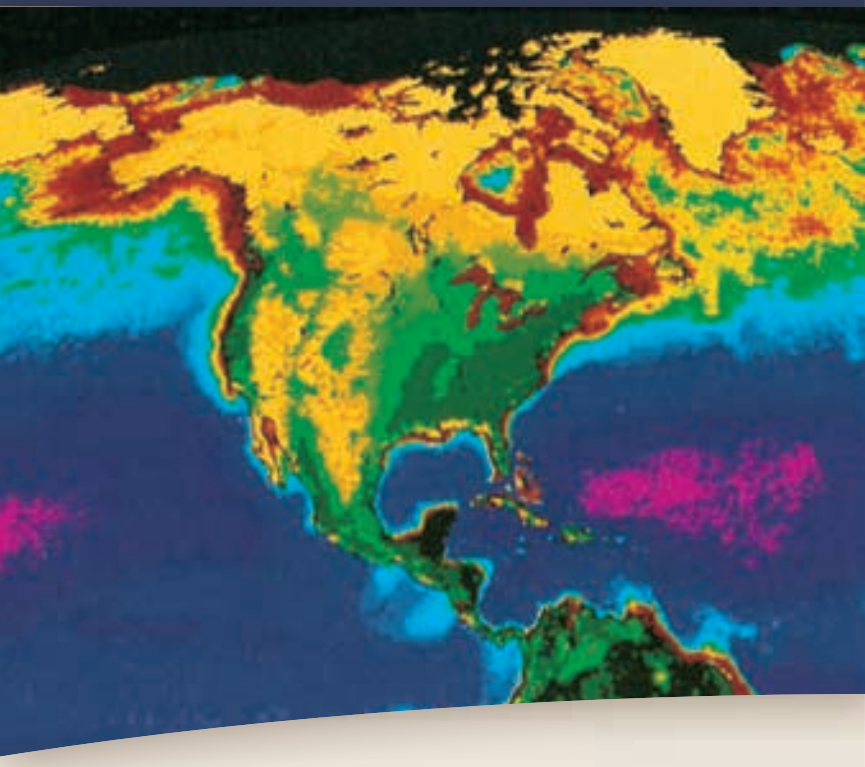
الفصل 58

الغلاف الحيويّ
The Biosphere



موجز المفاهيم

58-1 تأثيرات الشَّمس، والرِّياح، والماء في النِّظام البيئي

- *الطَّاقة الشَّمسية ودوران الأرض يؤثران في دورات الغلاف الجوي.*
- *تُحرِّك الرِّياح تيارات المُحيطات العالمية بشكل رئيس.*
- *تُؤثِّر الاختلافات الإقليمية والمحلِّية في الأنظمة البيئية اليابسة.*

58-2 أقاليم الأرض الحيوية

- *تُحدِّد درجة الحرارة والرُّطوبة الأقاليم غالبًا.*
- *الغاباتُ الاستوائيّة المطريةُ أنظمةٌ استوائيةٌ عالية الإنتاجية.*
- *السَّافانا (إقليم الحشائش) أراضي حشائش استوائية ذات أمطار موسمية (فصلية).*
- *الصحارى مناطق ذات أمطار قليلة.*
- *تمتلك أراضي الحشائش المُعتدلة تربة غنية.*
- *تكيّفت الغابات المُعتدلة ذات الأشجار مُتساقطة الأوراق مع التَّغيُّرات الفصلية (الموسمية).*
- *تكون الغابات المُعتدلة دائمة الخضرة ساحلية.*
- *التّيجة هي الغابات الشَّمالية، حيث الشِّتاء القارس.*
- *التّندرا مساحة مُتجمدة إلى حد كبير، وهي خالية من الأشجار وذات فصل نمو قصير.*

58-3 بيئات المياه العذبة

- *تعتمد الحياة في مناطق المياه العذبة على توافر الأكسجين.*
- *تتغيَّر بيئات البُحيرات والبرك مع عُمق الماء.*
- *تمتلك المياه قليلة الغذاء أكسجينًا عاليًا، ولكنها ذات مُحتوى غذائي قليل.*
- *المياه حقيقية التغذية تكون عالية المُحتوى الغذائي والعوالق النَّباتية، ولكنَّها قليلة الأكسجين.*

مقدّمة

يشمل الغلاف الحيوي مُعظم المُجتمعات الحية على الأرض، من الحياة الغزيرة في الغابات الاستوائيّة المطرية إلى مُجتمعات العوالق في مُحيطات العالم. بالمفهوم العام، يعكس توزيع الحياة على الأرض التَّنوع في البيئات غير الحية للعالم، مثل التَّنوع في كلّ من درجات الحرارة وتوافر الماء من بيئة يابسة إلى أخرى. يُمثِّل الشَّكل في هذه الصفحة صورة بالأقمار الصِّناعية لأمريكا، بناء على بيانات جُمعت خلال 8 سنوات. الألوان هي مفتاح للوفرة النِّسبية لمادة الكلوروفيل (اليخضور)، مُشيرًا إلى غنى المُجتمعات الحية. المساحات الخضراء والخضراء القاتمة على الأرض هي المساحات ذات الإنتاجية الأولية العالية (مثل الغابات المُزدهرة)، في حين تمثّل المساحات الصفراء صحارى أمريكا والتّندرا في الشَّمال البعيد، ذات الإنتاجية الأقل.

58-4 البيئات البحرية

- *للمُحيطات المفتوحة إنتاجية أولية مُنخفضة.*
- *تُوفِّر الأنظمة البيئية للرَّف القاري مصادر غزيرة.*
- *تُعاني مناطق النَّبع خلط المواد الغذائية والأكسجين.*
- *البحر العميق بارد ومُعتم، وفيه بعض المُجتمعات المثيرة للاهتمام.*

58-5 تأثيرات الإنسان في الغلاف الحيوي: التَّلوث واستنزاف الموارد

- *بيئات المياه العذبة مُهدَّدة بالتَّلوث واستهلاك المصادر.*
- *تهدّد إزالة الغابات الأنظمة البيئية اليابسة.*
- البيئات البحرية تُستنزف من الأسماك والأنواع الأخرى.
- *أدَّى استنزاف (تآكل) طبقة الأوزون في طبقة الستراتوسفير إلى «ثقب» الأوزون.*

58-6 تأثيرات الإنسان في الغلاف الحيوي: الاحتباس الحراري (الدفيئة)

- *تتوقَّع نماذج حاسوبية مُستقلة تغيُّرات عالمية.*
- *ثاني أكسيد الكربون الغاز الرّئيس لظاهرة البيت الزُّجاجي.*
- *تؤكد أدلَّة حدوث الاحتباس الحراريّ.*
- *أثَّر التَّغيُّر في درجة الحرارة العالية في الأنظمة البيئية في الماضي، وما زال يُؤثر الآن.*
- *يُؤثِّر الاحتباس الحراريّ في جماعات البشر كذلك.*

1-58 تأثيرات الشَّمس، والرِّياح، والماء في النِّظام البيئي

تتأثر الأنماط العالمية الرّئيسة للحياة على الأرض بشكل كبير ب: (1) كمية أشعة الشَّمس التي تصل إلى الأجزاء المُختلفة من الأرض والاختلافات الموسمية لتلك الأشعة. (2) أنماط دورات الغلاف الجوي العالمي، وأنماط الدَّورات النَّاتجة للمُحيطات. تتفاعل الخصائص المحلية، مثل أنواع التُّربة وارتفاع الأرض، مع الأنماط العالمية في الشَّمس، والرِّياح، وتيارات المياه لتُحدِّد الأحوال التي توجد فيها الحياة، وبالتَّالي تُحدِّد توزيع الأنظمة الحيوية.

الطاقة الشَّمسية ودوران الأرض يؤثران في دورات الغلاف الجوي

تستقبل الأرض مُعدَّلات عالية من الأشعة الشَّمسية على شكل أشعة كهرومغناطيسية عند الأطوال الموجية المرئية وقُرب – المرئية. يستلم كلّ متر مُربع من الغلاف الجوي الخارجي 1400 جول لكلّ ثانية تقريبًا، مما يكافئ إنتاج أربعة عشر مصباحًا ضوئيًا، قوة كلّ واحد 100 واط.

حالما تعبر الطَّاقة الإشعاعية الشَّمسية الغلاف الجوي، تعدّل شدتها وتركيبها الموجي. فنصف الطَّاقة تقريبًا يتمُّ امتصاصها مِن قِبَل الغلاف الجوي، والنِّصف الآخر يصل سطح الأرض. تمتَّص غازات الغلاف الجوي بعض الأطوال الموجية بشدَّة، في حين تعبر بعض الأطوال الموجية بحرية. ولذلك، فإنّ التَّركيب الموجي للأشعة الشَّمسية التي تصل سطح الأرض يكون مُختلفا عن التركيب الذي تطلقه الشَّمس. فمثلًا، يتمُّ امتصاص حزمة الأشعة فوق البنفسجية، التي يُطلق عليها الأشعة فوق البنفسجية – ب (UV-B)، بشدة بواسطة الأوزون (O_3) في الجو، ولهذا فإنّ هذه الأشعة تكون قليلة جدًا عند وصول الطَّاقة الشَّمسية إلى سطح الأرض.

كيف تُؤثِّر الأشعة الشَّمسية في المُناخ

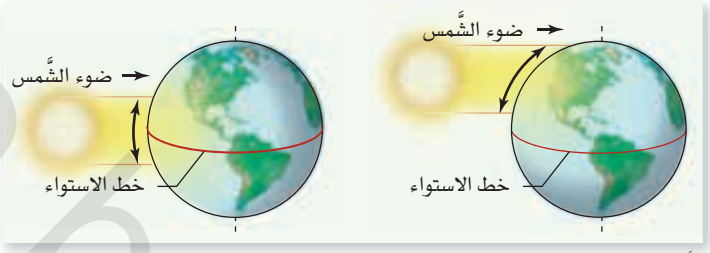
تأخذ بعض المناطق على سطح الأرض طاقة من الشَّمس أكثر من غيرها. وتُؤثِّر هذه الاختلافات كثيرًا في المُناخ.

السبب الرّئيس لاختلاف الأشعة الشَّمسية من مكان إلى آخر على الأرض يكمن في حقيقة أنَّ الأرض كروية (الشكل 58-1 أ)؛ فالمناطق الاستوائيّة دافئة لأنَّ أشعة الشَّمس تصل تقريبًا عمودية على سطح الأرض على مناطق قريبة من خط الاستواء. الزَّاويةُ التي تضربُ بها أشعة الشَّمس، وتُسمَّى زاوية السُّقوط *Angle of incidence*، المناطقَ القريبة من الأقطاب، توزعُ الطَّاقة الشَّمسية على مساحة أكبر من الأرض، مُوفِّرةً طاقة أقل لكلّ وحدة مساحة أرضية. فكما يُبيِّن الشَّكل 58-2، تكون أعلى مُعدَّلات درجات حرارة سنوية عند خط الاستواء (خط عرض صفر°).

يلعب دوران الأرض السَّنوي حول الشَّمس ودورانها على محورها أيضًا دورًا مُهمًا في تحديد أنماط الأشعة الشَّمسية وتأثيرها في المُناخ (الشكل 58-1 ب). إنَّ محور دوران الأرض ليس عموديًا على المُستوى الذي تدور فيه حول الشَّمس. ولأنَّ محور الأرض يميل بزاوية مقدارها 23.5° تقريبًا، فإنّ تعاقب الفصول يحدث في أنحاء الأرض جميعها، خاصة عند خطوط العرض البعيدة عن خط الاستواء. فنصف الكرة الشَّمالي، مثلًا، يميل نحو الشَّمس في بعض الأشهر، ولكن بعيدًا عنها في أشهر أُخرى، مكوِّنًا الصَّيف والشِّتاء.

أنماط الدَّورات العالمية في الغلاف الجوي

يرتفع الهواء السَّاخن بالنِّسبة إلى الهواء الأبرد لأنَّ جُزيئات الهواء السَّاخن تزداد حركتها بازدياد درجات الحرارة، مما يجعلها أقل كثافة. وعلى هذا، فإنّ التسخين الشَّمسي الكثيف لسطح الأرض عند خطوط العرض الاستوائيّة يجعل الهواء يرتفع



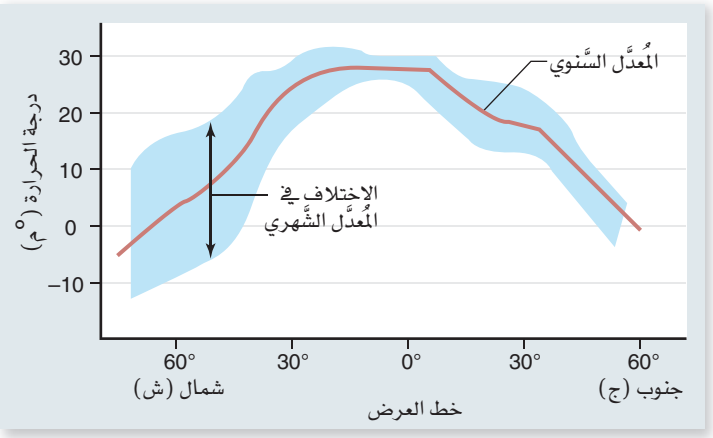
أ.

ب.

الشكل 58-1

العلاقات بين الأرض والشَّمس مهمة في تحديد طبيعية الحياة على الأرض وتوزيعها. أ. حزمة الطَّاقة الشَّمسية التي تضرب الأرض في خطوط العرض الوسطى للنِّصف الشَّمالي للكرة الأرضية (أو الجنوبي) تنتشر فوق منطقة من سطح الأرض أوسع من حزمة مُساوية تضرب الأرض عند خطِّ الاستواء. ب. حقيقة أنَّ الأرض تدور حول الشَّمس مرة في كلّ سنة لها تأثير في المُناخ. في نصفي الكرة الأرضية الشَّمالي والجنوبي، تتغيَّر درجة الحرارة في دورة سنوية؛ لأنَّ محور الأرض غير مُتعامد على مُستوى المدار، ولهذا يميل كلّ نصف كرة نحو الشَّمس في بعض الأشهر، وبعيدًا عنها في أشهر أخرى.

إلى الأعلى نحو الغلاف الجوي عند هذه الخطوط. هذا الهواء المُرتفع غني ببخار الماء؛ أولًا، لأنَّ قُدرة الهواء على الإمساك بالبُخار تزداد بالتَّسخين. ثانيًا، أنَّ أشعة الشَّمس المُكثَّفة على خط الاستواء تُوفِّر الحرارة اللازمة لتسخين كميات كبيرة من الماء وتبخيرها. بعد التَّسخين، يرتفع الهواء الرَّطب عن السَّطح (الشكل 58-3)، ثُمَّ يتحرك بعيدًا عن خط الاستواء ولارتفاعات عالية (فوق 10كم)، نحو الشَّمال في النِّصف الشَّمالي للأرض، ونحو الجنوب في النِّصف الجنوبي للأرض. يحل محل الهواء المُرتفع هواء أبرد يتَّجه نحو خط الاستواء على طول سطح الأرض من



الشكل 58–2

يتغيَّر مُعدَّل درجة الحرارة السَّنوي بتغير خط العرض. يُمثِّل الخط الأحمر مُعدَّل درجة الحرارة السَّنوي على خطوط عرض مُختلفة، تتراوح من قُرب القطب الشَّمالي عند اليسار إلى قُرب القارة المُتجمدة الجنوبية عند اليمين؛ يقع خط الاستواء على خط عرض صفر درجة. على كلّ خط عرض، الحافة العلوية للمنطقة الزَّرقاء هي أعلى مُعدَّل درجة حرارة شهري لوحظ في كلّ أشهر السَّنة، والحافة السُّفلية هي أقل مُعدَّل درجة حرارة شهري.

الشَّمال من الشَّمال والجنوب. تُشكِّل حركات الهواء هذه أهم خاصية لدورة الغلاف الجوي العالمية: يتحرَّك الهواء نحو خط الاستواء على سطح الأرض، يرتفع عند خط الاستواء، ومن ثمَّ يندفع بعيدًا عنه على ارتفاعات عالية. تتأثَّر الأنماط الفعلية لتدفُّق الهواء بدوران الأرض على محورها؛ و سنُناقش هذا قريبًا.

لأسباب مُعقدة، الهواء الذي يرتفع عاليًا عند خط الاستواء وبعيدًا نحو ارتفاعات عالية في نصفي الكرة الأرضية يعود مرة أخرى إلى سطح الأرض عند خط عرض 30° تقريبًا، في كلّ من الشَّمال والجنوب (انظر الشكل 58–3). خلال مسار هذه الحركة، يتغيَّر المُحتوى الرَّطب للهواء جذريًّا بسبب التَّغيُّرات في درجات الحرارة التي يتعرَّض لها الهواء. تُخفِّض عملية التَّبريد قُدرة الهواء على حمل بخار الماء. ولهذا، فإنّ أغلب بخار الماء في الهواء الصَّاعد من خط الاستواء يتكاثف ليُشكِّل غيومًا وأمطارًا كلما ارتفع الهواء إلى الأعلى. هذا المطر يتساقط على خطوط العرض قُرب خط الاستواء، حيث تتعرَّض خطوط العرض هذه لأكثر كمية هطل على الأرض.

وفي الوقت الذي يبدأ فيه الهواء الهابط نحو سطح الأرض عند خط طول قريب من 30°، فإنه يصبح باردًا، ويكون قد فقد مُعظم بخار الماء فيه. على الرَّغم من أنَّ الهواء يسخن مرة أخرى عند نزوله، فإنَّه لا يكسب الكثير من بخار الماء في طريق نزوله. مُعظم الصحارى العظمى تقع على خطوط عرض قريبة من 30° بسبب الهبوط الثَّابت للهواء الجاف على سطح الأرض عند هذه الخطوط. وتشكل الصَّحراء الكُبرى أكثر الأمثال مأساوية.

يتدفَّق الهواء الهابط عند خطوط عرض قريبة من 30° جُزئيًّا فقط نحو خط الاستواء بعد وصوله إلى سطح الأرض. بعض هذا الهواء يتدفَّق نحو الأقطاب، مُساعدًا على تكوين رياح في كلّ نصف من الأرض تهب على سطح الأرض من خطوط عرض 30° نحو خطوط عرض 60°. وعند خطوط عرض قُرب 60° يميل الهواء للارتفاع من سطح الأرض نحو ارتفاعات عالية.

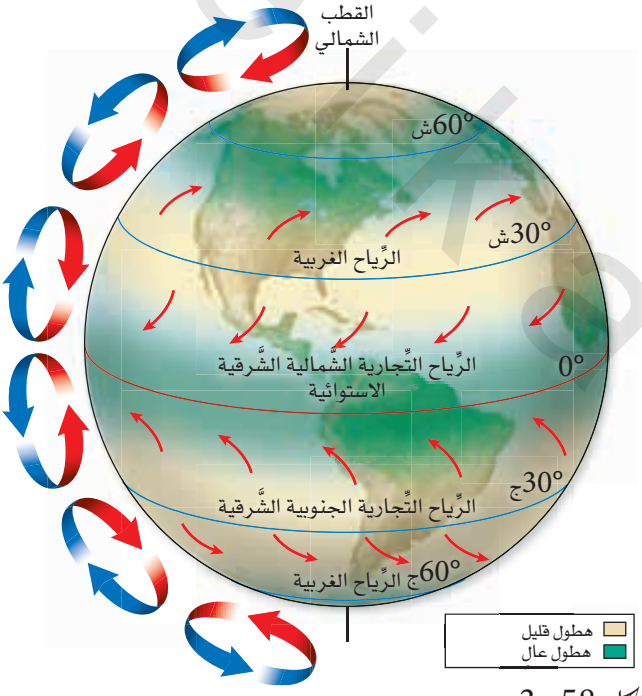
استقصاء

لماذا تكون الأرض أكثر دفئًا عند خطوط عرض قريبة من صفر°؟

تأثير كوريولس

لو أنَّ الأرض لا تدور حول محورها، فإنّ حركات الهواء العالمية ستتبع الأنماط البسيطة التي ذُكرت قبل قليل. ولكن تيارات الهواء – الرِّياح – تتحرَّك خلال سطح يدور. ولأنّ الأرض الصَّلبة تدور تحت الرِّياح، فإنّ الرِّياح تتحرَّك في مسارات مُنحنية عبر السَّطح، بدلًا من مسارات مُستقيمة. تسمَّى حركة الرِّياح بمسارات مُنحنية نتيجة لدوران الأرض **تأثير كوريولس Coriolis effect**.

فإذا وقفت على القُطب الشَّمالي، فإنّ الأرض ستبدو لك كأنَّها تدور على محورها عكس اتجاه عقارب السَّاعة، ولكن إذا كنت في القُطب الجنوبي، فإنّ الأرض سوف تبدو كأنَّها تدور مع اتجاه عقارب السَّاعة. هذه الخاصية للكرة التي تدور، وهي أنَّ الدَّوران يكون مُتعاكسًا إذا نظرنا إليه من قطبيها، يُفسِّر لماذا يكون اتجاه تأثير كوريولس مُتعاكسًا في نصفي الكرة الأرضية. في نصف الكرة الشَّمالي، تنحني الرِّياح



الشكل 58–3

الأنماط العالمية للدَّورات الجوية. يُظهر الشَّكل أنماط دوران الهواء التي تسود بمُعدَّل أسابيع أو أشهر من الزَّمن (في أي يوم ربما تختلف الأنماط بشكل شديد عن مُعدَّلات الأنماط هذه). ارتفاع الهواء الذي سبق تبريده يُكوِّن حزمًا من هطل واسع قُرب خط الاستواء وعلى خطوط عرض قُرب 60° شمالًا و 60° جنوبًا. الهواء الذي فقد مُعظم رطوبته على مُرتفعات عالية يتَّجه للنُّزول على سطح الأرض عند خطوط عرض قُرب 30° شمالًا و30° جنوبًا، مُكوِّنًا حزمًا قليلة الهطل نسبيًّا. تُظهر الأسهم الحمراء الرِّياح التي تهب عند سطح الأرض؛ وتُظهر الأسهم الزَّرقاء الاتجاه الذي تهب فيه على ارتفاعات عالية. تتنقل الرِّياح بمسارات مُنحنية نسبةً لسطح الأرض؛ لأنَّ الأرض تدور على محورها تحت الرِّياح (تأثير كوريولس). مشكلة التعبيرات اللغوية يجب فهمها، وهي أنَّ الأسماء الاصطلاحية المُعطاة للرِّياح تُشير إلى اتجاهات الرِّياح من حيث هبوبها، لا إلى اتجاهات الرِّياح إلى حيث هبوبها؛ لهذا، الرِّياح ما بين 30° و60° تُعرف بالرِّياح الغربية؛ لأنَّها تأتي من الغرب. لسوء الحظ، يستعمل علماء المُحيطات اصطلاحات مُعاكسة، فهم يُسمُّون تيارات المياه اعتمادًا على الاتجاهات التي تتحرَّك إليها.

Oceanography.com

إلى يمين اتجاه حركتها دائمًا؛ وفي نصف الكرة الجنوبي، تنحني نحو اليسار دائمًا.

تأمَّل الرِّياح السَّطحية التي تهب من خط العرض 30° تقريبًا نحو خط الاستواء في كلّ نصف كرة أرضية. في نصف الكرة الشَّمالي، تنحني الرِّياح نحو اليمين، لذلك فهي تميل إلى الهبوب في اتجاه الغرب وإلى اتجاه خط الاستواء أيضًا. في نصف الكرة الأرضية الجنوبي، تنحني الرِّياح إلى اليسار، ما يعني أنها أيضًا تهب نحو الغرب و تهب نحو خط الاستواء. النَّتيجة أنَّ الرِّياح على جانبي خط الاستواء – تُسمَّى الرِّياح التِّجارية – تهب من الشَّرق في اتجاه الغرب. (انظر الشكل 58-3)

تتَّبع الرِّياح بين 30° و 60° المبادئ نفسها. الرِّياح في نصف الكرة الأرضية الشَّمالي تنحني نحو اليمين، ولذلك فهي تهب في اتجاه الشَّرق، وكذلك نحو القُطب. أما الرِّياح التي في النِّصف الجنوبي للكرة الأرضية فتنحني نحو اليسار، وكذلك نحو القُطب. لذا، ففي نصفي الكرة الأرضية تهب الرِّياح بين 30° و 60° من الغرب نحو الشَّرق؛ وتُدعى هذه الرِّياح الرِّياح الغربيةَ.

تحرك الرياح تيارات المُحيط العالمية بشكل رئيس

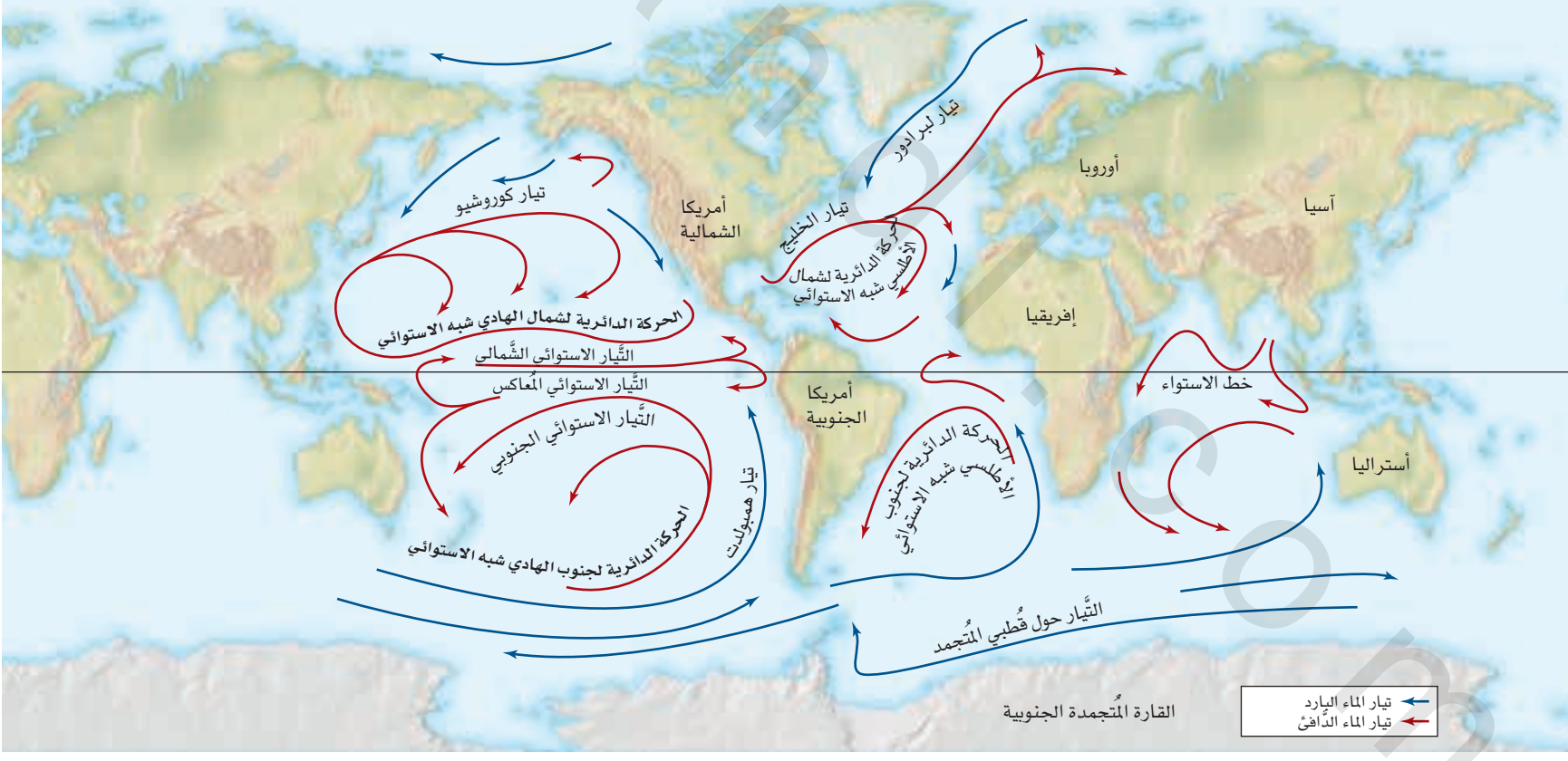
تيارات المُحيط الرئيسة تقودها الرِّياح على سطح الأرض، ما يعني أنَّ تيارات المُحيط بشكل غير مُباشر تُحرِّكها الطَّاقة الشَّمسية. تجعل المدخلات الإشعاعية لحرارة الشَّمس الغلاف الجوي في حالة حركة، كما ذكرنا سابقًا، ومن ثمَّ فإنّ الرِّياح تضع المُحيطات بحالة حركة.

في المُحيط الأطلسي الشَّمالي (الشكل 58-4)، نمط الرِّياح العالمية هو أنَّ الرِّياح السَّطحية تميل إلى الهبوب من الشَّرق في اتجاه الغرب بالقُرب من خط الاستواء، في حين أنها تهب من الغرب في اتجاه الشَّرق على خطوط العرض الوسطى (بين 30° و 60°). ونتيجة لهذا، تميل مياه المُحيط الأطلسي الشَّمالي السَّطحية إلى التَّحرُّك بمنحنى ضخم مُغلق – يُدعى **الحركة الدائرية Gyre** – تتدفَّق فيها من أمريكا الشَّمالية إلى أوروبا، وخطوط العرض الوسطى، ثُمَّ تعود من أوروبا وإفريقيا إلى أمريكا الشَّمالية عند خطوط عرض قُرب خط الاستواء.

تتأثَّر تيارات المياه بتأثير كوريولس. ولذلك، فإنّ هذا التأثير يُسهم بهذه الحركة المُنحنية المُغلقة في اتجاه عقارب الساعة. تميل المياه التي تجري عبر المُحيط الأطلسي نحو أوروبا عند خطوط العرض الوسطى إلى اليمين، وتدخل التَّدفُّق الشَّرقي في اتجاه الغرب قُرب خط الاستواء. هذا الجريان الأخير يميل أيضًا إلى الانحناء نحو اليمين، ويدخل التَّدفُّق القادم من الغرب نحو الشَّرق عند خطوط العرض الوسطى. في المُحيط الأطلسي الجنوبي، تقع الأحداث نفسها، ولكن كأنَّها صورة مرآة، و تحدث الحركات الدائرية نفسها مع اتجاه عقارب السَّاعة، وعكس اتجاه عقارب السَّاعة في المُحيط الهادي الشَّمالي والجنوبي كذلك.

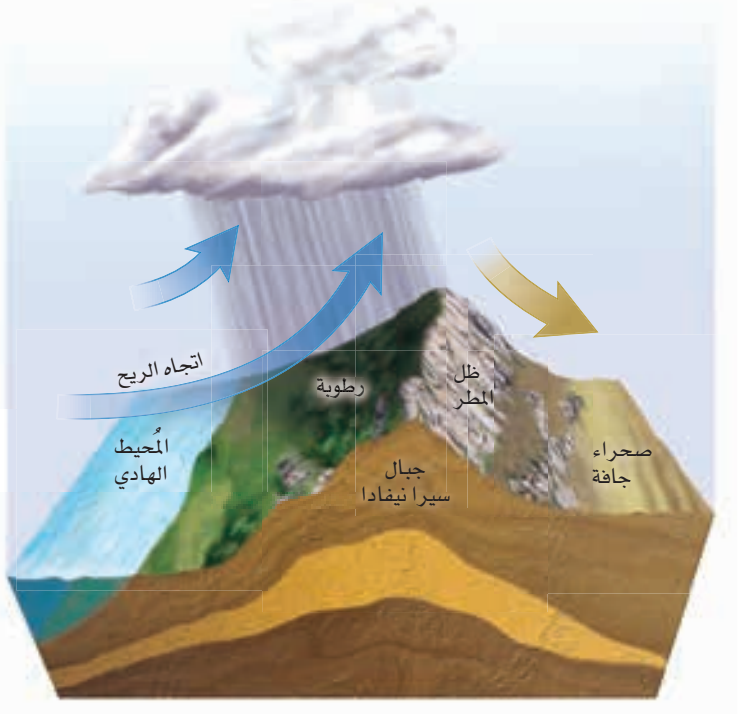
تُؤثِّر الاختلافات الإقليمية والمحلية في الأنظمة البيئية اليابسة

تتأثَّر الظُّروف البيئية لمكان ما بالتَّأثيرات الإقليمية والمحلية للأشعة الشَّمسية، ودوران الهواء، ودوران المياه، وليس فقط بالأنماط الإجمالية لهذه العمليات. في هذا الجزء، سنرى بعض الأمثلة على التَّأثيرات الإقليمية والمحلية، مُركِّزين على الأنظمة البيئية اليابسة فقط. وتشمل هذه التَّأثيرات: ظلال الأمطار، والرِّياح الموسمية، والارتفاع، ووجود عوامل مُناخ دقيقة.



الشكل 58-4

دورات المُحيط. في مراكز عدد من أحواض المُحيطات العُظمى، تتحرَّك المياه السَّطحية في أنماط مُنحنية ضخمة تُسمَّى الحركة الدائرية. تُؤثِّر هذه الحركات المائية في الإنتاجية الحيوية في المُحيطات، و تُؤثر أحيانًا في مُناخ اليابسة القريبة، كأن يجلب تيار الخليج مثلًا المياه الدَّافئة إلى منطقة الجُزر البريطانية.



الشكل 58-5

تأثير ظل المطر كما هو ممثَّل في كاليفورنيا. ترتفع الرِّياح المُحمَّلة بالرُّطوبة من المُحيط الهادي، وتبرد عندما تُواجه جبال سيرا نيفادا. عندما تقل قُدرة الهواء على حمل الرُّطوبة في الارتفاعات الأعلى والأبرد، يحصل الهطل، جاعلًا سفوح الجبال المُواجهة للبحر رطبةً؛ تتكوَّن غابات طويلة على هذه السُّفوح تشمل غابات تحتوي أشجار السكويه الضَّخمة المشهورة (*Sequoiadendron giganteum*). عندما ينزل الهواء على الجهة الشَّرقية من سلسلة الجبال، تزداد قُدرته على حمل الرُّطوبة مرة أخرى، ويحمل الرُّطوبة من المناطق المُحيطة. نتيجةً لذلك، تُصبح السُّفوح الشَّرقية للجبال جافة، وتتكوَّن صحارى ظل المطر في بعض الأحيان.

ظلال المطر

تتكوَّن الصحَّارى على الأرض أحيانًا بسبب تقاطُع الرِّياح المُحمَّلة بالرُّطوبة القادمة من البحر مع سلاسل الجبال. عندما تتدفق الرِّياح نحو اليابسة من المُحيط، فإنها تصادف الجبال (الشكل 58-5)، لهذا يرتفع الهواء عاليًا، وتقل قُدرته على حمل الرُّطوبة؛ لأنَّه يُصبح أبرد على ارتفاعات عالية، مُسبِّبًا سقوط المطر على السُّفوح المُواجهة للبحر. بعد ذلك، عندما يهبط الهواء - الذي نُزعت منه مُعظم رطوبته- على الجهة الأخرى من سلاسل الجبال، يبقى جافًّا على الرَّغم من أنَّه أصبح أسخن، وعندما يُصبح أسخن، تزداد مقدرته على حمل الرُّطوبة، ما يعني أنَّه يأخذ الرُّطوبة بكل سهولة من التُّربة والنَّبات.

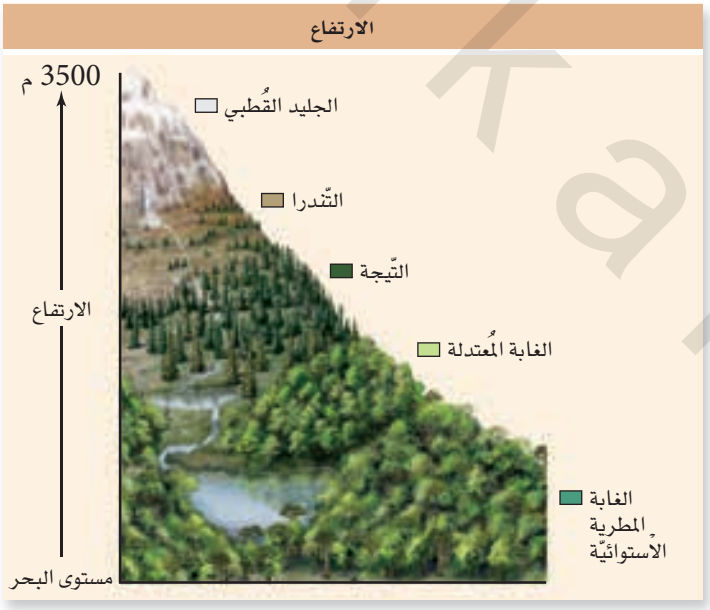
إحدى نتائج هذا الوضع أنَّ جهتي سلسلة الجبال تختلفان كمية الرُّطوبة؛ في كاليفورنيا، مثلًا، تكون السُّفوح الشَّرقية لجبال سيرا نيفادا - التي لا تُواجه المُحيط الهادي - أكثر جفافًا من السُّفوح الغربية. النتيجة الأخرى، هي أنَّ الصَّحراء قد تتكوَّن على الجهة الجافة، مثل صحراء موجافي. ويُقال هنا: إنَّ الجبال تُسبِّب تكوين **ظل المطر Rain shadow**.

الرِّياح الموسمية

قارة آسيا ضخمةٌ، لدرجة أنَّ التَّسخين والتَّبريد لسطحها مع مرور الفصول يُسبِّب إزاحة إقليمية شديدة لأنماط الرِّياح. خلال الصَّيف، تسخن كتلة اليابسة أكثر من المُحيطات المُجاورة، ولكن في الشتاء تبرد كتلة اليابسة أكثر من المُحيطات. ينتج عن هذا أنَّ تهبّ الرِّياح من المياه في اتجاه قارة آسيا في الصَّيف، خاصةً في منطقة المُحيط الهندي والمُحيط الهادي الاستوائي الغربي. ينعكس هبوب هذه الرِّياح فتخرج من القارة نحو المُحيطات في الشتاء. تُسمَّى هذه الرِّياحُ المُتغيِّرة الاتجاه فصليًّا **الرِّياحَ الموسميةَ Monsoons**. تُؤثِّر هذه الرِّياح في أنماط سقوط المطر، وتُحدِّد قوة هذه الرِّياح ومدّتها الفرقَ بين وفرة الغذاء ونُدرته لملايين البشر في المنطقة كلّ سنة.

الارتفاع

يتمثل نمط إقليمي آخر مُهم في أنَّ درجة الحرارة وظروفًا أُخرى في المناطق الجبلية تتغيَّر مع الارتفاع. فعند أي خط عرض، تهبط درجة حرارة الهواء 6° س تقريبًا كلّ 1.000م زيادة في الارتفاع. التَّبعات البيئية لهذا التَّغيُّر في درجة الحرارة مع الارتفاع شبيهة بتغيُّر درجة الحرارة مع خط العرض (الشكل 58-6).



الشكل 58-6

يُؤثِّر الارتفاع في توزيع الأقاليم الحيوية تقريبًا، كما تفعل خطوط العرض. الأقاليم التي تقع عادةً بعيدًا عن خط الاستواء إلى الشَّمال، وعلى مُستوى سطح البحر، تقع أيضًا في المناطق الاستوائيّة على ارتفاعات جبلية عالية. ولهذا، على جبل عالٍ في المناطق الاستوائيّة، يُمكن للمرء أن يرى تتابع الأقاليم مثل تلك الواضحة في أعلى الشَّكل. في شمال أمريكا، يُؤدي 1000م زيادة في الارتفاع إلى هبوط في درجة الحرارة يساوي 880 كم زيادة في خطوط العرض.

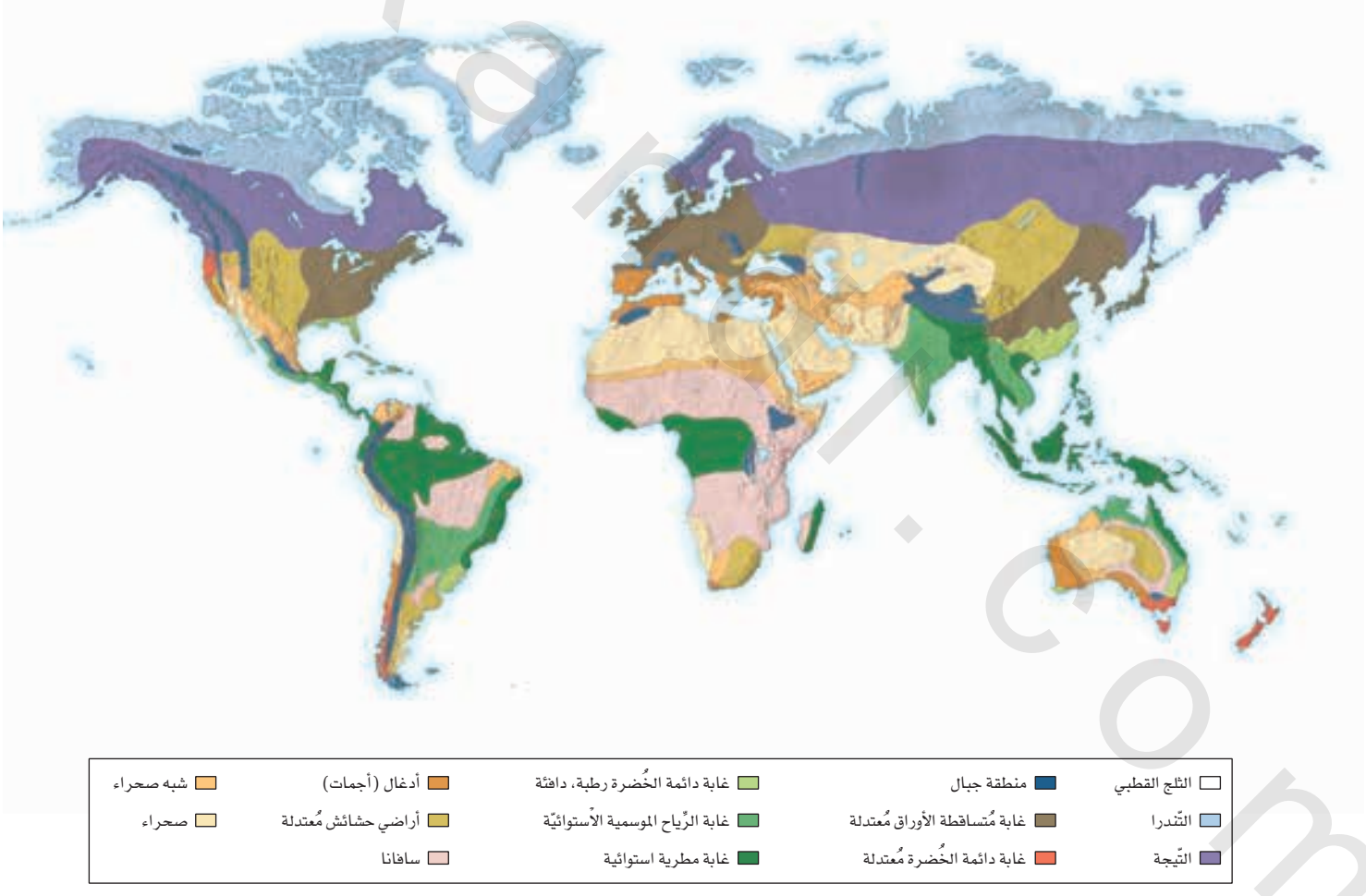
المُناخ الدَّقيق (المناخ المحلي)
تختلف الظُّروف أيضًا بطرق مُهمّة في أبعادٍ مكانية صغيرةٍ جدًا. فمثلًا، في الغابة، الطَّير الذي يجلس في رقعة مفتوحة يُمكن أن يُواجه أشعة شمسية كثيفة، ودرجة حرارة هواء عالية، ورطوبة مُنخفضة، مع أنَّ فأرًا يختبئ تحت جذع شجرة على بعد 10 أقدام ربما يُواجه ظلاً، ودرجة حرارة منخفضة، وهواء مُشبعًا ببخار الماء. مثل هذه المجموعات الإقليمية من الظُّروف المُناخية تُسمَّى **المُناخَ الدقيق (المناخ المحلي) Microclimate**. ينشر عمال الحدائق قشًّا فوق المروج المزروعة حديثًا ليوفِّروا مُناخًا دقيقًا (محليًّا) باردًا، ورطبًا مُناسبًا للنَّباتات الصَّغيرة.

تُحرّك الشَّمس مُعظم ديناميكية (نشاطية) الأرض. يولّد التَّسخين الشَّمسي لبعض المناطق العالمية بالنسبة إلى غيرها أنماطًا عالمية من دوران الغلاف الجوي، التي بدورها تُطلق أنماطًا عالمية من دورات الماء في المُحيطات. تُؤثّر هذه الأنماط – إضافة إلى التَّغيُّرات الفصلية في الأشعة الشَّمسية التي تستقبلها الأرض – بقوة في الظُّروف (مثل درجة الحرارة والهطل) التي تتوافر للمخلوقات الحية في الأجزاء المُختلفة من العالم. تُؤثّر ظواهر إقليمية مثل ظلال الأمطار والارتفاع أيضًا في الظُّروف التي تتوافر للمخلوقات الحية.

2-58 أقاليم الأرض الحيوية

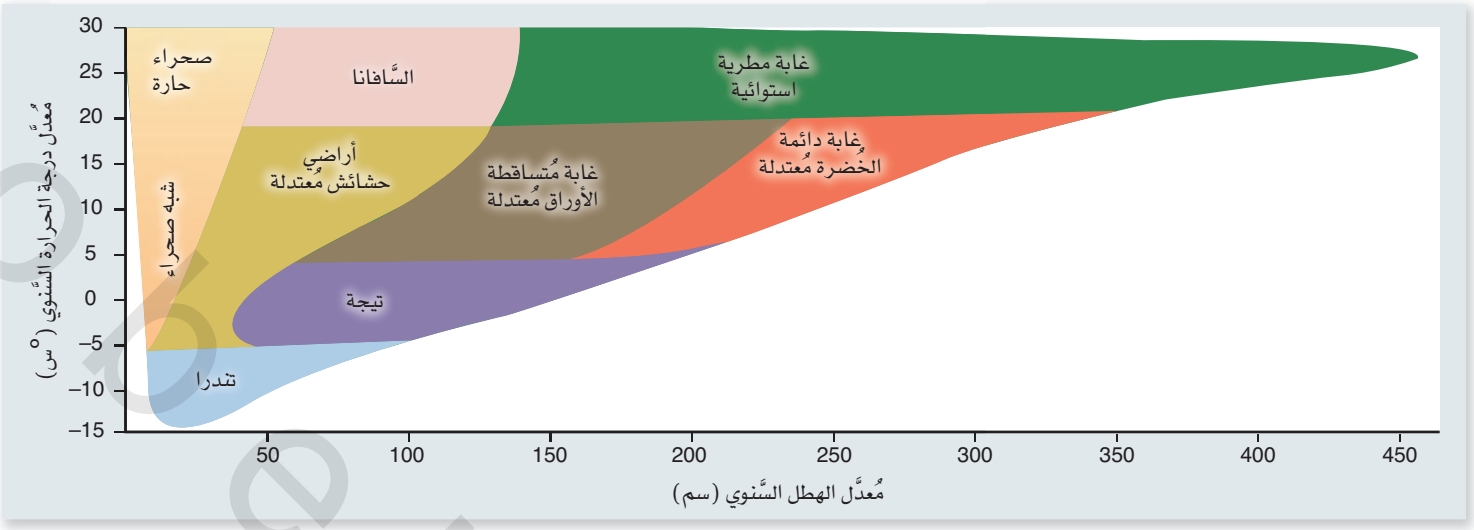
الأقاليم الحيوية Biomes هي الأنواع الرَّئيسة من الأنظمة البيئية على الأرض. كلّ إقليم له خصائصه المظهرية المميزة، وينتشر فوق مساحات واسعة من اليابسة، ويُعرّف بشكل كبير بمجموعة من الظُّروف المُناخية الإقليمية. تُسمَّى الأقاليم استنادًا إلى التَّراكيب النَّباتية التي تغطيها، ولكن قد تشمل الحيوانات الموجودة أيضًا.

و يُمكنك أن تتخيَّل من التَّعريف الواسع المُعطى للأقاليم الحيوية، فإنّ هناك طرقًا عدَّة لتصنيف البيئات اليابسة إلى أقاليم. هناك ثمانية أقاليم يُمكن تمييزها: (1) الغابة المطرية الاستوائيّة. (2) السَّافانا. (3) الصَّحراء. (4) أراضي الحشائش المُعتدلة. (5) الغابة المُعتدلة مُتساقطة الأوراق. (6) الغابة المُعتدلة دائمة الخُضرة. (7) التّيجة. (8) التّندرا.



الشكل 58–7

توزيع الأقاليم الحيوية. كلّ إقليم يتشابه في التَّركيب النَّباتي والمظهر حيثما وجد.



الشكل 58-8

طرق التنبؤ بتوزيع الأقاليم الحيوية. تُعدّ درجة الحرارة والهطول تنبُّؤين مُهمَّين جدًا لتوزيع الأقاليم، رغم أنَّ عوامل أخرى ذات أثر أحيانًا.

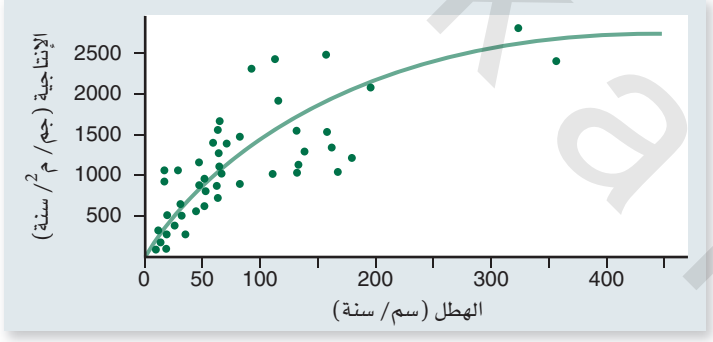
ميَّز علماء البيئة ستة أقاليم إضافية، هي: الثلج القطبي، ومنطقة الجبال، والأجمة، والغابة الرَّطبة الدَّائمة الخُضرة، وغابة الرِّياح الموسمية الاستوائيّة، وشبه الصَّحراء. وقد جمع علماء بيئة آخرين هذه الأقاليم السِّتة مع الأقاليم الثمانية. ويُظهر (الشَّكل 58-7) توزيع الأقاليم الأربعة عشر كلّها.

تُعرَّف الأقاليم بميزاتها من التَّراكيب النَّباتية، والظُّروف المُناخية المُرتبطة، وليس بالأنواع المُحدَّدة من النَّباتات الموجودة فيها. فقد تختلف منطقتان في الإقليم نفسه بناءً على ذلك من حيث الأنواع السَّائدة في كلّ منهما. فمثلًا، الغابات المطرية الاستوائيّة الموجودة حول العالم، تتكوَّن جميعها من أشجار طويلة، كثيرة الأوراق، ولكن الأنواع المُحدَّدة من الأشجار التي تسود الغابات المطرية الاستوائيّة في أمريكا الجنوبية مُختلفة عن تلك التي في الغابات الإندونيسية. التَّشابه بين مثل هذه الغابات ناتج عن التَّطور الالتقائي (انظر الفصل الـ 21).

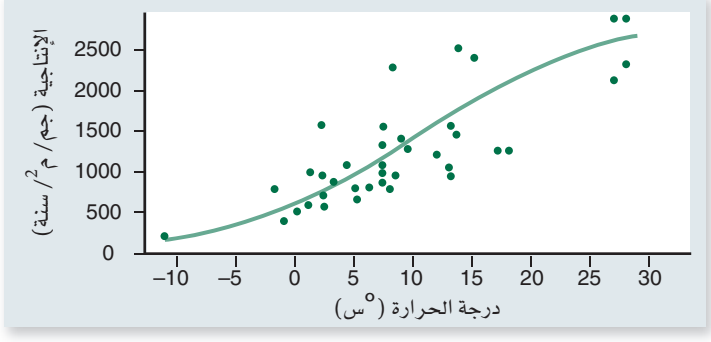
تُحدِّد درجةُ الحرارة والرُّطوبةُ الأقاليمَ غالبًا

في تحديد مكان وجود الأقاليم، العاملان البيئيان المُهمان هما درجة الحرارة والرُّطوبة. فكما نُشاهد في (الشَّكل 58-8)، إذا عَرَفت مُعدَّل درجات الحرارة السَّنوية، ومُعدَّل الهطل السَّنوي في منطقة على اليابسة، يُمكن لك غالبًا أن تتنبأ بالإقليم السَّائد. تُؤثِّر درجة الحرارة والرُّطوبة في النِّظام البيئي بطرق عدّة. أحد أسباب التَّأثير الكبير لهما أنَّهما مُرتبطان بشكل قوي مع الإنتاجية الأولية، التي ذُكرت في الفصل السَّابق (الشكل 58-9).

إن الأماكن المُختلفة التي لها مُعدَّل درجات الحرارة السَّنوية ومُعدَّل الهطل نفسهما تدعم أحيانًا أقاليم حيوية مُختلفةً، ما يُشير إلى أنَّ الحرارة والرُّطوبة ليسا العاملين الوحيدين المُهمين. فتركيب التُّربة والتَّكوين المعدني (انظر الفصل الـ 39) عاملان من عوامل عدَّة ذات تأثير. وربما يعتمد وجود الإقليم الحيوي أيضًا على ما إذا كانت ظروف درجة الحرارة والهطل فصلية مُؤكّدة أو ثابتة ثباتًا نسبيًّا.



أ.



ب.

الشكل 58-9

ارتباطات الإنتاجية الأولية مع درجة الحرارة والهطل. ترتبط الإنتاجية الأولية الصَّافية للأنظمة البيئية في 52 موقعًا حول العالم ارتباطًا وثيقًا مع (أ) مُعدَّل الهطل السَّنوي و (ب) مُعدَّل درجة الحرارة السَّنوي.

استقصاء

لماذا تتوقع أن تزداد الإنتاجية الأولية مع زيادة الهطل ودرجة الحرارة؟

الغاباتُ الاْستوائيّة المطريةُ أنظمةٌ استوائيةٌ عاليةُ الإنتاجية

الغابات الاْستوائيّة المطرية Tropical rain forests، التي 140 – 450 سم من المطر سنويًّا، أغنى الأنظمة البيئية على اليابسة (الشكل 58-10). إن لها إنتاجية عالية بسبب تمتعها بفوائد الحرارة العالية وكثرة الهطل، وهي تمتلك أيضًا تنوعًا حيويًّا عاليًا جدًا، كونها مكانًا وملجأ لنصف نباتات اليابسة وحيواناتها تقريبًا – أكثر من مليوني نوع! إذ يوجد أكثر من 1200 نوع من الفراشات في كلّ ميل مُربع واحد من الغابة المطرية البرازيلية – أي ضعف العدد الذي يوجد في أمريكا الشَّمالية كلها. الغابات المطرية الاْستوائيّة تُدوِّر العناصر الغذائية بسرعة، لذلك، فإنّ تربتها تفتقر إلى المخازن العظيمة للعناصر الغذائية.

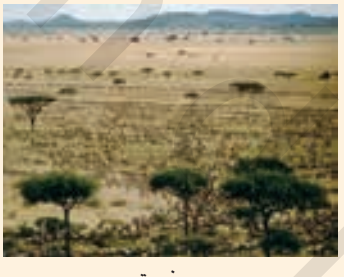
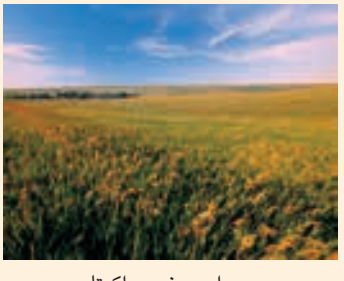
السَّافانا (إقليم الحشائش) أراضي حشائش استوائية ذات أمطار موسمية (فصلية)

السَّافانا Savannas أراضي حشائش استوائية أو شبه استوائية، تنبُت فيها غالبًا أشجار وشُجيرات مُتباعدة جدًا (انظر الشكل 58-10). على مستوى الكرة الأرضية، تقع السَّافانا غالبًا بوصفها نظامًا بيئيًّا وسطيًّا بين الغابات الاْستوائيّة المطرية والصِّحارى؛ ولها ميزات الأماكن الدَّافئة، حيث يكون مُعدَّل سقوط المطر السنوي (50 – 125 سم) قليلًا جدًا؛ هذا المعدّل لا يكفي لدعم الغابات المطرية، ولكن ليس قليلًا، بحيث يُنتج ظروفًا صحراوية.

يكون سقوط المطر في السَّافانا موسميًّا (فصليًّا) بدرجة كبيرة. وربما يُعَدّ نظام سيرنجيتي البيئي في إفريقيا الشَّرقية من أشهر الأمثلة في العالم على إقليم السَّافانا. في مُعظم منطقة سيرنجيتي، يدوم عدم سقوط الأمطار أشهرًا عدّة من السَّنة، ولكن في الأشهر الأخرى يكون المطر غزيرًا. تستجيب القطعان الضَّخمة من

الشكل 58-10

أقاليم العالم الحيوية الرئيسة

الإقليم الحيوي	المُناخ	مثال على الموقع	النَّباتات المُميَّزة	الحيوانات المُميَّزة
الغابة المطرية الاْستوائيّة	درجات حرارة عالية على مدار العام	الغابة المطرية البرازيلية	نوع نباتيّ	نوع حيوانيّ
السافانا	درجات حرارة دافئة على مدار العام	 سرنجيتي	نوع نباتيّ	نوع حيوانيّ
الصحراء	درجات حرارة دافئة وباردة، صحراء	موجافي	نوع نباتيّ	نوع حيوانيّ
أراضي الحشائش المُعتدلة	صيف دافئ وشتاء بارد	 براري جنوب داكوتا	نوع نباتيّ	نوع حيوانيّ

حيوانات الرَّعي في النِّظام البيئي لتغيُّرات المطر الموسمية؛ فبعض الأنواع تُهاجر بعيدًا عن الأنهار دائمة الجريان فقط في الأشهر التي يحدث فيها سقوط الأمطار.

الصَّحارى مناطق ذات أمطار قليلة

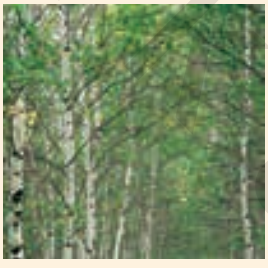
الصَّحارى Deserts مناطق جافة، حيث يكون المطر نادرًا (مُعدَّل سقوط المطر السَّنوي أقل من 25–40 سم عادةً)، ويصعب التَّنبؤ به (انظر الشكل 58-10). تعني صعوبة التَّنبؤ بالمطر أنَّ النَّباتات والحيوانات لا تتحمَّل الاعتماد على سقوط المطر مرة واحدة في السَّنة فقط. وكما ذكرنا سابقًا، تقع الكثير من الصَّحارى الكُبرى قُرب خطوط عرض 30° شمالًا و 30° جنوبًا بسبب أنماط دوران الهواء الإجمالية (انظر الشكل 58-3). و تتكوَّن بعض الصَّحارى الأُخرى من ظلال الأمطار (انظر الشكل 58-5).

تكون النَّباتات مُتباعدة في الصَّحارى، ويعتمد بقاء الحيوانات والنَّباتات على المُحافظة على الماء. تدخل بعض المخلوقات الصَّحراوية مراحل غير نشطة خلال فترات عدم وجود المطر. ولتجنُّب درجات الحرارة الشَّديدة، تعيش بعض الفقريات الصغيرة غالبًا داخل جحور عميقة باردة، ورطبة في بعض الأحيان. بعض الفقريات الصَّغيرة تخرج ليلًا فقط. ومن بين حيوانات الصَّحراء الكبيرة، يشرب الجمل كميَّات كبيرة من الماء عندما يكون متوافرًا، ومن ثمَّ يُحافظ عليه، لدرجة أنَّه يعيش أسابيع دون شرب الماء. يعيش بقر الوحش (ظباء كبيرة، صحراوية) مُعتمدًا على رطوبة الأوراق والجذور التي يُنقِّب عنها، و يشرب الماء عند توافره.

تمتلك أراضي الحشائش المُعتدلة تربةً غنيةً

تقع المناطق المُعتدلة في مُنتصف الطَّريق بين خط الاستواء والقطبين، حيث توجد **أراضي الحشائش المُعتدلة Temperate grasslands** (انظر الشكل 58-10). أراضي الحشائش هذه، وتُسمَّى أيضًا **المروج Prairies**، غطَّت ذات مرّة كثيرًا من داخل أمريكا الشَّمالية، وكانت مُنتشرةً بين أورآسيا وأمريكا الجنوبية أيضًا.

تخترق جذور الحشائش المُعمِّرة التُّربة عميقًا، وبشكل مميَّز، حيث تميل تربة أراضي الحشائش لأن تكون عميقة وخصبة. تكون أراضي الحشائش المُعتدلة مُنتجة بشكل كبير عندما تُستغل زراعيًّا، وقد تمَّ تحويل أراضٍ شاسعة بهذه

الإقليم الحيوي	المُناخ	مثال على الموقع	النَّباتات المُميِّزة	الحيوانات المُميِّزة
الغابة مُتساقطة الأوراق المعتدلة	صيف دافئ وشتاء بارد	مُتَّنزه أكاديا الوطني	 نوع نباتيّ	نوع حيوانيّ
الغابة دائمة الخُضرة المعتدلة	مُناخ مُعتدل	ماونت هود	نوع نباتيّ	نوع حيوانيّ
التَّيجة	درجات حرارة باردة جدًا	المنطقة الشمالية الغربية، كندا	نوع نباتيّ	نوع حيوانيّ
التَّندرا	درجات حرارة باردة جدًا	ألاسكا	نوع نباتيّ	نوع حيوانيّ

الطَّريقة. في أمريكا الشمالية وقبل هذا التغير في استعمال الأرض، كانت قطعان ضخمة من الثَّور الأمريكي، والوعل الأمريكي تستوطن أراضي الحشائش المُعتدلة. إن أراضي الحشائش المُعتدلة الطَّبيعية هي من الأقاليم التي تكيّفت مع الحرائق الدَّورية، ولذلك تلزمها النِّيران لكي تزدهر.

تكيّفت الغابات المُعتدلة ذات الأشجار مُتساقطة الأوراق مع التَّغيُّرات الفصلية (الموسمية)

تُشجِّع المُناخات الفصلية المُعتدلة (فصول صيف دافئة وأخرى شتاء باردة)، إضافة إلى الأمطار الكثيرة، **نمو غابات الأشجار مُتساقطة الأوراق المُعتدلة Temperate deciduous forests** في شرق الولايات المُتحدة، وشرق كندا، وأوراسيا (الشكل 58-10). الأشجار مُتساقطة الأوراق هي التي تُسقط أوراقها في الشِّتاء. الغزلان، والدّببة، والقنادس، والراكون هي من الحيوانات الشَّائعة في هذه الغابات.

تكون الغابات المُعتدلة دائمة الخُضرة ساحليةً

توجد **الغابات المُعتدلة دائمة الخُضرة Temperate evergreen forests** على خطوط السَّاحل ذات المُناخ المُعتدل، مثل التي في شمال غرب الولايات المُتحدة (انظر الشكل 58-10). تشمل النَّباتات الشائعة الأشجار، مثل البيسيّة، والصّنوبريات، والخشب الأحمر، والتي لا تسقط أوراقها (لهذا، فهي دائمة الخُضرة).

التّيجة هي الغابة الشَّمالية حيث الشِّتاء القارس

تختلف التّيجة والتّندرا (ستُوصف لاحقًا) عن أي إقليم آخر بأنَّ كلًّا منهما يمتد على شكل دوائر مُغلقة حول الأرض بشكل كامل (الشكل 58-7). تتكوَّن **التّيجة Taiga** من حزمة ضخمة من غابة شمالية تسودها أشجار مخروطية (البيسيّة، والشوكران، والتَّنوب) التي تحتفظ بأوراقها الشَّبيهة بالإبر على مدار العام (انظر الشكل 58-10).

التّيجة واحدة من أكبر الأقاليم على الأرض. تكون فصول الشِّتاء في التّيجة طويلة وباردة بشدَّة، ومُعظم الهطل المحدود يتمُّ في الصَّيف. مُعظم آكلات الأعشاب الكبيرة، مثل الألكة، والموظ، والغزال، إضافة إلى آكلات اللّحوم مثل الذِّئاب، والدّببة، والوشق، والشَّرِه هي من مُميِّزات التّيجة.

التّندرا مساحة مُتجمدة إلى حدّ كبير، وهي خالية من الأشجار، وذات فصل نمو قصير

تنمو بعض الأشجار في الشَّمال البعيد، عند خطوط عرض فوق التّيجة، ولكن جنوب الثَّلج القطبي. تُسمَّى مساحة الأرض التي تقع في هذه الحزمة **التّندرا Tundra**، وهي مفتوحة، تذروفيها الرِّياح، وغالبًا ما تشكل مستنقعات (انظر الشكل 58-10). هذا الإقليم الضَّخم يُغطِّي خُمس مساحة الأرض اليابسة. ويسقط فيه القليل من المطر أو الثلج. **الجليد الدَّائم Permafrost** – وهو تربة جليدية تستمر طول الفصول – يوجد عادةً ضمن متر من سطح الأرض.

الأشجار الموجودة صغيرة، ومُعظمها محصورة بحواف الجداول والبُحيرات. تعيش في التّندرا آكلات أعشاب من الثدييات الكبيرة، التي تشمل ثيران المسك وغزال الرَّنة، وآكلات لحوم مثل الذِّئاب، والثعالب، والوشق. جماعات من اللاموس (حيوان قارض صغير يستوطن المناطق المُتجمدة) تزداد، وتقل بشكل حاد، ما يُؤثِّر جدًّا في الحيوانات التي تفترسها.

يُمكن أن تتميَّز أنواع رئيسة من الأنظمة البيئية، التي تُسمَّى الأقاليم الحيوية، بمناطق مُناخية مُختلفة على اليابسة. هذه الأقاليم مُتشابهة بشكل كبير حيثما وجدت على الأرض. مُعدَّل درجات الحرارة السَّنوي والهطول هما مُحدِّدان مُهمّان لنوع الإقليم.

3-58 بيئات المياه العذبة

تُغطِّي المياه العذبة أقل نسبة من المناطق الرّئيسة على سطح الأرض؛ فقط 2%، مُقارنةً بـ 27% لليابسة و71% للمُحيطات. يبدأ تكوُّن المياه العذبة بتبخر الماء إلى الغلاف الجوي، وهذا ينزع بشكل رئيس المُكونات الذَّائبة في الماء، مثل ما يُحدثه التَّقطير. عندما يسقط الماء عائدًا إلى سطح الأرض بوصفه مطرًا أو ثلجًا، فإنَّه يصل بصورةٍ نقيةٍ تقريبًا، على الرَّغم من أنَّه التقط بعض المواد الدَّقيقة أو الذائبة ذات الأهمية الحيوية من الغلاف الجوي.

تُمثِّل الأراضي الرَّطبة ذات المياه العذبة – السَّبخات، والمُستنقعات – مواطن مُتوسطة بين المياه العذبة والعوالم اليابسة. تُعَدُّ الأراضي الرَّطبة عالية الإنتاجية (انظر الشكل 58-11). وإنها ذات أثر بالغ؛ إذ تشكل أحواضا تُخزِّن المياه، وتُخفِّف آثار الفيضانات.

تقوم بالإنتاج الأولي في أجسام المياه العذبة طحالب وحيدة الخلية (عوالق نباتية) تطفو على المياه، وطحالب تُشكِّل طبقةً على القاع، ونباتات ذات جذور مثل زنبق الماء. إضافة إلى ذلك، تدخل كمية كبيرة من المواد العضوية – مثل الأوراق الميِّتة – بعض أجسام المياه العذبة من المُجتمعات النَّباتية التي تنمو على اليابسة المجاورة.

تعتمد الحياة في مناطق المياه العذبة على توافر الأكسجين

يُعَدُّ تركيزُ الأكسجين (O_2) المُذاب العامل المُحدِّد الرّئيس لخصائص مُجتمعات المياه العذبة. يذوب الأكسجين في الماء تمامًا كما يذوب الملح أو السُّكر. وتحصل الأسماك والحيوانات المائية الأُخرى على الأكسجين الذي تحتاج إليه بأخذه من المحلول. لهذا، تُعدّ ذائبية الأكسجين مهمة جدًا.

في الحقيقة، الأكسجين قليل الذَّائبية في الماء. ولهذا، حتى إن تمَّت تهوية الماء العذب بشكل كامل، وأصبح على اتزان مع الغلاف الجوي، فإنّ كمية الأكسجين الذي يحتويه كلّ لتر من الماء العذب ستكون 5% فقط، أو أقل، من كميته في الهواء. هذا يعني، أنه فيما يتعلق بحصولها على الأكسجين، تمتلك المخلوقات التي تعيش في الماء العذب هامشًا قليلًا جدًا من الأمان مُقارنةً بالمخلوقات التي تتنفّس الهواء.

يزداد الأكسجين، ويقل بشكل مُستمر من أي جسم للماء العذب. يزداد الأكسجين عن طريق التَّمثيل الضَّوئي، وكذلك التَّهوية من الغلاف الجوي، ويقل عن طريق الحيوانات ومختلفة التَّغذية الأخرى. فإذا كان هناك كثير من المواد العضوية

المُتعفِّنة موجودة في الجسم المائي، فإنّ الطَّلب على الأكسجين من المخلوقات المُحلِّلة يمكن أن يكون عاليًا ما يُؤثِّر في أشكال الحياة الأُخرى. يتناقص تركيز الأكسجين المُذاب بسرعة، في الظُّروف التي تكون فيها سرعة إزالة الأكسجين أعلى من سرعة إضافته، حتى إنَّه يُصبح قليلًا لدرجة أنَّ الكثير من الحيوانات المائية لا تستطيع العيش فيه.

تتغيَّر بيئات البُحيرات والبرك مع عمق الماء

تُدعى الأجسامُ المائية التي تحتوي ماءً ساكنًا نسبيًّا بحيراتٍ إذا كان الماء كثيرًا، وبركًا إذا كان الماء قليلًا. يمتّص الماء الضّوء المار من خلاله، وبذلك تقل كمية الضّوء اللازم لعملية التَّمثيل الضوئي بشكل حاد مع ازدياد العُمق. في البُحيرات العميقة، يصل الماء القريب من السَّطح نسبيًّا ضوء كافٍ للعوالق النَّباتية لكي تُظهر إنتاجية أولية صافية إيجابية (الشكل 58-11). تدعى هذه المياه **المنطقة الضوئية Photic zone**.

المنطقة الضوئية

يعتمد مقدار سُمك المنطقة الضوئية على كمية دقائق مادة مُعينة في الماء. فالماء الخالي من دقائق المادة والصّافي يسمح للضوء بالاختراق عشرات الأمتار، وبشدَّة كافية لدعم العوالق النَّباتية. و المياه المليئة بطحالب سطحية، أو بتربة معرّاة قد لا تسمح للضوء بالنَّفاذ عميقًا جدًا قبل أن تضمحل شدَّته لدرجة لا تكفي لنمو الطّحالب.

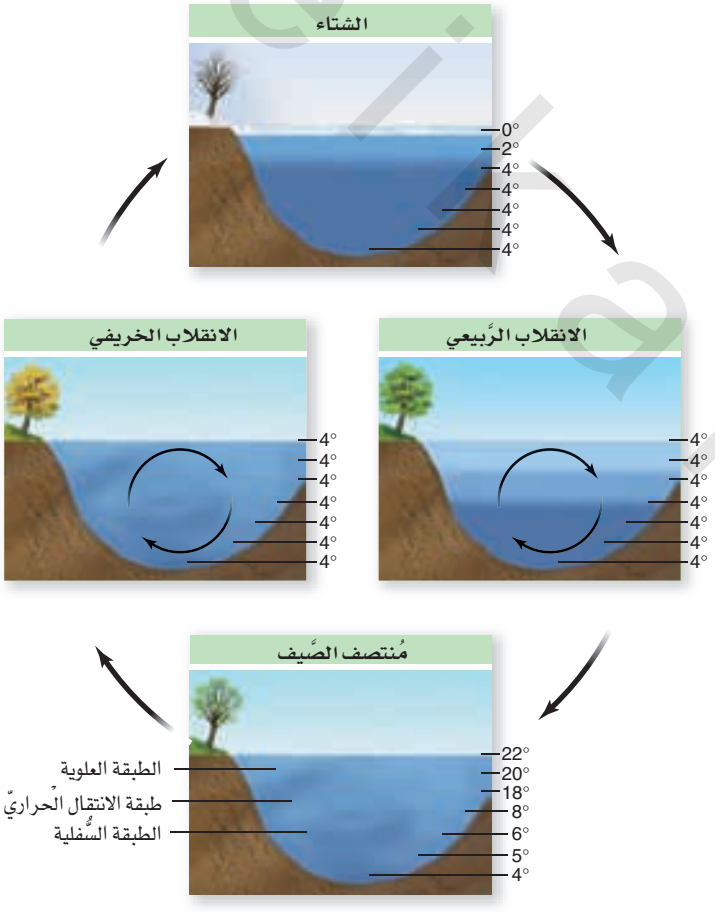
الشكل 58-11

الضّوء في بحيرة. تقل شدَّة ضوء الشَّمس المتوافر للتَّمثيل الضوئي مع ازدياد عمق البحيرة. وعلى هذا الأساس، بعض المياه العلوية فقط – تُسمَّى المنطقة الضوئية – يصلها ضوء شمس كافٍ لكي تكون الإنتاجية الأولية للعوالق النَّباتية إيجابية. يعتمد عمق المنطقة الضوئية على كمية تعكر المياه. تُسمَّى المنطقة الضَّحلة عند حافة البحيرة المنطقة الساحلية، وهي مُضاءة جيدًا حتى العُمق، لذلك يُمكن للنَّباتات ذات الجذور وطحالب القاع أن تنمو، وتتكاثر هناك.

يُمكن أن يسبب توفير الأكسجين المُذاب مُشكلة للمياه العميقة لبُحيرة؛لأنَّ الأكسجين كلّه يدخل أي نظام مائي عن طريق السَّطح. وفي المياه الرَّاكدة للبُحيرة، قد لا يحدث الخلط بين الطَّبقات السَّطحية والعميقة إلا أحيانًا. وعندما يُنتج البناء الضوئي الأكسجين، فإنَّه يُضيفه إلى المنطقة الضوئية للبُحيرة قريبًا من السَّطح. ويُؤثِّر التَّقسيم الطبقي الْحراريّ في العادة في جاهزية دخول الأكسجين إلى المياه العميقة من المياه السَّطحية.

التقسيم الطبقي (التَّطبُّق) الْحراريّ

التقسيمُ الطبقيُّ الْحراريّ Thermal stratification خاصيةٌ لكثير من البُحيرات والبرك الكبيرة. ففي الصَّيف، كما يظهر في أسفل (الشَّكل 58-12)، يُشكل الماء الذي تُدفئه الشَّمس طبقة على السَّطح تُسمَّى الطَّبقةَ العلوية *Epilimnion*؛ لأنَّ الماء الدَّافئ أقل كثافةً من الماء البارد، ويميل إلى أن يطفو على



الشكل 58-12

الدَّورة السَّنوية للتَّقسيم الطبقي الْحراريّ في بحيرة في المنطقة المُعتدلة. خلال الصَّيف (الشَّكل السُّفلي)، تدفئ الشَّمس الماء (الطبقة العلوية) فتطفو على سطح المياه الأبرد والأكثف (الطبقة السُّفلية). تكون البحيرة أيضًا مقسمة حراريًّا إلى طبقات في الشِّتاء (الشَّكل العلوي) عندما يطفو الماء القريب من التَّجمُّد أو المُتجمد على سطح الماء الذي يكون على درجة حرارة 4^{o} س (درجة الحرارة الأكبر كثافة للمياه العذبة). يتخلخل التقسيم الطبقي في انقلابات الرَّبيع والخريف، حيث تكون درجة حرارة مياه البحيرة تقريبًا مُتساوية، وتقوم الرِّياح بخلط المياه من الأعلى إلى الأسفل.

السَّطح. الماء الأبرد، والأكثر كثافة، يُدعى الطَّبقة السفليةَ *Hypolimnion*، يقع في الأسفل. وهناك طبقة انتقالية بين الطَّبقتين الدَّافئة والباردة، هي **طبقة التَّغيُّر الْحراريّ Thermocline**. وعلى الرَّغم من تركيزنا هنا على المياه العذبة، فإنّ تركيبًا حراريًّا مُشابهًا لعمود الماء يحدث أيضًا في أجزاء أخرى عدَّة من المُحيط.

في البُحيرة، يميل التقسيم الطبقي الْحراريّ لمنع وصول الأكسجين إلى المياه الموجودة في القاع؛ لأنَّه يمنع اختلاط المياه العلوية التي تستقبل الأكسجين مع المياه التي في القاع. وقد ينخفض تركيز الأكسجين في القاع من ثم بشكل تدريجي مع الوقت، كلما استهلكت المخلوقات الموجودة هناك الأكسجين بشكل أسرع من تعويضه. وإذا كان مُعدَّل استهلاك الأكسجين عاليًا، فإنّ مياه القاع يُمكن أن تنفد من الأكسجين، وتُصبح خالية منه قبل انتهاء الصَّيف. وإذا حدثت ظروف غياب الأكسجين، فإنها تقتل مُعظم الحيوانات لا كلّها.

في الخريف، تهبط درجة حرارة المياه العلوية في البحيرة المقسمة إلى طبقات حرارية حتى تُصبح مماثلة لدرجة حرارة المياه العميقة نفسها تقريبًا. وتُصبح كثافة طبقتي الماء مُتشابهة، وتضعف قابليتهما للبقاء مُنفصلتين. ويُمكن بعد ذلك للرِّياح أن تجبرهما على الاختلاط؛ هذه الظاهرة تُدعى **الانقلابَ الخريفيَّ Fall overturn** (انظر الشكل 58-12). بعد ذلك، تعود تراكيز عالية من الأكسجين إلى مياه القاع.

في (الفصل الـ 2)، تعلَّمت عن الخصائص الفريدة للماء. المياه العذبة أكثر كثافة عند درجة حرارة 4° مئوية، والثلج، عند درجة حرارة صفر$^{\circ}$، يطفو على سطح هذه المياه الكثيفة. عند تبريد البُحيرة لتصل إلى نقطة التَّجمد عند بدء الشِّتاء، فإنّ كلّ البُحيرة تصل أولًا إلى درجة 4°. ثُمَّ، يبرد بعض الماء إلى درجة حرارة أقل، وعند ذلك، يُصبح أقل كثافة، ويرتفع إلى الأعلى. تدفع زيادة تبريد هذه المياه السَّطحية إلى أن تتجمد على شكل طبقة من الثلج تُغطِّي البُحيرة. في الرَّبيع، يذوب الثلج، وترتفع درجة حرارة المياه السَّطحية، ومرة أخرى تُصبح الرِّياح قادرة على خلط مياه البُحيرة كلها؛ يدعى هذا **الانقلابَ الرَّبيعيَّ Spring overturn**.

تمتلك المياه قليلة التغذية أكسجينًا عاليًا ولكنها ذات مُحتوى غذائي قليل

أجسام المياه العذبة التي تكون فقيرة بغذاء الطّحالب (مثل النترات أو الفوسفات) وقليلة المادة الطُّحلبية لكلّ وحدة حجم تُدعى **قليلة التغذية Oligotrophic**. ومثل هذه المياه تكون غالبًا نقيَّة. تميل الجداول والأنهار قليلة التغذية لأن تكون غنية في محتوى الأكسجين المُذاب؛ لأنَّ حركة المياه المُتدفقة تعمل على تهويتها؛ فالكمية الصَّغيرة من المواد العضوية في المياه تعني أنَّ الأكسجين يُستخدم بمُعدَّل قليل نسبيًّا. بشكل مُشابه، تميل البُحيرات والبرك قليلة التغذية إلى أن تحتوي كمية عالية من الأكسجين المُذاب عند مُختلف الأعماق كلّ السَّنة؛ لأنَّها تمتلك مُعدَّل استهلاك أكسجين قليل. ولأنَّ الماء نقي وصافٍ نسبيًّا، فإنّ الضّوء يستطيع النَّفاذ من الماء بسهولة، ما يسمح للتَّمثيل الضوئي بالحدوث عبر أغلب العمود المائي، من الأعلى إلى الأسفل (الشكل 58-13).

المياه حقيقية التغذية تكون عالية المحتوى الغذائي والعوالق النَّباتية، ولكنَّها قليلة الأكسجين

أجسام المياه **حقيقية التغذية Eutrophic** غنية بغذاء الطّحالب، وتسكنها غالبًا أعداد كبيرة من هذه الطّحالب. وغالبًا ما تكون قليلة الأكسجين المُذاب، خاصةً في الصَّيف. في جسم المياه حقيقية التغذية، تُحدث الميكروبات المُحلِّلة طلبًا عاليًا على الأكسجين المتوافر، إذ عندما تموت جماعات كثيفة من الطّحالب، تتوافر كميات كبيرة من المادة العضوية للتَّحلُّل. فضلًا على ذلك، لا ينفذ الضّوء خلال هذه المياه بشكل جيد بسبب المواد العضوية الموجودة في الماء جميعها؛ لذلك تُحدَّد إضافة أكسجين التَّمثيل الضوئي بطبقة رقيقة نسبيًّا فقط من الماء عند السَّطح.

حوَّلت أنشطة الإنسان بشكل كبير البُحيرات قليلة التغذية إلى بُحيرات حقيقية التغذية. مثلًا، عندما يقوم الناس بزيادة تسميد أراضيهم، فإنّ النترات والفوسفات الموجودة في الأسمدة تنجرف إلى أنظمة المياه القريبة. تُصبح البُحيرات التي تستقبل هذه المواد الغذائية حقيقية التغذية بشكل أكثر. ولهذا يُمكن أن تُصبح

بحيرة قليلة التغذية

أ.

بحيرة حقيقية التغذية

ب.

الشكل 58-13

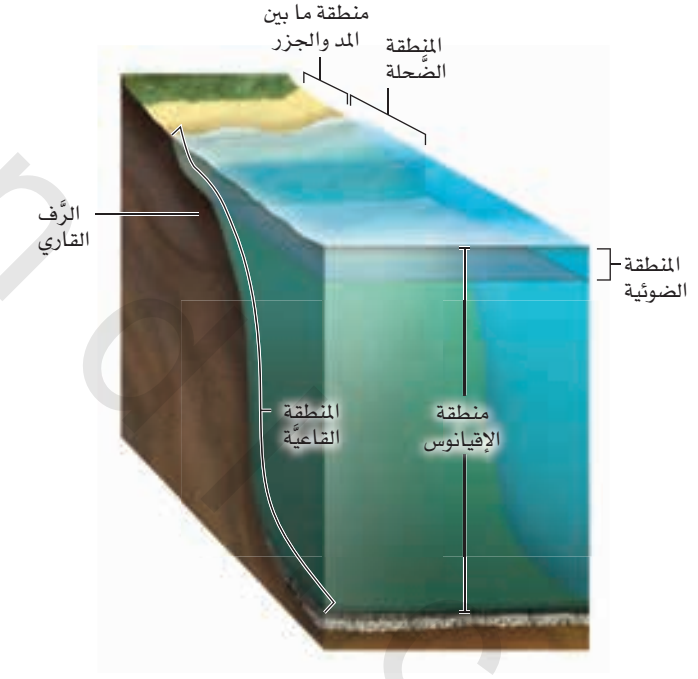
بحيرات: قليلة التغذية وحقيقية التغذية. أ. تكون البحيرات قليلة التغذية قليلة المواد الغذائية الطُّحلبية، وذات كمية عالية من الأكسجين المُذاب، وتكون صافية. ب. تكون البحيرات حقيقية التغذية كثيرة المواد الغذائية الخاصة بالطحالب وقليلة مُستويات الأكسجين المُذاب. لا يخترق الضّوء عميقًا في مثل هذه البحيرات.

مياه القاع خالية من الأكسجين في الصَّيف. إن أنواعا عدَّة من الأسماك التي تتميَّز بها البُحيرات ضحلة الغذاء، مثل سمك السلمون، حساسة جدًا لنقص الأكسجين. فعندما تُصبح البُحيرات حقيقية التغذية، تختفي هذه الأنواع من الأسماك ليحلّ محلّها أنواع مثل سمك الشَّبوط الذي يستطيع تحمُّل تراكيز الأكسجين القليلة بشكل أفضل. يُمكن للبُحيرات أن تعود نحو حالة قليلة التغذية مع مرور الوقت إذا اتخذ البشر خطوات نحو التَّخلُّص من الإضافة الزَّائدة للنترات، والفوسفات، والمواد العضوية الغريبة مثل مياه المجاري.

المواد الغذائية للعوالق النَّباتية والأكسجين المذاب لمختلفة التَّغذية مُحدِّدات رئيسة لطبيعة الأنظمة البيئية للمياه العذبة. التَّقسيم الطبقي الْحراريّ مُحدّد رئيس لمُستويات الأكسجين. تصبح مُستويات المواد الغذائية، مثل الفوسفات، محدّدة إذا كان النَّهر أو البُحيرة ضحلًا أو حقيقي التغذية. مُستويات الأكسجين المُذاب تعتمد جُزئيًا على طبيعة الجسم المائي من حيث؛ هل هو قليل التغذية، أم حقيقي التغذية؛ لأنَّه كلما كانت هناك مادة عضوية أكثر، فإنّ الميل يزداد لاستخدم الأكسجين المُتوافر بشكل أسرع.

4-58 البيئات البحرية

نحو 71% من سطح الأرض تُغطِّيه المُحيطات. فقريبًا من خطوط السَّاحل للقارات تُوجد **الأرفف القارية Continental shelves**، حيث تكون المياه بشكل خاص غير عميقة (الشكل 58-14)؛ تُمثِّل الأرفف، في الأصل، حواف القارات التي تُغطّيها مياه المُحيطات. وعلى مُستوى العالم كلّه، يصل مُعدَّل عرض الأرفف تقريبًا 80 كم، وعُمق المياه فوقها يتزايد من 1م إلى 130م تقريبًا عندما ينتقل الشَّخص من السَّاحل نحو المُحيط المفتوح.



الشكل 58-14

مفاهيم أساسية وأسماء تُستعمل في وصف النِّظام البيئي البحري. الرَّف القاري هو الجُزء المغمور بالماء من القارة. المياه التي فوق هذه المنطقة تُدعى المياه الضَّحلة، وفي المعدل العام عالميًّا لا تتجاوز 130م بالعمق في أعمق الأماكن. المنطقة حيث المد والجزر تُسمَّى منطقة ما بين المد والجزر. القعر يُسمَّى المنطقة القاعيَّة، في حين يُسمَّى عمود الماء في المُحيط المفتوح منطقةَ الإقيانوس. المنطقةُ الضوئيةُ جزءٌ من منطقة الإقيانوس، حيث تخترقها كمية ضوء كافية كي تملك العوالق النباتية إنتاجية أولية صافية إيجابية. المقياس العمودي على هذا الرَّسم مضغوط بشكل كبير؛ فبينما الحافة الخارجية للرَّف القاري 130م في العمق، يكون المُحيط المفتوح حقيقة في مُعدَّل 35 مرة أعمق (4000 – 5000 م عمقًا).

بعد الأرفف القارية، تبدأ فجأة زيادة العُمق بشكل كبير جدًا. فمُعدَّل عُمق المُحيط المفتوح 4000 – 5000 م، وهناك بعض الأجزاء – تُدعى الخنادق - أكثر عُمقًا، وقد يصل بعضها إلى 11000 م كما في خندق ماريانا في غرب المُحيط الهادي.

في مُعظم المُحيط، تتكوَّن المُنتجات الأولية أساسًا من العوالق النَّباتية التي تطفو في المياه السَّطحية المُضاءة جيدًا. هناك انقلاب يحدث حاليًّا في الفهم العلمي للمواد الغذائية المُحدِّدة للعوالق النَّباتية في المُحيط (انظر الفصل الـ 57). فالإنتاجية الأولية للعوالق النَّباتية مفهومة حاليًّا على أنَّها مُحدَّدة بالنيتروجين في ثلثي مُحيطات العالم، ولكنَّها مُحدَّدة بالحديد في الثُلث الباقي. أهم المناطق المُحدَّدة بالحديد هي المُحيط الجنوبي الضَّخم المُحيط بالقارة القُطبية، وأجزاء من المُحيط الهادي الاستوائي، وأجزاء المُحيط الهادي الشَّمالي الشَّرقي، شبه القطبي. حيث يكون الماء ضحلًا عند خطوط السَّاحل، لا تكون الإنتاجية الأولية بسبب العوالق النَّباتية فقط، وإنَّما بسبب النَّباتات ذات الجذور مثل حشائش البحر، والطّحالب ساكنة القاع، وتشمل أعشاب البحر.

إن مُحيطات العالم واسعة لدرجة أنَّها تتَّسع لأنواع كثيرة من الأنظمة البيئية. بعضها، مثل الحيد المُرجاني والمصابّ، عالية في إنتاجيتها الأولية الصَّافية لكلّ وحدة مساحة (انظر الشكل 57-11)، لكن بعضها الآخر قليل الإنتاجية لكلّ وحدة مساحة. تتمثل طريقة مُفيدة في تصنيف الأنظمة البيئية للمُحيطات في تمييز أربعة أنواع رئيسة، هي: المُحيطات المفتوحة، والأنظمة البيئية للأرفف القارية، ومناطق النَّبع، والبحر العميق.

للمُحيطات المفتوحة إنتاجية أولية مُنخفضة

عندما نتحدث عن **المُحيطات المفتوحة Open oceans**، فإنَّنا نقصد المياه البعيدة عن اليابسة (بَعد الأرفف القارية) التي تكون قريبة بشكل كافٍ من مياه السَّطح لكي تستقبل ضوء الشَّمس، أو تتفاعل بشكل يومي أو أسبوعي مع هذه المياه. وسوف نُناقش مياه البحر العميقة بشكل مُنفصل لاحقًا.

تنخفض كثافة الضّوء الشَّمسيّ في المُحيطات المفتوحة من كونها عاليةً على السَّطح إلى أن تكون قريبة من صفر على عمق 200 م؛ التَّمثيل الضوئي محدد عند هذا المُستوى من المُحيط. مع ذلك، تميل المواد الغذائية للعوالق النَّباتية، مثل النترات، إلى الوجود بكميات قليلة في المنطقة المُضيئة؛ لأنَّ العمليات الحيوية التي تمَّت في الماضي السَّحيق، صدّرت النترات والمواد الغذائية الأخرى من المنطقة العلوية إلى المنطقة السُّفلية العميقة، ولا تُوجد قوى عنيفة في المُحيط المفتوح لتُعيد المواد الغذائية إلى المياه المُعرَّضة لضوء الشَّمس.

وبسبب التَّركيز القليل للمواد الغذائية في المنطقة الضوئية، تكون أجزاء كبيرة من المُحيطات المفتوحة قليلة الإنتاجية لكلّ وحدة مساحة (انظر الشكل 57-11) وسميت بشكل مُناسب "الصحراء الحيوية". هذه الأجزاء – التي تقابل دوامات

وسط المُحيط العظيمة (انظر الشكل 58-4) – تُسمَّى معًا **المُحيط قليل التغذية Oligotrophic ocean** (الشكل 58-15) إشارةً إلى المُستويات الغذائية المُنخفضة والإنتاجية المُنخفضة له.

يقوم النَّاس باصطياد أسماك التونا وبعض أنواع الحيّار اليوم من المُحيطات المفتوحة، وفي الماضي اصطادوا الحيتان. ينحصر الصَّيد في المُحيطات المفتوحة في أنواع قليلة من الحيوانات لسببين: أولهما، إن الإنتاجية الأولية مُنخفضة لكلّ وحدة مساحة، فتكون الحيوانات قليلة التَّوزيع في المُحيطات المفتوحة؛ فالحيوانات الوحيدة المُربحة اقتصاديًّا للاصطياد هي تلك الكبيرة أو التي تتجمَّع معًا على شكل مجموعات. ثانيهما، إن تكلفة الوقود والحاجات الأخرى اللازمة للسَّفر بعيدًا عن اليابسة باهظة. ويتَّفق المسؤولون جميعهم على أنَّه عند توجه النَّاس إلى البحر للمُساعدة على تغذية جماعات البشر المُتنامية بسرعة، فإننا لا نتوقع أنَّ تزوِّدنا مناطق المُحيط المفتوح بكميات كبيرة من الطَّعام.

تُوفِّر الأنظمة البيئية للرَّف القاري مصادر غزيرة

الكثير من الأنظمة البيئية الموجودة على الرُّفوف القاريّة عالية الإنتاجية نسبيًّا لكلّ وحدة مساحة. السبب المُهم لهذا هو أنَّ المياه فوق الرُّفوف – تُسمَّى **مياه الجرف القاريّ Neritic water** (انظر الشكل 58-14) – تميل لأن تمتلك تراكيز عالية نسبيًّا من النترات والمواد الغذائية الأخرى، مُقسَّمةً على طول السَّنة.

وحيث إنَّ المياه التي فوق هذه الرُّفوف ضحلة، فإنَّها لم تتعرَّض، فترة زمنية طويلة، لفقدان المواد الغذائية إلى داخل البحر العميق، كما حصل في المُحيطات المفتوحة. المواد الغنية بالغذاء، في المياه فوق الرُّفوف تغطس لتصطدم بالقاع الضَّحل، والمواد الغذائية التي تحتويها تُختلط مرة أخرى داخل عمود الماء بفعل الطَّقس العاصف. إضافة إلى ذلك، يتمُّ توفير المواد الغذائية بشكل مُستمر عن طريق نقلها من اليابسة القريبة.

يأتي نحو 99% من الطَّعام الذي يجمعه النَّاس من المُحيط من الأنظمة البيئية للرَّف القاري أو من مناطق النَّبع القريبة. الأنظمة البيئية للرَّف القاري مهمة أيضًا بشكل خاص للبشر بطرق أخرى. تأتي المصادر المعدنية التي تُؤخذ من المُحيط، مثل البترول، بشكل حصري من هذه الرُّفوف. إضافة إلى ذلك، فإنّ هدفَ استخدامات المُحيط جميعها هو الاستجمامُ، والإبحار، والغوص على الرُّفوف. تبرز الرُّفوف بشكل واضح في هذه الاستخدامات؛ لأنَّها قريبة لخطوط السَّاحل وضحلة نسبيًّا.

المصابّ

المصابّ Estuaries أحدُ أنواع الأنظمة البيئية للرَّف. مصبُّ النَّهر مكانٌ يوجد على خط السَّاحل، مثل الخليج، الذي يكون مُحاطًا باليابسة جزئيًّا، وتختلط فيه مياه المُحيط مع مياه عذبة من الجداول والأنهار، مُكوِّنًا مُلوحة مُعتدلة (قليلة الملح).

وإضافة إلى أنَّ المصابَّ أجسامٌ مائيةٌ، فإنَّها تشمل السَّبخات بين المد والجزر، أو المُستنقعات. بيئة ما بين **المد والجزر Intertidal** هي المنطقة التي تتعرَّض للهواء عند المد المُنخفض، في حين يُغطِّيها الماء عند المد المُرتفع. وتُسمَّى السبخات بين المد والجزر **السَّبخات المالحة Salt marshes**. توجد مُستنقعات بين المد والجزر، وتُسمَّى **مُستنقعات المانجروف Mangrove swamps** (تسودها الأشجار والشُّجيرات) في المناطق الاستوائيّة وشبه الاستوائيّة للعالم.

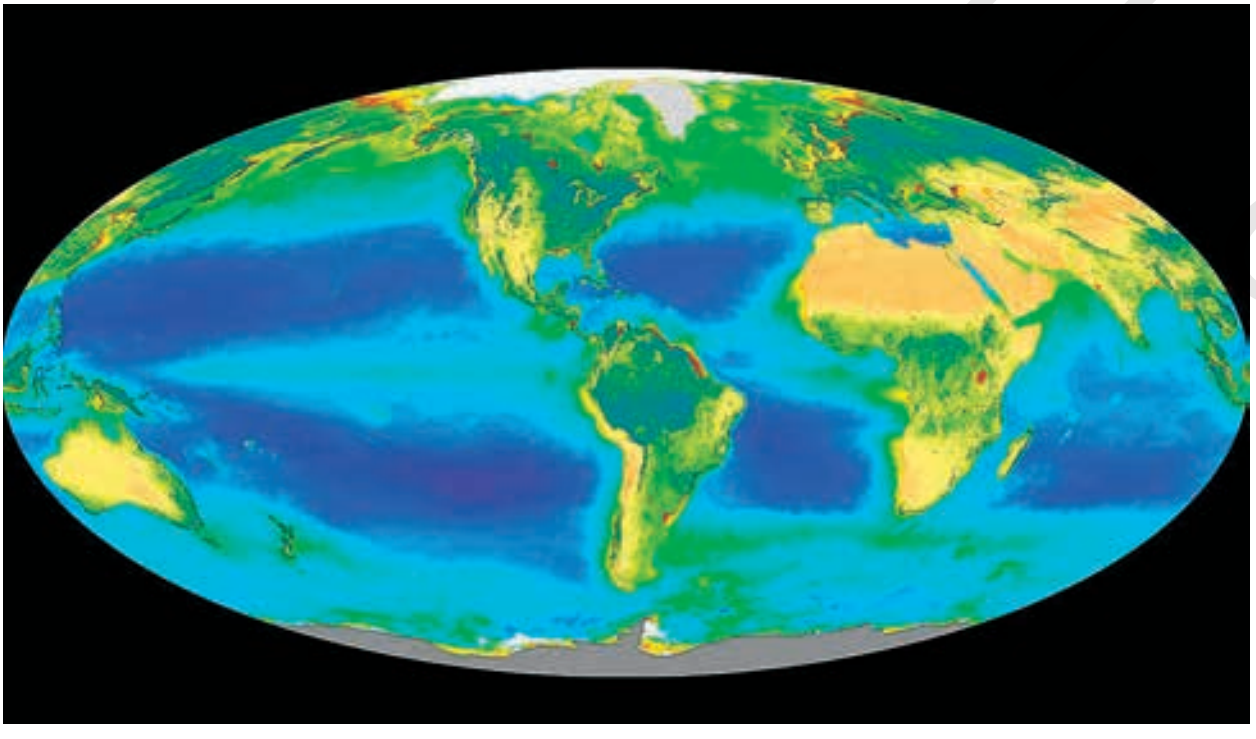
تُعدّ المصابّ نظامًا بيئيًّا حيويًّا عالي الإنتاجية؛ تُوفِّر مأوى وغذاء لكثير من الحيوانات المائية، خصوصًا اليرقات والصِّغار، التي يجمعها النَّاس للغذاء. وإنها مهمة لعدد كبير من الحيوانات الأخرى، مثل الطُّيور المُهاجرة.

المُنحدرات والحيود المُرجانية

تشمل أنواع أخرى من الأنظمة البيئية للرَّف القاري المُنحدرات والحيود المُرجانية.

المُنحدراتُ Banks مساحاتٌ محليةٌ ضحلةٌ موجودة على الرُّفوف القارية، وتُستعمل بشكل مهم بوصفها أراضي للصَّيد غالبًا؛ أحد أشهر هذه المُنحدرات وأكثرها إنتاجية هو مُنحدر جورجيس الذي يبعد 100 كم عن شاطئ ماساشوستس؛ الذي تمَّ إغلاق مُعظمه أمام الصَّيد، بسبب الاستغلال الزَّائد له، منذ مُنتصف تسعينيّات القرن الماضي.

الأنظمة البيئية للحيد المُرجاني Coral reef تقع في خطوط العرض شبه الاستوائيّة والاستوائيّة. وصفاتها المُميَّزة تتمثل في مرجان حجري – مرجان يُفرز



الشكل 58-15

المناطق الرئيسة الوظيفية في المُحيط. المناطق المُصنَّفة بأنَّها قليلة التغذية (مُلونة بلون أزرق داكن) هي "صحارى بيولوجية" بإنتاجية قليلة لكلّ وحدة مساحة. الأنظمة البيئية للرَّف القاري (أخضر عند حواف القارات) هي مناطق مُتوسطة إلى عالية الإنتاجية بشكل نموذجي. مناطق النَّبع (صفراء على حواف القارات) هي المناطق الأعلى في الإنتاجية لكلّ وحدة مساحة، وتُصنَّف بأنَّها الأعلى إنتاجية من كلّ الأنظمة البيئة على الأرض.

الشكل 58-16

النِّظام البيئي للحيد المُرجاني. المرجان الباني للحيد، الذي يتكون من علاقة تعايشية بين اللاسعات والطّحالب، يبني التَّركيب ثلاثي الأبعاد للحيد، ويقوم بإنتاجية أولية مُعتدلة. تجد الأسماك والكثير من الحيوانات الأخرى فيه الغذاء والمأوى، جاعلًا هذه الأنظمة البيئية من أكثر الأنظمة تنوعًا. يوجد نحو 20% من أنواع الأسماك بشكل خاص في الأنظمة البيئية للحيود المُرجانية.

هيكلًا صلبًا، وكلسيًّا – يبني هيكلًا ثلاثي الأبعاد، ويُكوِّن بيئة فريدة تعيش فيها مخلوقات مُميَّزة أخرى، تشمل سمك الحيد والمرجان النَّاعم (الشكل 58-16).

كلّ السبع مئة نوع تقريبًا من المرجان صانع الحيد حيواناتٌ وطحالب تكافلت معًا؛ الحيوانات لاسعات، والطّحالب سوطية مُتعايشة داخل طبقة الخلايا الدَّاخلية (أدمة المعدة). يعتمد هذا المرجان على التَّمثيل الضوئي من الطّحالب المُتعايشة؛ لذا فإنه يحتاج إلى مياه صافية يُمكن لضوء الشَّمس النَّفاذ من خلالها بسهولة. هذا المرجان المُكوِّن للحيد مُهدَّد على مُستوى العالم، كما سنُوضِّح لاحقًا في هذا الفصل.

تُعاني مناطق النَّبع خلط المواد الغذائية والأكسجين

مناطق النَّبع Upwelling regions للمُحيط هي مناطق مُحدَّدة تُجلب فيها المياه بشكل مُستمر نحو السطح بسبب فعل قوى محلية، مثل الرِّياح المحلية. غالبًا، تكون المياه العميقة غنية بالنترات والمواد الغذائية الأخرى. إذن، النَّبع يرفع المواد الغذائية إلى الطَّبقات السَّطحية المُضاءة بشكل جيد. تستجيب العوالق النَّباتية لتوفُّر الغذاء والضّوء بالنمو الكثيف والتَّكاثر. تملك مناطق النَّبع أعلى إنتاجية أولية لكلّ وحدة مساحة في عالم المُحيطات.

أشهر منطقة نبع (انظر الشكل 58-15) تقع على ساحل البيرو والإكوادور، حيث يوجد النَّبع على مدار العام. منطقة نبع أخرى مهمة هي خط الساحل لكاليفورنيا، الذي يحدث النَّبع على طوله خلال نصف العام تقريبًا في الصَّيف، وهذا يُفسِّر سبب إيجاد السباحين ماءً باردًا عند الشَّواطئ حتى في يوليو وأغسطس.

تدعم مناطق النَّبع الصَّيد الغزير ولكنها خطرة. لقد انهار صيد السَّردين في منطقة نبع كاليفورنيا قبل عقود عدَّة مضّت، ولكن قبل هذا كان مهمًّا بشكل كبير للمنطقة، و أرَّخ الكاتب جون ستينبك الفائز بجائزة نوبل في عدد من كتبه من أشهرها، *Cannery Row*.

تذبذُب ظاهرة إلنينو *El Nino* الجنوبي (*ENSO*)

جذبت ظاهرة إلنينو انتباه العلماء أول مرة في دراسات منطقة النَّبع بين البيرو – الإكوادور. تُصبح المياه على طول الخط السَّاحلي وبشكل غير مسبوق دافئة في تلك المنطقة، كلّ 2 – 7 سنوات وعلى أساس غير مُنتظم ونسبيًّا غير مُتوقع، وفي الوقت نفسه تُصبح قليلة الإنتاجية الأولية على غير العادة.

وبسبب تدنّي هذه الإنتاجية الأولية، تضعف جماعات السَّمك التي كانت تنمو بشكل اعتيادي، فتتعرَّض جماعات طيور البحر وثدييات البحر التي تعتمد على السَّمك للضَّغط أو الانخفاض. وقد سمَّى السُّكان المحليون هذا الدِّفء السَّنوي الطَّفيف، الذي يحدث قريبًا من عيد الميلاد في كلّ عام، "EL Nino" (التي تعني حرفيًّا، "الطفل"، على اسم الطِّفل المسيح). تبنَّى العلماء مُصطلح تذبذب ظاهرة إلنينو الجنوبي ليُشير إلى أحداث الدِّفء الكبيرة التي تحدث بشكل غير مُنتظم كلّ 2 – 7 سنوات.

استُغرق الأمر عقودًا عدَّة لمعرفة السَّبب المُباشر لهذه الظَّاهرة، ولكن البحث في النِّهاية أظهر أنَّ السَّبب هو ضعف الرِّياح التِّجارية القادمة من الشَّرق إلى الغرب في المنطقة. تُسخِّن الرِّياح التِّجارية عادة مياه السَّطح الدَّافئة، وتدفعها إلى الغرب، بعيدًا عن ساحل بيرو – إكوادور. يُضعف هذا الطَّبقة السَّطحية للمياه الساخنة على طول السَّاحل، لدرجة أنَّ المياه العميقة – باردة، ولكنها غنية بالمواد الغذائية – تنجرف نحو السَّطح، مُسبِّبة إنتاجًا أوليًّا عاليًا.

يسمح ضعف الرِّياح التجارية للطَّبقة السَّطحية الدَّافئة لتُصبح أسمك. يستمر النَّبع، ولكن في مثل هذه الظُّروف من النادر ما يُعيد تدوير الطَّبقة السَّطحية الدَّافئة السَّميكة، التي تكون منزوعة المواد الغذائية.

بعد اكتشاف هذه الأساسيات، أدرك الباحثون في الثّمانينيّات أنَّ إضعاف الرِّياح التِّجارية هو حقيقة جُزء من تغيُّر في أنماط دوران الرِّياح، الذي يتكرر بشكل غير مُنتظم كلّ 2 – 7 سنوات. أحد الأسباب لهبوب الرِّياح التِّجارية من الشرق إلى الغرب في الأوقات العادية هو أنَّ الرِّياح السَّطحية في المُحيط الهادي الاستوائي الغربي أدفأ من تلك التي في المُحيط الهادي الاستوائي الشَّرقي؛ يرتفع الهواء من المناطق القريبة الدَّافئة، مُحدثًا ضغطًا مُنخفضًا عند ذلك السَّطح هناك، ويهبّ الهواء من الشَّرق داخل منطقة الضَّغط المُنخفض. خلال ظاهرة إلنينو، كلما ازداد دفء المُحيط الشَّرقي، يصبح مُشابهًا أكثر للمُحيط الغربي، مُقللًا الاختلاف في الضَّغط عبر المُحيط. لذلك، حالما تضعف الرِّياح التِّجارية قليلًا، فإنّ اختلاف الضَّغط الذي يجعلها تهبّ يقلّ، مما يُضعف الرِّياح التِّجارية أكثر. تنتقل المياه الدَّافئة، التي عادةً ما تبقى في الغرب عن طريق الرِّياح التِّجارية، بشكل تدريجي في اتجاه الشَّرق عند خطوط العرض الاستوائيّة بسبب أحداث التَّعزيز الذَّاتي المُتتابعة. في النِّهاية، تقع آثار إلنينو عبر أجزاء كبيرة من أنظمة الطَّقس في العالم، مُؤثِّرة في درجة حرارة البحر في كاليفورنيا، وسقوط الأمطار في جنوب غرب الولايات المُتحدة، وحتى الأنظمة البعيدة كبعد إفريقيا.

إحدى النتائج المحددة هي إزاحة أنظمة الجو للمُحيط الهادئ الغربي 6,000 كم في اتجاه الشَّرق، فتحدث العواصف المطرية الاستوائيّة التي تضرب عادةً إندونيسيا والفلبين عندما تُسبِّب مياه البحر الدَّافئة المُتاخمة لهذه الجُزر برفع الهواء فوقها، ليبرد، وتتكاثف رطوبته على شكل غيوم. عندما يتحرَّك الماء الدَّافئ شرقًا، تتحرك الغيوم كذلك، تاركةً المناطق الماطرة السَّابقة بحالة جفاف. وعلى العكس، الأطراف الغربية من بيرو والإكوادور، التي عادةً يصلها هطل قليل، تنتفع بالمطر.

يُمكن أن تسبِّب إلنينو دمارًا هائلًا في الأنظمة البيئية. فخلال وقوع إلنينو، يُمكن للعوالق أن تنخفض إلى $\frac{1}{20}$ من وفرتها الطَّبيعية في مياه البيرو، والإكوادور، وبسبب هذا الانخفاض في إنتاجية العوالق، تختفي أفواج الأسماك التِّجارية (الشكل 58-17). في جُزر جالاباغوس، مثلًا، تنهار جماعات طيور البحر وأسد البحر حالما تجوع بسبب نقص الأسماك. في المقابل، وعلى اليابسة، تُنتج الأمطار الغزيرة محاصيل بذور وافرة، وتزدهر طيور اليابسة. في تشيلي، تغني تأثيرات مُشابهة على وجود البذور السِّلسلة الغذائية، ما يُؤدي أولًا إلى زيادة أعداد جماعات القوارض، وبعدها تزداد جماعات المُفترسات، وهذا مثال جيد للشَّلال الغذائي الأسفل – الأعلى، كما وضَّحنا في (الفصل الـ 57).

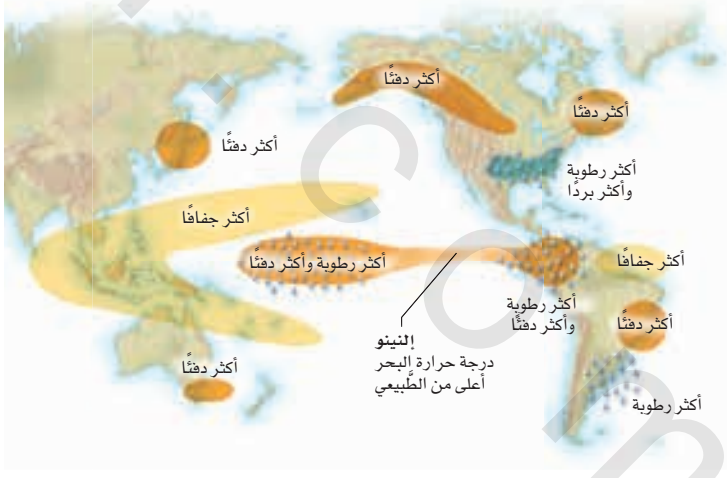
البحر العميق بارد ومعتم، وفيه بعض المُجتمعات المثيرة للاهتمام

البحر العميق Deep sea على المدى البعيد هو البيئة الوحيدة الأضخم على الأرض، على اعتبار أنَّها منطقة ضخمة تتميَّز بظروف مُوحَّدة نسبيًّا حول الكرة الأرضية. البحر العميق لا فصول فيه، بارد (2° - 5° س)، مُعتم كليًّا، وتحت ضغط عالٍ (400 – 500 ضغط جوي عند عُمق 4000 – 5000 م).

في مُعظم مناطق البحر العميق، ينشأ الغذاء من التَّمثيل الضوئي في المياه المُشمسة بعيدًا في الأعلى. يأخذ مثل هذا الغذاء نحو شهر ليهبط إلى الأسفل من السَّطح إلى القاع، وعلى طول الطَّريق نحو 99% من هذا الغذاء يُؤكل عن طريق الحيوانات التي تعيش في عمود المياه. لذلك، فإنّ مُجتمعات القاع تستقبل فقط 1% تقريبًا من الإنتاج الأولي، وبهذا فهي فقيرة في الغذاء. مع ذلك، فمن المعروف أنَّ أنواعًا كثيرة وضخمة من الحيوانات – مُعظمها ذات أجسام صغيرة وقليلة التَّوزيع – تعيش في قاع البحر. بعض هذه الحيوانات مُضيئة حيويًّا (الشكل 58-18 أ) وبهذا، فهي قادرة على الاتصال، أو جذب الفريسة باستعمال الضّوء.

مُجتمعات شقوق الماء السَّاخن (الثغرات المائية الحرارية)

من أكثر المُجتمعات إثارة في قاع البحر **مُجتمعات شقوق الماء السَّاخن Hydrothermal vent communities**. على عكس باقي أجزاء البحر العميق، هذه المُجتمعات غنية بالمخلوقات الحية (الشكل 58-18 ب)، التي تشمل حيوانات كبيرة الجسم مثل الدِّيدان بحجم صولجان كرة القاعدة. سبب



الشكل 58-17

ظاهرة إلنينو في الشِّتاء. يُظهر هذا الشَّكل فقط بعض التَّغيُّرات العالمية في الطَّقس التي غالبًا ما ترتبط بظاهرة إلنينو.

أ.

ب.

الشكل 58-18

الحياة في البحر العميق. أ. نتجت البقعة المُضيئة تحت عين هذه السَّمكة التي تعيش في أعماق البحار عن مُستعمرة تعايشية من البكتيريا المُضيئة حيويًّا. الإضاءة الحيوية شائعة في الحيوانات المُتحركة في قيعان المُحيطات المُظلمة. وهذا شائع في الأنواع التي تعيش في الطَّريق نحو العمق أكثر مما هو شائع في الأنواع التي تعيش في العُمق. ب. تعيش هذه الدِّيدان الكبيرة في الثغرات الحرارية المُحتوية على كبريتيد الهيدروجين الذي يرتفع خلال التَّشققات في قشرة أرض المُحيط. تحتل مُستعمرات بكتيرية تعايشية مُؤكسدة للكبريت مُعظم جسم الدُّودة. تنقل الدِّيدان الكبريت والأكسجين للبكتيريا، التي تُؤكسد الكبريت، وتستعمل الطَّاقة المتحصل عليها من أجل الإنتاج الأولي لمُركبات عضوية جديدة، التي تتشارك بها مع مُضيفاتها الدِّيدان.

مثل هذا الازدهار في الحياة أنَّ هذه المُجتمعات تعيش على إنتاجية أولية محلية شديدة، وليس على المنطقة الضوئية بعيدًا في الأعلى.

تقع مُجتمعات الثغرات المائية الحرارية في الأماكن، حيث تتحرك الصفائح التَّكتونية بعيدًا عن بعضها، حيث تتمكَّن مياه البحر – التي تجري خلال الصخور النَّفاذة – من مُلامسة الصخور السَّاخنة جدًا تحت أرض البحر. تسخن هذه المياه إلى درجة حرارة أكثر من 350° س، وفي هذه العملية، تُصبح غنية بكبريتيد الهيدروجين.

عندما ترتفع المياه إلى الأعلى من الصُّخور النَّفاذة، فإنّ البكتيريا الحرة والتَّعايشية تُؤكسد الكبريت، فتحصل من هذا التَّفاعل على الطَّاقة، وهذا بشكل ما، مُشابه للبناء الضوئي، حيث تستعمل الطَّاقة لبناء مُركباتها الخلوية، وللنُّمو والتَّكاثر. إن هذه **البكتيريا المُؤكسدة للكبريت Sulfer oxidizing bacteria** هي ذاتية التَّغذية الكيميائية (انظر الفصل الـ 57). إن الحيوانات في هذه المُجتمعات تعيش على البكتيريا، أو تأكل حيوانات أخرى تأكل البكتيريا. تُعدّ مُجتمعات الثغرات المائية الحرارية من المُجتمعات القليلة على الأرض التي لا تعتمد على الطَّاقة الشَّمسية للإنتاج الأولي.

تُكوِّن مراكز أحواض المُحيطات العظمى معًا واحدة من المناطق على الأرض، حيث الإنتاجية الأولية لكلّ وحدة مساحة تكون مُنخفضة: المُحيط ضحل الغذاء، الذي يشمل المُحيط المفتوح والبحر العميق. تميل الأنظمة البيئية للرَّف القاري إلى أن تكون مُتوسطة إلى عالية الإنتاجية؛ وتشمل المصابَّ، والسَّبخات المالحة، ومُنحدرات الصَّيد، والحيود المرجانية. تُوجد أعلى مُستويات الإنتاجية الأولية في المُحيطات في مناطق الينابيع، مثل تلك الموجودة على طول السَّواحل الغربية لأمريكا الشَّمالية والجنوبية، حيث صيد السَّمك مُثمر، ولكنه خطر.

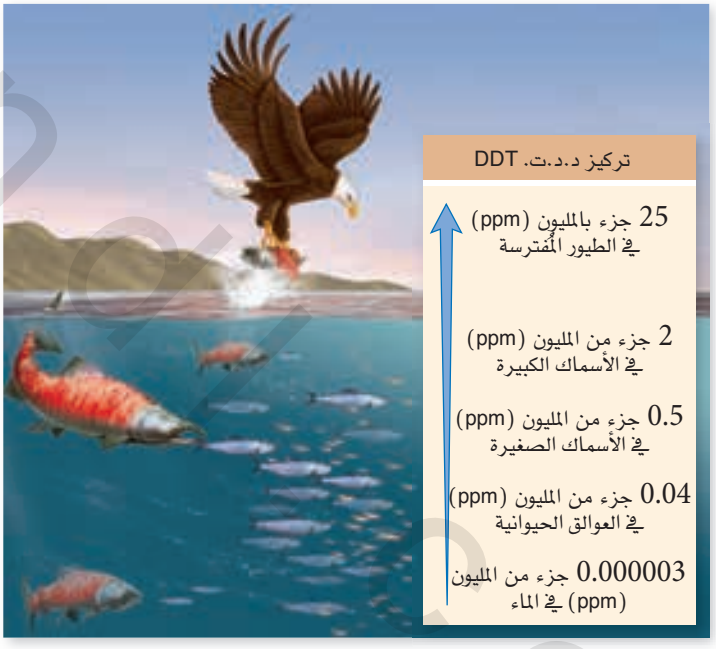
تأثيرات الإنسان في الغلاف الحيوي: التَّلوث واستنزاف الموارد

نعلم جميعًا أنَّ الأنشطة البشرية يُمكن أن تُسبِّب تغيُّرات شديدة في الأنظمة البيئية. عند مُناقشة هذه الأمور، من المُهم إدراك أنَّ النَّاس المبدعين يتوصلون غالبًا لحلول معقولة لمثل هذه المشكلات.

يُبيِّن مثال مُتميِّز تاريخ مادة د.د.ت. DDT في الولايات المُتحدة. هذه المادة مُبيدٌ حشري عالي الفعالية، كان يُرشّ بشكل كبير في العقود التي أعقبت الحرب العالمية الثانية، غالبًا على الأراضي الرَّطبة لمُكافحة البعوض. خلال سنوات استخدام مادة د.د.ت. المُكثَّف، انخفضت جماعات العُقاب، والنَّسر الأصلع، والبجع البُني – أي كلّ الطُّيور التي تصطاد الأسماك الكبيرة –. في النِّهاية، تمَّ ربط استخدام مادة د.د.ت. بزوال هذه الطُّيور.

توصَّل العلماء إلى أنَّ هذه المادة ومنتجاتها الأيضية تُصبح أكثر وأكثر تركيزًا في أنسجة الحيوانات عند انتقال المُركبات على طول السَّلاسل الغذائية (الشكل 58-19). راكمت الحيوانات عند قاع السَّلاسل الغذائية تراكيز قليلة نسبيًّا في أنسجتها الدُّهنية من مادة د.د.ت.. ولكن آكلات اللحوم الأولية التي تفترسها راكمت تراكيز أعلى بسبب أكلها كميات كبيرة، وآكلات اللحوم الثانية راكمت تراكيز أعلى من ذلك. و آكلات اللُّحوم في قمة السَّلاسل الغذائية، مثل الطُّيور آكلة الأسماك الكبيرة، تأثَّرت بشكل مُفاجئ بمادة د.د.ت. لقد وجد العلماء أنَّ نواتج أيض هذه المادة في هذه الطُّيور، عطَّلت تكوين قُشور البيض. فوضعت الطُّيور بيوضًا لها قشور رقيقة، حيث تشقَّقت البيوض قبل موعد فقسها.

استنتج الباحثون أنَّ اختفاء الطُّيور آكلة السمك يُمكن عكسه بخطة معقولة بتنظيف الأنظمة البيئية من مادة د.د.ت.، وبقوانين وضعت لتحريم استخدامها الآن، وبعد 3 عقود، عادت جماعات العُقاب، والنَّسور، والبجع بشكل مُفاجئ. إن السبب الرئيس لدراسة بعض النَّاس للعلوم، هو ليكونوا جزءًا من قصص نجاح من هذا النَّوع.



الشكل 58-19

التَّضخيم البيولوجي لتركيز د.د.ت.DDT. لأنَّ كلّ الـ د.د.ت. الذي يتناوله الحيوان في غذائه يتراكم في أنسجته الدُّهنية، فإنه يُصبح أكثر تركيزًا في حيوانات المُستويات العُليا من السِّلسلة الغذائية. التَّراكيز التي على اليمين مقيسة بوحدة الجزء من مليون جزء (ppm). قبل حظر هذه المادة في الولايات المُتحدة، تناقصت أنواع الطُّيور التي تأكل الأسماك الكبيرة بشكل مُخيف؛ لأنَّ المُنتجات الأيضية لها جعلت قشور بيوضها رقيقة، بحيث تتكسَّر في أثناء الحضانة.

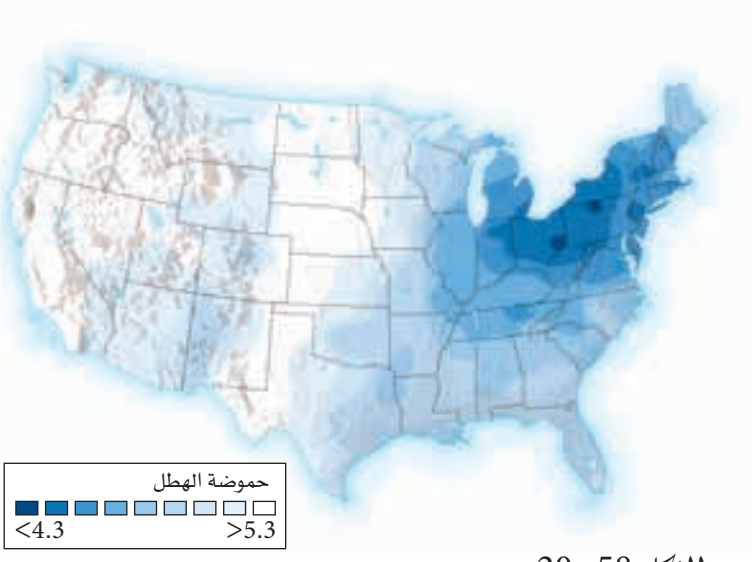
بيئات المياه العذبة مُهدَّدة بالتَّلوث واستهلاك المصادر

المياه العذبة ليست فقط أصغر البيئات الأساسية، ولكنها أيضًا أكثرها عرضة للتَّهديد. أحد أبسط التَّهديدات، ولكن أكثرها شؤمًا للمياه العذبة هو ازدياد أعداد الجماعات البشرية بشكل سريع يُؤدي غالبًا إلى استخدام كميات مُتزايدة من مياه الأنهار، أو البحيرات، أو الجداول. نهر كولورادو، مثلًا، هو أحد أضخم الأنهار في أمريكا الشَّمالية، وينشأ مع ذوبان الثلج في جبال روكي، ويتدفَّق خلال يوتا، وأريزونا، ونيفادا، وكاليفورنيا، وشمالي المكسيك قبل أن يصبّ في المُحيط. اليوم، تُضخ المياه من النَّهر على طول طريقه لسد حاجات المُدن من المياه (حتى البعيدة منها، مثل لوس أنجلوس) ولري المحاصيل. الآن، يفقد النَّهر مياهه بشكل مُستمر، ويجفّ داخل الصَّحراء، ولا يصل أبدًا إلى البحر. وتلوح في الأفق، على مُستوى العالم، أزمات كثيرة في توافر المياه العذبة.

التَّلوث: معروف المصدر مُقارنة مع التَّلوث المُشتت

تلوثُ المياه العذبة مُشكلةٌ عالميةٌ. يأتي **التَّلوث معروف المصدر – Point source pollution** من موقع معروف ، مثل المصانع المعروفة، أو مُنشآت أخرى تُضيف مُلوثات بشكل كبير في أماكن معروفة، مثل أنبوب نفايات على مصبّ نهر. تشمل الأمثلة مصانع مُعالجة المياه العادمة، التي تُلقي مُخلفات المُعالجة عند نقاط مُحدَّدة على الأنهار، ومصانع التَّصفيح (المصانع التي تُصفِّح قطع السيارات بالكروم)، التي تُلقي أحيانًا مياهًا مُلوثةً بالمعادن الثَّقيلة. يُمكن أن تُوضع قوانين وتقنيات تكنولوجية بسرعة للتَّخفيف من التَّلوث المُعتدل معروف المصدر؛ لأنَّ المواقع الدَّقيقة، وأنواع المُلوثات معروفةٌ جيدًا. وقد تمَّ الوصول إلى تقدُّم كبير في الحقيقة.

يُمكن إعطاء مثال على **التلوث المُشتت Diffuse pollution**، وهو الإثراء الغذائي الحقيقي النَّاتج عن التَّسرب المُتزايد للنترات والفوسفات من جراء تسميد المُروج. عندما تدخل النترات والفوسفات الزَّائدة الأنهار والبُحيرات، تتغيَّر خصائص أجسام المياه نحو الأسوأ؛ ويتناقص تركيز الأكسجين المُذاب، وتحلّ أنواع سمك مثل الشَّبوط محل أنواع مرغوبة أكثر. تنشأ النترات والفوسفات عن آلاف المُروج التي تنتشر عند مُجمَّعات مائية كاملة، التي تدخل غالبًا المياه العذبة بشكل افتراضي عند عدد لا حصر له من المواقع. يجعل انتشار مثل هذا النَّوع من التَّلوث أمرًا صعب التَّخفيف بالإصلاحات التَّقنية البسيطة. بدلًا من ذلك، تعتمد الحلول عادةً على التَّثقيف الجماهيري والعمل السِّياسي.



الشكل 58–20

قيم درجات الحموضة لمياه المطر في الولايات المُتحدة. تُمثِّل قيم درجات الحموضة أقل من 7 الظروف الحمضية؛ وكلما قلَّت القيم، ازدادت الحموضة. الهطل في مناطق من الولايات المُتحدة، خصوصًا في الشَّمال الشَّرقي، أكثر حموضةً من مياه المطر الطَّبيعية، التي لها درجة حموضة تُساوي 5.6 أو أكثر.

التلوث من حرق الفحم: الهطل الحمضي

أحد أنواع التَّلوث الذي له خصائص وسط بين النَّوع معروف المصدر، والنَّوع المُشتت، إنه التَّلوث الناتج عن حرق الفحم لإنتاج الطَّاقة. وعلى الرَّغم من أنَّ كلّ مدخنة هي تلوث مُعروف المصدر، فإن أكثر من مدخنة تشكل تلوثًا مشتتًا، حيث ينتشر الدُّخان والغازات من هذه المداخن عبر مساحات واسعة.

الهطلُ الحمضيُّ Acid precipitation أحدُ نواحي هذه المُشكلة. عند حرق الفحم، يتأكسد الكبريت داخل الفحم. إذا لم يتم التَّحكم في أكاسيد الكبريت، فإنَّها تنطلق مع دخان المداخن إلى الجو، وهناك ترتبط مع بُخار الماء لإنتاج حمض الكبريتيك. يلتقط المطر أو الثلج المُتساقط الحمض، ويصبح شديد الحموضة عند وصوله إلى سطح الأرض (الشكل 58-20).

الزِّئبقُ المُنطلقُ مع دخان المدخنة مُشكلةٌ ثانيةٌ مُحتملة. قد يكون احتراق الفحم أحد المصادر الرّئيسة للزِّئبق الموجود في البيئة، وهذا يُشكِّل خطرًا على الصِّحة العامة؛ لأنَّ كمية صغيرة فقط من الزِّئبق يُمكن أن تتدخل في تطور الدِّماغ في أجنة الإنسان والرُّضع.

يُؤثر الهطل الحمضي والتَّلوث بالزِّئبق في الأنظمة البيئة للمياه العذبة. عند مُستويات حموضة أقل من 5، يموت الكثير من أنواع الأسماك والحيوانات المائية الأخرى، ولا تتمكَّن من التَّكاثر. ولم تَعُدْ آلاف البُحيرات حول العالم تدعم الأسماك بسبب إزاحة درجة الحموضة التي سببها الهطل الحمضي. يتراكم الزِّئبق الذي يسقط من الانبعاثات الجوية داخل البرك والبُحيرات في أنسجة أسماك التَّغذية. وفي منطقة البُحيرات العُظمى في الولايات المُتحدة، يُنصح النَّاس – خصوصًا المرأة الحامل – بأكل القليل من السَّمك المُصطاد محليًّا بسبب الزِّئبق أو عدم أكله.

إن إدخال أنواع غير مُستوطنة من الحيوانات والنَّباتات تهديدٌ إضافيٌّ للمياه العذبة (سيُناقش في الفصل المقبل). إن الاستخدام المُتزايد لقوارب السُّرعة التَّرفيهية في المناطق الضَّحلة هو أيضًا مُشكلة، جزئيًّا بسبب حجب ضوء الشَّمس اللازم للتَّمثيل الضوئي عند تحريك ترسُّبات القعر إلى الأعلى.

تهدّد إزالة الغابات الأنظمة البيئية اليابسة

من المُحتمل أن تكون المُشكلةُ الكبيرة الوحيدة للبيئات اليابسة على مُستوى العالم هي إزالةَ الغابات عن طريق القطع أو الحرق. هناك أسباب عدة لإزالة الغابات. في الدُّول الفقيرة، تحدث إزالة الغابات غالبًا بشكل مشتت، ومن السُّكان عامة؛ يحرق النَّاس الخشب لأجل الطّبخ أو التَّدفئة، ويجمعونه من الغابات المحلية.

من ناحية أُخرى، ما زالت المُؤسسات تقطع أجزاء كبيرة من الغابات العذراء بأسلوب صناعي، وغالبًا ما يُشحن الخشب حول العالم للوصول إلى المُشترين. يتمُّ شحن الخشب الصّلب الاستوائي، مثل مهوجاني، من الغابات المطرية جنوب شرق آسيا ليستخدم في صناعة الأثاث، وتُشحن جذوع الخشب الطَّرية من ألاسكا إلى شرق آسيا؛ للعجائن وصناعة الورق. وتُحرق الغابات ببساطة من أجل تحويلها إلى أراضٍ مفتوحة للزِّراعة أو لرعي الماشية (الشكل 58-21 أ).

فقدان الموطن

قد يكون لفقدان موطن الغابات عواقب كارثية. تعتمد مجموعات مُختلفة من الأنواع بشكل مُحدَّد على الغابات المطرية الاستوائيّة بوصفها موطنًا لها، مثلًا. لهذا، فعند إزالة الغابات المطرية، يُمكن أن يكون فقدان التَّنوع الحيوي شديدًا. الكثير من مناطق الغابات الاستوائيّة تمَّ تدميرها بشدَّة، وتُشير إحصاءات حديثة إلى أنَّ أقل من نصف عدد الغابات المطرية الاستوائيّة في العالم بقيت بحالتها الطَّبيعية. وسوف يتمُّ القضاء على الغابات المطرية الاستوائيّة جميعها بعد 30 سنة تقريبًا في ضوء مُعدَّلات الاعتداء الحالية.

أ.

ب.

الشكل 58–21

تخريب الغابات المطرية الاستوائيّة. أ. هذه النِّيران تُخرِّب الغابة المطرية الاستوائيّة في البرازيل من أجل رعي الماشية. **ب.** يُمكن رؤية آثار إزالة الغابات في هذه السُّفوح مُتوسطة الارتفاع في الإكوادور، التي كانت تحتوي غابة مطرية استوائية، ولكنها الآن تحتوي مراعي رديئة تسمح بانجراف التُّربة السَّطحية إلى الأنهُر (لاحظ لون المياه، مصبوغة باللَّون البني بسبب المُستويات العالية من التَّعرية). يشاهد هذا النَّوع من الصور في أماكن أُخرى حول العالم، من بينها مدغشقر، وهاييتي، وكذلك الإكوادور.

إضافة إلى فقدان الموطن، قد يكون لإزالة الغابات آثار ثانوية، بالاعتماد على المُحيط المحلي. كان لإزالة الغابات، إلى الجنوب من الصَّحراء الكبرى، أيْ في منطقة السَّاحل، أثرٌ في زيادة التَّصحر في تلك المنطقة. في غابات شمال شرق الولايات المُتحدة، وكما بينت تجربة هبارد بروك (انظر الشكل 57-7)، يمكن أن تقود إزالة الغابات إلى فقدان المواد الغذائية من التُّربة، وفي الوقت نفسه إلى إثراء الأجسام المائية أسفل الجدول بالمواد الغذائية.

تعطيل دورة الماء

كما ناقشنا في (الفصل الـ 57)، يُعيق قطع الأشجار في الغابة المطرية الاستوائيّة غالبًا دورة الماء المحلية بطرُقٍ يتغيَّر فيها بشكل دائم أو شبه دائم، منظر الأرض. فبعد إزالة منطقة من غابة مطرية استوائية، تتسرب مياه المطر من اليابسة إلى مناطق بعيدة، بدلًا من أن تعود إلى الجو عن طريق النَّتح. ربما يصنع هذا التَّغيُّر ظروفًا غير مُلائمة لأشجار الغابة المطرية الموجودة أصلًا هناك. وقد تتعرَّض الأرض قليلة الخُضرة – المكشوفة، ولا يوجد فيها نظام جذور غزير يُثبّتها – إلى التَّعرية (الشكل 58-21 ب).

الأمطار الحمضية وفقدان التُّربة السَّطحية

هناك مُشكلتان أُخريان على اليابسة، هما: آثار الأمطار الحمضية وفُقدان التُّربة السَّطحية بسبب مُمارسات استعمال الأرض الفقيرة. يُؤثِّر المطر الحمضي في الغابات والبُحيرات والجداول كذلك؛ فقد تأثَّرت قطع أراضٍ شجرية كبيرة بقوة بالمطر الحمضي (الشكل 58-22). التُّربة السَّطحية، التي تتكوَّن من مواد عضوية ومعدنية، مُهمة جدًا لإنتاجية المحاصيل. في كنساس، وهي ولاية تعتمد بشكل كبير على الزِّراعة في اقتصادها، تُفقد التُّربة السَّطحية بمُعدَّل 1 إنش تقريبًا 15 – 20 سنة، ولكن استعادة إنش واحد من التُّربة السَّطحية يحتاج إلى 500 سنة. إن الفقدان الصَّافي للتُّربة السَّطحية هو القاعدة على مُستوى العالم.

البيئات البحرية تُستنزف من الأسماك والأنواع الأخرى

ارتفع الصَّيد الجائر من المُحيط إلى حدّ الأزمة في العُقود القريبة، وربما يكوِّن المُشكلة المُستمرة الوحيدة الكبرى في عالم المُحيط. المُحيط ضخم لدرجة أنَّه يُعَدُّ أكثر أمانًا وتحصينًا من المياه العذبة أو اليابسة لتغييرات الإنسان العالمية.

الشكل 58-22

تخريب الأشجار بسبب الهطل عند قمة كلنجمان، في تينيسي. يُضعف الهطل الحمضي الأشجار، ويجعلها أكثر عُرضةً للإصابة بالحشرات والمُفترسات.

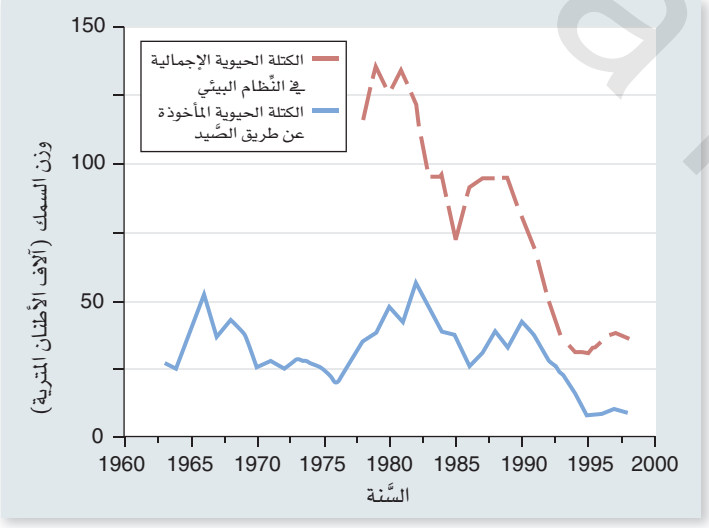
ومع ذلك، فقد ارتفع مجموع صيد السَّمك العالمي لأقصى الحدود لأكثر من عقدين، مع استمرار ارتفاع الطَّلب على الأسماك. إن ضغط صيد السَّمك كثيف لدرجة أنَّ 25-30% من مخزون أسماك مُحيطات العالم صُنِّفت رسميًّا على أنها استُغلت بشكل جائر، أو استُنزفت، أو بحالة تعافٍ؛ 40 – 50% أُخرى صُنِّفت على أنها استُغلت إلى الحدّ الأقصى.

مصايد أسماك القد الرّئيسة في مياه نوفاسكوتيا، بمساشوستس، وبريطانيا أُغلقت في وجه الصَّيد منذ 15 سنة مضت بسبب الانهيار (الشكل 58-23). يُمكن أن يكون للصَّيد الجائر آثارٌ مُزعجة غير مُباشرة. في المناطق الفقيرة في إفريقيا، تزداد سرقة الرَّئيسيات وثدييات اليابسة من المُتنزهات الوطنية عندما يقل صيد السَّمك.

الزراعة المائية: في الوقت الحالي هي حلّ سريع فقط

نما إنتاج الأسماك عن طريق الزِّراعة المائية بشكل مُتزايد في العقدين الماضيين، وقد صُوِّر ذلك غالبًا على أنَّه حلّ مُباشر لمُشكلة مصايد السَّمك. لكن حاجات مُعظم السَّمك المزروع مائيًّا، مثل السَّلمون، من البروتين الغذائي تُلبى بشكل أساسي من السمك المُصطاد صيدًا. في هذه الحالة، تحوَّل الاستنزاف ببساطة إلى نوع آخر.

إضافة إلى ذلك، تُخرِّب المُمارسات الحالية للزِّراعة المائية عادةً الأنظمة البيئية الطَّبيعية للمُحيط. أحد الأمثلة هو إزالة مُستنقعات المانجروف على طول السَّواحل



الشكل 58-23

انهيار صيد السَّمك. يُظهر الخط الأحمر الكتلة الحيوية لأسماك القد (*Gadus morhua*) في النِّظام البيئي لضفة نهر جورجيس مُقدَّرةً من قِبَل مُؤسسة خدمة صيد السَّمك البحري الوطني الأمريكي اعتمادًا على نتائج عينات جُمعت بطريقة علمية. تناقصت الكتلة الحيوية بشكل حاد بين 1970 و 1990 بسبب ضغط صيد السَّمك. بمرور السَّنوات، بقي الهبوط التِّجاري للقد (الخط الأزرق) ثابتًا بشكل واضح، بسبب الصَّيد الشَّاق والمُكثَّف للقدّ، حتى هبط إلى صفر حيث انهار صيد السَّمك في مُنتصف 1990. أغلقت وكالات التنظيم مناطق الصَّيد في مُنتصف 1990 للسَّماح بتعافي سمك القدّ، ولكن حتى عام 2005 كان تعافي القد ضعيفًا، وإنتاجية مصائد السَّمك كانت أقل من الطَّبيعي.

obeikandl.com

لبناء برك أسماك وجمبري، التي هجرها أصحابها عند تناقُص إنتاجياتها. الأبحاث العلمية مطلوبة لتخفيف هذه المشكلات.

تأثيرات التَّلوث

على الرغم من أنَّ المُحيط كبير، فقد أُضيفت مُلوِّثات بكميات كافية مع بداية القرن الواحد والعشرين، حتى إنَّ المُلوثات أصبحت سهلة الرصد على مُستويات عالمية. في رحلة استكشافية إلى أكثر المناطق بُعدًا، جُزر غير مأهولة في المُحيط الهادي الواسع، أعلن مثلًا، عن وُجود كميات عالية من البلاستيك شُطفت إلى الشَّواطئ. وبشكل مُشابه، حتى مياه القارة المُتجمدة اختلطت مع مواد كيميائية سامة؛ لقد أظهرت عيِّنات من أنسجة الحيتان القاتلة (*Orcinus orca*) من المنطقة المُتجمدة كميات عالية من المواد الكيميائية، تشمل مُبيدات ومواد كيميائية مُعيقة للحريق تستعمل غالبًا في السِّجاد. ومع ذلك، وبسبب سعة المُحيطات، فإنّ تراكيز المُلوثات ليست بمُستويات تُسبِّب أزمة في المُحيط؛ لكبره.

تدمير الأنظمة البيئية السَّاحلية

بعد الصَّيد الجائر، تأتي ثاني أكبر مُشكلة في المُحيط، وهي تدهور الأنظمة البيئية السَّاحلية. تتعرَّض المصابُّ على طول الخطوط السَّاحلية غالبًا للإثراء الغذائي الحقيقي الشَّديد؛ فمنذ نحو 1970، مثلًا، تُصبح مياه القاع في خليج تشيسابيك قُرب واشنطن، بمقاطعة كولومبيا، خالية من الأكسجين كلّ صيف بسبب تحلُّل كميات زائدة من المواد العضوية.

مُشكلة ساحلية أخرى، وهي تدمير السَّبخات المالحة، التي (مثل المياه العذبة للأراضي الرَّطبة) يظن بعضهم أنَّها مستهلكة. تعتقد مُعظم السُّلطات أنَّ فُقدان السَّبخات المالحة في القرن العشرين كان عاملًا رئيسًا مُسهمًا في تدمير نيوأورليانز عن طريق إعصار كاترينا عام 2005 م؛ إنَّ وجود السَّبخات المالحة بشكل كامل، كان من المُمكن أن يقوم بامتصاص كمية كبيرة من مياه الفيضانات، ويحمي المدينة من بعض قسوة العاصفة.

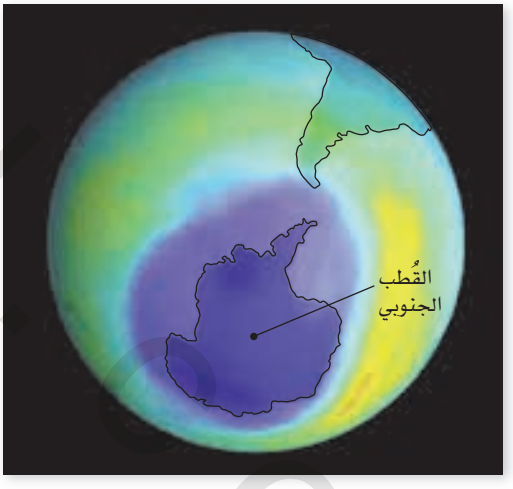
أدَّى استنزاف (تآكل) طبقة الأوزون في طبقة الستراتوسفير إلى «ثقب» الأوزون

تُمثِّل ألوان صورة الأقمار الصِّناعية في (الشكل 58-24) تراكيز مُختلفة من الأوزون (O_3) الموجود على ارتفاع 20 – 25 كم فوق سطح الأرض في طبقة الستراتوسفير. استُنزف الأوزون الموجود في الستراتوسفير فوق القارة المُتجمِّدة الجنوبية (المنطقة الأرجوانية في الصُّورة) إلى ما بين نصف إلى ثُلث تركيزه التَّاريخي المُعتاد، وهي ظاهرة تُدعى **ثقب الأوزون Ozone hole**.

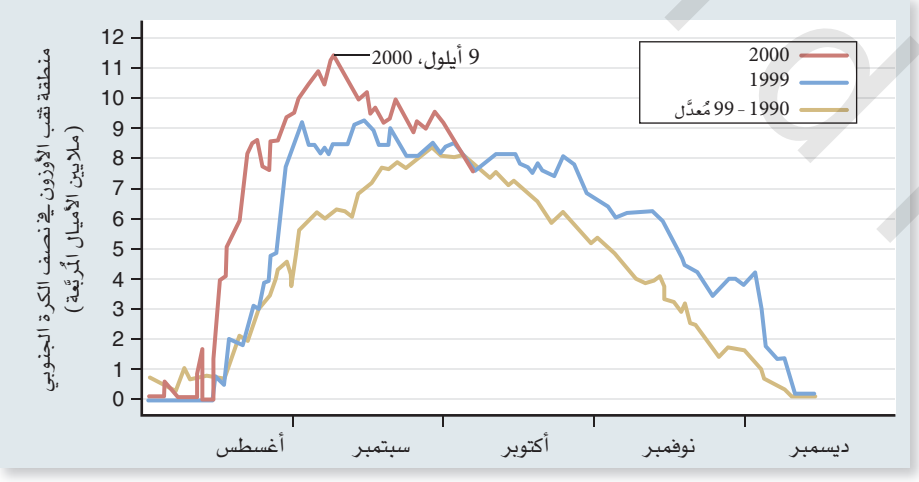
وعلى الرَّغم من أنَّ تآكل طبقة الأوزون فوق القارة المُتجمدة هو الأكثر وضوحًا، لكنها ظاهرة على مُستوى العالم. فوق الولايات المُتحدة، انخفض تركيز الأوزون بمقدار 4% تقريبًا، بحسب وكالة حماية البيئة في الولايات المُتحدة.

الأوزون في الستراتوسفير والأشعة فوق البنفسجية ب (*UV-B*)

يُعدّ الأوزون في الستراتوسفير مهمًّا؛ لأنَّه يمتص الأشعة فوق البنفسجية – خصوصًا الطُّول الموجي الذي يُسمَّى UV-B – من الأشعة الشَّمسية القادمة. UV-B هي أشعة مُدمِّرة للمخلوقات الحية بطرق عدَّة؛ فمثلًا، تزيد من أخطار إعتام عدسة العين وسرطان الجلد عند البشر. يسمح تآكل طبقة الأوزون لمزيد من أشعة UV-B للوصول إلى سطح الأرض، ولذلك فهو يزيد من أخطار هذه الأشعة المُدمرة. ويُقدَّر أن كلّ 1% تناقُص في الأوزون يُسبِّب 6% زيادة في إصابات سرطان الجلد، مثلًا.



أ.



ب.

الشكل 58-24

ثقب الأوزون فوق القارة المُتجمدة الجنوبية. تتبَّع أقمار وكالة الفضاء الأمريكية (ناسا) الصناعية حاليًّا التَّوسُّع في تآكل طبقة الأوزون في طبقة الستراتوسفير فوق القارة المُتجمدة الجنوبية. كلّ سنة، تظهر منذ عام 1980، منطقة ذات تآكل حاد في الأوزون، سُمِّيت ثقب الأوزون، في أغسطس (أوائل الرَّبيع في نصف الكرة الجنوبي) عندما تُحفِّز أشعة الشَّمس التَّفاعلات الكيميائية في الهواء البارد المحصور فوق القُطب الجنوبي خلال شتاء القارة القطبية الجنوبية. يتوسع الثُّقب خلال سبتمبر قبل أن يتضاءل عندما تزداد درجات الحرارة في أكتوبر – ديسمبر. أ. عام 2000، الثُّقب الذي كانت مساحته 11.4 مليون ميل (أرجواني في الصُّورة الظاهرة للقمر الصِّناعي) يُغطي مساحة أكبر من مساحة الولايات المُتحدَّة، وكندا، والمكسيك معًا، وهو أكبر ثقب سُجِّل حتى الآن. في سبتمبر عام 2000، اتَّسع الثقب فوق بُنتا أريناز، وهي مدينة فيها نحو 120,000 شخص في جنوب تشيلي، مُعرِّضًا السُّكان إلى مُستويات عالية من أشعة UV-B. ب. تراكيز المُركبات الكيميائية التي تتسبَّب في تآكل الأوزون في الغلاف الجوي، والتي زادت خلال السَّنوات القليلة الماضية، يُتوقع لها أن تنخفض ببطء خلال العُقود المقبلة.

تآكل الأوزون ومُركبات كلوروفلوروكربون *CFCs*

إن السَّبب الرّئيس لتآكل الأوزون في الستراتوسفير هو إضافة المُركبات التي تحتوي الكلورين والبرومين المُنتجة صناعيًّا إلى الغلاف الجوي. ولعل أكثرها أهمية مُركبات كلوروفلوروكربون (CFCs)، التي استُعملت منذ مدة قريبة بوصفها مُبرِّدات في مُكيِّفات الهواء والثلاجات، والتَّصنيع. تستطيع مركباتُ CFCs المُنطلقة إلى الغلاف الجوي في النِّهاية تحريرَ ذرات الكلورين الحرة، التي تُحفِّز تكسير جزيء الأوزون (O_3) لتكوين الأكسجين المُعتاد (O_2) في داخل الستراتوسفير. الأوزون يُصنّع، ويُكسّر بشكل مُستمر، وذرات الكلور الحرة تُرجِّح كفة الميزان نحو مُعدَّل أسرع من التَّكسير.

التَّآكل الشَّديد لـلأوزون المُشاهَد في ثقب الأوزون – لحسن الحظ – ناجم عن الظُّروف الجوية الفريدة الموجودة فوق القارة المُتجمدة الجنوبية. فخلال الظلام المُستمر في شتاء المنطقة المُتجمدة، تتشكَّل رياح ستراتوسفيرية قوية، هي التَّيار القُطبي الليلي، وتهبّ حول كامل مُحيط الأرض، فتعزل الستراتوسفير فوق هذه القارة عن باقي الغلاف الجوي.

نتيجة لذلك، يبقى الستراتوسفير في القارة المُتجمدة شديد البرودة (°80- مئوية أو أقل) أسابيع عدَّة، سامحًا لأنواع فريدة من الغيوم الثلجية بالتَّشكُّل. تُؤدي التَّفاعلات المُرتبطة بالدَّقائق الموجودة في هذه الغيوم إلى تراكم الكلور الجُزيئي Cl_2. وعندما يعود ضوء الشَّمس في أوائل فصل الرَّبيع في القارة الجنوبية، يتكسَّر الكلور الجُزيئي بطريقة ضوئية كيميائية لتتشكَّل ذرات الكلور الحرة بكميات كبيرة، ومن ثم تنشأ تفاعلات تآكل الأوزون.

حظر *CFCs*

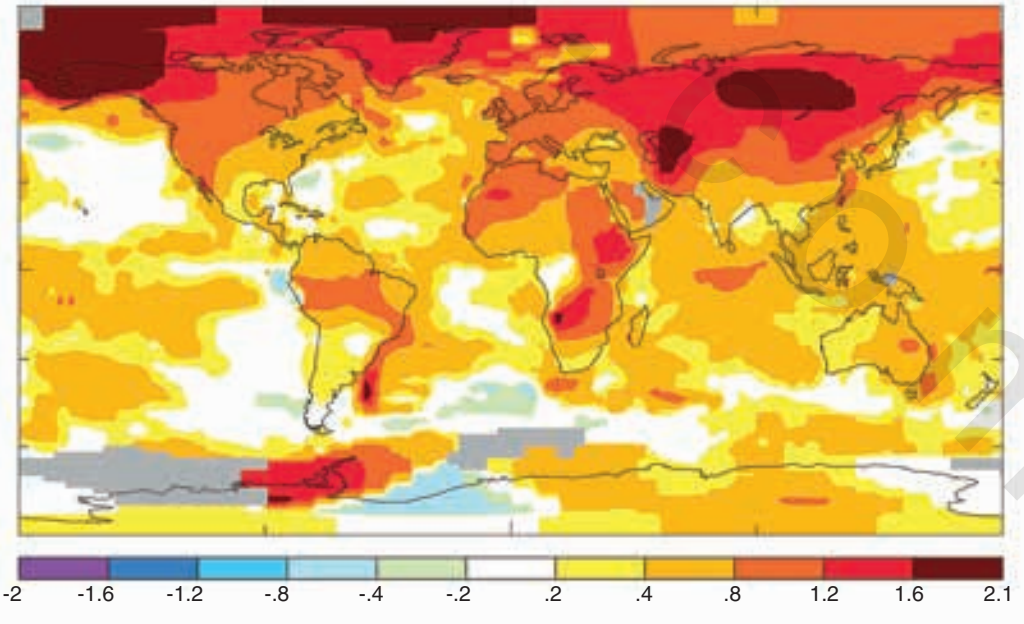
بعد أن بيَّنت الأبحاث أسباب تآكل الأوزون في الستراتوسفير، تمَّ التَّوصل إلى اتفاقيات عالمية لحظر إنتاج CFCs والمُركبات الأخرى التي تُؤدي إلى تآكل الأوزون. لقد مُنع تصنيع مثل هذه المُركبات في الولايات المُتحدة عام 1996، وهناك الآن وعي عام كبير حول أهمية استخدام بدائل كيميائية "آمنة للأوزون". وسيُنظِّف الغلاف الجوي نفسه من المُركبات المُسبِّبة لتآكل الأوزون لكن ببطء؛ لأنَّ المُركبات مُستقرة كيميائيًّا. مع ذلك، فإنّ مُشكلة تآكل الأوزون تتضاءل، ومن المُتوقع أن تُصحَّح بشكل أساسي في النِّصف الثاني للقرن الواحد والعشرين.

المياه العذبة هي الأكثر تهديدًا من بين البيئات الرَّئيسة على الأرض بسبب استهلاك المياه من قبل البشر وبسبب التَّلوث. إن إزالة الغابات وفقدان التُّربة السَّطحية مُشكلتان من المشكلات الكبيرة التي تُواجه الأنظمة البيئية اليابسة حاليًا. والصَّيد الجائر للأسماك هو أكبر مُشكلة في المُحيط. ذرات الكلور من مركبات CFCs الصّناعية تُحفِّز فقدان الأوزون من الستراتوسفير، مُعرِّضًا سطح الأرض لمُستويات مُتزايدة من أشعة UV-B المُضرَّة.

6-58 تأثيرات الإنسان في الغلاف الحيوي: الاحتباس الْحراريّ (الدفيئة)

بدارسة تاريخ الأرض وإقامة مُقارنة مع الكواكب الأخرى، قرَّر العلماء أنَّ تركيز الغازات الموجودة في غلافنا الجوي، بالتَّحديد CO_2، تُبقي مُعدَّل درجة الحرارة على الأرض أعلى بنحو 25° س ما يُمكن أن تكون عليه في حال غياب هذه الغازات. تُؤكد هذه الحقيقة أنَّ تكوين غلافنا الجوي مفتاحُ وجودِ الحياة على الأرض كما نعرفها. لسوء الحظ، فقد غيَّرت أنشطة الإنسان الآن من تكوين الغلاف الجوي بطرق تعتقد السُّلطات أنَّها مدمّرة أو، على المدى البعيد، كارثية.

يزداد مُعدَّل درجة حرارة سطح الأرض، بسبب التَّغيُّرات في تكوين الغلاف الجوي، بظاهرة تُدعى **الاحتباسَ الْحراريّ (الدفيئة) Global warming**. ويُمكن أن تتخيَّل مما ذُكر في بداية الفصل، أنَّ التَّغيُّرات على درجة الحرارة تُؤثر في الرِّياح العالمية وأنماط التَّيار المائي بطرق مُعقَّدة. هذا يعني أنَّه كلما ازدادت درجة الحرارة العالمية، ترتفع درجة حرارة بعض المناطق المُحددة في العالم لمدى أقل، في حين ترتفع درجة حرارة مناطق أخرى لمدى أكبر (الشكل 58-25).



الشكل 58-25

التَّنوع الجغرافي في الاحتباس الْحراريّ. سُجِّل عام 2005 بوصفه أكثر الأعوام دفئًا، ولكن بعض المناطق على الأرض كانت أكثر سخونة من غيرها. تُشير الألوان إلى كمية الدِّفء الذي حصل نسبةً إلى مُعدَّل درجة الحرارة خلال فترة مرجعية (1951 – 1980) قبل ظهور تأثيرات البيت الزُّجاجي الحديثة.

يعني هذا أيضًا أنَّ أنماط سقوط المطر سوف تتغيَّر؛ لأنَّ أنماط الهطل العالمي تعتمد على أنماط الرِّياح العالمية. وقد استُخدمت نماذج حاسوب عدة لحساب التَّأثيرات المُتوقعة في جميع أنحاء العالم.

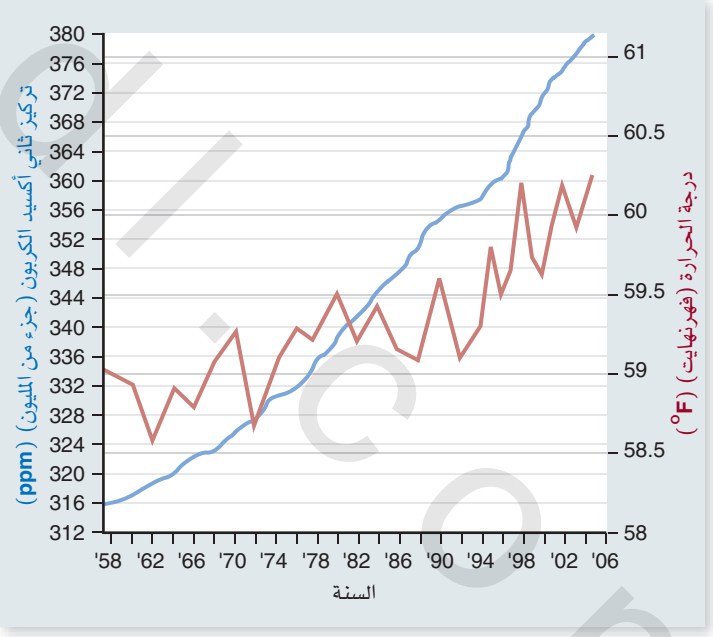
تتوقَّع نماذج حاسوبية مُستقلة تغيُّرات عالمية

نُشرت دراسة في أواخر 2005 استخدمت أربعة نماذج للحاسوب مُستقلة لتصل إلى أكثر التَّوقعات المُحتملة مصداقية لدى الدُّول الأوروبية. وبناءً على نتائج النَّماذج الأربعة جميعها، يُتوقع أن تزداد درجة الحرارة في أوروبا بين 2 و 4 درجة سلسيوس قبل عام 2080. إن زيادة درجة الحرارة بهذا الشَّكل ستكون مُثيرة للفوضى؛ فتكوُّنُ غطاءٍ ثلجيٍّ يُعتمد عليه على جبال الألب السويسرية، مثلًا، سيبدأ على ارتفاع 300 م أعلى مما هو عليه الآن.

وربما سيكون الأكثر شؤمًا من درجة الحرارة هو بعض التَّوقُّعات للهطل. فعلى الرَّغم من التَّوقُّع أنَّ شمال أوروبا ستستقبل هطلًا أكثر منه الآن، تتوقع الأربعة نماذج كلها أنَّ أجزاء من جنوب أوروبا سوف تستقبل هطلًا أقل بنحو 20%، مُعطِّلًا الأنظمة البيئية الطَّبيعية، والزِّراعة، ومصادر الماء للإنسان. يُمكن أن تحتل بعض الدُّول الأوروبية مكانة مُتقدمة اقتصاديًّا، ولكن أخرى ستكون في المُؤخرة، وستتغير العلاقات التِّجارية والسِّياسية بين الدُّول حالما تتغيَّر من كونها مصدرًا للغذاء إلى دول تستورد الغذاء.

ثاني أكسيد الكربون الغاز الرَّئيسُ لظاهرة البيت الزُّجاجي

ثاني أكسيد الكربون هو الغاز الذي يتمُّ التَّركيز عليه عادة عند مُناقشة سبب الاحتباس الحراريّ (الشكل 58-26)، مع أنَّ غازات الغلاف الجوي الأخرى أيضًا مُشتركة. تُراقب محطَّة مُراقبة توجد على ارتفاع 13700 قدم (4200م)



الشكل 58-26

تأثير البيت الزُّجاجي. زاد تركيز ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي بشكل مُتصاعد منذ عام 1950، كما يظهر في الخط ذي اللَّون الأزرق. الخط الأحمر يُظهر التَّغيُّرات في مُعدَّل درجة الحرارة العالمية في الفترة نفسها.

وتقع على بركان مونالوا على جزيرة هاواي، تركيز ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي منذ الخمسينيّات من القرن الماضي. هذه المحطَّة ذات أهمية خاصة؛ لأنَّها في وسط المُحيط الهادي، بعيدة عن كتل اليابسة القارية الكبيرة؛ حيث يعيش مُعظم البشر، ولذلك فهي قادرة على مُراقبة حالة الغلاف الجوي العالمي دون تأثُّرها بالأحداث المحلية.

عام 1958، كان الغلاف الجوي يحتوي على 0.031% من CO_2. ولكن 2004، ارتفع تركيز CO_2 إلى 0.038%. وتتَّفق السُّلطات جميعها على أنَّ سبب هذه الزِّيادة الثابتة في CO_2 الموجود في الغلاف الجوي هو حرق الفحم والبترول، وما ينتُج عنها عن طريق ازدياد البشر (والطَّلب المُتزايد على الطَّاقة).

كيف يُؤثِّر ثاني أكسيد الكربون في درجة الحرارة

يُؤثِّر تركيز CO_2 الجوي في درجة الحرارة العالمية؛ لأنَّ ثاني أكسيد الكربون يمتَّص طاقة الأشعة الكهرومغناطيسية بقوة عند بعض الأطوال الموجية الحرجة لموازنة السُّخونة العالمية. كما ركَّزنا في (الفصل الـ 57)، فإنّ الأرض لا تستقبل الطَّاقة الإشعاعية من الشَّمس كلّ يوم فحسب، بل تُشعّ طاقة إشعاعية نحو الفضاء الخارجي كلّ يوم أيضًا. وستكون درجة حرارة الأرض ثابتة فقط إذا كانت مُعدَّلات هاتين العمليتين مُتساوية.

نسبيًّا، الطَّاقة الشَّمسية القادمة هي أطوال موجية قصيرة من الطَّيف الكهرومغناطيسي: أطوال موجية مرئية وقُرب مرئية. وتكون الطَّاقةُ الخارجة من الأرض على أطوال موجية مُختلفة أطول. يمتص ثاني أكسيد الكربون الطَّاقة المُهمة نوعًا ما، وهي تحت الحمراء طويلة الأمواج. وهذا يعني أنَّه على الرَّغم من أنَّ ثاني أكسيد الكربون لا يتدخل في وصول الطَّاقة الإشعاعية ذات الأطوال الموجية القصيرة، إلاّ أنه يُعيق المُعدَّل الذي ترحل فيه الطَّاقة ذات الطول الموجي الكبير بعيدًا عن الأرض إلى الفضاء الخارجي.

يُسمَّى ثاني أكسيد الكربون عادةً **غاز البيت الزجاجي Green house gas** لأنَّ تأثيره يُشبه ذلك الذي للبيت الزُّجاجي. السبَّب في سخونة البيت الزُّجاجي من الدَّاخل هو أنَّ زجاج النَّافذة منفذ للضوء، ولكن نفاذَ الأشعة تحت الحمراء طويلة الموجة قليلٌ. الطَّاقة التي تضرب البيت الزُّجاجي بوصفها ضوءًا تدخله بسهولة وحرية. وعندما تكون في الدَّاخل، تمتص الطَّاقة على شكل حرارة (سخونة) ومن ثمَّ يُعاد بعثها بوصفها أشعة تحت حمراء طويلة الموجة. لكن الأشعة تحت الحمراء لا تستطيع المرور من الزُّجاج بسهولة، ولهذا تتراكم الطَّاقة في الدَّاخل.

غازات البيت الزُّجاجي الأخرى

إن ثاني أكسيد الكربون ليس غاز البيت الزُّجاجي الوحيد، بل هناك غازات أخرى مثل الميثان وأكسيد النتروز. يعتمد أثر أيّ غاز بيت زجاجي مُعيَّن على الخصائص الكيميائية للغاز وتركيزه. فمثلًا، جزيء مُقابل جزيء، للميثان تأثير إمساك للسُّخونة أكثر بـ20 مرة من ثاني أكسيد الكربون؛ وعلى الجهة الأخرى، الميثان أقل تركيزًا، وأقل طول بقاء في الجو من ثاني أكسيد الكربون.

ينتُج الميثان بكميات مهمة عالميًّا في التُّربة اللاهوائية وفي تفاعلات التَّخمُّر في الثدييات المُجترة، مثل البقر. وهناك كميات ضخمة من الميثان محصورة في الوقت الحاضر في القارة القطبية دائمة التَّجمُّد. ويُمكن أن يُسبِّب ذوبان هذه المنطقة اضطرابًا ضخمًا ومُفاجئًا في درجة الحرارة العالمية بسبب انطلاق الميثان بسرعة.

الاستعمال الزِّراعي للأسمدة هو أكبر مصدر لانبعاث أكسيد النتروز، واستهلاك الطَّاقة يأتي ثانيًا، في حين يأتي الاستخدام الصِّناعي ثالثًا.

تؤكد أدلّة حدوث الاحتباس الْحراريّ

يُمكن رؤية أدلة الاحتباس الْحراريّ بطرق عدَّة. فمثلًا، وعلى أساس إحصائي على مُستوى العالم، يتكوَّن الثلج على البُحيرات والأنهار مُتأخرًا، ويذوب سريعًا عن المُعتاد؛ وبالمُعدَّل، إن الفصول الخالية من الثلج هي الآن أطول بأسبوعين ونصف عنها من القرن الماضي. أيضًا، انخفض امتداد الثلج في القُطب الشَّمالي بشكل واضح، وتراجعت المناطق الجليدية حول العالم (الشكل 58-27).

يُتوقع أن يكون تركيز ثاني أكسيد الكربون بين 0.05 و 0.12% عام 2100 (ومن المحتمل جدًا أن تكون في وسط هذا المدى). وقد تنبأت دراسة حديثة، في اجتماع بين الحكومات دعمته الأمم المُتحدة عن تغيُّرات المُناخ، أنَّ مُعدَّل درجة الحرارة العالمية سيرتفع بزيادة 1.4° - 5.8° س بحلول 2100.

أثَّر التَّغيُّر في درجة الحرارة العالية في الأنظمة البيئية في الماضي وما زال يُؤثِّر الآن

حدث الاحتباس الْحراريّ – والبرودة – في الماضي، وحديثًا خلال العصور الجليدية وفترات الدِّفء التي تخلَّلتها. وقد استجابت الأنواع غالبًا بإزاحة مداها الجغرافي، مُتعقِّبةً بيئاتها. فمثلًا، الكثير من أنواع الأشجار في أمريكا الشَّمالية التي تكيَّفت للبرودة تُوجد الآن في الشَّمال البعيد، أو على ارتفاعات عالية، كانت قد عاشت في الجنوب البعيد، أو على ارتفاعات مُنخفضة قبل 10000 – 20000 سنة مضت، حيث كانت الظُّروف أبرد بكثير. للاحتباس الْحراريّ في الوقت الحاضر التَّأثيرات نفسها. مثلًا، غيَّرت الكثير من أنواع الفراشات والطُّيور مكانها في اتجاه الشَّمال في العقود الحديثة (الشكل 58-28).

الشكل 58-27

الجليد الذي يختفي. جبال كلمنجارو في تنزانيا عام 1970 (في الأعلى) وفي عام 2000 (في الأسفل). لاحظ التَّناقص في كتل الجليد خلال ثلاثة عقود.

الشكل 58-28

إزاحة مدى الفراشات. توزيع فراشة الغابات المبقعة، *Parage aegeria*، في بريطانيا في الفترة 1970 – 1997 (أخضر مُزرق) يشتمل مناطق أبعد إلى الشَّمال من مناطق التَّوزيع في الفترة 1915 – 1939 (اللَّون الأسود).

وصلت الكثير من الطُّيور المُهاجرة إلى مناطقها الصَّيفية للتَّزاوج أبكر مما فعلت في العقود السَّابقة. وتزاوجت الكثير من الحشرات والبرمائيات خلال العام بشكل أبكر، وأزهرت نباتات عدَّة مُبكرًا. في أستراليا، بيَّنت أبحاث حديثة أنَّ جماعات ذبابة الفاكهة البرية خضعت لتغيُّرات في تكراراتها الجينية في العشرين سنة الماضية، بحيث أصبحت الجماعات في الأجزاء الباردة من القارة الآن مُشابهة جينيًّا لتلك الموجودة في الأجزاء الدَّافئة.

يمتلك المرجان الباني للحيد على ما يبدو هوامش أمان ضيِّقة بين درجات حرارة البحر التي تعوَّد عليها، ودرجات الحرارة العُظمى التي يُمكنه العيش فيها. ويبدو أنَّ الاحتباس الْحراريّ ما زال يُهدِّد بعض المرجان بتشجيع "الابيضاض" الواسع للشِّعاب المرجانية، وتعطيل التَّعايش المُهم والطَّبيعي بين اللاسعات وخلايا الطَّحالب.

هناك أسباب لاعتقاد أنَّ تأثيرات الاحتباس الْحراريّ العالمي في الأنظمة البيئية الطَّبيعية اليوم ربما، ككل، أكثر حدة من أحداث الاحتباس في الماضي البعيد. أحد الأمور المهمة هو أنَّ مُعدَّلَ الاحتباس اليوم سريعٌ، وبناءً على ذلك يجب أن تحدث تكيُّفات تطورية على أجيال قليلة نسبيًّا حتى تُساعد على بقاء الأنواع. أمر آخر هو أنَّ المناطق الطَّبيعية لم تعد تُغطِّي مساحات الأرض كاملة، ولكن غالبًا تأخذ شكل مُتنزهات مُحاطة بشكل كامل بالمُدن أو المزارع. تكون المُتنزهات ثابتة في مناطق جغرافية، وبشكل عام لا يُمكن نقلها. فإذا أصبحت الظُّروف المُناخية في مُتنزه غير مُناسبة لساكنيه، فإنّ المُتنزه سوف يتوقف عن أداء عمله. إضافة إلى ذلك، في المناطق التي يُمكن أن يجد ساكنو المُتنزه فيها ظروفًا مُناخية مُناسبة، فإنهم قد لا يجدون مُتنزهات.

وبشكل مُماثل، كلما ازدادت درجات الحرارة انتقل الكثير من الأنواع إلى ارتفاعات أعلى لكي تجد موطنًا مُفضَّلًا لها. على كلّ حال، لا تستطيع في النِّهاية الانتقال إلى مكان أعلى؛ لأنَّها تكون قد وصلت قمة الجبل. وكلما ازدادت درجات الحرارة، تختفي بيئة الأنواع بشكل كامل. ويُعتقد أنَّ انقراض عدد من أنواع ضفادع كوستاريكا يُعزى لهذا السَّبب.

يُؤثِّر الاحتباس الْحراريّ في جماعات البشر كذلك

يُمكن للاحتباس الْحراريّ أن يُؤثِّر في صحة الإنسان ورفاهيته بطرق عدَّة. بعض هذه التَّغيُّرات ربما يكون مُفيدًا، ولكن إن كان مُضرًّا، فستكون بعض الدُّول – الغنية منها بالتَّحديد – قادرة على التكيف. ولكن الدُّول الأفقر ربما لا تتمكَّن من ذلك، وبعض التَّغيُّرات سوف تحتاج إلى إجراءات مُضادة مُكلفة جدًا، حتى إنَّ الدُّول الغنية سوف تضغط بشدة لكي تتحمَّلها.

ارتفاع مُستويات البحار

خلال النِّصف الثاني من القرن العشرين، ارتفع مُستوى البحر 2–3 سم في العقد. وتتوقع الوكالة الأمريكية لحماية البيئية احتمال أن يرتفع مُستوى البحر مرتين أو ثلاث مرات أسرع في القرن الواحد والعشرين بسبب تأثيرات الاحتباس الْحراريّ: (1) ذوبان الثلج القُطبي والمناطق المُتجمِّدة، وإضافة الماء إلى المُحيط (2) زيادة مُعدَّل درجة حرارة المُحيط، ما يزيد من حجمه؛ لأنَّ الماء يتمدَّد كلما سخن. مثل هذا التَّمدُّد والزِّيادة سوف يُسبِّب زيادة في التَّآكل وإغراق الأراضي المُنخفضة، والسَّبخات السَّاحلية المالحة، وقد تتعرَّض بيئات أخرى للخطر. قرابة 200 مليون شخص يُمكن أن يتأثروا بالفيضان المُتزايد. وستُصبح المدن السَّاحلية، وجُزر كاملة، مثل جزر المالديف في المُحيط الهندي، مُهدَّدة بخطر الغرق، بازدياد مُستويات البحر.

تأثيرات مُناخية أُخرى

يُعتقد أنّه سيكون للاحتباس الْحراريّ آثارٌ أخرى إضافة إلى ازدياد درجة الحرارة. بالتَّحديد، تكرار الأحداث المُتطرفة أو شدتها – مثل موجات الحر، والجفاف، والعواصف القاسية، والأعاصير – يُتوقع أن تزيد، وأحداث إلنينو، وما يُرافقها من آثار مُناخية، ربما تُصبح أكثر حدوثًا.

إضافة إلى ذلك، هناك احتمال إزاحة أنماط سقوط المطر، فالمناطق الجغرافية المضغوطة مائيًّا حاليًّا، التي هي الآن مأوى لما يُقارب ملياري شخص، من المُحتمل أن تُواجه نقصًا شديدًا مُؤلمًا في الماء في السَّنوات المقبلة. وتقترح بعض الأدلة أنَّ هذه الآثار واضحة حاليًّا في ازدياد العواصف القوية، والأعاصير، وتكرار أحداث إلنينو على مدى السَّنوات القليلة الماضية.

تأثيرات في الزِّراعة

يُمكن أن يكون للاحتباس الْحراريّ آثارٌ إيجابية وسلبية في الزِّراعة. في الجهة الإيجابية، تؤدي درجة الحرارة الأدفأ، وازدياد ثاني أكسيد الكربون الجوي إلى ازدياد نمو بعض المحاصيل، وهذا يُمكن أن يزيد من الإنتاج الزِّراعي. لكن محاصيل أخرى، يُمكن أن تتأثَّر سلبيًّا. فضلًا على ذلك، سوف تتأثر مُعظم المحاصيل من التِّكرار المُتزايد للجفاف. وزيادة على ذلك، وعلى الرَّغم من أنَّ محاصيل المناطق المُعتدلة الشَّمالية قد تزدهر مع درجات الحرارة العالية، فربما يؤدي التزايد في درجات الحرارة إلى إنتاج مُنخفض للمحاصيل الاستوائيّة التي هي نامية الآن على أقصى درجات حرارتها.

وفي الجهة السَّلبية أيضًا، سوف تحتاج التَّغيُّراتُ في أنماط سقوط الأمطار، ودرجة الحرارة، وانتشار الآفات، وعوامل كثيرة مُتنوعة أخرى إلى الكثير من الضَّبط والتَّعديل. مثل هذه التَّغيُّرات قد تكون سهلة نسبيًّا على مُزارعي الدُّول المُتطورة، ولكنها ستكون مُرتبطة بتكلفة باهظة مُهلكة لمُزارعي الدُّول النَّامية.

تأثيرات في صحة الإنسان

سيكون للعواصف المُتكرِّرة بشكل مُتزايد، والفيضان، والجفاف عواقب وخيمة على صحة الإنسان. فإضافة إلى تأثيرها المُباشر، غالبًا ما تُعطِّل مثل هذه الأحداث البنية التَّحتية الهشة للدُّول النَّامية، ما يُؤدي لفقدان مياه شرب آمنة ومشكلات أخرى. نتيجةً لذلك، يُمكن أن يحدث انتشار أمراض مثل الكوليرا وأمراض أخرى بشكل أكثر بسبب هذه الأحداث.

زد على ذلك، كلما ارتفعت درجة الحرارة، تتَّسع المناطق المُلائمة للمخلوقات الاستوائيّة نحو الشَّمال. وبشكل أهم، تلك المخلوقات التي تُسبِّب أمراضًا للإنسان. الكثير من الأمراض المحصورة حاليًّا في المناطق الاستوائيّة يُمكن أن يتوسع مداها لتُصبح مُشكلة في الدُّول غير الاستوائيّة. أمراض تنتشر بالبعوض، مثل الملاريا (انظر الفصل الـ 29)، وحُمّى الضَّنك، وأنواع عدَّة من أمراض التهاب الدِّماغ، هي أمثلة على ذلك. فانتشار البعوض يُحدِّده البرد؛ وبرودة الليل تقتل البعوض وبيوضه. ولهذا، فإنّ الملاريا تحدث فقط في المناطق التي درجة حرارتها أكثر من 16° س، وتحدث الحُمَّى الصَّفراء، وحُمَّى الضَّنك في مناطق درجة حرارتها أكثر من 10° س. (سبب الاختلاف هو أنَّ الأمراض تنقلها أنواع بعوض مُختلفة). علاوة على هذا، ينضج طُفيل الملاريا بشكل أسرع على درجات حرارة أعلى.

تقتل الملاريا حاليًّا مليون شخص كلّ عام؛ تقترح بعض التوقعات أنَّ نسبة البشر المُعرضين للملاريا سوف تزداد إلى 33% مع نهاية القرن الواحد والعشرين. وأكثر من ذلك، وكما هو مُتوقع، الملاريا على ما يبدو تتحرَّك. ففي عام 1980، تمَّ استئصال الملاريا من الولايات المُتحدة ما عدا كاليفورنيا، ولكن في السَّنوات الأخيرة ظهرت الملاريا في ولايات جنوبية، وحتى شمالية مُتعددة.

تنتشر حُمَّى الضَّنك (تُسمَّى أحيانًا "حُمَّى كسر العظام" بسبب الألم الذي تُسبِّبه) وتتوسَّع أيضًا. في الماضي، انحصر المرض في المناطق الاستوائيّة وشبه الاستوائيّة، حيث إنَّه يُصيب من 50–100 مليون شخص، ويوجد الآن في الولايات المُتحدة، وجنوبي أمريكا الجنوبية، وشمال أستراليا.

أحد أكثر النَّواحي خطورة لهذه الأمراض هو عدم وجود مطاعيم لها. توجد علاجات دوائية (للملاريا)، ولكن الطُّفيليات تطوّر مُقاومة بسرعة ما يجعل الأدوية دون فعالية. مع التنويه بعدم وجود علاج دوائي لحُمَّى الضَّنك.

إنَّ حل مُشكلة الاحتباس الْحراريّ ليست سهلة. إنَّها تتطلَّب خفضًا كبيرًا في كمية CO_2 المُنطلقة إلى الغلاف الجوي. تقوم بعض الأمم بخطوات لتخفيض انبعاثاتها، ولكن أممًا أخرى لا تقوم بذلك. فالمطلوب إذن جهود عالمية متضافرة لتقليل الارتفاع في زيادة درجات الحرارة العالمية. وعلى الرَّغم من أنَّ التَّأثيرات المُتوقعة للاحتباس الْحراريّ غير أكيدة، فإن معظم العلماء يتَّفقون على أنَّ التَّأثير سوف يكون شديدًا.

الاحتباس الْحراريّ بسبب التَّغيُّرات في تركيب الغلاف الجوي – بسبب تراكم CO_2 بشكل ملحوظ – له القابلية أن يُغيِّر البيئات الأساسية على الأرض. قد يكون تأثير الاحتباس الْحراريّ في الإنسان أيضًا شديدًا وحادًّا، مع ازدياد عنف أحداث الطَّقس، والإزاحة في توافر الماء، وغمر المناطق المُنخفضة. يُمكن أن توسع درجة الحرارة المُتزايدة مدى الأمراض الاستوائيّة.

58-1 تأثيرات الشَّمس، والرِّياح، والماء في النِّظام البيئي

تتأثَّر أنماط الحياة العالمية على الأرض بكمية الأشعة الشَّمسية وتنوعها، وأنماط الدَّورات الجوية وفي المحيط.

- عند مرور الطَّاقة الشَّمسية خلال الغلاف الجوي، تُعدّل شدَّتها والأطوال الموجية المُكوِّنة لها.
- كمية الأشعة الشَّمسية الواصلة إلى سطح الأرض لها تأثير كبير في المُناخ؛ فهي تنخفض كلما زادت زاوية السُّقوط. تنتُج الفصول من تغيُّر موقع الأرض بالنِّسبة إلى الشَّمس (الشكل 58-1).
- بسبب تسخين الشَّمس، يرتفع الهواء السَّاخن مع مُحتواه المُتزايد من الماء عند خط الاستواء، ثُمَّ يبرد ويفقد رطوبته، مُكوِّنًا غابات المطر الاستوائيّة (الشكل 58-3).
- عندما يتحرَّك الهواء الأكثر جفافًا والبارد في الغلاف الجوي بعيدًا عن خط الاستواء، فإنَّه ينزل إلى الأرض قُرب خطي عرض 30° شمالًا و 30° جنوبًا. وعندما يعود إلى خط الاستواء، فإنَّه يُزيل الرُّطوبة من سطح الأرض، ويصنع صحارى جافة. يحدث نمط دوران الهواء هذا مرة أخرى بين خطَّي عرض 30° و 60° وفوق خطوط عرض 60°.
- تسير الرِّياح بمسارات مُنحنية نسبةً لسطح الأرض، وهو ما يُسمَّى تأثير كوريولس؛ لأنَّ الأرض تدور حول محورها.
- يحدث ظل المطر عندما يرتفع الهواء المُحمَّل بالرُّطوبة على جهة الجبال المُواجهة للرِّياح، فيفقد رطوبته؛ بعد ذلك ينزل الهواء الذي أصبح الآن جافًّا على الجهة الأخرى للجبال، مُشكِّلًا بيئةً أكثر جفافًا بسبب إزالته الرُّطوبة من النَّباتات والتُّربة (الشكل 58-5).
- يُؤدي الارتفاع إلى تغيُّرات مهمة في درجة الحرارة والرُّطوبة. فلكل 1000م زيادة في الارتفاع، تقلّ درجة الحرارة تقريبًا 6° س. هذا الانخفاض في درجة الحرارة يحدث أيضًا كلّ 880 كم زيادةً في خطوط العرض (الشكل 58-6).

58-2 أقاليم الأرض الحيوية

الأقاليم هي الأنواع الرّئيسة من الأنظمة البيئية التي تشمل التَّراكيب النَّباتية المُميَّزة والظُّروف المُناخية المُرتبطة بها (الشكل 58-7).

- تُؤثر درجة الحرارة والرُّطوبة، إضافة إلى تركيب التُّربة والمُحتوى المعدني، في الإنتاج الأولي. و تميزان الأقاليم (الشكل 58-8 و 58-9).

58-3 بيئات المياه العذبة

تُغطِّي المياه العذبة 2% فقط من سطح الأرض؛ فهي تبدأ بعملية التَّبخر، وتتشكل بالهطل.

- تركيز الأكسجين المُذاب في الماء هو المُحدِّد الرّئيس لخصائص مُجتمعات المياه العذبة. الأكسجين لا يذوب بشكل جيد في الماء.
- تتغيَّر بيئات البُحيرات والبرك مع عُمق الماء بسبب كمية الضّوء التي تدخل النِّظام؛ تُؤثر مُستويات الضّوء في الإنتاج الأولي الصَّافي، وفي توزيع الأكسجين في عمود الماء (الشكل 58-11).
- في المُناخ المُعتدل، يتكوَّن التَّقسيم الطبقي الْحراريّ في الصَّيف، عندما يطفو الماء الأكثر دفئًا، أو الطبقة العلوية، فوق الماء الأبرد، أو الطبقة السُّفلية. طبقةُ الانتقال الْحراريّ انتقاليةٌ بين الطَّبقة العلوية والطبقة السُّفلية. تُخلط بُحيرات المياه العذبة مرتين في السَّنة؛ لأنَّ الماء عند درجة حرارة 4° مئوية أكثر كثافة ويغطس إلى الأسفل (الشكل 58-12).
- يُمكن أن تُصنَّف البُحيرات على أساس مُستويات الغذاء والأكسجين الموجودة فيها. تمتلك البُحيرات قليلة التغذية تركيزًا عاليًا من الأكسجين، ومُستويات قليلة من الغذاء، في حين أنّ البُحيراتِ حقيقية التغذية عكسُ ذلك.

58-4 البيئات البحرية

تُغطِّي المُحيطات 70% تقريبًا من سطح الأرض، ويُمكن أن تصل إلى أكثر من 5000 م عمقًا.

- يُقسَّم المُحيط لمناطق عدَّة بناء على العُمق، واختراق الضّوء، والقرب من اليابسة أو القاع، هي: منطقة ما بين المد والجزر، ومنطقة المياه الضَّحلة، والمنطقة الضوئية، والمنطقة القاعيَّة، ومنطقة الإقيانوس (الشكل 58-14).
- العوالق النباتية في المُحيطات، هي المُنتِجات الأولية الأساسية في المياه المفتوحة، والإنتاج الأولي قليل؛ لأنَّ المواد الغذائية محدودة.
- تُوجد المياه الضَّحلة فوق الرُّفوف القارية، وهي أكثر إنتاجية من المُحيط المفتوح؛ لأنَّ مُستويات الغذاء أعلى (الشكل 58-15).
- تشكل المصابُّ مثالًا آخر على نظام بيئي في الرَّف القاري. وتوجد حيث تختلط المياه العذبة بالمياه المالحة. وتحتوي عادة مناطق بين المد والجزر مع السَّبخات المالحة أو مُستنقعات مانجروف.
- تشمل أنظمة بيئية أخرى للرَّف القاري المُنحدرات الخصبة، والمناطق المحلية الضحلة على الرُّفوف القارية، والأنظمة البيئية للحيد المُرجاني التَّعايشي.
- مناطقُ النَّبع للمُحيطات أماكنُ تجلب فيها الرِّياح المحلية المياه العميقة الغنية بالغذاء، مُكوِّنةً أعلى نسب للإنتاج النَّباتي.
- تحدث ظاهرة إلنينو عندما تضعُف الرِّياح التِّجارية، ويزداد عمق المياه الدَّافئة السَّطحية على طول السَّاحل، مُحدِّدة مياه النَّبع بالمياه السَّطحية فقيرة الغذاء بدلًا من المياه العميقة الغنية بالغذاء.
- البحر العميق هو البيئة الوحيدة الأكبر، وهو خالٍ من الفصول، وبارد، ومُعتم، ويقع تحت ضغط عالٍ.
- توجد مُجتمعات الثغرات المائية الحرارية في البحر العميق، حيث تتحرَّك الصَّفائح التَّكتونية مُتباعدةً عن بعضها؛ تحصل المخلوقات ذاتية التَّغذية الكيميائية التي تعيش هناك على الطَّاقة من أكسدة الكبريت.

58-5 تأثير الإنسان في الغلاف الحيوي: التَّلوث واستنزاف الموارد

يُؤدي نشاط الإنسان إلى تغيُّرات كبيرة في الأنظمة البيئية.

- تتضخم المواد الكيميائية الخطرة مثل مادة د.د.ت. DDT حيويًّا من خلال مرور الطَّاقة إلى أعلى في السِّلسلة الغذائية (الشكل 58-19).
- بيئات المياه العذبة ليست فقط أصغر البيئات الرّئيسة، ولكنها أكثرها عُرضةً للتَّهديد بالتَّلوث معروف المصدر، والتَّلوث المُشتت، والهطل الحمضي، والاستخدام الجائر (الشكل 58-20).
- تؤدي إزالة الغابات في البيئات اليابسة إلى فقدان البيئات، وإعاقة دورة المياه وتعطيلها، والمطر الحمضي، وفقدان التُّربة السَّطحية.
- تُستَنزف البيئات البحرية من السَّمك والأنواع الأخرى بسبب الصَّيد الجائر، وتدمير الأنظمة البيئية السَّاحلية، والتَّلوث (الشكل 58-23).
- أدَّى تآكل الأوزون في الستراتوسفير إلى ثقب "الأوزون" سامحًا للأشعة فوق البنفسجية UV-B الخطرة بالوصول إلى سطح الأرض (الشكل 58-24).

58-6 تأثيرات الإنسان في الغلاف الحيوي: الاحتباس الْحراريّ (التدفيئة)

ربما يُسبِّب الاحتباس الْحراريّ تأثيرات حادة في الأرض، وينتُج من الزِّيادة في تركيز غازات البيت الزُّجاجي في الغلاف الجوي، خاصة غاز ثاني أكسيد الكربون.

- يُعَدُّ غاز ثاني أكسيد الكربون أحد أهم غازات البيت الزُّجاجي الذي يسمح بمرور الأشعة الشَّمسية خلال الغلاف الجوي، ولكنه يمنع الأشعة طويلة الموجة (الحرارية) من مُغادرة الأرض، وبهذا يزيد من درجات حرارة سطح الأرض.
- إضافة إلى ثاني أكسيد الكربون، هناك غازات بيت زجاجي أخرى مثل الميثان وأكسيد النتروز.
- في الماضي، نتجت تذبذبات في درجات الحرارة العالمية من عصور الجليد تخلَّلها فترات دفء.
- إذا تغيرت درجات الحرارة بسرعة، فإنّ الانتخاب الطَّبيعي لن يحدث بسرعة كافية لمنع أنواع كثيرة من الانقراض.
- سوف يُؤثر الاحتباس الْحراريّ في البشر بطرق عدَّة: تغيير مُستويات البحر، وزيادة تكرار الأحداث المُناخية القاسية، وتأثيرات مُباشرة وغير مُباشرة (سلبية وإيجابية) في الزِّراعة، وفي توسُّع مدى الأمراض الاستوائيّة.

أسئلة مراجعة

اختبار ذاتي

ارسم دائرة حول رمز الإجابة الصحيحة فيما يأتي:

1. إذا لم تكن الأرض مائلة على محور دورانها فإنّ الدَّورة السَّنوية للفصول في النصفين الشَّمالي والجنوبي ستكون:
   أ. معكوسة. ب. كما هي.
   جـ. مُختزلة. د. غير موجودة.
2. تأثير كوريولس:
   أ. يقود دوران الأرض.
   ب. مسؤول عن الغياب النِّسبي للفصول على خط الاستواء.
   جـ. يقود أنماط دوران الرِّياح العالمية.
   د. يقود أنماط دوران الرِّياح العالمية، ودورات المُحيطات العالمية.
3. العاملان اللذان لهما أكبر أهمية في توزيع الأقاليم هما:
   أ. درجة الحرارة، وخطوط العرض.
   ب. هطل المطر، ودرجة الحرارة.
   جـ. خطوط العرض، وهطل المطر.
   د. درجة الحرارة، ونوع التربة.
4. في ظل المطر، يبرد الهواء كلما ارتفع، ويسخن كلما هبط، مُكوِّنًا في الغالب جانبًا رطبًا وآخر جافًّا؛ لأنَّ قُدرة حمل الهواء للماء:
   أ. مُرتبطة ارتباطًا طرديًّا مع درجة حرارة الهواء.
   ب. مُرتبطة ارتباطًا عكسيًّا مع درجة حرارة الهواء.
   جـ. لا تتأثر بدرجة حرارة الهواء.
   د. تُنتج تغيُّرات في درجة حرارة الهواء.
5. السَّبب أو الأسباب الرَّئيسة التي تُسبِّب الفرق بين الغابة المطرية الاستوائيّة والغابة دائمة الخضرة المُعتدلة هو:
   أ. كمية مُعدَّل سقوط الأمطار السَّنوي.
   ب. مُعدَّل درجة الحرارة السَّنوي.
   جـ. درجة الحرارة وسقوط المطر.
   د. لا شيء مما ذُكر.
6. التَّقسيم الطبقي الْحراريّ في بحيرة:
   أ. لا يتغيَّر بالانقلاب الخريفي والرَّبيعي.
   ب. يُؤدي إلى كميات أعلى من الأكسجين في المياه العميقة بالمقارنة مع سطح المياه.
   جـ. يُؤدي إلى كميات أعلى من الأكسجين على سطح المياه بالمقارنة مع المياه العميقة.
   د. يقلّ عند تكوين الجليد على سطح البُحيرة.
7. البحيرات قليلة التغذية تمتلك:
   أ. أكسجينًا قليلًا، ووفرة غذاء عالية.
   ب. أكسجينًا عاليًا، ووفرة غذاء عالية.
   جـ. أكسجينًا عاليًا، ووفرة غذاء قليلة.
   د. أكسجينًا قليلًا، ووفرة غذاء قليلة.
8. البُحيرات قليلة التغذية يُمكن أن تتحوَّل إلى بُحيرات حقيقية التغذية بسبب أنشطة الإنسان، مثل:
   أ. الصَّيد الجائر للأنواع الحسَّاسة، الذي يبدد جماعات الأسماك.
   ب. إدخال الغذاء إلى المياه، الذي يُحفِّز نمو النَّباتات والطّحالب.
   جـ. تبديد نباتات اليابسة قُرب الشاطئ، ما يجعل التُّربة تنجرف إلى البُحيرة.
   د. رشّ المُبيدات إلى الماء لمُكافحة جماعات الحشرات المائية.
9. مُجتمعات الثغرات المائية الحرارية في البحر العميق:
   أ. تحصل على الطَّاقة الخاصة بها من التَّمثيل الضوئي في المنطقة الضوئية قُرب السَّطح.
   ب. تستعمل الإضاءة البيولوجية لتكوين الغذاء.
   جـ. تبنى على الطَّاقة التي تنتُج من نشاط ذاتيَّات التَّغذية الكيميائية لأكسدة الكبريت.
   د. تحتوي بكتيريا فقط ومخلوقات دقيقة أخرى.
10. يحدث التَّضخيم البيولوجي عندما:
   أ. يزيد تركيز المُلوِّثات في الأنسجة عند مستويات غذائية عُليا.
   ب. يزداد تأثير المُلوثات عن طريق التَّداخل الكيميائي داخل المخلوقات الحية.
   جـ. يُوضع المخلوق تحت المجهر التَّشريحي.
   د. يكون تأثير المُلوِّث أكبر من المُتوقَّع عند بَلْعِهِ من قِبَل المخلوق.
11. واحد مما يأتي هو مصدر تلوث محدد المصدر:
   أ. المروج.
   ب. مدافن المصانع التي تعمل بالفحم.
   جـ. أنابيب مُخلَّفات المصانع التي تصبُّ في النَّهر.
   د. المطر الحمضي.
12. مقولة: إنَّ مُستويات CO_2 الآن تزيد عما كانت عليه في الماضي:
   أ. تعتمد على الأساس النَّظري.
   ب. تعتمد على المعلومات والبيانات.
   جـ. ليس لها علاقة مع الاحتباس الْحراريّ.
   د. هي في الأساس نظرية مفادها أن درجة الحرارة العالمية تقلّ.
13. فقدان طبقة الأوزون له تأثيرات خطيرة في نوعية البيئة؛ لأنَّ:
   أ. الأوزون (O_3) يحمي المخلوقات من الأشعة فوق البنفسجية التي تُسبِّب السَّرطان.
   ب. تآكل طبقة الأوزون يجعل مياه الأمطار أقل درجة حموضة ما قد يقتل النَّباتات.
   جـ. فقدان طبقة الأوزون يجعل الأشعة الشَّمسية تُحبس في الغلاف الجوي، وتزيد درجة حرارة الكون.
   د. طبقة الأوزون المُتآكلة يُمكن أن تتفاعل مع المواد الكيميائية السَّامة، فتزيد من فعاليتها على صحة الإنسان.

أسئلة تحدٍّ

1. ناقش كيف أنَّ (الشكل 58-1) يُفسِّر النَّمط الذي تُشاهده في الشَّكل 58-2.
2. لماذا تُوجد صحارى الأرض عند خط عرض $30°$ تقريبًا؟
3. من المُتوقع أن تحدث ظلال المطر عندما تعترض جبال عالية الرِّياح السائدة. ما نوع الظِّل المطري الذي تتوقعه إذا وصلت الرِّياح السَّائدة إلى جهة مُواجهة لها جافةً نسبيًّا؟
4. ما الفرق بين الاحتباس الْحراريّ والتَّغيُّرات في مُستويات مُعدَّل CO_2؟
5. إذا كان مُبيد حشري غير مُؤذٍ على تراكيز قليلة (مثل، D.D.T.)، واستُعمل بشكل مُناسب وصحيح، كيف يُمكن أن يُصبح هذا المُبيد خطرًا على المخلوقات غير المُستهدفة؟

هل أنت في حاجة إلى مراجعة إضافية؟ زر الموقع www.ravenbiology.com. لتتدرب على الاختبارات القصيرة، والرسوم المتحركة، والتسجيلات التلفزيونية، وأنشطة مخصصة لمساعدتك على فهم المادة الموجودة في هذا الفصل.
ARIS™

obeikandl.com