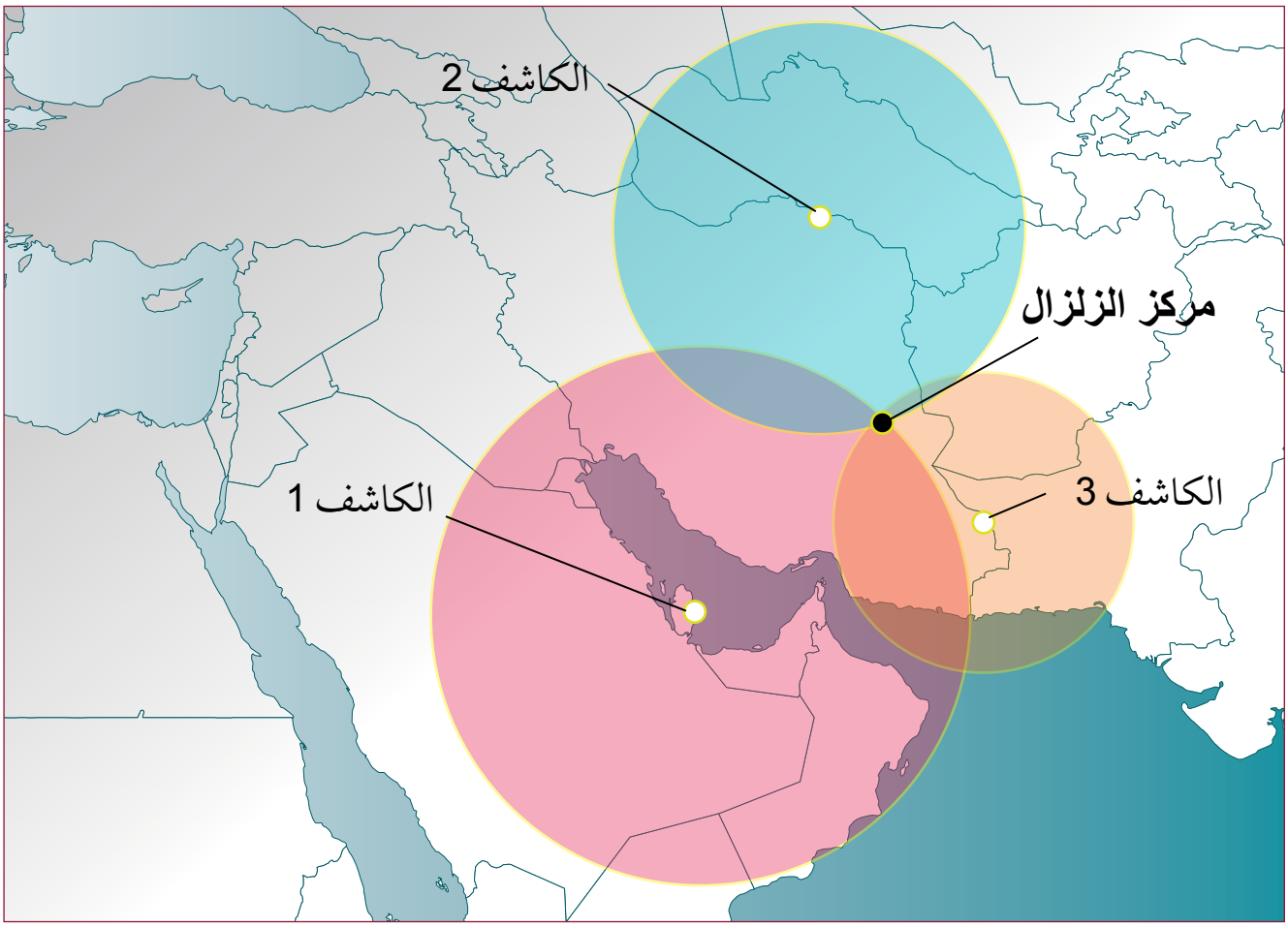
اعتاد الناس الذين يعيشون في المناطق التي يكون فيها نشاط زلزالي على الشعوربحدوث هزّات عَرَضية، أو زلازل ثانوية. وقد لا يكون هناك نشاط زلزالي لعدة سنوات.

يؤدي تراكم الضغط إلى تكوّن قوّة تدميريّة هائلة قد تتعدّى آثارها ما نراه (**الشكل 10-40**) بكثير. أما غياب النشاط الزلزالي لفترة من الزمن، فإنه ينذر عادة بـ«الزلزال الكبير».

الشكل 10-40 دمار قرية نتيجة زلزال قوته 6.4 M.

مركز الزلزال

عالِم الزلازل Seismologist يدرس آثارالزلازل والنشاط التكتوني، ويمكنه أن يحدّد بدقة نقطة بداية الزلزال. تُسمّى نقطة بداية الزلزال «مركز الزلزال»، وتكون عادةً في عمق عدة كيلومترات في باطن الأرض. يُنشئ الزلزال موجات الصدمة التي يمكن الشعور بها من مسافات بعيدة: تكشف مواقعُ الرصد الموجاتِ «P» أولًا، ثم تكشف موجة «S» الأبطأ في حركتها.ويسمح الفرق في السرعة المتجهة velocity بين هاتين الموجتين لعلماء الزلازل بالمعرفة الدقيقة لبُعد مكان حدوث الزلزال عن أجهزتهم.



الشكل 10-41 التثليث لمعرفة مكان حدوث الزلزال

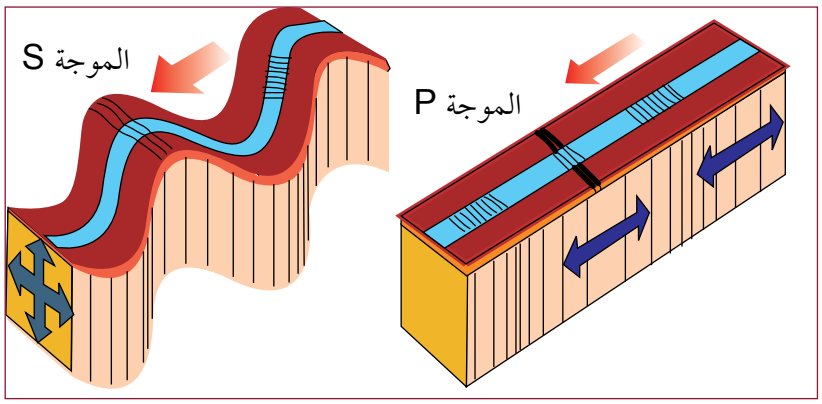
ويسمح **التثليث Triangulation** لثلاثة كواشف زلزالية بتحديد مركز الزلزال. فقد يحسب عالِم زلازل في الدوحة حدوث زلزال على بُعد 650 km عنه، حيث تُرسم دائرة، نصف قطرها 650 km، على أن يكون موقع الرصد في منتصفها. وقد يُظهر سيزموجراف في تركمستان أن زلزالًا حدث على بُعد 430 km عن محطتها، في الوقت الذي ترصد فيه محطة باكستان زلزالًا حدث على بُعد 300 km. إن مكان تداخل محيط الدوائرالثلاث هذه هو مركز الزلزال (**الشكل 10-41**).

نشاط 10-3 أضرار الزلزال

سؤال الاستقصاء	هل يمكن تصميم بناء ليصمد ضد الزلازل؟
الموادّ المطلوبة	موادّ حرفية، رغوة عائمة، وعاء ماء.

الخلفية العلمية

يبيّن **الشكل 10-42** تخطيطًا يُظهر آثار حركة موجات «P» و«S». وتكون موجة «P» في الغالب موجة تضاغط. يمكن أن تكون موجة S إلى الأعلى والأسفل، أو جنبًا إلى جنب، أو إلى كليهما معًا. ويجب أن تُصمَّم الأبنية لتواجه القوة الناتجة من حركة نوعي الموجات.



الشكل 10-42 لموجات P وS آثار مختلفة في السطح.

الإجراءات

بالتعاون مع زميلك:

1. ابنِ هيكلًا بحيث يخضع لأكثر من نوع حركة. استخدم الموادّ المتوافرة: ماصات العصير، أعواد تحريك القهوة الخشبية والمعكرونة المسطّحة (على أن يكون لهذه المواد خصائص مماثلة للحديد المستخدم في البناء).
2. يمكن وضع النماذج على لوح هزّاز لمحاكاة موجات كلٍّ من P وS.
3. ضع النماذج فوق الرغوة العائمة في وعاء الماء،وحرِّك الماء بحذر لمحاكاة موجات S.
4. عدّل نموذجك ليصبح محكمًا أكثر. يجب استخدام المواد اللاصقة فقط لربط القطع الفردية.
5. أنتج مقطع فيديو، وصف فيه آثار الموجات الزلزالية P و S في البناء الذي أنشأته.

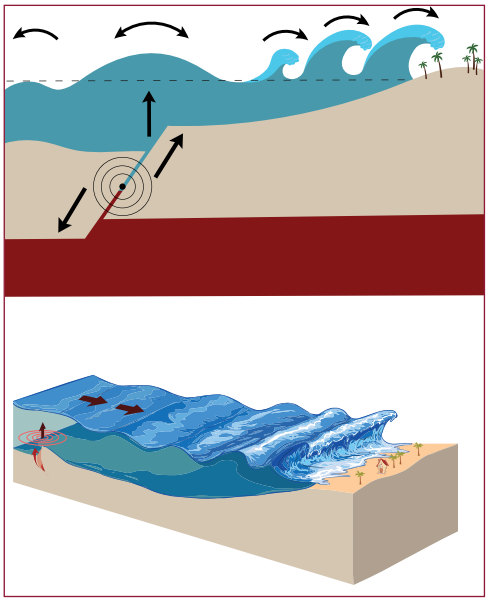
الأسئلة والتحليل

a. هل كان هناك أيّة تصاميم واضحة أكثر نجاحًا من غيرها؟

b. كيف يمكنك جعل هذه التجربة أكثر واقعية؟

تسونامي

يمكن أن يكون للزلازل تأثير بعيد المدى إذا حدثت تحت الماء. وتتكوَّن الموجات في الغالب من احتكاك الرياح بالمسطح المائي الذي تهبّ عبره. يمكن لاندفاع العاصفة أن تدفع الماء من مواقع أعمق من تحت السطح، فيتسبَّب زلزال أو بركان أو انزلاق قاع المسطح المائي في إزاحة كمية كبيرة من الماء، فتنتج الموجة من طاقة ضغط الماء المزاح.



الشكل 10-43 زلزال تحت الماء يسبب تسونامي.

عندما تصل موجة منتظمة إلى مياه ضحلة، فإنها تزداد ارتفاعًا، لتبلغ قممها عند الشاطئ، حيث يتحرك الجزء العلوي من الموجة على نحوٍ أسرع من قاعها، متهيئة للاصطدام بالشاطئ، في الوقت الذي يرتد فيه الماء إلى المحيط.

أمّا الطاقة المتولِّدة من مجموعة الموجات الزلزالية، والملقبة بـ«تسونامي»، فيمكنها أن تنتقل عبر المحيط إلى آلاف الكيلومترات، من دون أن تلاحظ، وبسرعات قد تصل إلى 500 km/h. وعندما تصل هذه الطاقة إلى الشاطئ تختلف بسلوكها عن الموجات المنتظمة (**الشكل 10-43**). ولا تكون سرعة تسابقها أكبر من الطبيعي فحسب، بل إنها تحمل معها كمّية ضخمة من الماء تتعدّى بها الشاطئ إلى اليابسة (**الشكل 10-44**).

تؤثر هندسة كلٌّ من قاع المحيط وخط الشاطئ الذي تضربه الموجة في شدة التسونامي. وقد حدث انزلاق صخري حادّ نتيجة زلزال في ألاسكا، في الولايات المتحدة في العام 1958، فأدّى إلى «تسونامي»، حوصر في قناة ضيقة. وقد بلغ أعلى إرتفاع له 500 m، ووصل ارتفاع أغلب موجات التسونامي إلى ما بين 10 - 30 m.

الشكل 10-44 أضرار تسونامي.

يمكن أن تسبّب الأحداث الزلزالية «تسونامي» في مناطق بعيدة عن مركز الزلزال.وقد أُنشئت منظمة عالمية لتطوير أنظمة إنذار لاستباق أحداث «تسونامي»، وهذا يعطي الناس وقتا كافيًا للاستعداد لمواجهة أخطار التسونامي.

تقويم الدرس 10-3

1. ما السرعة التي تتحرّكُ بها الصفيحة التكتونيَّة العربية؟
   a. 1 – 5 mm/ سنويًّا
   b. 10 – 15 mm/ سنويًّا
   c. 10 – 15 cm/ سنويًّا
   d. 1 – 5 m/ سنويًّا

2. ما التركيب الجيولوجي الذي يُظنُّ أنه نتج من اصطدام الصفيحة التكتونية الهندية بالصفيحة التكتونية الآسيوية؟
   a. خليج عدن.
   b. جبال زاجروس، إيران.
   c. جبال الهملايا، التبّت.
   d. سلسلة جبال طوروس، تركيا.

3. ما شدّة الزلزال الذي لا يُلاحَظ؟
   a. 2.5 M
   b. 3.5 M
   c. 4.5 M
   d. 5.5 M

4. لماذا تُعدّ نظرية الصفائح التكتونية مفيدة؟

5. ما المقصود بمصطلح «زلزالي»؟

6. ما حدود الصفيحة التكتونية التي تُعرف بمنطقة الانغماس؟

7. ما الشاغل الأساسي للناس الذين يعيشون على حدود صفيحة تكتونية، ولم يختبروا حدوث زلازل بضعة أعوام؟

8. كيف يبدأ التسونامي؟

9. كيف يصل ارتفاع تسونامي إلى 500 m؟

العلم والعلماء

ألفريد فيجنر: 1880-1930

الشكل 10-45 ألفريد فيجنر.

اقتُرِح نموذج الصفائح التكتونية أول مرة من قبل عالم ألماني يُدعى ألفريد لوثر فيجنر (**الشكل 10-45**). لاحظ فيجنر أن كلاً من شكل الساحل الإفريقي الغربي، وشكل الساحل الشرقي لأمريكا الجنوبية يكمّل أحدهما الآخر، وسمّي ذلك بعدها «الانجراف القارّي». تشير نظرية فيجنر إلى أنه كان هناك قارة واحدة، أدّى الانجرافُ القارّي إلى انفصال كتلها.

كان مجال بحث الدكتور فيجنر هو علم الأرصاد الجوية، لاسيما الدراسات القطبية. وقد رفض الجيولوجيون في ذلك الوقت فكرته قائلين إن المناطق الساحلية لم تتطابق بقدر كافٍ لإثبات نظريته.

الشكل 10-46 جنوب أمريكا وأفريقيا.

إلّا أن فيجنر لم يستند في نظريته على الملامح السطحية التي يمكن أن تغيّرها عوامل التجوية والتعرية، بل إنه أخذ في الحسبان الرفوف القارية التي تتطابق على نحوٍ أفضل. ولم يعرف أحد في ذلك الوقت آلية تحرُّك القشرة الأرضية؛ لذا، فقد كانت النظرية غير مقبولة. وقد واصل فيجنر أبحاثه في مجال الأحوال الجوية، إلى أن مات في العام 1930 م في جرينلاند في أثناء نقله إمدادات إلى مناطق بعيدة.

في ستينيات القرن الماضي أدى اكتشاف توسّع قاع المحيط وارتفاع مصداقية جهاز النظام العالمي لتحديد المواقع (GPS) إلى الإثبات على نحوٍ قاطع أن القارات تتحرّك، وأن تحرّكها كان من منتصف قارة كبيرة. ويُعدّ فيجنر الآن مؤسس نظرية الصفائح التكتونية، وهي نظرية تُعدّ واحدة من أعظم الإسهامات العلمية في القرن العشرين.

الطريف في الأمر أنَّ القوة المحرّكة للصفائح التكتونية قد حددت لتكون خلايا الحمل الحراري في القشرة الأرضية، أما خلايا الحمل الحراري في الغلاف الجوي، فقد كانت لفيجنر المحورالرئيس في أبحاثه المتعلقة بالرصد الجوي.

الوحدة 10

مراجعة الوحدة

الدرس 10-1 الحرارة

- **الحمل الحراري Convection** هو انتقال الحرارة الذي تقوده الجاذبية وتيارات الكثافة التي تحثّها الحرارة.
- **الضغط Pressure** هو مقدار القوة المؤثّرة في منطقة ما.
- **الصفائح التكتونية Tectonic Plates** هي سلسلة من صفائح صلبة من الغلاف الصخري تطفو على الوشاح.
- **السيزموجراف Seismograph** أداة تقيس اهتزازات في داخل الأرض.

الدرس 10-2 أحداث الطقس

- **تأثير كوريوليس Coriolis effect** هو ظاهرة انحناء الموائع عند مرورها عبر سطح الأرض أو فوقه.
- **العاصفة الإعصارية Cyclonic storm** هي عاصفة تدور نتيجة لتأثير كوريوليس، وتكون قريبة من السطح.
- **إعصار اليابسة Landfall** يحدث عند عبور عين الإعصار المداري (سايكلون) الساحل إلى اليابسة.
- **اندفاع العاصفة Storm surge** هي المياه التي تدفعها رياح إعصار (هوريكين).
- **السحابة الخارقة Super – cell** هي عاصفة رعدية كبيرة لها حركة إعصارية.

الدرس 10-3 الزلازل

- **الموجات الزلزالية Seismic** تشير إلى اهتزازات الأرض الناتجة من أحداث جيولوجية أو انفجار.
- **منطقة الانغماس Subduction zone** تحدث عندما تتحرك صفيحة تكتونية أســفل أخرى.
- **الزلازل الأرضية Earthquakes** تنتج من موجات الصدمة من حدث زلزالي.
- **عالِم الزلازل Seismologist** هو العالِم الذي يدرس آثار الزلازل والأنشطة الزلزالية.
- **مركز الزلزال Epicenter** هونقطة بداية زلزال ما.

اختيار من متعدِّد

1. ماذا يُتوقَع عند استخدام حرف «L» فوق مسطّح مائي في خريطة الطقس؟
   a. ضغط منخفض – الهواء جاف.
   b. ضغط منخفض – الهواء رطب.
   c. ضغط مرتفع – الهواء جاف.
   d. ضغط مرتفع – الهواء رطب.
2. فيمَ تختلف كثافة المياه العذبة عن كثافة المياه المالحة؟
   a. المياه العذبة أقل كثافة من المياه المالحة.
   b. المياه العذبة أكثر كثافة من المياه المالحة.
   c. للمياه العذبة والمالحة الكثافة نفسها.
   d. تختلف كثافة المياه العذبة والمياه المالحة من مكان لآخر فلا يمكن مقارنة كثافتيهما.
3. أيٌّ ممّا يأتي ليس جزءًا من نظرية الصفائح التكتونية ؟
   a. تتكوّن الأرض من ألواح صلبة من الغلاف الصخري.
   b. تطفو الألواح الصلبة على الوشاح داخل الأرض.
   c. تحدث البراكين والزلازل عند أطراف الألواح.
   d. تنجم أنماط الطقس عن خلايا الحمل الحراري التي في داخل الغلاف الجوي.
4. فيمَ يستخدم جهاز السيزموجراف؟
   a. يقيس سمك الطبقات المختلفة.
   b. يرصد الموجات الزلزالية P وS.
   c. يقيس كثافة القشرة وكثافة الطبقات.
   d. يرسل موجات صوتية إلى داخل الأرض، ويحدّد أوقات ارتدادها ليحصل على تصوّر عن الأرض.
5. في أيٌّ من المناطق الآتية تدور أنظمة الضغط المنخفض باتجاه عقارب الساعة؟
   a. المحيط الهادي.
   b. المحيط الأطلسي.
   c. نصف الكرة الأرضية الشمالي.
   d. نصف الكرة الأرضية الجنوبي.

6. أيٌّ ممّا يأتي هو المكان الأكثر احتمالًا لبلوغ إعصار (هوريكين) اليابسة؟

a. مومباي، الهند.
b. داروين، أستراليا.
c. ميامي، الولايات المتحدة.
d. تيمور الشرقية، إندونيسيا.

7. ماذا يُسمَّى علماء الأرصاد الجوية الذين يتتبّعون الأعاصير القمعية (تورنادو)؟

a. علماء رصد الزلازل.
b. مطاردي العاصفة.
c. مراقبي العاصفة.
d. علماء الرصد الجوي المتوَقَّع.

8. ما التركيب الجيولوجي الذي يُظنُّ أنه نتج من اصطدام الصفيحة التكتونية العربية بالصفيحة التكتونية الأوراسية؟

a. خليج عدن.
b. جبال زاجروس، إيران.
c. جبال الهملايا، التبت.
d. سلسلة جبال طوروس، تركيا.

9. ما التركيب الجيولوجي الذي يُظنُّ أنه نتج من تباعد الصفيحة التكتونية العربية عن الصفيحة التكتونية الإفريقية؟

a. خليج عدن.
b. جبال زاجروس، إيران.
c. جبال الهملايا، التبت.
d. سلسلة جبال طوروس، تركيا.

10. كيف تُحدَّد المسافة إلى مركز الزلزال؟

a. وقت رصد الموجة «p».
b. وقت رصد الموجة «S».
c. الفرق الزمني بين موجة «p» وموجة «S».
d. شدة الموجة «p» مقارنة بالموجة «S».

الدرس 10-1 الحرارة

11. صف كيف يحدث نسيم البحر.

12. كيف ترتبط كثافة الهواء بضغطه؟

13. كيف يمكنك التنبّؤ بالمكان الأقل رياحًا عند دراستك خريطة الطقس؟

14. فيمَ يختلف حزام نقل المحيطات العالمي عن تيارات المحيط العادية (المنتظمة)؟

15. كيف يعطي السيزموجراف صورة واضحة عن داخل الأرض؟

الدرس 10-2 أحداث الطقس

16. ما الذي يمنع خلايا الحمل الحراري من التكوّن بين خط الاستواء الساخن وقطبَي الأرض شديدَي البرودة؟

17. لماذا يعمل تأثير كوريوليس على نطاق حركة كبير، وليس على الماء الذي ينزل في الحوض؟

18. ما مصدر القلق الذي يسبّبه بلوغ إعصار سايكلون اليابسة إضافة إلى الرياح الشديدة؟

19. ما تأثير الاحترار العالمي المحتمل في العواصف الإعصارية؟

20. صف الاختلاف في سرعة الرياح بين إعصار سايكلون والإعصار القمعي (تورنادو).

21. ما الذي يكون على خريطة طقس مؤشرًا على احتمال حدوث إعصار تورنادو ؟

22. لماذا ينجم عن إعصار (سايكلون) أضرارٌ أكثر من إعصار تورنادو (قمعي)؟

23. صف الفرق بين الإعصار القمعي (تورنادو) والدوّامة.

24. ما الظروف التي تولّد العواصف الرملية؟

25. ما الفرق بين العاصفة الرملية وعاصفة الغبار؟

الدرس 10-3 الزلازل

26. لماذا تُعدّ إيران منطقة نشاط زلزالي؟

27. صف مقياس العزم بوصفه طريقة قياس أحداث زلزالية.

28. ما دليل وجود منطقة انغماس بين الصفيحة التكتونيَّة العربية والصفيحة التكتونيَّة الأوراسية؟

29. ما الذي يؤدّي إلى حدوث الزلازل؟

30. ما المطلوب لتحديد مركز زلزال؟

31. أيّ نوع من الموجات يمكنه هزّ الأرض إلى الأعلى وإلى الأسفل؟

32. ما الذي يسبّب زيادة سرعة موجةٍ ما؟

33. إلى أيّ مدى يمكن أن تنتقل الطاقة الزلزالية لموجة تسونامي؟

34. ما الذي يشترك فيه التسونامي واندفاع العاصفة؟

35. ما الإجراءات المطلوبة للاستعداد لحدوث تسونامي؟

36. ما المواضيع التي قد يحتاج إلى دراستها كلٌّ من: الجيولوجي، وعالم رصد الزلازل، وعالم المحيطات؟

37. ما الاستعدادات الضرورية لإعصار (تايفون) والتي لا تكون ضرورية لتسونامي؟

الشكر والتقدير

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

Egoreichenkov Evgenii/Shutterstock; Doug McLean/Shutterstock; Alexander Gatsenko/ Shutterstock; ARTSIOM ZAVADSKI/shutterstock; rumruay/Shutterstock; Fouad A. Saad/ Shutterstock; Rugged Studio/Shutterstock; Rvector/Shutterstock; Menno van der Haven/ Shutterstock; Maxim Gaigul/Shutterstock; Iri-s/Shutterstock; springsky/Shutterstock; Meggi/Shutterstock; Jo Theera/Shutterstock; Dmitry_Kosarev/Shutterstock; Shiyan Sergiy/ Shutterstock; MicroOne/Shutterstock; Macrovector/Shutterstock; robuart/Shutterstock; Vector FX/Shutterstock; T VECTOR ICONS/Shutterstock; Krafted/Shutterstock; Serorion/ Shutterstock; Prachaya Roekdeethaweesab/Shutterstock; vectorisland/Shutterstock; LWY Partnership/Shutterstock; Anatolir/Shutterstock; BigMouse/Shutterstock; yoojiwhan/ Shutterstock; Ton Snoei/Shutterstock; CreateCamera/Shutterstock; Anton Starikov/ Shutterstock; Liudmila Savushkina/Shutterstock; e X p o s e/Shutterstock; Ariyaporn chumkong/Shutterstock; Piart/Shutterstock; darsi/Shutterstock; RayPics/Shutterstock; Billion Photos/Shutterstock; Wstockstudio/Shutterstock; Sicco Hesselmans/Shutterstock; Tanakax3/Shutterstock; cobalt88/Shutterstock; Raman Shytsik/Shutterstock; John Mackintosh/Shutterstock; Timothy Hodgkinson/Shutterstock; Serorion/Shutterstock; Jan Babak/Shutterstock; Winai Tepsuttinun/Shutterstock; ParabolStudio/Shutterstock; Andrei Nekrassov/Shutterstock; Dmitry S. Gordienko/Shutterstock; Monika Wisniewska / Shutterstock; Joel Everard /Shutterstock, Monika Wisniewska /Shutterstock; Joel Everard /Shutterstock; Naeblys /Shutterstock; bicubic /Shutterstock; samray /Shutterstock; VectorMine /Shutterstock; OSweetNature /Shutterstock; Dietrich Leppert /Shutterstock; Fouad A. Saad /Shutterstock; BINK0NTAN /Shutterstock; mTaira /Shutterstock; ghost design /Shutterstock; Doroniuk Anastasiia /Shutterstock; corbac40 /Shutterstock; austinding /Shutterstock; Andrea Danti /Shutterstock; inigocia/Shutterstock; vchal/Shutterstock; tinkivinki/Shutterstock; Naypong Studio/Shutterstock; Lukasz Janyst /Shutterstock; John D Sirlin /Shutterstock; Walkabout Photo Guides /Shutterstock; Eugene R Thieszen / Shutterstock; Huntstyle /Shutterstock; Justin Hobson /Shutterstock; Vladiczech / Shutterstock; NASA images /Shutterstock; Arshad876 /Shutterstock; mapichai/Shutterstock; Minerva Studio/Shutterstock; Belish/Shutterstock; Christoph Burgstedt/Shutterstock; Mopic/Shutterstock; Peter Hermes Furian/Shutterstock; Nasky/Shutterstock; Draw Man/ Shutterstock; Rainer Lesniewski/Shutterstock; Robert Adrian Hillman/Shutterstock; Designua/Shutterstock; Alexander Lukatskiy/Shutterstock; giedre vaitekune/Shutterstock; Fuss Sergey/Shutterstock; Pat_Hastings/Shutterstock; Jakkapan Sookjaroen/Shutterstock; ghost design/Shutterstock; Andrei Kuzmik/Shutterstock; Ras Abu Fontas A3 plant; Purple Anvil/Shutterstock; Eric Iselee/Shutterstock; Martin Voeller/Shutterstock; Sebastian Kaulitzki/Shutterstock; Michiel de Wit /Shutterstock; Flegiere/Shutterstock; Steve Bower/ Shutterstock; terekov igor/Shutterstock; Kimberly Hall/Shutterstock; Oleksandr_Delyk/ Shutterstock; grzym/Shutterstock; Anton Starikof/Shutterstock; marcinm111/Shutterstock; David Tonelson/Shutterstock; Ultrapek/Shutterstock; koosen/Shutterstock; Ebtikar/ Shutterstock; royaltystockphoto.com/Shutterstock; juan gartnear/Shutterstock; Daojah/ Shutterstock; Catherine Eckhart/Shutterstock; Sebastian Kaulitzki/Shutterstock; Burdun Illiya/Shutterstock; Kateryna Kon/Shutterstock; Maxx-studia/Shutterstock; lightboxx/ Shutterstock; gorodenkoff/Shutterstock; okskaz/Shutterstock; Mike Workman/Shutterstock; Miss E Media/Shutterstock; Eric Agar/Shutterstock; IanRedding/Shutterstock; Aldona Griskeviciene/Shutterstock; Raland/Shutterstock; Okrasyuk/Shutterstock; Photomaster/ Shutterstock; A7880S/Shutterstock; PhotocechCZ/Shutterstock; Rizik/Shutterstock; SunshineVector/Shutterstock; Lebendkulturen.de/Shutterstock; eranicle/Shutterstock; Bijanart/Shutterstock; JubalHarshaw/Shutterstock; Taiga/Shutterstock; /Shutterstock; / Shutterstock; /Shutterstock; /Shutterstock; /Shutterstock;