مقدمة قصيرة جدًّا

جبواي غزول

علم البيئة

ترجمة رشا صلاح الدخاخني

علم البيئة

مقدمة قصيرة جدًّا

تأليف
جبوري غزول

ترجمة
رشا صلاح الدخاخني

مراجعة
شيماء طه الريدي

هنـــداوي

علم البيئة

جبوري غزول

Ecology

Jaboury Ghazoul

الناشر مؤسسة هنداوي
المشهرة برقم ١٠٥٨٥٩٧٠ بتاريخ ٢٦ / ١ / ٢٠١٧

يورك هاوس، شييت ستريت، وندسور، SL4 1DD، المملكة المتحدة
تليفون: ٨٣٢٥٢٢ ١٧٥٣ (٠) ٤٤ +
البريد الإلكتروني: hindawi@hindawi.org
الموقع الإلكتروني: https://www.hindawi.org

إنَّ مؤسسة هنداوي غير مسئولة عن آراء المؤلف وأفكاره، وإنما يعبِّر الكتاب عن آراء مؤلفه.

تصميم الغلاف: ولاء الشاهد

الترقيم الدولي: ١ ٣٤٣١ ٥٢٧٣ ١ ٩٧٨

صدر الكتاب الأصلي باللغة الإنجليزية عام ٢٠٢٠.
صدرت هذه الترجمة عن مؤسسة هنداوي عام ٢٠٢٣.

جميع حقوق النشر الخاصة بتصميم هذا الكتاب وتصميم الغلاف محفوظة لمؤسسة هنداوي.
جميع حقوق النشر الخاصة بالترجمة العربية لنص هذا الكتاب محفوظة لمؤسسة هنداوي.
جميع حقوق النشر الخاصة بنص العمل الأصلي محفوظة لدار نشر جامعة أكسفورد.

Copyright © Jaboury Ghazoul 2020. *Ecology: A very Short Introduction* was originally published in English in 2020. This translation is published by arrangement with Oxford University Press. Hindawi Foundation is solely responsible for this translation from the original work and Oxford University Press shall have no liability for any errors, omissions or inaccuracies or ambiguities in such translation or for any losses caused by reliance thereon.

المحتويات

إهداء	٧
١- ما هو علم البيئة؟	٩
٢- بداية علم البيئة	١٧
٣- الجماعات	٣٥
٤- المجتمعات	٥٣
٥- أسئلة بسيطة وإجابات مُعقَّدة	٧٧
٦- علم البيئة التطبيقي	٩٩
٧- علم البيئة من منظور ثقافي	١٢١
٨- مستقبل علم البيئة	١٣٣
قراءاتٌ إضافية	١٥١
مصادر الصور	١٦١

إهداء

إلى ديف، أشدِّ مَن عرفتُهم من مؤرِّخي العلوم الطبيعية حماسًا، وإلى سانا، عالِمة دلافين قيد الإعداد.

الفصل الأول

ما هو علم البيئة؟

ماذا يأكل هذا؟

«ماذا يأكل هذا؟» كان هذا هو السؤال المُتكرِّر دائمًا على لسان ابني ذي الثلاث سنوات، الذي كان منبهرًا جدًّا بمظاهر الحياة من حوله، قبل بضع سنواتٍ من الآن. كان يطرح هذا السؤال بخصوص أي حيوان يُصادفه في مجال رؤيته. وعلى الرغم من أنه سؤال متكرِّر على نحو مُحبِط بالنسبة إلى أبٍ كان يتمنَّى أن يغرس المزيد من الإبداع في ذهن ابنه الصغير، فإن هذا السؤال البسيط هو جوهر علم البيئة. يتطرَّق علم البيئة إلى كيفية تفاعُل الكائنات الحية بعضها مع بعض ومع بيئتها. ويشمل هذا ما تأكله هذه الكائنات وما يأكلها. فالمُفترسات والفرائس، والنباتات والطفيليات والعوامل المُمرِضة، جميعها يستعين باستراتيجيات مختلفة للاحتفاظ بالطعام من أجل الحصول على الطاقة اللازمة للبقاء على قيد الحياة والتكاثر. وتُسفر هذه الاستراتيجيات المختلفة عن ظهور أنماط في الطبيعة (شكل ١-١). وعلم البيئة، في جوهره الأساسي، هو علم يسعى إلى فهم العمليات الحيوية التي تُحدِّد الأنماط داخل العالم الطبيعي.

وعلم البيئة، بالطبع، أكثَرُ بكثير من مجرَّد أنماط مَبنية على الاستهلاك. فالكائنات الحية تتنافس على موارد شحيحة، وتتعاون من أجل الحصول على منافع متبادلة. فتُغيِّر البيئة من حولها، لتخلق بذلك ساحاتٍ جديدة للتفاعل، وتُعبِّر عن أنماط جديدة في الطبيعة. وتُفرَض عليهم قيودٌ من قِبل البيئة المحيطة، التي تتَّسم بالتعقيد والتغير عَبْر المكان والزمان. ويشكِّل البشر كذلك أنماطًا وعمليات إيكولوجية من خلال إحداث تغييرات في البيئات، وأعداد الكائنات الحية فيها.

في السنوات الأولى من عُمر أبنائي، اعتدنا التردُّد على بِركة صغيرة كانت تزدان في فصل الصيف بحشرات اليعسوب والرعاشات الصغيرة. لفَتَت «بِركة اليعسوب» انتباه أبنائي. فقد لاحظوا حشرات كثيرة ومختلفة تَحوم فوق سطح الماء، وهي ملاحظة ثاقبة

شكل ١-١: تتولَّد الأنماط من التفاعُلات الإيكولوجية. ففي ناميبيا، يُعتقَد أن «دوائر الجن» ذات التربة الجرداء المُحاطة بالنباتات تتكوَّن بفعل مجموعة من النمل الأبيض التي تُزيل النباتات من حول أعشاشها، وبفعل نباتات تتنافس من أجل الوصول إلى الماء.

بخصوص التنوُّع الحيوي لا تستلزِم مقدِّمة كتاب مدرسي. وبعد تحديد ما تَقتاتُ عليه هذه الكائنات، كان سؤالهم التالي، حتمًا، هو «ماذا يُسمَّى هذا؟» كان لريتشارد فاينمان، الفيزيائي الشهير، اعتقاد راسخ بأن «الأسماء في حدِّ ذاتها لا تُشكِّل المعرفة». وربما يكون هذا صحيحًا تمامًا بالمعنى الدقيق لكلمة معرفة، ولكن أبنائي استوعبوا، وكانوا يعرفون أكثر. لقد حثَّهُم الفضول حيال أسماء النباتات والحيوانات على البحث عن الاختلافات بين الأنواع، وهو ما مكَّنَهم من معرفة أنها أنواع مختلفة تستلزِم أسماءً مختلفة قطعًا. وتوالت أسئلة كثيرة على غِرار: «ما الذي تفعله هذه؟» «لماذا تتواجَد هذه في الغابات دومًا، بينما تتواجد الأخرى في المروج؟» وبدءُوا يُميِّزون الرتبة والنمط في الطبيعة. وعلم البيئة يبدأ بِمثل هذه الأنماط. فالأنماط تجعل الأسئلة التي تدور حول «ماذا يأكل هذا؟» مُثيرةً للاهتمام من الناحية الإيكولوجية. ويُقدِّم علمُ التصنيف، المَعنيُّ بوصف الكائنات الحية وتحديدها وتصنيفها، الإطارَ العام الذي يمكن من خلاله التعرُّف على الأنماط والتفاعلات الإيكولوجية وفَهْمها. وتفتح الأسماء آفاقًا جديدة للرصد والبحث. لقد كان ريتشارد فاينمان فيزيائيًّا فذًّا، ولكنه كان سيصير عالِمَ بيئة كسولًا.

يتمتَّع حرم سيلوود بارك الجامعي الخاص بالكلية الإمبراطورية التابعة لجامعة لندن؛ حيث كنت أعمل، بمروجٍ شاسعة ترتادها الأرانب كثيرًا في فصل الصيف. أَحَبَّ أولادي مطاردة هذه الأرانب، رغم عدم جدوى محاولاتهم. ولكنهم توقفوا فجأةً عن المطاردة عندما لمحوا ثعلبًا يتسلَّل خُفيةً على أطراف الغابة. كانت مشاهدة الثعالب شيئًا نادرًا أثارَ بعض القلق في نفوس الأولاد. كانوا على دراية بأن الثعالب تأكل الأرانب، لكنهم تساءلوا — بما أنهم يرون الكثير من الأرانب — لماذا لا يرَون المزيد من الثعالب؟ وأَدخلَ التفسيرُ القائل بأن الثعلب بحاجةٍ إلى عددٍ كبير من الأرانب لكي يكوِّن أُسرة من الثعالب قانونًا أساسيًّا في علم البيئة، ينصُّ على أن الكتلة الحيوية المُتاحة، أو كتلة الكائنات الحية، تتناقص عندما ننتقِل إلى أعلى عَبْر السلسلة الغذائية، بدايةً من النباتات، وصولًا إلى الحيوانات العاشبة التي تتغذَّى على النباتات، والمُفترِسات التي تتغذى على الحيوانات العاشبة. وقدرةُ الحيوانات المُستهلِكة على بناء كتلةٍ حيوية مرهونةٌ بقدرتها على الحصول على الغذاء، ومدى الفاعلية التي تستطيع من خلالها أن تحوِّل الطاقة الغذائية إلى كتلة حيوية. ولهذا السبب تقلُّ أعداد الثعالب كثيرًا عن أعداد الأرانب.

لم تكُن الأرانب تتوافر بمثل هذه الأعداد الغفيرة في فصل الصيف من كل عام. ففي بعض السنوات، كانت الأرانب نادرة الظهور. وبدأ الأولاد يُلاحظون تقلُّباتٍ مُماثِلة في أعداد فئران الحقل وثمار جوز البلوط، وثمار جوز الزان من عامٍ إلى آخَر. ففي بعض السنوات، كانت هناك وَفْرة في ثمار التفاح ببستان التفاح الصغير الموجود في حرم سيلوود بارك. وفي سنوات أخرى، كان عدد الثمار قليلًا جدًّا؛ حتى إن الأولاد كانوا حريصين على الوصول إلى الأشجار قبل طلاب الدراسات العُليا المُقيمين هناك ليضمنوا الحصول على حصةٍ معقولة من الثمار. في ذلك الوقت، كان الأولاد يطرحون أسئلة حول تقلُّبات الموارد وديناميات الجماعات. أو لماذا يحطُّ النحل على زهور التفاح؟ وما الذي تفعله الديدان؟ ولماذا تخرج القنافذ في الليل فقط؟ ولماذا تستدير بذور الجميز؟ ولماذا تثمر أشجار التفاح تفاحًا؟ وهذه الأسئلة كلها ما هي إلا أسئلة إيكولوجية.

ما هو علم البيئة؟

علم البيئة (الإيكولوجيا) هو موضوع للدراسة المتخصِّصة. كما أنه رؤية كونية تؤكد ترابُط العوامل البيئية بعضها مع بعض، وأصبح مرادفًا لـ «مناصرة القضايا البيئة» بصورة أو أخرى. وثمَّة تأويلان لعلم البيئة؛ أحدهما علمي والآخَر ثقافي، يُسبِّبان خلطًا بشأن الكيفية

التي يرتبط بها كلٌّ منهما بالآخَر، ولكنهما يَسمحان أيضًا للأفكار المستوحاة من علم البيئة أن تنتشِر عَبْر النقاشات المجتمعية. ونتيجةً لذلك، يُعَد علم البيئة واحدًا من العلوم الأكثر انتشارًا في السرديات الاجتماعية-السياسية والثقافية. فالفكر الإيكولوجي يتغلغل في مذاهب شتَّى، كالرومانسية والروحانية والأدب والسياسة. وصار المُحرِّك التحفيزي للاختيارات المُتعلِّقة بنمط الحياة العصرية والأجندات السياسية.

يتطرَّق علم البيئة، بوصفه تخصُّصًا علميًّا، إلى التفاعلات بين الكائنات الحية وبيئتها. ويسعى إلى وصف هذه الأنماط، وفَهْم العمليات التي تؤدي إلى ظهورها. عادةً ما يكون من السهل وصف الأنماط الموجودة في الطبيعة. فمثلًا، من المعروف جيدًا أن عدد الأنواع يتزايد كلما انتقلنا من دوائر العرض القطبية إلى دوائر العرض الاستوائية. أما فَهْم أسباب ظهور هذه الأنماط، فهو أكثر صعوبة. بعض النظريات يسعى إلى ربط ثراء الأنواع بالبيئة اللاأحيائية، أو بتوافر الطاقة، أو درجة الحرارة، أو هطول الأمطار. وتركِّز نظريات أخرى على التفاعلات الأحيائية التي تُعزِّز التعايش المشترك بين الأنواع. فربما تهاجم الأمراض أو الحيوانات المفترسة الأنواعَ الأكثر شيوعًا على نحوٍ غير متكافئ، أو ربما تحظى الأنواع النادرة باستراتيجيات حياتية خاصة تُيسِّر استمرار وجودها في بيئة مكتظة وتنافُسية. في كلتا الحالتَين، عادةً ما ستدعم العمليات، التي تفيد الأنواع النادرة وتساندها، عددًا أكبر من الأنواع.

يرتبط عِلم البيئة ارتباطًا وثيقًا بالإطار العام للتطوُّر، والتطور في الأساس هو نتاج التفاعلات الإيكولوجية. وتُعَد سلسلة مقالات ستيفن جاي جولد، المنشورة في كتاب له بعنوان: «تأمُّلات في التاريخ الطبيعي»، بمنزلة تدبُّر في التفاعل بين علم البيئة والتطور. لم يكُن جولد نفسه مُهتمًّا كثيرًا بعلم البيئة، ربما لأن التطور التاريخي للأنظمة الطبيعية أثارَ فضوله بوصفه عالِم حفريات، ومن ثَم لم يرَ تفسيرًا تاريخيًّا في العمليات الإيكولوجية. وعلى الرغم من عدم اكتراث جولد به، فإن لعلم البيئة منظورًا تاريخيًّا حسبما ذكر عالِم الجيولوجيا تشارلز لايل في القرن التاسع عشر. فالجيولوجيا، التي تَخصَّصَ فيها لايل، ذات طابع تاريخي صريح، وترتكز على عملياتٍ طبيعية قابلة للرصد، خاصة بالارتفاع فوق مستوى سطح البحر وتآكُل التربة. ومن خلال تطبيق هذا المنظور التاريخي على عالَم الأحياء، عارضَ لايل فكرة «توازن الطبيعة» الجامدة وغير التاريخية إلى حدٍّ بعيد، وأيَّد في المقابل فكرة الاضطراب والتغيُّر المُستمِرَّين اللذَين يحدثان بفعل العمليات الإيكولوجية الخاصة بالانتشار والافتراس والمُنافَسة. وفتحَ هذا الأمر الباب على مصراعَيه أمام تفسيرٍ

أكثر ديناميكية للعالَم الطبيعي، مما ألهم تشارلز داروين، وألفريد راسل والاس، وغيرهما، بتطوير نظرية تطوُّرية من منظور إيكولوجي.

ولا يبدو علم البيئة مفهومًا حقًّا إلا في ضوء النظرية التطورية. فالنتائج الإيكولوجية هي بالأساس عمليات تطوُّرية في الزمن الحقيقي. واستمرار وجود نوع ما هو نتاج الطريقة التي يتفاعل بها أفراد هذا النوع مع أفراد نوع آخَر، ومع البيئة من حولهم. وإذا كان لنا أن نستعين باستعارةٍ مجازية شائعة الاستخدام في عالَم المسرح، فالبيئة هي خشبة المسرح التي تتكشَّف عليها التفاعُلات تدريجيًّا. والانتخاب الطبيعي هو مُخرِج مسرحية تطوُّرية. وعلم البيئة هو العَرض المسرحي.

علم الفيزياء مَحطُّ إعجاب

زعم بيير سيمون لابلاس، عالِم الرياضيات والفيزيائي الفرنسي، أن من الممكن، من الناحية النظرية، معرفة مستقبل كل ذرَّة، فقط لو توافَرَ لدَينا فَهْم كامل للعالَم الحالي وجميع عملياته. لا شكَّ أن علماء الفيزياء الآن على دراية تامة بأن العشوائية والاحتمالية هما حقيقتان من حقائق الطبيعة التي لا يمكن إغفالها، وأن الصدفة (التصادفية) مُترسخة أيضًا في صلب النظرية الإيكولوجية. فالقوانين البيئية تتَّسم بكونها احتمالية أكثر من كونها حتمية.

ربما نتخيل كيف تنتشر الجماعات داخل المساحة المتاحة، في ضوء المعلومات المتوفرة عن سِمات النوع والظروف البيئية ومدى توافر الموارد، ولكن لا نستطيع أن نحدِّد بدِقَّة الموضع الذي ستتكشف عنده عملية الانتشار وتوقيت حدوثها، والأفراد المشاركين بها. كذلك تقوم القوانين البيئية على التفسيرات الاحتمالية للطبيعة، مُمثلة بنماذج إحصائية. وثمة تقليدٍ رياضي راسخ في علم البيئة ولَّد العديد من الرؤى عن كيفية عمل الجماعات والمُجتمعات، ولكن النماذج الرياضية الموجودة في علم البيئة أقل دقةً بكثير من نظيرتها في الفيزياء. وهذا يعكس أهمية الاحتمالية التاريخية في تحديد النتائج الإيكولوجية بل والتطورية أيضًا. فالعمليات والأنماط في علم البيئة تتشكل من خلال موروثات ما كان موجودًا من قبل بقدْر ما تتشكل بفعل العمليات الإيكولوجية الحالية.

يزعم أنصار منهج الاختزالية العلمية أن تقصِّي خصائص الأجزاء المكوِّنة لأي نظام يُمكِّننا من فَهْم كيفية عمل النظام كُليًّا. وفي حين يعتنق علماء البيئة منهج الاختزالية في سياق عملِهم، فإنهم يُدركون أيضًا أنه يعجز عن تقديم فَهْمٍ كامل للأنظمة البيئية. وما

يجعل الأنظمة البيولوجية مثيرةً للاهتمام هو تعقيدها «الظاهر». فالكائن الحي الفردي هو وحدة وظيفية مُعقَّدة ذات خصائص تَفُوق مجموع خلاياه أو أعضائه. بالمثل، يتَّسم النظام الإيكولوجي بخصائص عارضة مُنبثِقة من التفاعلات بين عددٍ كبير من الكائنات الحية والأنواع التي تؤدي إلى نتائج مُعقَّدة، نشأت من عملياتٍ مثل التكاثر، والافتراس، والمنافسة، والتبادلية، والانتشار، والنمو. علاوةً على ذلك، تتفاعل العمليات الحيوية عَبْر نطاقاتٍ مكانية. وهذا التفاعل بين الأجزاء والعمليات عَبْر النطاقات هو ما يمنح علم البيئة أوضَح خصائصه، وهي كونه علمًا ذا رؤية كونية «شمولية»؛ حيث يتعيَّن علينا أن نضع في الاعتبار الكثير من الجوانب الخاصة بنظامٍ مُعيَّن من أجل فَهْم خصائصه ونتائجه الظاهرة.

نظرية علم البيئة

يُقال إن علم البيئة يزخَر بالمفاهيم، ولكنه يخلو من المبادئ. وهذا قول مُجحِف إلى حدٍّ ما؛ لأنه يعكس صعوبة تطوير نظرية تنبؤية دقيقة قائمة على قوانين عالَمية في حقل معرفي مرهون أساسًا بالأحداث والاضطرابات الماضية. وعلى الرغم من هذه الحالة المتأصِّلة في علم البيئة من انعدام التحديد، فمن المُمكن تحديد عدة افتراضات أساسية تدعم هذا العلم، يمكن على أساسها وَضْع نظريات.

من الواضح أن التوزيع غير المتجانِس للكائنات الحية يقف وراء الأنماط الظاهرة للطبيعة. فلا يُوجَد توزيع متساوٍ للأنواع والأفراد في المكان والزمان. على سبيل المثال، تشغل الطحالب البحرية والحيوانات القشرية الموجودة على الشواطئ الصخرية النطاقات العمودية المرتفعة فوق خط الجزر. وهذه الأنماط للتقسيم على أساس الارتفاع العمودي هي نتاج كلٍّ من التفاعلات الأحيائية بين الأنواع واستجابات الأنواع للبيئة الطبيعية. وقد تحدث التفاعلات الأحيائية بين أفراد النوع نفسه (تفاعلات داخلية) أو بين أنواع مختلفة (تفاعلات بينية). وقد تكون عدوانية أو ذات نفعٍ متبادل.

وتستجيب الأنواع للتبايُنات في الظروف البيئية الناشئة عن عملياتٍ فيزيائية، سواء حركة الأمواج وانغمار الشواطئ الساحلية بالملح، أو انخفاض درجات الحرارة عَبْر أحد المنحدرات الجبلية، أو زيادة التغيرات الموسمية بزيادة دوائر العرض. ومثل هذا التفاوت البيئي يُقدِّم النموذج الأساسي للتفاوت الأحيائي. ومع ذلك، تتأثر النتائج الإيكولوجية بالعوامل الطارئة المترتبة على الأحداث التصادفية المفاجئة (كأن تستقر بذرة ما في مكانٍ

مُعيَّن دون آخَر)، وشروط البدء الأولية. ومن ثَم فالطبيعة تتَّسِم بديناميكية شديدة، والتنبؤات الإيكولوجية مرهونة بالطوارئ التاريخية.

وعَبْر هذه البيئة الفيزيائية الحيوية النشِطة، تكون الموارد محدودة ومتناهية. ربما تكون الموارد محدودة بفعل العمليات الفيزيائية، مثل نظم سقوط الأمطار التي تحدُّ من توافُر المياه، أو استغلال الكائنات الحية لتلك الموارد. وهكذا تُحدِّد صفات النوع والاستراتيجيات التي يتبعها للحصول على الموارد قدرة الكائنات الحية على البقاء والتكاثر في بيئاتٍ مُعيَّنة، ومن ثَم تحدد وفرتها النسبية وأنماط توزيعها.

وأخيرًا، فالتغيُّرات التطورية مدفوعة بالانتخاب الطبيعي، الذي هو بالأساس عملية إيكولوجية، ويشكِّل التطوُّر صفات الأفراد والأنواع التي تُحدِّد بدورها خصائصها الإيكولوجية.

علم البيئة بوصفه رؤيةً كونية

في عصرنا الحالي الذي يشهد تدهورًا بيئيًّا، يُمثل علم البيئة العدسة العلمية التي يُمكننا من خلالها فَهْم آلية عمل الأنظمة الطبيعية والزراعية التي تتوقف عليها رفاهيتنا المستقبلية. كثير من علماء البيئة المحترفين تدفعهم رغبة قوية لتحسين إدارة الموارد البيئية، وكما كتب ألدو ليوبولد في خطاب عام ١٩٤٧ يقول: «لا يُمكننا أن نُطلق على أنفسنا علماء بيئة بكلِّ بساطة ولا نكترث باغتيال الأحياء البيئية الذي صار منتشرًا على مستوى العالم.» غير أن العلوم البيئية ليست علومًا معيارية في حدِّ ذاتها؛ إذ لا وجود فيها لأي إلزام. وفي حين أن عِلم البيئة ليس مرادفًا لمناصرة القضايا البيئية، فإنه يقدم الكثير لإدارة البيئة والحفاظ عليها. وتعتمد هذه التخصصات على المفاهيم والنظريات الإيكولوجية سعيًا لابتكار استراتيجيات تتعلَّق بالطريقة التي «يجب» إدارة الأنظمة البيئية والموارد والتنوُّع الحيوي بها. وهذا المنظور المعياري هو ما يميز هذه التخصصات عن العلوم البيئية الجامدة. أما علم البيئة التطبيقي فيقع في المنتصف بين الاثنين، بمعنى أنه يُقيِّم تداعيات الأنشِطة الإنسانية على الأنظمة البيئية، ويستكشف خيارات الحلول المُمكِنة. إن عملية اتخاذ القرار، لا العلم في حدِّ ذاته، هي ما تجعل الموقف المعياري واضحًا وصريحًا.

من المؤرِّقات المستمرة التي تزعج علماء البيئة المحترفين أن قطاعًا كبيرًا من الجمهور يساوي بين علم البيئة ومناصرة قضايا البيئة، بل وحتى مذاهب المُغالاة في حماية البيئة أو الروحانية البيئية، بل والأسوأ من ذلك كله حركة الهيبيز. لقد صار علم البيئة في

أذهان العامة أكثر من مجرَّد علم. لقد تغلغل في السياسات وثقافة المجتمع الحديث، التي من خلالها توسَّعَ معناه وأُعيد تشكيله. لقد أثَّر علم البيئة، الذي تبنَّتْه مجموعة متنوعة من الثقافات الفرعية، الثقافة السائدة بل وأفسدها. ويُظهِر انتشاره في مجال الدعاية والتسويق أن العلماء والنشطاء البيئيِّين لا يحتكرون علم البيئة بوصفه مفهومًا أو كلمة شائعة. وتُعَد التفسيرات الثقافية واستخدام المفاهيم الإيكولوجية مَبحثًا شاملًا ورائعًا، سنتناولُه في الفصل قبل الأخير من هذا الكتاب، ولكن الموضوع الرئيس لهذا الكتاب هو علم البيئة بوصفه علمًا قائمًا بذاته.

الفصل الثاني

بداية علم البيئة

لطالما انجذب الناس — على مَرِّ التاريخ — إلى آليات عمل الطبيعة، واعتمدوا على ثقافةٍ ثَرية من التاريخ الطبيعي الوصفي للارتباط بالبيئة من حولهم. ووصفَ تشارلز إلتون، أحد أبرز علماء البيئة في العصر الحديث، علمَ البيئة بأنه «اسم جديد لموضوعٍ قديم جدًّا. إنه يعني ببساطةٍ التاريخَ الطبيعي العلمي.» ويُمكن تمييز بعض المفاهيم الإيكولوجية الأساسية في الكتابات التي تتناول التاريخ الطبيعي، والتي تعود إلى العصر الكلاسيكي. وقد كان تطوُّر العلوم البيئية من هذه البدايات في الغالب نتاجًا للتطورات المفاهيمية التي خَلقت على مدار القرن الماضي تخصُّصًا معرفيًّا ثَريًّا بالتعقيدات التقنية والرياضية. ولكن تظلُّ العمليات والنتائج التي يُعنى بها علم البيئة متاحةً ومفهومة لأي راصد فطِن، يدعمها إطار من التاريخ الطبيعي يمزج بين الرؤى الثاقبة والانبهار.

علم البيئة الكلاسيكي

يُقال إن هيرودوت، الذي توفي نحو عام ٤٢٥ قبل الميلاد، هو أبو التاريخ، ولكنه كان مؤرِّخًا طبيعيًّا شَغوفًا أيضًا. فقد لاحظ هيرودوت كيف تَسمح تماسيح النيل للطيور بأن تقتات العوالق الطُّفَيلية من داخل فُكُوكها المفتوحة دون تضرُّر، في تفاعلٍ نافع لكِلا النوعَين نُطلق عليه الآن التكافل التبادلي. وفيما بعد، نحو عام ٣٨٠ قبل الميلاد، انتقد أفلاطون فقدان الغابات وما ترتَّب عليه من تآكُل التربة في منطقة أتيكا، مما أضفى جانبًا بيئيًّا على العمليات البيئية. لم يذهب هيرودوت أو أفلاطون بعيدًا إلى حدِّ تطوير فلسفة بيئية، وإنما ضربت مشاهداتهما بجذورها في التاريخ الطبيعي بقوة.

تعود أصول أولى الانتفاضات الحقيقية للفكر الإيكولوجي، في أوروبا على الأقل، إلى ثيوفراستوس، أحد تلاميذ أرسطو. بل إن أرسطو نَفْسه أدلى بتصريحاتٍ كانت بمنزلة

تمهيد لظهور علم البيئة، يعترف فيها بالعلاقة بين الحيوانات وبيئاتها، على نَفْس نهج المشاهدات الأولى لهيرودوت وأفلاطون. من ناحية أخرى، طوَّر ثيوفراستوس تفسيرًا إيكولوجيًّا أكثر استيفاءً وشمولًا للنباتات في كتابَيه «تاريخ النبات» و«أحوال النبات». شمل تناول ثيوفراستوس لطبيعة النباتات ثلاثة جوانب. تمثل الجانب الأول في الطبيعة الجوهرية للنباتات، التي ربما نُشير إليها اليومَ بسِماتها التي تتحدَّد وفقًا لجيناتها. والجانب الثاني هو طبيعة البيئة التي يُوجَد النبات داخلها، والتي ربما تكون مواتية أو غير مواتية بالنسبة إلى النبات بالنظر إلى سِماته. أما الجانب الثالث فهو العامل الإنساني، الذي ربما يُشكِّل النباتات بمعزلٍ عن سِماتها الجوهرية أو بيئتها. وعلى عكس الفلاسفة الأوائل، زعم ثيوفراستوس أن الهدف من هذه الكائنات الحية هو إنتاج بذور تؤدي إلى استمرار بقائها، وليس هدفها توفير الغذاء أو الوقود أو أي منافع أخرى للبشر.

لاحظ ثيوفراستوس أن النباتات لا تزدهر إلا في الأماكن المناسبة لسماتها الجوهرية. وهذا يوافق المفهوم الإيكولوجي الحديث الخاص بـ «المكمن البيئي». وتعرَّف على النباتات التي تكيَّفَت مع مختلف الظروف كالجفاف والرطوبة والملوحة ونوع التربة. ويخضع ازدهار أنواع النباتات المختلفة إلى التفاعلات بين البيئة والخصائص المُتأصِّلة في النباتات. ولاحظ أن بعض النباتات تنمو في نطاقٍ ضيِّق من الظروف المواتية، وتحظى بتوزيعات ضيِّقة. وبعض الأشجار فقط قادرة على النموِّ في الجبال، ولكن ثيوفراستوس أدرك أيضًا أنه حتى داخل الجبال يكون هناك تبايُن في تصنيف الأنواع وتكوينها، حسب الظروف المكانية.

تُنسَب إحدى المقاربات الأولى لمفهوم التنافُس بين الأنواع إلى ثيوفراستوس أيضًا. فقد أشار إلى أن الأشجار التي ينمو بعضها بالقُرب من بعض تتنافس على الماء والضوء ومن ثَم تصير طويلةً وهزيلة، بينما الأشجار الموجودة في ظروفٍ أكثر انفتاحًا ليست كذلك. فبعض الأشجار، مثل شجر اللوز، تكون مثل «جار السوء»، بقَمعها نمو الأشجار الأخرى. وعلى خُطى هيرودوت، أدرك ثيوفراستوس التفاعُلات ذات النفع المتبادل، واصفًا كيف يقوم طائر أبو زريق بدفن ثمَر الجوز التي تنبت فيما بعد، وكيف تنشر الطيور بذور الدبق. وعلى غِرار أفلاطون، استنكر ثيوفراستوس التدهور البيئي بسبب الإفراط في استغلال الأراضي والغابات. وذهب إلى أن الصرف الصحي وإزالة الغابات تسبَّبَا في تبريد المناخات المحلية وبوار التربة، ودعا إلى إدارة الأراضي من خلال الحد من قطع الأشجار الخشبية.

يختلف علم البيئة الذي تحدَّث عنه ثيوفراستوس، عن علم البيئة الحديث، في افتقاره إلى أي مفهوم لشبكة التفاعلات بين الكائنات الحية داخل مجتمع معقَّد. كما أنه لم يضع في الاعتبار نمو الجماعة وتراجُع أعدادها، وهو ما يُثير الدهشة، لا سيَّما أن أرسطو قد وصف في وقتٍ سابق النمو السريع لجماعات القوارض ثم اضمحلالها. ولعلَّ السبب في ذلك يرجع إلى أن ثيوفراستوس كان مهتمًّا بالأساس بالنباتات. غير أنه لم يكُن لديه ما يقوله عن التطور التعاقُبي للمجتمعات النباتية (أو التعاقُب الطبيعي باستخدام اللغة الاصطلاحية الحديثة لعلم البيئة). إلا أن الإسهاب في الحديث عن سهواته من شأنه أن يكون قاسيًا، لا سيَّما أنه لم يطرأ أي تقدُّم على أفكاره لمدة ألفَي عام أخرى.

كان الإرث الأهم لثيوفراستوس هو ما نسبَه إلى النباتات من «غاية» مستقلة عن البشر. وكان ثابتًا على مبدئه في وصف الطبيعة باعتبارها علاقةً بين الكائنات الحية وبيئتها. وبصرف النظر عن إعطائنا أول نصٍّ إيكولوجي نُعوِّل عليه، يمكننا على نحوٍ مشروع أن ننسب إلى ثيوفراستوس كلمة ecology باللغة الإنجليزية. فاستخدامه للكلمة اليونانية oikeios، وهي صيغة الصفة من كلمة oikos (وتعني منزلًا)، قدم لنا الجذر للكلمة الإنجليزية التي صاغها إرنست هيكل في القرن التاسع عشر، الذي كان على دراية بأعمال ثيوفراستوس بالتأكيد؛ نظرًا لشغفه بالاطلاع على الأدبيات الكلاسيكية.

عِلم البيئة المنهجي

في القرون التي تَلَت عصر ثيوفراستوس، يصعب استخلاص قَدْر كبير من المعلومات عن الطريقة التي استُنبط بها مجال علم البيئة من الرصد والملاحظة. بل إن التاريخ الطبيعي، حسب معلوماتنا، قد أضحى متشابكًا مع الخُرافات. وأخيرًا، في القرن السابع عشر، نحَّى جون راي الخُرافات والأساطير جانبًا ليستغلَّ قُدرته القوية على الملاحظة لشرح آلية عمل الطبيعة. وذكر كتاب راي بعنوان «دليل النباتات النامية حول كمبريدج»، المنشور عام ١٦٦٠، الموائل (الأماكن الطبيعية التي تعيش فيها الأنواع) الخاصة بـ ٥٥٨ نوعًا من أنواع النباتات، بما فيها المستنقعات والغابات والمروج وضفاف الأنهار، وشمل ملاحظات عن خصائصها البيولوجية. وأوضح كيف أنَّ حلقات النمو في شجر المُرَّان (فراكسينوس إكسلسيور) ذات صلةٍ بعمر الشجرة، وكيف يتأثر نمو شجر الدردار (أولموس بروسيرا) بالرياح السائدة. وتوصل على نحوٍ صحيح إلى وجود صلةٍ بين نبات كرنب رابا (براسيكا رابا) ونبات اللفت البري (براسيكا نابوس)، ويعزو هذا إلى وجود نوع من اليرقات

لا يفرِّق بين هذين النوعَين من النبات اللذَين تتغذَّى عليهما في حين أنها «ترفض» الكثير غيرها. وشملت أعمال راي اللاحقة دراساتٍ عن الطيور والأسماك والحشرات. وعلى الرغم من أن كتاباته ليست إيكولوجية بحتة بالمعنى الحديث للكلمة؛ أي إنها ليست جزءًا من إطارٍ نظري شامل، فقد قدمت بالفعل أساسًا متينًا للتاريخ الطبيعي يستنِد إلى الملاحظة المباشرة والاستدلال.

أثرت أعمال جون راي مباشرةً على كارل لينيوس، الذي قدَّم كتابه بعنوان «نظام الطبيعة» (عام ١٧٣٥) نظام التسمية المُكون من جزأَين لجميع الكائنات الحية الذي نَستخدمه حتى اليوم. يقوم هذا النظام على تصنيف الأنواع إلى جنس ونوع، ويُسمِّيها وفقًا لذلك. على سبيل المثال، يوجَد ثلاثة عشر نوعًا من الدبابير الانعزالية قدَّر علماء التصنيف أنها متشابهة بالدرجة الكافية لتُصنَّف ضمن جنس «ميلينوس». وأحد هذه الأنواع، والذي أطلق عليه لينيوس «ميلينوس أرفينسيس»، موجود في المملكة المتحدة على نطاقٍ واسع ولكنه معروف ومُثبت تواجُده في أماكن بعيدة تصل إلى نيبال؛ حيث يُوجَد هناك أيضًا. يُسمِّي نظام التصنيف العالمي الخاص بلينيوس الأنواع تسميةً واضحة لا لَبْس فيها، مما يسمح بإجراء دراسة دقيقة على الأنواع وتفاعُلاتها وتوزيعاتها.

ثمَّة إنجاز بارز خلال رحلة ظهور علم البيئة تركَه «عالِم الطبيعة — الكاهن» جيلبرت وايت، وكتابه «التاريخ الطبيعي وآثار سيلبورن» (١٧٨٩). والكتاب عبارة عن مجموعة من الخطابات، يزعم أنها موجهة إلى علماء طبيعة آخَرين ولكنها لم تُرسل إليهم مطلقًا، تشمل ملاحظات عن التاريخ الطبيعي للنباتات والحيوانات في مقر كهنة سيلبورن بجنوب إنجلترا. كانت مشاهدات جيلبرت وايت دقيقة وتفصيلية، والأهم من ذلك، أنها أُجرِيَت داخل الطبيعة نَفْسها. استطاع وايت تمييز ثلاثة طيور شِبه مُتماثلة، وهي الشفشافة وهازجة الصفصاف ونقشارة الشجر، وتحدَّدت بوصفها ثلاثة أنواع بناءً على تغريداتها المختلفة. ويشمل كتابه «التاريخ الطبيعي» مئات الملاحظات عن تواريخ الظهور المَوسمي للطيور المهاجرة، التي تُقدِّم خطَّ أساس قيِّمًا للمقارنة بينه وبين تزايُد حالات الظهور المُبكِّر للطيور المهاجرة في ظِل الاحتباس الحراري الحالي. ولاحظ وايت وجود اعتمادٍ متبادل بين الكائنات الحية كان يدعم بقاء العالَم الطبيعي، ورصده في بلدة سلبورن. ووصف العمليات البيئية مثل التلقيح ونثر البذور، وأشار إلى أهمية ديدان الأرض باعتبارها «حلقة صغيرة وتافهة في سلسلة الطبيعة، ولكنها، إذا فُقدت، ستُخلِّف فجوة مؤسِفة.»

الصورة الطبيعية عند هومبولت

لم يكُن الكُتيِّب الجامع الذي ألَّفَه راي، أو نظام التصنيف الذي وضعه لينيوس، أو «الخطابات» المُجمعة التي كتبها وايت أعمالًا حقيقية لعلم البيئة بالمعنى الحديث للكلمة. لا شك أن مشاهداتهم وملاحظاتهم فسَّرت العالم الطبيعي بوضوح مُجدِّد، ولكنها ظلَّت بعيدة كلَّ البُعد عن السعي وراء تفسيرٍ سببي للعمليات والأنماط، يسترشد بالمبادئ النظرية. كان ظهور الرحلات الاستكشافية العلمية العالمية في أواخر القرن الثامن عشر هو ما أَذِن بميلاد علم البيئة. فقد تقدمت العلوم الغربية من خلال الرحلات الكثيرة — التي خصتها الدولة برعايتها — إلى مناطق نائية حول العالم (وهي عادةً غزو استعماري مُتستِّر وراء قناع الرحلات الاستكشافية)، بالإضافة إلى رحلات المُستكشفين الفرديين المُغامرين حدَّ الإبهار، وذلك من خلال جمع العَيِّنات والملاحظات والأفكار. وفي أوروبا، بدأت أُسُس علم البيئة، بوصفه علمًا منفصلًا عن التاريخ الطبيعي، تتشكَّل عندما اختلط المغامرون العائدون من رحلاتهم بأصحاب النظريات الجالسين في مكاتبهم، أو صاروا هم أنفسهم أصحاب نظريات.

كان ألكسندر فون هومبولت من أوائل مَن قيَّموا العلاقة بين الكائنات الحية وبيئتها في علم جغرافيا النباتات الذي تخصَّص فيه. ووصف كتابه «مقال عن جغرافيا النباتات»، المنشور عام ١٨٠٧، توزيع الحيوانات والنباتات حسب الظروف الطبيعية الخاصة بدرجات الحرارة والارتفاع والرطوبة والضغط الجوي. وفي نهاية هذا الكتاب تُوجَد مطوية كبيرة لـ «صورة طبيعية لجبال الأنديز والدول المجاورة» تُجسد توزيعات الأنواع عَبْر قطاعٍ من أمريكا الجنوبية يمتدُّ من سهول ساحل المحيط الهادئ، مرورًا بسلسلة جبال الأنديز (وخاصة بركان تشيمبورازو)، وصولًا إلى حافة حوض الأمازون (شكل ٢-١). وبهذه «الصورة الطبيعية»، رسَّخ هومبولت لفكرة أن أنواع النباتات المختلفة تحتلُّ مناطق مناخية متميزة. وحينئذٍ صار بالإمكان دراسة أنماط توزيعات النباتات وفهمها في ضوء الظروف الجيوفيزيائية الحيوية.

استلهم تشارلز داروين علم هومبولت وحسَّ المغامرة لدَيه، إلا أن الجيولوجي تشارلز لايل عرَّف داروين الشاب على الصراع الذي يكمُن في صميم فكر داروين التطوري. قدَّم تشارلز لايل الجسر الفكري العابر من هومبولت إلى داروين من خلال تقديم رؤية للطبيعة مثَّلت تناقضًا ملحوظًا لبلدة سلبورن المألوفة لجيلبرت وايت، أو «الصورة الطبيعية» الثابتة لهومبولت. ففي المجلد الثاني من كتاب «مبادئ الجيولوجيا» (١٨٣٢)، أكَّد لايل انتشار

شكل ٢-١: كانت الصورة الطبيعية، التي وضعها هومبولت لجبال الأنديز والدول المجاورة (نعرض هنا النسخة الألمانية) والمنشورة في كتاب «مقال عن جغرافيا النباتات»، ١٨٠٧، أول وصف واقعي لأنماط توزيعات الأنواع حسب السمات البيوفيزيائية لجغرافيا المكان.

الافتراس والمنافسة، و«الصراع من أجل البقاء»، بين الكائنات الحية؛ حتى «أحقر وأصغر الأنواع، سواء في المملكة الحيوانية أم المملكة النباتية، فتَكَ كلٌّ منها بالآلاف من بَنِي جنسه.» واستلهم لايل نفسه أعمال أوجستان دي كاندول الذي كتب في عام ١٨٢٠ يقول: «جميع النباتات في أي بلد، وفي مكانٍ بعينه، في حالة حرب». ووصف الشاعر الإنجليزي ألفريد تينيسون هذه الرؤية الخاصة بالطبيعة في بيت شعري (من قصيدة بعنوان «للذكرى»، عام ١٨٥٠) يقول فيه: «حمراء الناب والمخلب». تنبأت نظريات ورؤى لايل الثاقبة في مجال علم البيئة، التي غفل عنها علماء البيئة المُعاصرون إلى حدٍّ كبير، بعددٍ من القضايا التي تحظى بالاهتمام حاليًّا في أبحاث علم البيئة، بما في ذلك الشلالات الغذائية الإيكولوجية المُتشعبة عَبْر المجتمعات البيولوجية.

كذلك تأثَّرَ داروين كثيرًا بكتابات مالتوس (١٧٩٨) عن النمو السكاني لدى البشر. فقد افترض مالتوس أن النمو المُتسارع للسكان من شأنه أن يستنفد الموارد سريعًا، الأمر الذي من شأنه أن يُثير المنافسة بين الأفراد وهي الفكرة الكامنة في صميم نظرية داروين عن الانتخاب الطبيعي.

المجتمعات الإيكولوجية

بدأ التعرُّف على النباتات والحيوانات بوصفها تنتمي إلى مجتمعاتٍ متمايزة. ففي عام ١٨٢٥، أشار عالِم الطبيعة أودولف دورو دي لا مال (١٧٧٧–١٨٥٧) إلى مجتمعات أنواع النباتات المُتزامنة بكلمة societé؛ أي «المجتمع» باللغة الفرنسية. وعلى نطاقات جغرافية واسعة، أدرك أوجستان دي كاندول في كتابه الضخم وغير المكتمِل «التاريخ الطبيعي للمملكة النباتية» أن النباتات لها مناطق جغرافية مُعيَّنة، أرجعها إلى درجة الحرارة. واستغلَّ فلاديمير كوبن هذه الفكرة في تصنيفه المناخي، الذي ربط بوضوحٍ بين سقوط الأمطار الموسمية وأنماط درجات الحرارة وبين التكوينات النباتية مثل الغابات الاستوائية المطيرة.

وفي عام ١٨٧٧، وصف كارل موبيوس التفاعُلات التفصيلية بين مختلف الكائنات الحية في مَربَى للمَحار بخليج كيل، فيما أطلق عليه مصطلح «الجماعة الحيوية»، وتعني تجمُّع النباتات والحيوانات وتفاعلاتها في مكانٍ وتوقيت مُعيَّن. وأدرك إرنست هِيكِل، بعدما استوعب رسالة داروين الأساسية، ضرورة دراسة الشبكة المُتداخلة من الروابط بين الكائنات الحية والبيئات الطبيعية والأحيائية إذا أردْنا تقييم السِّمات التي تقف وراء نجاح هذه الكائنات. وفي عام ١٨٦٦، افترض هِيكِل تخصُّصَين فرعيَّين لعلم التطور — وهما علم البيئة وعلم الجغرافيا الحيوية — الذي أَطلق عليه «علم توزيع الكائنات الحية» (كورولوجي). ففي محاضرته الافتتاحية بجامعة بينَّا في عام ١٨٦٩، قدَّم هِيكِل تعريفًا بليغًا لعلم البيئة مدمجًا داخل الفكر التطوري يقول فيه: «نقصد بعلم البيئة مجموعة المعارف المُتعلِّقة باقتصاد الطبيعة؛ أي التحقيق في العلاقات الكلية للحيوانات بكلٍّ من بيئتها غير العضوية والعضوية ... باختصار: علم البيئة هو دراسة كل هذه العلاقات المتداخِلة المعقَّدة التي أشار إليها داروين باعتبارها ظروفًا وعوامل مؤثرة على الصراع من أجل البقاء.» مرَّ عقدان آخَران من الزمن قبل أن يصير مصطلح «علم البيئة» (الإيكولوجيا) قَيْد الاستخدام. وجاء الظهور الأول للمصطلح كعنوان كتاب في عام ١٨٨٥، وذلك في كتاب هانس رايتر الذي نُشر تحت عنوان: «دراسة لتركيبة فسيولوجية لفَهْم إيكولوجيا النباتات».

ظلَّ عِلم البيئة وصفيًّا إلى حدٍّ كبير إلى أن بدأ يُوجين وارمنج يدرس كيفية تأثير العوامل اللاأحيائية، مثل الجفاف والفيضانات والنار والملح والبرد، وكذلك الحيوانات العاشبة، على تركيب المُجتمعات الأحيائية. ومن خلال دراسة مورفولوجيا النبات، بدأ

وارمنج يُفسِّر كيف تكيَّفَت الأنواع مع الظروف البيئية التي وُجِدت فيها، والسبب وراء أن الأنواع التي لا تربط بينها أي صلة وشغلت موائل ذات ظروف لا أحيائية مشابهة تتَّسِم عادةً بالسمات نفسها. واستمدَّ ملاحظاته على نطاقٍ واسع، من موطنه بالدنمارك وصولًا إلى شمال النرويج وجرينلاند، ومن منطقة سيرادو البرازيلية. كان لكتاب وارمنج المنشور عام ١٨٩٥ باللغة الدنماركية بعنوان «المجتمعات النباتية: السمات الأساسية لجغرافيا النباتات الإيكولوجية» (والذي تُرجِم إلى اللغة الإنجليزية عام ١٩٠٩ تحت عنوان «إيكولوجيا النباتات») تأثيرٌ عميق على علماء بيئة لاحِقِين من بريطانيا وأمريكا الشمالية، من بينهم آرثر تانسلي وهنري كاولز وفريدريك كليمنتس. تأثر العالِم الأمريكي هنري كاولز بمحاضرات مستندة إلى كتاب وارمنج، لدرجة أنه علَّم نَفْسه اللغة الدنماركية ليقرأ الكتاب بنصِّه الأصلي قبل أن تُتاح ترجمته. واشتُهر كاولز فيما بعد ببحثه (المنشور عام ١٩١١) عن التطور التعاقُبي للمجتمعات الإيكولوجية (التعاقب البيئي) في أنظمة الكثبان الرملية بشمال إنديانا. واعترف كاولز بالأبحاث السابقة لأودولف دورو دي لا مال ذات الصلة، وكذلك أبحاث عالِم النباتات الفنلندي راجنار هولت الذي نشر أول دراسةٍ شاملة لمفهوم التعاقُب البيئي عام ١٨٨١، مُعترفًا بأن الأنواع النباتية البدائية المستوطنة تُكوِّن مجتمعًا نباتيًّا «أصليًّا»، يحلُّ محلَّه تدريجيًّا عدد أصغر من الأنواع في مُجتمعات أكثر استقرارًا.

وفي النصف الأول من القرن العشرين، هيمنت نظرية الذروة التي وضعها كليمنتس، عن تطور المجتمع النباتي، على الفكر الإيكولوجي. واستنادًا إلى ملاحظاته عن نباتات البراري في نبراسكا وغرب الولايات المتحدة، قدَّم كليمنتس فكرة «التعاقب»، التي تتطوَّر فيها المجتمعات النباتية في سلسلةٍ من المراحل الاتجاهية القابلة للتنبؤ، وصولًا إلى «حالة الذروة» المستقرة الأنسب للظروف المحلية. وفي كتابه «تعاقُب النبات» (عام ١٩١٦)، ذهب كليمنتس إلى أن ثمَّة مجموعاتٍ مُعيَّنة من الأنواع النباتية ارتبطت دومًا بعضها ببعض. فقد اعتمدت الأنواع على المجموعة، واعتمدت المجموعة على الأنواع المكوِّنة لها، بنفس الطريقة التي يعتمد بها الحيوان على أعضائه اعتمادًا متبادلًا. تعرض منهج كليمنتس القائم على اعتبار المجتمع وحدة مستقلة لانتقادٍ من جانب هنري جليسون الذي اعتبر النباتات مجموعةً متصلة، وليست وحدةً منفردة، ذات تجمُّعات تصادفية لا أكثر. وبذا، أعطى «مفهومه الفرداني لعلم البيئة» وزنًا أكبر بكثيرٍ لسمات الأنواع الفردية كونها المُحدِّدات الرئيسة لبِنية المجتمع؛ إذ إن التجمُّعات النباتية أقل تحديدًا وتنظيمًا مما تفرضه نظرية كليمنتس.

بينما أصبحت الآراء والنظريات الفردانية تُهيمن على علم البيئة الحديث، تظلُّ التصنيفات الوصفية للتجمُّعات النباتية ذات فائدة. وأصبح وضع خريطة لأنواع النباتات عَبْر بريطانيا العُظمى، وهي الفكرة التي أيَّدَها آرثر تانسلي بين علماء آخَرين، غاية مهمة للدراسات الإيكولوجية في النصف الأول من القرن العشرين. وهو ما قاد في النهاية إلى التصنيف الحالي البريطاني الوطني للنباتات، وهو وصف وتصنيف شامل لـ ٢٨٦ مجتمعًا نباتيًّا عَبْر ١٢ نوعًا نباتيًّا رئيسًا، يتنوَّع ما بين الغابات، وصولًا إلى الأراضي العُشبية والأراضي الرطبة والمجتمعات الساحلية والمروج. ويُقدِّم التصنيف البريطاني الوطني للنباتات معيارًا مقبولًا على نطاقٍ واسع لفهم التجمُّعات النباتية عَبْر بريطانيا العظمى، ويحظى باعتراف الوكالات المعنية بإدارة الغابات والحفاظ على البيئة والوكالات الزراعية، وكذلك المنظمات الحكومية والشركات. وقد طُوِّرت الآن أنظمة لتصنيف النباتات الوطنية من جانب دولٍ كثيرة لتوفِّر أساسًا للدراسات البيئية ودراسات التنوُّع الحيوي، وتقييمات الحفاظ على البيئة، والتخطيط لإدارة النظام الإيكولوجي، وأعمال الترميم البيئي. وعلى الرغم من التعقيد المتأصِّل وعامل الصدفة اللذَين يُشكِّلان أساسًا للمجتمعات البيئية، فإن هذه التصنيفات العملية تقدِّم لغةً مشتركة لتفسير وجود المجتمعات المختلفة في منطقة ما.

فكر الأنظمة

اقتداءً بكليمنتس وجليسون، ساهم آرثر تانسلي، كما يُزعَم، في عام ١٩٣٥ في التقدُّم المفاهيمي الجوهري التالي من أجل تطوير علم البيئة. فعلى أثر تحمُّسه لكتاب وارمينج، ترأَّس تانسلي اللجنة المركزية المَعنية بفحص الغطاء النباتي البريطاني ودراسته لتنسيق الدراسات الإيكولوجية عَبْر البلاد. وبدأت تعامُلات تانسلي مع علماء البيئة الأوروبيين والأمريكيين، وكان من ضمنهم كارل شرورتر من سويسرا، وهنري كاولز وفريدريك كليمنتس من أمريكا، في إرساء قواعد علم البيئة بوصفه فرعًا معرفيًّا دوليًّا. وكان الإسهام العظيم لتانسلي هو وضع مفهوم النظام الإيكولوجي. ففي بحثٍ شهير نُشر عام ١٩٣٥ عن المفاهيم النباتية، ذهب تانسلي إلى أنه لا ينبغي التعامُل مع الكائنات الحية بمعزل عن والبيئة، وإنما باعتبارهما «نظامًا طبيعيًّا واحدًا» أو «نظامًا بيئيًّا». أدمجت الأنظمة البيئية المجتمع الأحيائي بالبيئة الطبيعية لتشكيل «كيانات قائمة بذاتها يسهل التعرف عليها»، تُمثل الوحدات الأساسية للطبيعة، وفقًا لتانسلي. كان مفهوم كليمنتس عن المجتمع

المُستقل للكائنات الحية — وفقًا لحسابات تانسلي — منقوصًا؛ نظرًا لعدم تضمين وسائل نقل الطاقة والمواد بين الكائنات الحية وبعضها وبين الكائنات الحية وبيئتها. تخطَّى تأثير تانسلي النطاق الإيكولوجي البريطاني إلى حدٍّ كبير جدًّا، ولكنه يحظى أيضًا بتقديرٍ كبير للغاية في المملكة المتحدة من خلال دوره في تأسيس الجمعية البيئية البريطانية في عام ١٩١٣ باعتبارها أول جمعيةٍ مهنية لعلماء البيئة. وكان تانسلي أول رئيس لها.

في البداية، اجتذب مفهوم النظام البيئي أو الإيكولوجي رواجًا ضئيلًا. فطوَّر ريموند ليندمان المفهوم من خلال تركيز الانتباه على تدفُّقات الطاقة عَبْر المستويات الغذائية أو أقسام الأنظمة الإيكولوجية. ولاحظ أن جزءًا صغيرًا فقط من الطاقة العضوية ينتقل من مستوًى غذائي إلى آخَر، مع فقدان نحو ٩٠ في المائة من الطاقة المُستهلَكة من خلال التنفُّس أو الهضم غير المُكتمل. ويفسر «قانون العشرة في المائة» هذا ملاحظة تشارلز إلتون الخاصة بانخفاض أعداد الكائنات الحية أو كُتلتها الحيوية عند المستويات الغذائية الأعلى. ومما لا شك فيه أن ليندمان كان سيُبلوِر هذه الأفكار بصورة أكبر لولا وفاته المبكرة عن عمر يُناهز ٢٧ عامًا فقط.

بدأ مفهوم النظام الإيكولوجي يجتذِب رواجًا وقبولًا أوسَع عندما ذهب بول ريتشاردز في عام ١٩٥٢ إلى أنه «من الأفضل اعتبار التربة والغطاء النباتي والحياة الحيوانية والمناخ والصخور الأم مُكوِّناتٍ لنظام واحد، ألَا وهو النظام الإيكولوجي.» كما اعترف علماء بيئة آخَرون مثل يوجين أودوم وروبرت ويتيكر بأن الأنظمة الإيكولوجية بمنزلة وحدات تنظيمية أساسية تشمل علاقات ترابُطية متبادلة وسلاسل غذائية وعمليات طبيعية ومسارات تنظيمية. وبدءوا يُفسِّرون الأنظمة الإيكولوجية من خلال سمات، مثل تدفُّقات الطاقة، والإنتاجية، والديناميات، وتغيُّر الأعداد، والاضطرابات التي تتجاوز مستوى الأفراد أو الأنواع. وبدأت الاستعانة بالنمذجة الرياضية لمُحاكاة الأنظمة الإيكولوجية، بينما تزايدت المعالجة التجريبية للأنظمة الإيكولوجية من أجل فَهْم العلاقات السببية الكامنة وراء عمليات النظام الإيكولوجي ونتائجها. وساعدت هذه المناهج في تحويل دفَّة علم البيئة من علمٍ وصفي بدرجة كبيرة إلى علمٍ تنبُّئِي أكثر.

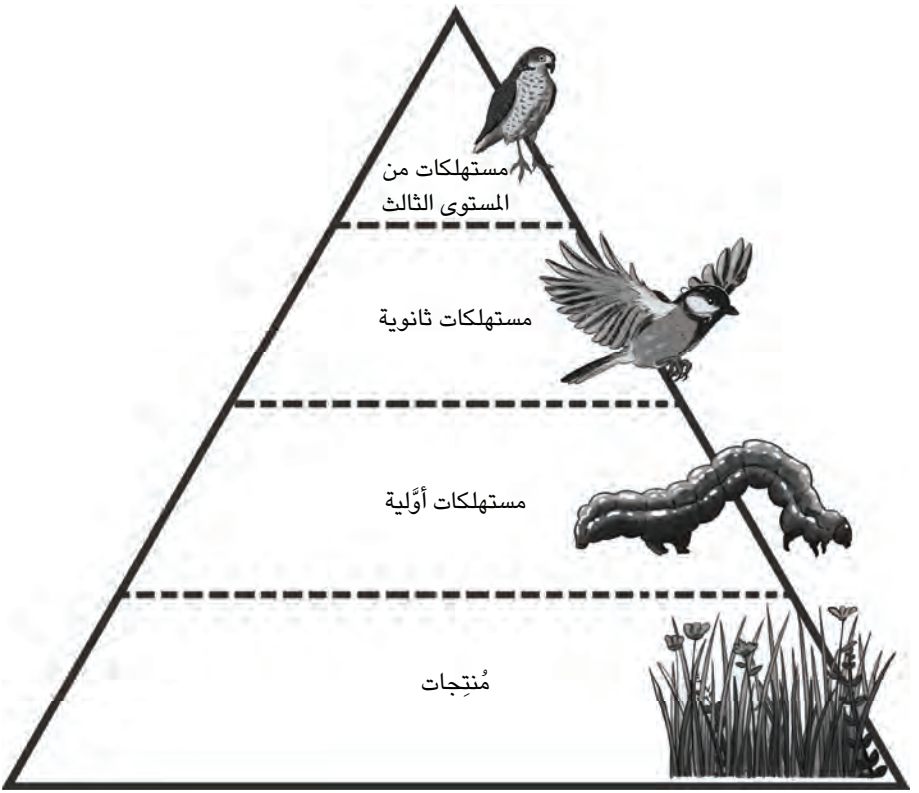
علم البيئة الحيواني والمكمن البيئي عند إلتون

في حين أنَّ قدرًا كبيرًا من علم البيئة المُبكِّر قد نشأ من دراسة توزيعات الأنواع والمجتمعات النباتية وتجمعاتها، كان علم البيئة الحيواني يسلك مسارًا مختلفًا وموازيًا بعض الشيء.

يدين علم البيئة الحيواني بتطوُّره المُبكِّر إلى تشارلز إلتون. غمر إلتون نفسه في التاريخ الطبيعي، مُستلهمًا ذلك من أخيه الأكبر جيفري. وعلى الأرجح لم تُتَح له دراسة قدرٍ كبير من التاريخ الطبيعي في مدينة مانشستر الصناعية، مسقط رأسه، في مطلع القرن العشرين؛ إلا أن جيفري وتشارلز كانا محظوظَين بالاستمتاع بالإجازات العائلية بمنطقة مالفيرن هيلز الريفية بمقاطعة ويستشير. حوَّل إلتون اهتماماته في مرحلة الطفولة إلى مسارٍ مِهني مُثمِر في مجال علم البيئة، مبتدئًا إيَّاه بمسحٍ لحيوانات جزيرة سبيتسبرجن في عام ١٩٢١. وأثناء رحلة العودة من بعثة استكشافية إلى القطب الشمالي في عام ١٩٢٣، قرأ إلتون كتاب عالِم الأحياء النرويجي روبرت كوليت «ثدييات النرويج»، الذي جاء فيه وصف للزيادات المهولة لجماعات حيوان اللاموس وعمليات هجرته وحالات الغرق الجماعي. ولاحظ إلتون أن التقلُّبات الحادة في أعداد الجماعات هي سِمة مُميزة للحيوانات في القطب الشمالي. وقد تعارَضَت هذه الفكرة مع الافتراض السائد بأن الجماعات تظلُّ في حالة توازن. علاوةً على ذلك، استطاع فَهْم السبب وراء تذبذُب أعداد الجماعات في الكشف عن الآليات التي تُنظم الجماعات. وفي عام ١٩٢٥، قامت شركة «هدسون باي» بتعيين إلتون للعمل على دراسة التذبذبات في أعداد أرانب حذاء الثلج البرية وحيوان الوشق الكندي؛ نظرًا لارتباط هذه الحيوانات بنشاط الشركة في جمع الفراء. وظلَّت دراساته عن تذبذُب أعداد جماعات الوشق الكندي والأرانب البرية منذ ذلك الحين عنصرًا أساسيًّا في المقرَّرات الجامعية الخاصة بعلم البيئة.

وضع كتاب إلتون بعنوان «علم البيئة الحيوانية» (١٩٢٧) أُسس هذا الفرع العلمي. وأوضح كيف أن عددًا قليلًا من المبادئ يتحكَّم في بِنية الجماعات والمجتمعات الحيوانية ووظيفتها. وشمل هذا ترتيبها في السلاسل الغذائية التي تتَّخِذ شكل «هرم الأعداد»؛ حيث تدعم الكتلة الحيوية الكبيرة من النباتات كتلةً حيوية أصغر من الحيوانات العاشبة، التي بدورها تدعم كتلًا أصغر من الحيوانات المفترسة (شكل ٢-٢).

قدَّم كتاب «علم البيئة الحيواني» مفهوم «المكمن البيئي»، واصفًا كيفية تكيُّف الحيوانات مع مُجتمعها والتقيُّد به، لا سيَّما فيما يتعلَّق بتوافُر الغذاء وتواجُد الحيوانات المفترسة. والمكمن في اللغة الدارجة أشبَه بمأوًى، مساحة صغيرة مُنزوية في مَبنًى أو في زاوية غرفة. والاستقرار في مكمن يوحي بشعور من الأمان والراحة. وقد استعان إلتون بهذا المُصطلح في علم البيئة، من خلال تطبيقه على الظروف والموارد الخاصة التي يتكيَّف وفقًا لها نوعٌ ما، وحيث يُمكن لهذا النوع أن ينمو ويتكاثر. ووصف تشارلز إلتون المكمن



شكل ٢-٢: الهرم الغذائي، مُمثلًا بانتقال الطاقة من النباتات، باعتبارها مُنتِجات أساسية، إلى الحيوانات العاشبة والحيوانات المفترسة. ينتقل نحو ١٠ في المائة من الطاقة المتاحة عند مستوًى ما إلى المستوى التالي، مما يُسفر عن تراجُع الأعداد الوفيرة أو الكتلة الحيوية عند المستويات الغذائية الأعلى.

البيئي باعتباره نمط حياة لكائن حي «بالطريقة نفسها التي نتحدث بها عن الحِرف أو الوظائف أو المِهن في المجتمع البشري.»

أصرَّ إلتون على اعتبار علم البيئة علمًا ميدانيًّا، أو كما سمَّاه «تاريخ طبيعي علمي»؛ حيث تكشف المراقبة الدقيقة للحيوانات في موائِلها الطبيعية النقاب عن قوانين الطبيعة. فيمكن للملاحظات المدوَّنة عن تغذية أفراد الحيوانات أن تُفشي رؤًى بخصوص حجم الجماعة وبِنية المجتمع الحيواني داخل إطار مفاهيم مثل هرم الأعداد والمكمن البيئي.

وقد قدم كتاب «علم البيئة الحيواني» هيكلًا تنظيميًّا لدراسة المجتمعات الحيوانية قُدِّر له أن يكون ذا تأثير مُستمر.

المنافسة والتعايش المشترك

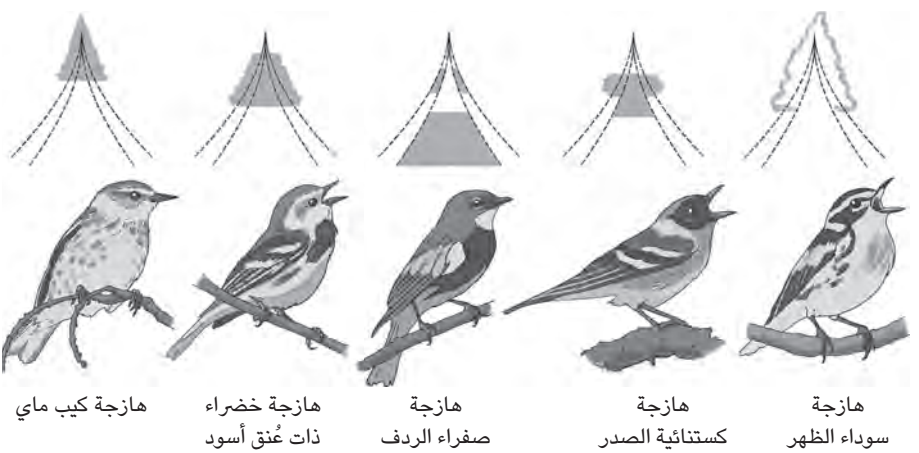
في عام ١٨٨٩، أسَّسَت إيميلي ويليامسون الجمعية الملكية لحماية الطيور، بهدف التصدي لذبح الطيور من أجل تصنيع قُبعات الزينة ذات الريش، كما كانت الموضة في تلك الأيام. وبهذا أذِنَت الجمعية الملكية لحماية الطيور بعصرٍ جديد لمراقبة الطيور، يُضاهيها في أمريكا الشمالية خطوة تأسيس جمعية أودوبون الوطنية. كان روبرت ماك آرثر واحدًا من مُراقبي الطيور الكثيرين جدًّا. وإلى جانب مراقبة الطيور، كان ماك آرثر عالِمًا بيئيًّا رائعًا. ووصفت أطروحته لنيل الدكتوراه في عام ١٩٥٧ كيف تختلف خمسة أنواع من الطيور الهازجة الآكلة للحشرات في سلوكها للبحث عن الطعام في غابات التنوب بأمريكا الشمالية. ولكي نفهم السبب وراء قيامها بهذا، ولماذا يُمثِّل هذا أهمية من الناحية الإيكولوجية، علينا أن نتطرَّق أولًا إلى تجربة كلاسيكية في عِلم البيئة أجراها عالِم الأحياء الروسي جورجي جاوزي قبل عقدَين من الزمن.

في عام ١٩٣٢، نشر جورج جاوزي بحثًا بعنوان «دراسات تجريبية عن الصراع من أجل البقاء». وصف هذا البحث ذو العنوان الرائع مجموعة من التجارب البسيطة والدقيقة في آنٍ واحد، والتي راقبَ فيها جاوزي مجموعات من نوعَين على صلةٍ وثيقة بعضهما ببعض من «البراميسيوم»، وهي كائنات حية هدبية وحيدة الخلية تتغذى على البكتيريا والخميرة. انتعش كلا النوعَين عندما نموَا في ظروف مُتماثلة في حاويات منفصلة. ولكن عندما نما كِلا النوعَين معًا، نما أحدهما بسرعة على حساب النوع الآخَر، الذي أُزيل من الحاوية في نهاية المطاف. وبيَّن جاوزي أنه لا يمكن للنوعَين التعايُش معًا؛ إذ إنهما يحتاجان إلى الموارد المحدودة نفسها، ومن ثَم يستبعد المنافس الأكفأ النوع الآخَر. وصِيغ هذا المفهوم لاحقًا تحت اسم «مبدأ الإقصاء التنافسي». كان لهذا المبدأ شواهد سابقة. ففي عام ١٩٠٤، وصف جوزيف جرينيل كيف يختلف نوعان حتمًا في بعض السمات المتعلِّقة بخصوبتهما لكي يتعايشا معًا، غير أن الأمر استلزم تأكيد جاوزي عن طريق التجارب لغرس المفهوم داخل علم البيئة السائد.

إن التعايش المُشترك يستلزم تجنُّب المنافسة. كرَّر جاوزي تجربته مع مزيجٍ مختلف من زوج «البراميسيوم». وفي هذه التجربة، بقِي كِلا النوعَين على قيد الحياة. وكشف

الفحص عن كثب أن أحد نوعَي «البراميسيوم» كان يتغذَّى عادةً على البكتيريا العالقة في وسط المزرعة، بينما تغذَّى النوع الآخَر على الخميرة الموجودة في قاع أنبوب المزرعة. ومن خلال التخصُّص في موارد مختلفة، أو من خلال تطوير استراتيجيات مختلفة للظفر بالموارد، استطاع كِلا نوعَي «البراميسيوم» تجنُّب المنافسة، ومن ثَم التعايش معًا في الموئل نفسه.

وقد بدا أن أنواع طيور الهازجة الخمسة الخاصة بروبرت ماك آرثر تتعارض مع مبدأ الإقصاء التنافسي. ففي موسم التزاوج، تتواجَد هذه الطيور الشديدة التشابُه معًا في غابات التنوب؛ حيث تتغذَّى على الفرائس الحشرية ذاتها. ومن خلال المُراقبة الدءوبة، اكتشف ماك آرثر أن كل نوعٍ من هذه الطيور يتغذَّى في موضعٍ مختلف من الشجرة، ويتبنَّى سلوكًا مختلفًا للبحث عن الطعام، مما يُسفِر عن اختيار فريسةٍ مختلفة (شكل ٢-٣). ومن خلال فصل المواضع وسلوكيات التغذية، تُميز هذه الأنواع الخمسة المختلفة بين موارد التغذية، وهو ما يُمكِّنها من تقليل المنافسة إلى أدنى حد، مما يسمح لها بالتعايش معًا.



شكل ٢-٣: تقسيم الموارد بين الطيور الهازجة بأنواعها الخمسة في غابات التنُّوب الأبيض الموجودة في ولاية ماين بأمريكا الشمالية. تُبيِّن الصور الإيضاحية المواضع على أشجار التنوب؛ حيث تقوم الطيور بمُعظم عمليات البحث عن الغذاء.

وتكشف مراقبة الطيور الساحلية على أحد الشواطئ عن مثال آخَر لتبايُن المكمن البيئي؛ حيث تستعين أنواع الطيور باستراتيجيات تغذية مختلفة لاستهداف فرائس مختلفة في أجزاء مختلفة من الشاطئ. فعند الجزء العلوي من الشاطئ تجوب طيور الزقزاق المناطق الرملية ذهابًا وإيابًا لتتغذَّى على المِفصليات الصغيرة، في حين أن طيور قُبَّرة الماء تقلب المحار وتُنقب في الأعشاب البحرية بحثًا عن القشريات. وعلى الجزء السُّفلي من الشاطئ، تبحث طيور الكراون الطويلة المنقار عن السلطعون والروبيان المُقيمة في الجحور، في حين تنتزع طيورُ صائد المحار ذي المنقار الغليظ المحارَ المفتوح وبلح البحر عند انحسار المد. وعند الجزء الأوسط من الشاطئ بين هاتَين المجموعتَين، تلتقِط طيور الطيطوي الديدان الصغيرة ومِفصليات الأرجل التي يقذفها المد المُنحسِر. ومع تجنُّب المنافسة بهذه الطريقة، يُصبح التعايش المشترك مُمكنًا.

قدَّم إيفلين هاتشينسون، في بحثه بعنوان «ملاحظات ختامية» (١٩٥٧)، وهو العنوان الأكثر غموضًا لبحثٍ في تاريخ العلوم البيئية على الأرجح، المكمن البيئي الخاص بالأنواع في إطار مفاهيمي بوصفه «مساحة مُحيطية» ذات أبعاد متعدِّدة؛ حيث يُمثِّل كل بُعد من هذه الأبعاد موردًا. ومن هذا المنطلَق، يمثل توافُر المياه، أو درجة الحرارة، أو الضوء بضعة أمثلة فقط على الأبعاد الكثيرة المُختلفة للمَكمَن البيئي، والتي تُحدِّد مجتمعةً المكان الذي يمكن أن يعيش فيه نوعٌ ما وينمو ويتكاثر. تمنع الحيوانات المفترسة والمنافسون الأنواع الأخرى من شغل النطاق الكامل لمساحة مَكمنها البيئي. وقد يُخفق نوعٌ ما في شَغل مُجمل مساحة مَكمَنه الجغرافي المحتمَل؛ لعجزه عن الانتشار في جميع المناطق الصالحة للعيش واستعمارها. وعلى هذا الأساس، يُفرِّق هاتشينسون بين المَكمَن «الأساسي»، الذي يصف الاحتمالات الكاملة لظهور نوع مُعيَّن، ومَكمَنه «الفعلي»، أي مجموعة الظروف الأكثر محدودية التي يبقى هذا النوع على قيد الحياة في ظِلها بالفعل، مع الوضع المنافسين في الاعتبار، وكذلك الحيوانات المفترسة، والعوامل العارضة والطارئة التي قد تطول الانتشار.

ويُطالب علماء البيئة بتأكيد قائم على التجارب على أن السلوكيات المرصودة تتوافق مع النظريات المُفسِّرة. ونحن مَدينون بواحدةٍ من أفضل دراسات المَكمَن البيئي إلى «السيدة بلانت الاسكتلندية صاحبة الفندق التي كانت سخية بتوفير إقامةٍ ومبيت بشروط متساهلة» لعالِم البيئة الأمريكي الشاب جوزيف كونيل في الخمسينيات من القرن العشرين؛ لكي يتسنَّى له تمديد فترة إقامته في جزيرة كامبري بمنطقة فيرث أوف كلايد (من الواضح أن حساءها الرائع ساعَدَ في التصدي لتقلُّبات الطقس الاسكتلندي). وبعد مرور عامَين

بلا جدوى في محاولة الإمساك بالأرانب في تلال بيركلي بكاليفورنيا، أقسمَ كونيل على ألَّا يعمل مطلقًا على أي كائنٍ يتعدَّى حجمه طول إصبع إبهامه، ومن ثَم صرف انتباهه إلى محار البرنقيل. وعلى جزيرة كامبري، لاحظ أن نوعَين من البرنقيل يتواجدان عادةً على طول الساحل، وهما: «سيميبالانوس» الكبير الحجم الموجود عند الجزء السُّفلي من الشاطئ، بينما «شتامالوس» الأصغر حجمًا يقتصر وجوده على مناطق المد والجزر المُعرَّضة دومًا لانحسار الماء عنها بفعل انحسار تيارات المد. ومن خلال استبعاد «سيميبالانوس» من التجربة، اكتشف كونيل أن يرقات محار «شتامالوس» تنمو وتترعرع في المناطق الساحلية السُّفلية. غير أن محار برنقيل «سيميبالانوس» بطبيعة الحال يستبعد البرنقيل الأصغر من خلال خنقه أو قطع الجزء السُّفلي منه. ويعيش محار «شتامالوس» في الجزء العلوي من الشاطئ لأن محار «سيميبالانوس» يعجز عن تحمُّل فترات مُمتدة من الجفاف عندما يتعرَّض الشاطئ إلى انحسار المد. وبحث جوزيف كونيل غاية في الأهمية؛ لأنه أوضح من خلال الاستعانة بالتجارب الميدانية كيف أن المَكمَن البيئي لنوعٍ ما مُقيد بمزيج من العوامل الأحيائية واللاأحيائية.

هل توازن الطبيعة حقيقة قائمة؟

إن الاستقرار أو النظام الظاهري فيما يتعلَّق بتنظيم العالم البيولوجي هي فكرة تعود أصولها إلى المؤرِّخ هيرودوت، وإلى فترةٍ سابقة على ذلك من تاريخ الفلسفة الشرقية. تبدو الطبيعة على السطح في حالة اتزانٍ بشكل أو آخَر. غير أن أعداد الجماعات تتذبذب رغم أنها تبقى على قيد الحياة فتراتٍ زمنية طويلة. ويبدو أن الأنظمة الإيكولوجية تستمر حتى عندما تتعرَّض إلى اضطرابات دورية، وتُظهر نزعة مُتأصِّلة، أو مرونة، للتعافي بعد وقوع الاضطراب. وفي حين أن توازن الطبيعة مُحمَّل بالدلالات الأسطورية والثقافية، وفي حين أن الأنظمة الإيكولوجية تبدو مستقرةً بالقدْر الكافي من منظور المُراقب الهاوي، فإن علم البيئة بوصفه علمًا حديثًا يتطلَّب أدلةً تجريبية تخضع لإطار نظري إيكولوجي، وتساهم في تطوير هذا الإطار.

ذهب كتاب إلتون الصادر عام ١٩٥٨ بعنوان «إيكولوجيا الغزوات لدى الحيوانات والنباتات» إلى أن المجتمعات البسيطة أقل استقرارًا من المجتمعات المُعقَّدة. ومن أجل دعم هذه الفكرة، أشار إلتون إلى أن عمليات تفشِّي الآفات تحدُث على نحوٍ أكثر تواتُرًا في الأنظمة الزراعية البسيطة مقارنةً بالأنظمة الطبيعية الأكثر تعقيدًا، أو في الغابات المعتدلة

البسيطة أكثر من الغابات الاستوائية المُعقَّدة والغنية بالأنواع. وعلى الرغم من أن الاستقرار الإيكولوجي وارتباطه بمدى تعقيد النظام الإيكولوجي خضع لكثيرٍ من النقاشات منذ ذلك الحين، فقد كان الإسهام الخالد لإلتون في علم البيئة، من بين إسهاماتٍ أخرى كثيرة، هو فكرَه الموجَّه نحو المجتمعات، وما تشمله من تفاعلات بين كثيرٍ من الأنواع على مدى نطاقات زمنية ومكانية كبيرة.

فسَّر روبرت ماك آرثر، الذي كتبَ في خمسينيات القرن الماضي في الفترة نَفْسها التي كتب فيها إلتون، الاستقرارَ من منظور تذبذبات أعداد الجماعات الخاصة بالأنواع بعضها بالنسبة إلى بعض. وذهب إلى أن الاستقرار يحدث عندما يحافظ نوع داخل المجتمع على أعداد ثابتة، برغم التقلُّبات في أعداد الأنواع الأخرى. والأرجح أن هذا يحدُث عندما يتفاعل نوع مع أنواع أخرى كثيرة، كما يحدث عندما يتغذَّى حيوان مفترس على أنواعٍ كثيرة من الفرائس، بحيث يكون تأثير هذا التراجُع الكبير في نوعٍ واحد محدودًا على الأنواع الأخرى.

ويبدو أن عددًا كبيرًا من التفاعُلات الضعيفة تعمل على استقرار التقلُّبات في الشبكات الغذائية الافتراضية، لكن الشبكات الغذائية الحقيقية تتَّصف بسِمات كثيرة أخرى يبدو أنها تتعارَض مع ظهور علاقات واضحة بين الاستقرار والتعقيد.

وبحلولِ منتصف القرن العشرين، بدأ الفكر الإيكولوجي يتضافر حول ثلاثة محاور رئيسة، كلٌّ منها مرتبط بالاستقرار الظاهري واستمرار الأنواع والمجتمعات والأنظمة الإيكولوجية. سعى المحور الأول إلى فَهْم كيفية تنظيم الأعداد في الطبيعة. وسعى المحور الثاني إلى فَهْم كيفية تنظيم المجتمعات، لا سيَّما من حيث العمليات التعاقُبية والشبكات الغذائية والتفاعُلات ما بين الأنواع. ويستكشف المحور الثالث كيف تنتقل الطاقة عَبْر المستويات الغذائية أو عَبْر حدود النظام الإيكولوجي. وقد قدَّمت هذه الموضوعات العامة إطارًا معرفيًّا فضفاضًا؛ ولكن سرعان ما نجح علم البيئة وتشعَّب إلى عدة مجالات ذات أهمية، بعضها يُركِّز على الفهم الأساسي للعمليات الإيكولوجية وطبيعة الاستقرار، والبعض الآخَر يؤكِّد كيفية وقوف هذه العمليات وراء الحفاظ على البيئة والمستقبل المُستدام ورفاهية الإنسان.

وفي سبعينيات القرن العشرين طبَّق روبرت ماي نماذج رياضية لا خطية ومبدأ الفوضى الحتمية على عِلم البيئة، من أجل تناول جوهر التعقيد والاستقرار الإيكولوجي. وأوضح أن الأنظمة الإيكولوجية المُعقَّدة أقل عُرضةً للاستقرار من الأنظمة الإيكولوجية البسيطة، على عكس الاعتقاد السائد. وعلى الرغم من أن النقاشات الخاصة بارتباط

الاستقرار بالتعقيد لا تزال غير محسومة، فإن المفاهيم والنماذج اللاخطية تُمثل أهمية محورية بالِغة للفكر الإيكولوجي الآن، وتربط الأبحاث الخاصة بطبيعة الاستقرار بتلك الأبحاث المتعلِّقة بمستقبلنا المستدام. ويحذِّر علماء البيئة من عتبات التغيُّر ونقاط التحول عند تعرُّض الأنظمة الطبيعية إلى تغيرات مفاجئة وجذرية في الشكل والوظيفة، عادةً ما تكون مدفوعة بالتغيرات البيئية أو فقدان التنوُّع الحيوي الذي تتسبَّب فيه الأنشطة البشرية. وفهم المُحفِّزات والمُسبِّبات الضمنية لنقاط التحول، على الأقل بما يكفي للتنبؤ بها، هو أحد أهم التحديات الحالية التي تواجِهُ علم البيئة.

الفصل الثالث

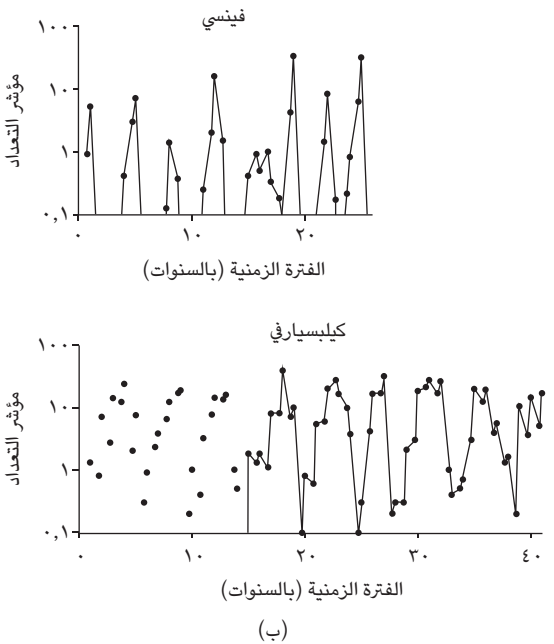
الجماعات

الزيادات المهولة في أعداد اللاموس

يُقال إن حيوان اللاموس يميل إلى الإقدام على الانتحار الجماعي. تزداد أعداد هذه القوارض الصغيرة التي تعيش في منطقة التندرا القطبية الشمالية زيادة مَهولة كل بضع سنوات، لتنخفض مرَّة أخرى انخفاضًا حادًّا في غضون أشهر غالبًا (شكل ٣-١). وعندما تكون الظروف مواتية، تصِل حيوانات اللاموس إلى مرحلة النضج التناسُلي في أقل من شهرَين، وتتكاثر أغلب الإناث عدة مرات خلال فصل الصيف؛ إذ تنجب الأنثى في المرَّة الواحدة صغارًا يصل عددها إلى ستة. ولا غرو أن هذه القدرة التناسلية الاستثنائية تتسبَّب في زيادةٍ مَهولة في نمو الجماعة. في أثناء هذه الفترات تتضاعف أعداد الحيوانات المفترسة، بما فيها ابن عرس والبوم الثلجي والثعلب القطبي، بسرعة، ولكن ليس بالسرعة الكافية للسيطرة على أعداد حيوانات اللاموس. إن ما يتسبَّب في تراجُع أعداد اللاموس تراجُعًا حادًّا ليس الافتراس في حدِّ ذاته؛ وإنما استنفاد طعامها. فغالبًا ما يدفع نقص الطعام حيوانات اللاموس إلى الهجرة الجماعية بحثًا عن مراعٍ أفضل، وقد أكسبها ارتفاع معدَّل الوفيات في أثناء عمليات الهجرة هذه سُمعتها الانتحارية. فحيوان اللاموس هو ضحية الافتقار إلى الحكمة وبُعد النظر، لا الرغبة في الانتحار.

وليس حيوان اللاموس وحده الذي يحظى بدورات حادة من الزيادة والانخفاض في الأعداد. فأي بستاني فطِن يجب أن يكون يقِظًا للظهور المفاجئ لحشرات المَن وفئران الحقل بأعدادٍ تُدمِّر شهورًا من العمل الشاق سريعًا. كذلك تحدث اجتياحات مفاجئة لأسراب الجراد الصحراوي في أفريقيا كما يرِد في الكتاب المقدس (مربع ١)، ويمكن أن يكون لها تداعيات اقتصادية وإنسانية خطيرة. وعلى نحوٍ مماثل، يتسبَّب انتشار

(أ)



(ب)

شكل ٣-١: (أ) حيوان اللاموس. (ب) ديناميات جماعات اللاموس في منطقة فينسي، بالنرويج، وفئران الحقل في قرية كيلبسيارفي، بفنلندا، التي تظهر حدوث موجات اجتياح بأعدادٍ كبيرة يتبعها انخفاضات حادة.

القوارض بقارة آسيا في خسائر سنوية في محصول الأرز الذي كان سيُطعم نحو ٢٠٠ مليون شخص لولا هذه الخسائر.

مربع (١): غزو الجراد

يظهر الجراد الصحراوي من موريتانيا إلى الهند، وعادةً ما يكون بأعداد قليلة. غير أن أعداده تتزايد بسرعة عقِب هطول الأمطار الغزيرة وما يتبعه من نمو النباتات الطازجة. فتتشكَّل تجمُّعات كبيرة من الجنادب اليافعة العديمة الأجنحة، والبالِغة ذات الأجنحة في غضون شهرَين أو ثلاثة، عَبْر مناطق تمتدُّ غالبًا نحو ٥ آلاف كيلومتر مربع. وإذا استمر تساقط الأمطار ينتقل الجراد إلى المناطق المتاخِمة للنباتات الطازجة ويتكاثر عَبْر عدة أجيال متعاقبة. وتُسفر الزيادة المفاجئة والضخمة في أعداد الجراد عن أسراب تجتاح مناطق بأكملها. وفي ظِل الظروف المواتية، يتطوَّر الأمر إلى حدِّ الغزو والاجتياح. وقد تصل أعداد الجراد في عمليات الغزو إلى ١٥٠ مليون جرادة لكل كيلومتر مربع، وفي اليوم الواحد يستطيع الجراد الغازي لكيلومتر مربع واحد أن يلتهِم كمية من الطعام تُوازي ما يتناوله ٣٥ ألف شخص.

وفي حين أن عمليات الانتشار أمر شائع، فإن عددًا قليلًا منها يؤدي إلى زيادات هائلة، وعددًا أقل منها يُسفر عن حالات غزو. وتتمثل الظروف التي تُتيح نموًّا استثنائيًّا للجماعة في التوافر المُستمر للطعام الطازج عَبْر مناطق كبيرة، الأمر الذي يعتمد على الأمطار الكثيفة. فقد أدَّت الأمطار الغزيرة في شرق أفريقيا في أواخر عام ٢٠١٩ إلى ظهور سِرب ضخم من الجراد في يناير عام ٢٠٢٠ دمَّر المحاصيل في الصومال وإثيوبيا وكينيا. وفي أثناء كتابتي لهذه الكلمات، في نهاية شهر يناير عام ٢٠٢٠، ثمَّة مخاوف من أن الأمطار الموسمية في شهر مارس ستُشجع نمو غطاء نباتي جديد عَبْر معظم أنحاء المنطقة. وقد يتسبَّب هذا في تضاعُف أعداد الجراد الذي يتكاثر بسرعةٍ بمعدل ٥٠٠ ضعف، قبل أن يحدَّ الطقس الجاف في يونيو من انتشاره. وحتى عام ٢٠٢٠، حدث آخر غزو كبير لأسراب الجراد بين عامَي ١٩٨٧ و١٩٨٩، في حين أثَّرَت زيادة هائلة لاحِقة في الفترة ما بين عامَي ٢٠٠٣ و٢٠٠٥ على منطقة الساحل بأكملها من السنغال وموريتانيا إلى البحر الأحمر.

يُعد الطقس والغذاء سببَين شائعَين لانتشار الجماعات. فسقوط الأمطار الغزيرة يؤدي إلى النمو الخضري وإنتاج البذور، وهو ما تتجاوب معه جماعات اللاموس أو الجراد أو الفئران. وتساهم فصول الشتاء المعتدلة وفصول الربيع الدافئة في هذا الانتشار من خلال تقليل معدل الوفيات الشتوية، وهو ما يؤدي إلى زيادةٍ في أعداد الجماعات في بداية موسم التزاوج. وكان هذا هو سبب الانتشار الهائل للفئران في أماكن متباعدة مثل كاليفورنيا وهاواي وأستراليا. وتقف فصول الشتاء المُعتدلة أيضًا وراء التفشِّي الهائل لخنفساء اللحاء التي تدمِّر مناطق شاسعة من غابات أمريكا الشمالية في الوقت الحالي.

تتَّسِم الأنواع المُتفشية بالارتفاع البالغ في «معدلات النمو الأساسية»، وهو معدَّل الزيادة الطبيعية الذي تستطيع جماعةٌ بلوغه. والسمات المُميزة لمثل هذه الأنواع هي التكاثر المُتكرر والمبكر، بالإضافة إلى إنجاب عددٍ كبير من النسل في كل دورة إنجابية. وكثيرًا ما تكون معدلات النمو الفعلي للجماعات أقلَّ بكثيرٍ من معدلات النمو الأساسية؛ إذ يَنفُق غالبية الصغار قبل بلوغ مرحلة النضج التناسُلي. ولكن إذا كانت الظروف البيئية مواتية، وأحيانًا ما تكون كذلك، سينجو عددٌ كبير من النسل ويتكاثر بدوره. ويترتب على ذلك نموٌّ سريع للجماعة، مما يؤدي إلى موجات اجتياحٍ وانتشار. وسرعان ما تفوق موجات الاجتياح الموارد المُتاحة، وفي وقتٍ قصير تتراجَع الأعداد تراجعًا حادًّا. ولهذا السبب لا يجتاحنا طوفان اللاموس.

السيطرة على المفترسات

تتمتَّع فئران الحقل — وهي نوع آخَر من القوارض القطبية الصغيرة — بدورات سكانية تتَّسِم بارتفاعاتٍ معتدلة، ومراحل مطولة لذروة الوفرة، وانخفاضات تدريجية أكثر من نظيرتها لدى حيوان اللاموس (شكل ٣-١ (ب)). في أثناء مراحل الذروة العددية للجماعة، تصِل إناث فأر الحقل إلى مرحلة البلوغ على نحوٍ أبطأ، وتتراجَع معدلات التكاثر لدَيها. وتتغذَّى فئران الحقل على الحشائش التي تتعافى وتنمو مرةً أخرى سريعًا، ومن ثَم يكون الغذاء أقل محدودية. وبينما يستنفد اللاموس إمداداته الغذائية، فإن انخفاض معدل التكاثر لدى فئران الحقل يُحافظ على ذروة الوفرة للجماعة على مدى عدة سنوات. وفي النهاية، تؤدي زيادة أعداد الجماعات المفترِسة إلى انخفاض أعداد فئران الحقل.

ذكر ألدو ليوبولد بأسلوبٍ بليغ في مقالٍ بعنوان «التفكير كجبل» (من كتاب «تقويم مقاطعة رملية»، الصادر عام ١٩٤٩) أن إقصاء الذئاب من المشهد الطبيعي أشبه بإعطاء «الرب مقصَّ تشذيبٍ جديدًا، وحجْر جميع الأدوار الأخرى عليه.» تمثَّلت حُجته في أنه بعد إقصاء الذئاب، سيتضاعف عدد الغزلان إلى الحدِّ الذي يجعلها ترعى وسط جميع الشُّجيرات والشتلات «لتصل أولًا إلى الذبول، ثم الموت.» واستعان المَعنيون بإدارة الحياة البرية بهذه الحُجة للقول بأن الحاجة تدعو إلى وجود الذئاب والوشق وأُسود الجبال وغيرها من الحيوانات المفترسة الكبيرة من أجل السيطرة على الحيوانات الرعوية بهدف تحقيق منفعةٍ أكبر للنظام البيئي (مربع ٢).

مربع (٢): مشاهد طبيعية للخوف

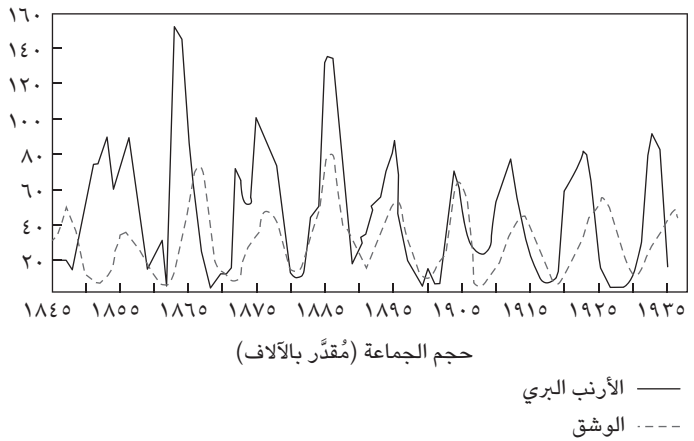
إن مصادفة ذئب برِّي أو دبٍّ برِّي، بالنسبة إلى أولئك الذين اعتادوا بيئةً آمنة وهادئة منًّا، يُثير بداخلهم شعورًا بدائيًّا بالخوف. فنتحسَّس خطواتنا التالية في البرية بمزيدٍ من الحذَر، ونتقدَّم بيقظةٍ متزايدة نحو البيئة المُحيطة بنا. وأغلَب الظنِّ أن الشعور نَفْسه ينتاب أنواع الفرائس التي تحظى دومًا برفقة مُضطربة مع حيواناتها المُفترسة. فالحيوانات العاشبة تكون أكثر حذرًا وفزعًا في وجود الحيوانات المفترسة. فآثار قدَم الحيوان المُفترس ورائحته، ودمدماته، ونظراته السريعة العارضة، كل ذلك يُثير حالةً من اليقظة والخوف لدى الفريسة. وهكذا يتشكَّل «مشهد طبيعي للخوف» في أذهان الفرائس، التي تُصنِّف الموائل والمواقع من خلال شعورها النسبي بالخطر أو الأمان.

قد يكون هذا المشهد الطبيعي للخوف، الذي ينشأ من مجرد احتمالية وجود حيوان مفترس، أكثر أهمية من الناحية الإيكولوجية من أي افتراسٍ مباشر. فبعد إعادة الذئاب مرَّة أخرى إلى حديقة يلوستون الوطنية في عام ١٩٩٥، بعد غياب دام ٦٠ عامًا، تراجعَت أعداد الأيائل المُقيمة تراجُعًا حادًّا. وكان الانخفاض يفوق إلى حدٍّ كبير ما يمكن أن يُعزى إلى الافتراس وحدَه. ولم تتمكَّن الأيائل، التي كانت تقضي المزيد من الوقت في التنقُّل والقليل من الوقت في البحث عن الطعام، من تنشئة سوى ثلث عدد صغارها. وشهدت حديقة يلوستون منذ ذلك الحين تزايدًا في عدد أشجار الصفصاف والحور، التي تحرَّرَت من ضغوط الأيائل الآكلة للعشب، وعاد ظهور القنادس مرَّةً أُخرى بعد تعافي الأشجار التي تتغذَّى عليها.

ولا يزال الجدال متواصلًا بشأن التغيرات في النظام البيئي لحديقة يلوستون التي يُمكن أن تُعزى إلى عودة الذئاب إلى المشهد الطبيعي. وثمَّة تجربة إيضاحية أقل غموضًا للمشهد الطبيعي للخوف، أُجريت على الشواطئ الصخرية لجُزر الخليج في كولومبيا البريطانية. فمن خلال الاستعانة بمُكبِّر للصوت، تعرضت حيوانات الراكون إما إلى صوت نباح الكلاب (التي تفتك بالراكون) أو صوت الفقمة (التي لا تفتك بها). عند سماع نباح الكلاب، صارت حيوانات الراكون أكثر يقظةً وقضت وقتًا أقلَّ في البحث عن الطعام عَبْر الشواطئ. وشهدت البِرَك الصخرية على طول هذه الشواطئ زياداتٍ مَهولةً في أعداد أحيائها البيئية من الأسماك والديدان والسلطعون.

غير أنه من الصعب تحديد ما إذا كانت الحيوانات المُفترسة تتحكَّم في جماعات الفرائس، أم إن جماعات الفرائس — التي يحكمها عاملٌ ما آخَر — هي التي تنظم أعداد الحيوانات المفترسة. وتكشف مجموعة من البيانات النموذجية من سجلات توريد الفراء الذي تسلمته شركة «هدسون باي»، تذبذباتٍ دورية في أعداد أرنب حذاء الثلج البرِّي والحيوان المفترس له، وهو الوشق الكندي (شكل ٣-٢). على مدار عدة سنوات، كان

(أ)



(ب)

شكل ٣-٢: (أ) الوشق الكندي وأرنب حذاء الثلج البري. (ب) دورات جماعتي أرنب حذاء الثلج البري والوشق الكندي على مدار فترة مائة عام، استنادًا إلى عدد قِطَع الفراء المُورَّدة إلى شركة هدسون باي.

يُعتقد أن الافتراس من قبل الوشق هو السبب في تراجُع الأعداد الوفيرة للأرانب البرية، وهو ما أدَّى بدوره إلى انهيار أعداد الوشق. وأتاح التحرُّر اللاحق من ضغط الافتراس للأرانب البرية زيادة عددها مرَّة أخرى، الأمر الذي تجاوبت معه جماعات الوشق، وهو ما

ابتدأ الدورة من جديد. ولكن جماعات أرنب حذاء الثلج البري تتبع دورات من الزيادات والانخفاضات الحادة على الجُزُر التي تخلو من وجود الوشق. وحاليًّا يبدو الاحتمال الأرجح أن الانخفاضات الدورية في أعداد الأرنب البري تحدُث عندما تستنفد الأعداد الكبيرة من هذه الأرانب غذاءها من النباتات. وبعد هذا الانخفاض الحاد، تتعافى النباتات ببطءٍ وتعود أعداد الأرانب البرية للتزايُد مرةً أخرى. ولعلَّ الأمر فقط أن جماعات الوشق تسير على خُطى الأرانب البرية لا أكثر.

ضوابط تنافُسية

على النقيض من اللاموس وفئران الحقل والأرانب البرية، تحافظ معظم الأنواع على أعداد مُستقرة نسبيًّا للجماعات، رغم قُدراتها المتأصِّلة على التزايُد بصورة مطردة. وفي عام ١٩٥٤، وصفها ديفيد لاك، العالم البيئي وخبير علم الأحياء التطوُّري البريطاني، كما يلي: «تتذبذب أعداد أغلب الحيوانات البرية على نحو غير مُنتظم بين حدودٍ شديدة التقيُّد مقارنة بما تسمح به معدلات زيادتها.» وتتمتع بعض الأنواع بمعدلات نموٍّ أساسية مرتفعة مثل حيوان اللاموس وفئران الحقل، ومن ثَم فإن أي تغيُّر في أعداد الجماعة سيكون أكثر تدرجًا. وتلعب الحيوانات المُفترسة دورَها أيضًا في التحكُّم بأعداد الجماعات، ولكن أكثر آليات التحكم انتشارًا هي المنافسة.

تحدث المنافسة عندما لا يُوجَد ما يكفي من أحد الموارد اللازمة لتلبية احتياجات جميع أفراد الجماعة. عندما تنمو الجماعة، تزداد كثافة أفرادها. وعند الكثافات المنخفضة، تكون الموارد وفيرة، وترتفع معدلات تكاثُر الأفراد وفُرَص البقاء على قيد الحياة. ويمكن أن يقترب نمو الجماعة من معدل الزيادة القصوى النظري لكل فرد؛ أي معدل النمو الأساسي للجماعة. وعندما تزداد الكثافة، ينخفِض متوسِّط الموارد المتاحة للفرد الواحد، ويبدأ الأفراد في التنافُس على الموارد المحدودة. تُنجب الكائنات التي تخسر في المنافسة عددًا أقلَّ من الصغار أو تموت في سنٍّ صغيرة، مما يُبطئ وتيرة نمو الجماعة. وفي النهاية، ربما تصير الموارد المتاحة محدودةً جدًّا لدرجة أن معدل الوفيات عَبْر الجماعة يفوق معدل المواليد، وتبدأ أعداد الجماعة في التراجُع. ويتحكم مدى توافر الموارد لكل فردٍ في حجم الجماعة، وهو ما يتجلى من خلال المنافسة القائمة على الكثافة.

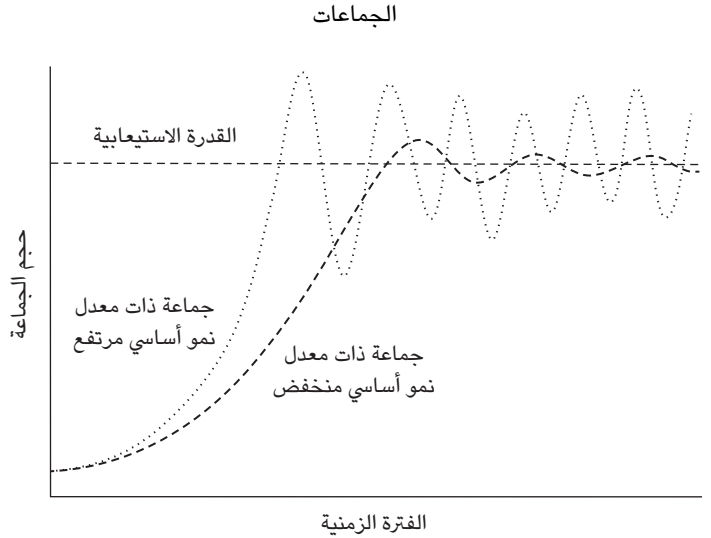
لا يحتاج الأفراد المُتنافِسون إلى التفاعل على نحوٍ مباشر. فاستغلال فرد واحد لمورد محدود يقلِّل توافره بالنسبة إلى الأفراد الآخَرين، على الرغم من أن هذه الكائنات الحية

ربما لا تلتقي أبدًا. بالمِثل، قد يستنفد أحد النباتات المواد المُغذِّية الموجودة في التربة بما يضر بالنباتات المجاورة. ومع ذلك، كثيرًا ما تتفاعل الكائنات الحية مباشرةً بعضها مع بعض في ساحة تنافُسية. فتعمل بعض الحيوانات بنشاطٍ على منع الحيوانات الأخرى من الوصول إلى الموارد من خلال الدفاع عن منطقة نفوذ حصرية. والكثير من الطيور والثدييات والأسماك بل والحشرات تدافع عن مناطق نفوذ معيَّنة بهدف تأمين وصول حصري إلى مواقع بناء الأعشاش، أو مناطق التغذية، أو شركاء التزاوج. وقد يكون الدفاع عن منطقةٍ ما مكلفًا. فهو ينطوي على يقظة وطاقة مستمرتَين، ومخاطر الإصابة أو الموت. لذلك لا تستولي الحيوانات على المناطق وتدافع عنها إلا عندما تكون الموارد نادرة؛ نظرًا لأنه لا فائدة تُرجى من وراء الدفاع عن موارد متوفرة بكثرة.

استراتيجيتا معدل النمو الأساسي والقدرة الاستيعابية

عادةً ما تنظم العمليات القائمة على الكثافة أعداد الجماعات لتصِل إلى نقطة توازن؛ حيث تتساوى معدلات المواليد مع معدلات الوفيات. ونقطة التوازن هذه هي «القدرة الاستيعابية» للبيئة؛ أي حجم الجماعة الذي يمكن الحفاظ عليه في ضوء الموارد المتاحة. وعادةً ما تزيد أعداد الجماعات لتصِل إلى القُدرة الاستيعابية عندما تستغل الموارد المتاحة، ولكنها تنخفض عندما تتجاوز القدرة الاستيعابية نظرًا لأن الموارد تصير محدودةً للغاية لدعم جميع أفراد الجماعة. ومن ثَم، تتأرجح أعداد الجماعات حول القدرة الاستيعابية (شكل ٣-٣). وغالبًا ما تُعاني الأنواع التي تتمتَّع بمعدلات نموٍّ أساسية مرتفعة من تذبذبات كبيرة في الأعداد؛ نظرًا لأنها عادةً ما تتجاوز القدرة الاستيعابية بدرجةٍ كبيرة وتُعاني من انخفاضات حادة في أعقاب ذلك. وتنمو الجماعات ذات القيم المنخفضة من المعدل النموَّ الأساسيَّ ببطءٍ أكثر، وتتبع استراتيجية القدرة الاستيعابية عن كثب أكبر. وربما تتغيَّر القدرة الاستيعابية نَفْسها تبعًا للظروف البيئية.

يضع علماء البيئة تصوُّرًا لاستراتيجيتين مُعمَّمتَين لدورة حياة الكائن الحي بناءً على معدل النمو الأساسي للجماعة والقدرة الاستيعابية. فالأنواع المُنتخبة، بناءً على معدل النمو الأساسي، تتكاثر في وقتٍ مبكِّر من حياتها، وتُنجب الكثير من النسل، وتشهد نموًّا سريعًا للجماعة. ويتبع اللاموس استراتيجية مُعدل النمو الأساسي. والشيء نفسه ينطبق على كثير من الحشائش النباتية الضارة. فيكون أداؤها جيدًا عندما تكون الموارد وفيرة. وعادةً ما تُحتَجز الموارد في الكتلة الحيوية، أو تُقتنص من جانب أنواع شديدة التنافسية على



شكل ٣-٣: نمو الجماعة المثالي والتأرجح حول القدرة الاستيعابية. تتسم الأنواع ذات معدلات النمو الأساسية المرتفعة بزيادة حادة في أعداد الجماعة تتبعها حالات اندثار، ويُشار إليها بالأنواع المُنتخبة بناءً على مُعدل النمو الأساسي. والأنواع ذات معدل النمو المنخفِض تتبع القدرة الاستيعابية عن كثب أكثر وتتعرض لتذبذب أقل بكثير في أعداد الجماعة. وهذه الأنواع هي الأنواع المُنتخبة بناءً على القدرة الاستيعابية.

حسب تفضيلاتها؛ ولذا كثيرًا ما تعتمد الأنواع المُنتخبة بناءً على معدل النمو الأساسي على الاضطرابات لتُتيح الموارد مرَّة أخرى. ويمكن أن يأتي الاضطراب على هيئة سقوط شجرة يخلق فجوة في مظلَّة الغابة بما يسمح بمرور الضوء ليغمر الطبقة السُّفلية المُظلمة، أو على هيئة حريق يُعيد المواد المُغذية المحبوسة في الغطاء النباتي إلى التربة مرةً أخرى. والوفرة المفاجئة للضوء والمواد المُغذية وغيرها من الموارد تُتيح للأنواع المنتخبة على أساس استراتيجية معدل النمو الأساسي، بمعدلات تكاثرها السريعة، الهيمنة سريعًا على مساحة جديدة من خلال استغلال الموارد الوفيرة. وعندما تتناقَص الموارد تحلُّ الأنواع الأكثر تنافُسية في اقتناص الموارد التي صارت شحيحةً في الوقت الراهن محلَّ الأنواع المُنتخبة بناءً على مُعدل النمو الأساسي تدريجيًّا.

أما الأنواع المُنتخبة بناءً على القدرة الاستيعابية فتشغل موائل ذات تقلُّبات بيئية قليلة، واضطرابات أقل. وتتبع الثدييات الكبيرة وكثير من الطيور وأشجار الغابات

استراتيجية القدرة الاستيعابية. وعادةً ما تكون هذه الأنواع ذات أعمار أطول، بما يُتيح لها تأجيل التكاثُر إلى فترةٍ لاحقة من حياتها عندما تكون أكبر حجمًا وأكثر أمنًا من الناحية التنافُسية. ويكون عدد النسل قليلًا نسبيًّا، ولكن عادةً ما يكون مزودًا بالمُؤَن على نحوٍ أفضل (ببذور كبيرة الحجم مثلًا)، أو مُحاطًا برعاية أبوية مُمتدة، ومن ثم تكون نسبة بقاء النسل على قيد الحياة عالية مقارنة بالأنواع المُنتخبة بناءً على معدل النمو الأساسي. وبصفة عامة، تظل الأنواع المُنتخبة بناءً على القدرة الاستيعابية قريبة من القدرة الاستيعابية للبيئة، وفي ظِلِّ غياب الاضطرابات الكبرى، تحافظ هذه الأنواع على جماعاتٍ مستقرة إلى حدٍّ ما.

وللمعدل الأساسي لنمو الجماعة والقدرة الاستيعابية أهمية عملية مباشرة؛ نظرًا لأنهما يُستخدَمان لتحديد مخاطر الانقراض في سياقات المحافظة على الأنواع، أو مصائد الأسماك التجارية النموذجية، أو تقييم معدل النمو المُحتمَل لموجات غزو الآفات. ومن الناحية العملية، من الصعوبة بمكانٍ تحديد معدلات النمو والقدرات الاستيعابية للأنواع في بيئات معيَّنة، أو توقُّع أنماط تعافي الجماعات. ويرجع هذا إلى تذبذب الموارد، وتأثر الجماعات بالمنافسة مع الأنواع الأخرى، والافتراس، وتأثير قوى مثل المناخ والاضطرابات على الجماعات على نحوٍ غير مُنتظم وعلى نطاقات مكانية وزمانية مختلفة.

الفوضى المُحدَّدة

عندما تكون قيم معدل النمو الأساسي مرتفعة جدًّا، فإننا بذلك ندخُل عالم الديناميات الفوضوية، الذي يتسم بتقلبات كبيرة وغير منتظمة في أعداد الجماعة. ويستحيل التنبؤ على المدى الطويل بديناميات الجماعة، على الرغم من بساطة النموذج الأساسي وحتميته لنمو الجماعة، المُستمد إلى حدٍّ كبير من استرتيجية معدل النمو الأساسي. والأنظمة الفوضوية حساسة للغاية للظروف المبدئية، وتتعاظم الاختلافات الطفيفة في حجم الجماعة، أو في تقدير معدل النمو الأساسي، لتخلق بذلك تبايُنات كبيرة في النتائج.

في البداية، جذبت ديناميات الجماعة الفوضوية المدفوعة بالعمليات المُحدَّدة الكثير من الاهتمام النظري في سبعينيات وثمانينيات القرن العشرين؛ حيث ظهرت بضع معادلات بسيطة لديناميات الجماعة بما يكفي لشرح الديناميات المُعقَّدة فيما يبدو. وظلَّ التنبؤ بالديناميات التي تتَّسِم بالفوضوية مستحيلًا، إلا أن مجرد معرفة أن التقلبات في أعداد الجماعة هي عوامل محددة (وليست عشوائية حقًّا) تُشير إلى وجود عملية آلية ضمنية،

يمكن لفهمها أن يقدم رؤية للعمليات البيئية. وتقدم الدراسات المُختبرية إثباتًا عمليًّا للديناميات الفوضوية لدى جماعات الخنافس والعوالق، من جملة أمور أخرى، وبدا أن نظرية الفوضى ربما تفسر كثيرًا من الأنماط البيئية.

غير أن الحماس سرعان ما تراجعَ عندما ثبت أنه من الصعب ربط العمليات المحددة بالديناميات الإيكولوجية خارج نطاق الظروف المختبرية الخاضعة للرقابة الشديدة. وأحد الأسباب وراء ذلك أن «التشويش البيئي» العشوائي، مثل تغيُّر المناخ، أو موجات الجفاف، أو الأعاصير، يؤثر دومًا على نمو الجماعة، إلَّا أن هذه الأحداث الطارئة استُبعدت إلى حدٍّ كبير من جانب الدراسات النظرية والمختبرية على حدٍّ سواء. علاوةً على ذلك، تمثَّل عامل الجذب الخاص بالعمليات المحددة نظريًّا في «انخفاض الأبعاد» المرتبطة بها؛ أي العدد المحدود للمؤشرات المطلوبة لاستنساخ ديناميات الجماعة. غير أن معظم المجتمعات البيئية تضم جماعات أنواع كثيرة، أغلبها يتفاعل على نحو ضعيف، وبعضها يتفاعل بقوة. وتميل التفاعلات القائمة على التنافس والافتراس إلى تثبيط التقلُّبات في أعداد الجماعات ومن ثَم الحد من ظهور السلوك الفوضوي. وهكذا، فإن أكثر المعرَّضين للفوضى في الأنظمة الطبيعية هي تلك الأنواع ذات الصلة الوثيقة بالتفاعلات القائمة على الموارد التي لا تتأثر كثيرًا بالأنواع المنافسة أو المفترسات. وحيوان اللاموس مثال على ذلك.

تُقدم البرك الصخرية في نيوزيلندا مثالًا مثيرًا للاهتمام لديناميات الجماعة الفوضوية ذات الأنواع المُتعددة في نظام طبيعي. ففي هذه البرك الصخرية، يستعمر البرنقيل الأسطح الصخرية العارية. وحين ينمو البرنقيل، يوفر ظروفًا مناسبة لاستقرار الطحالب القِشرية والمحار. وفي نهاية المطاف، يخنق المحار البرنقيل الكامن بالأسفل ويقتله. ينفصل البرنقيل الميت، وطبقات المحار التي تعلوه، بكل سهولة عن الصخور، مما يكشف سطح الصخور العارية مرَّة أخرى. والدورة التي تبدأ من الصخور العارية إلى البرنقيل والطحالب والمحار، وتعود إلى الصخور العارية مرَّة أخرى، هي عملية مُحدَّدة تدعم الأنواع الثلاثة كلها، ولكن لا يستطيع أيٌّ منها الحفاظ على استقرار أعدادها. وتُظهر عملية النمذجة أنه في ظِل غياب الطقس الموسمي، من المُرجَّح أن يستقر مثل هذا النظام على التعايش المشترك بين الأنواع الثلاثة تعايشًا مستقرًّا وقابلًا للتنبؤ به. في الواقع، تقل قابلية التنبؤ بالنظام نظرًا لأن الأيام الصيفية الحارة تتسبَّب في ارتفاع معدل النفوق بين المحار والطحالب القِشرية، وهو ما يتسبَّب في تقلُّبات فوضوية في أعداد الأنواع. في هذا المثال، يصير التسلسل المُحدد فوضويًّا بسبب الطقس الموسمي الذي يؤثِّر بصورة متفاوتة على بقاء نوعَين من الثلاثة على قيد الحياة.

مقايضات دورة الحياة

إن ثنائية معدل النمو الأساسي والقدرة الاستيعابية هي تبسيط لمجموعة واسعة من الاستراتيجيات التي تستعرضها الأنواع النباتية والحيوانية. وتنعكس هذه الاستراتيجيات من خلال سمات الأنواع، من بينها مدة الحمل، وسن البلوغ التناسلي، وحجم الصغار المولودين في كل مرَّة، ووتيرة التكاثر، والحد الأقصى للعمر. وإجمالًا، تصف هذه الصفات الجوانب الديموغرافية الأساسية للأنواع، أو «دورة حياتها». وكما رأينا، يستجيب كثير من الأنواع استجابةً انتهازية للفترات المواتية من خلال النمو السريع والتكاثر في وقتٍ مبكِّر وعلى نحو غزير. وتنمو أنواع أخرى بوتيرة بطيئة، ولا تُنجب إلا عددًا قليلًا من النسل في كل مرَّة. وربما نتوقَّع من الأنواع الغزيرة النسل أن تفوق الأنواع الأكثر تحفُّظًا من حيث العدد وتحل محلها سريعًا. ولكن هذا لا يحدُث لسببَين أساسيين. أحدهما تعرضنا له بالفعل؛ ألَا وهو أن الأنواع الغزيرة النسل تستنزف مواردها سريعًا لدرجة أن العمليات المعتمدة على الكثافة العددية تُقيد عملية التكاثر وفرصة البقاء على قيد الحياة.

أما السبب الآخَر فهو تكلفة التكاثر، أو بمعنى أدق المقايضة بين النمو والبقاء على قيد الحياة والتكاثر. و«المقايضة» هي في حد ذاتها لعبة ذات محصِّلة صفرية، أو علاقة سلبية مباشرة بين صفتَين، ترتبط الزيادة في إحداهما بانخفاض الأخرى. ففي ضوء الموارد المحدودة، كلما زادت الموارد المستثمرة في إنجاب النسل، قلَّت الموارد المتاحة للنمو. والشاهد على ذلك العَرْض الصغير لحلقات نمو أشجار الغابات المعتدلة، مثل أشجار البلوط أو الزان، أثناء سنوات التكاثر السريع الوتيرة. وعلى نحوٍ مماثل، تصل الأسماك التي تؤجل التكاثر إلى مرحلةٍ لاحقة من حياتها، مثل أسماك القرش، إلى أحجام كبيرة بسرعة نسبيًّا؛ نظرًا لأن الموارد تُخصَّص للنمو في الغالب. والبستانيون المتمرِّسون على دراية بأن تشذيب الرءوس الحاملة للبذور الناضجة الخاصة بالنباتات المعمرة سيحسِّن نسبة بقائها على قيد الحياة ومعدل نموها وإزهارها في العام التالي.

ثمَّة كثير من المقايضات على مدار تاريخ حياة الكائن الحي. وإحدى هذه المقايضات الأخرى إنجاب النسل مقابل بقائه على قيد الحياة. يزيد الاستثمار بدرجة كبيرة في كل فرد من الذرية، من حيث مدة الحمل أو الغذاء أو الرعاية الأبوية، من فُرَص بقاء الفرد على قيد الحياة حتى الوصول إلى مرحلة البلوغ، ولكنه يحدُّ من العدد الإجمالي للذرية التي يمكن دعمها. ينتج نبات السحلبية عددًا كبيرًا من البذور الصغيرة الشبيهة بذرَّات الغبار يصل إلى ثلاثة ملايين في كل كبسولة ثمار، ولكن بدون تخصيص موارد غذائية، يكون البقاء على

قيد الحياة مرهونًا بتأمين ارتباط بفطريات مُتخصِّصة تغذِّي الشتلات. وتُخفق الغالبية العظمى من هذه البذور في هذا المسعى وتموت بسرعة. على النقيض من ذلك، تحظى نخلة جوز الهند البحري بأكبر بذرة في العالم؛ إذ يصل وزنها إلى نحو ١٥ كيلوجرامًا. تنبت هذه البذور المزوَّدة جيدًا بالمُؤَن وتنمو على مدار شهور دون الاعتماد على أي شيءٍ آخَر سوى الموارد الخاصة بالبذرة، إلا أن النخلة الأم تُنتج بذرة واحدة فقط في السنة.

وتُخصص الاستراتيجيات البديلة نسبًا مختلفة من الموارد من أجل النمو والرعاية والتكاثر لتتناسب مع الظروف البيئية. وتتجلَّى هذه المقايضات أيضًا بين الأفراد داخل النوع الواحد. وفي كثير من الأنواع، تُحدِّد المقايضة بين التكاثر والنمو حجم الجسد، مما يكون له تداعيات على فُرص البقاء على قيد الحياة. فتطوُّر أسماك الجوبي، وهي سمكة صغيرة مألوفة لدى الكثير من مالكي أحواض السمك، استراتيجيات تخصيص مختلفة للموارد تعتمِد على الحيوانات المفترسة التي تتعرَّض لها. ففي ترينيداد، الموطن الأصلي لأسماك الجوبي، تُثوي بعض المجاري المائية أسماك البلطي التي تتغذى على أسماك الجوبي الكبيرة، بينما في بعض المجاري المائية الأخرى تتغذى أسماك كيليفيش على أسماك الجوبي الصغيرة. وفي المجاري المائية التي تُهيمن عليها أسماك البلطي، تُخصِّص أسماك الجوبي مزيدًا من الموارد من أجل التكاثر في وقت مبكِّر من الحياة، ومن ثم تتكاثر عند حجم أصغر. وفي المجاري المائية التي تُهيمن عليها أسماك كيليفيش، تؤجل أسماك الجوبي التكاثر وتعطي الأولوية في تخصيص الموارد إلى النمو، والوصول إلى أحجامٍ أكبر بسرعةٍ أكبر، مما يُقلِّل خطر النفوق بسبب أسماك كيليفنيش.

السمات الوظيفية

السمات الوظيفية هي جوانب من فسيولوجيا الكائنات الحية (معدل التمثيل الغذائي، أو القدرة على تحمُّل الصقيع، أو معدل البناء الضوئي)، أو مورفولوجيا الكائنات الحية (حجم المنقار، أو كتلة الجسم، أو مساحة الورقة، أو كثافة الخشب)، أو السلوك (التغذية أو استراتيجيات الهروب من الحيوانات المفترسة)، التي تؤثر على الأداء أو اللياقة. وتتسق السمات الوظيفية مع الاستراتيجيات المتبعة على مدار دورة حياة الكائن الحي، إما باعتبارها سماتٍ متطوِّرة، أو باعتبارها مقايضات مورفولوجية أو فسيولوجية. فربما تخصِّص الأشجار الصغيرة أغلب مواردها للنمو، وهي استراتيجية تتبعها على مدار دورة حياتها، على حساب إتاحة عدد أقل من الموارد من أجل الدفاع، وهي سِمة وظيفية،

من أجل حمايتها من الحيوانات العاشبة. وهذه الاستراتيجية تكون ناجحة عندما تكون الموارد وفيرة؛ نظرًا لأن أي نسيجٍ يُفقد بسبب الحيوانات العاشبة يمكن استبداله بسهولة وبسرعة. أما في الموائل الأقل ملاءمة، ربما في الطبقة السفلية من إحدى الغابات حيث يكون الضوء اللازم لعملية البناء الضوئي شحيحًا، فمن غير المرجَّح أن يبقى نبات بهذه الاستراتيجية على قيد الحياة طويلًا؛ لأن استبدال النسيج المفقود يكون بطيئًا للغاية في ظِل ظروف الإضاءة المنخفضة.

تؤثر السمات الوظيفية على قُدرات الأنواع على استعمار أحد الموائل أو النمو فيها، والاستمرار في مواجهة التغيرات البيئية. كذلك تؤثر على خصائص النظام الإيكولوجي. وعادةً ما تحظى النباتات الموجودة في الموائل ذات التربة المُتدنِّية الخصوبة أو القليلة الأمطار بأوراق سميكة صغيرة، ذات كتلة عالية مقارنةً بمساحة السطح، لتقليل فقد المياه وتحسين كفاءة استخدام المواد المُغذية. وتتحلل هذه الأوراق على نحو أبطأ، وتكون معدلات دوران المواد المُغذية أبطأ في هذه المجتمعات. أما في الموائل المائية، فيميل ضغط الافتراس إلى محاباة العوالق الكبيرة التي تتمتَّع بدرجةٍ من الحماية بمقتضى الحجم، ولكن الحجم الكبير يزيد من معدل غرق العوالق الميتة، ويزيد معدل نقل المغذيات إلى الرواسب بالتبعية، مما يؤثر على الدورة البيوجيوكيميائية. وعلى نطاقات واسعة، تؤدي تأثيرات السمات الوظيفية على النظام الإيكولوجي إلى عواقب مُهمة على مجتمعاتنا التي تعتمد على المواد المُغذية والدورات البيوجيوكيميائية لتجديد خصوبة التربة ومصائد الأسماك البحرية، أو لعزل الكربون وتخزينه في الغلاف الجوي.

الانتشار

لقد استعرضنا ديناميات الجماعة باعتبارها حصيلة المواليد والوفيات التي تُنظمها عمليات أساسية قائمة على الكثافة. وتتأثر ديناميات الجماعة أيضًا بالتوزيع المكاني للجماعات في المشهد الطبيعي وانتشار الأفراد عبرَه، والانتشار من جماعة إلى أخرى. وإذا كانت الجماعة تشغل موئلًا آمنًا ومناسبًا، فربما لا يبدو أن هناك دافعًا لأفرادها لكي ينتشروا خارجها. ومن ثَم، يطرح هذا سؤالًا عن سبب تطور عملية الانتشار من الأساس، ولماذا يحظى كل نوع تقريبًا باستراتيجيات انتشار.

تشير الصدفة وحدَها إلى أنه على المدى الطويل، ستنقرض أي جماعة معزولة بسبب تغيُّر أو اضطراب بيئي. ويُتيح الانتشار للأفراد استعمار مساحات أخرى، مما يقلِّل

احتمالية انقراض الجماعة ككل. يُتيح الانتشار أيضًا إعادة استعمار رقعة أزيحت منها الجماعة فيما سبق.

وبغض النظر عن أي تغيير بيئي، تصير الجماعة الآخِذة في النمو والتزايد، والتي تشغل رقعةً محدودة، عُرضة بصورة متزايدة للمنافسة القائمة على الكثافة؛ نظرًا لاستهلاك الموارد. والانتشار هو وسيلة للهروب من القيود التي تفرضها الكثافة. فالهجرة لا تزيد من احتمالية بقاء الكائن المُهاجر على قيد الحياة وحسب (بافتراض أن التكاليف المُعتمدة على الكثافة تفوق تكاليف الانتشار)، بل أيضًا تقلِّل كثافة جماعة المصدر، ومن ثم تزيد من احتماليات تكاثر الأفراد. على سبيل المثال، يتزايد معدل تكاثر فئران الحقل إذا تضاءل حجم الجماعة عن طريق انتشار بعض أفرادها. ومن ثَم، يُحابي الانتخاب عملية الانتشار باعتبارها استراتيجية لبقاء الأفراد (ومن ثَم الجماعات) على قيد الحياة على المدى القصير والطويل على حدٍّ سواء.

ومن خلال الانتشار أيضًا، قد ينجو الأفراد من الآفات والأمراض التي تتفشى في الجماعات ذات الأعداد الكبيرة. ففي باريس، مثلًا، تستعمر الفراشات من فصيلة أبو دقيق الملفوف رُقعًا من موائل معزولة في وسط المدينة، إلا أن الدبور الطفيلي الذي يتغذَّى على يرقات الفراشة لا يستطيع الوصول إلى هذه المواقع في وسط المدينة قادمًا من أطراف باريس (شكل ٣-٤). بالمثل، غالبًا ما يعتمد بقاء شتلات الأشجار الاستوائية على انتشار البذور بنجاح بعيدًا عن الشجرة الأم؛ حيث تُوجد أعداد كبيرة من العوامل المُمرضة وآكِلات الأعشاب.

شكل ٣-٤: تعجز الدبابير الطفيلية الصغيرة عن الانتشار في وسط مدينة باريس، ومن ثَم لا تتعرَّض فراشات أبو دقيق الملفوف إلى الهجوم في وسط المدينة.

الجماعات شِبه المستقرة

يمكن اعتبار أن المشاهد الطبيعية تحوي رقعًا مكوَّنة من موائل منفصلة ذات جودة متغيرة. فبعض الرقع قد تدعم جماعات صغيرة فقط، عُرضة للانقراض المحلي. والهجرة الداخلية من موائل ذات نوعية جيدة قد تُطيل مدة بقاء هذه الجماعات المهمشة. ويمكن أن تدعم رقع «المصدر» ذات الجودة العالية الجماعات الكبيرة التي تحدث منها الهجرة الخارجية، أما الرقع الأصغر أو رقع «المهبط» ذات الجودة المنخفضة، فلا تدعم إلا الجماعات الصغيرة والضعيفة التي يتم الحفاظ عليها من خلال الهجرة الداخلية، وإلا صارت منقرضة ومن ثَم يُعاد توطيدها من خلال الهجرة الداخلية. ويؤكد هذا النموذج من «الجماعات شبه المستقرة» القائم على المصدر والمهبط، على أهمية دور الانتشار في الحفاظ على الجماعات عَبْر مشهدٍ طبيعي ما.

يمكن أن يتسبَّب التغير البيئي، الذي غالبًا ما يتسبَّب فيه البشر، في تراجُع جودة رقع الموائل، الأمر الذي يقوِّض بِنية الجماعة شبه المستقرة من خلال تحويل جماعات المورد إلى جماعات مهبط. وقد يؤدي الفقدان الكامل لرقع الموائل، ربما من خلال تحويلها إلى استخدامات أخرى، إلى زيادة المسافة الفاصلة بين الرقع الباقية. وقد يصعِّب هذا الأمر على الكائنات الحية المنتشرة إيجادَ رقع مواتية، مما يقلِّل احتمالية إنقاذ الجماعة عن طريق الهجرة الداخلية. ولهذا السبب يزعم دعاة الحفاظ على البيئة وجود حاجةٍ إلى خلق ممرات للموئل الطبيعي أو «معابر» لتسهيل انتشار الحيوانات (والبذور) عَبْر المشهد الطبيعي من رقعة موئلٍ مناسبة إلى رقعة أخرى.

يُسهِّل الانتشار أيضًا تبادُل التنوُّع الجيني عَبْر جماعة شِبه مستقرة، مما يساعد في التغلُّب على المشاكل المرتبطة بالتزاوج الداخلي. فالتزاوج الداخلي، الذي ينشأ من تكرار تزاوج الأفراد المُتشابهين وراثيًّا، يمكن أن يزيد من انتشار الأمراض الوراثية ويقلِّل من احتمالات البقاء على قيد الحياة. والجماعات المعزولة أكثر عُرضة للمعاناة بسبب التزاوج الداخلي؛ لا سيَّما إذا كانت تنحدِر من عددٍ صغير من الأفراد المستعمرين دون حدوث هجرة داخلية لاحقة. ففي جزُر آلاند بفنلندا، تتواجَد فراشات جلانفيل فريتيلاري في جماعة شبه مستقرَّة تتألَّف من مئات الجماعات ذات الأحجام المُتنوِّعة ولكنها منعزلة. وعادةً ما تحظى أصغر الجماعات وأكثرها انعزالًا بتنوُّعٍ جيني منخفض، وتكون عُرضة للانقراض بسبب التزاوج الداخلي. وتتجنَّب الرقع الأقل انعزالًا التزاوج الداخلي من خلال التبادل الدائم للأفراد.

إدارة الجماعات

تعتمد إدارة الأنواع، سواء كانت من أجل الوفاء بمتطلبات مواردنا الخاصة، أو من أجل الحفاظ عليها، أو لغرض آخَر غير ذلك، على فهمنا لديناميات الجماعة التي تتشكَّل بناءً على سمات الأنواع، والاستراتيجيات المُتبعة خلال دورة حياة الكائن، والظروف البيئية، والتفاعلات الحيوية، والانتشار. تتطلب إدارة تمدُّد الأنواع أو الآفات الغازية التي تنطوي على مشاكل، أو الحفاظ على مجموعات صغيرة من الأنواع المهدَّدة بالانقراض، فَهمًا جيدًا لسمات الأنواع، وكيفية ارتباطها بمعدلات نمو الجماعة، والمنافسة القائمة على الكثافة، وديناميات الجماعات شِبه المُستقرة. وتوفر الديناميات المترابطة للوشق وأرانب حذاء الثلج البري، أو الزيادة والانخفاض الدوريان في جماعات اللاموس، رؤًى ثاقبة حول الكيفية التي تُنظم بها التفاعلات البسيطة بين المفترس والفريسة والموارد، الجماعات الحيوانية. غير أن معظم التفاعلات تكون أكثر تعقيدًا من ذلك بكثير، إذ تشمل أنواعًا متعدِّدة عَبْر مجموعةٍ من الظروف البيئية المختلفة. وقد نجح علم البيئة في استخدام نماذج بسيطة لتوضيح وتبسيط المبادئ الأساسية والعامة، ونحن نستخدِم مُخرجات هذه النماذج لإدارة الجماعات وفقًا لاحتياجاتنا. وتأتي الأفكار العامة المكتسبة على حساب الواقعية في سياقات معيَّنة. ومن ثَم، يجب أن نتوخى الحذر في تفسيرها. ولا يزال أمامنا طريق طويل قبل أن نفهم ديناميات الأنظمة البيئية المتعدِّدة الأنواع الأكثر تعقيدًا، على الأقل بشكلٍ جيد يكفي للتنبؤ بكيفية استجابتها للتغير الذي يتسبَّب فيه الإنسان.

الفصل الرابع

المجتمعات

هل الطبيعة حمراء الناب والمخلب حقًّا؟

يعقد الشاعر الإنجليزي ألفريد لورد تينيسون، في قصيدة «للذكرى»، وهي مرثية لصديقه المُقرب آرثر هنري هالام، مقارنة بين إيمان البشرية بالمحبة وقسوة الطبيعة، ويقول فيها:

الإنسان …
ذلك الذي آمن بأن الله محبة حقًّا،
وأن المحبة هي القاعدة الأسمى للخلق،
أما الطبيعة، حمراء الناب والمخلب،
تثور على عقيدته بصرخة في الوهاد وتأبى.

يبدو أن الافتراس والمنافسة المتواصِلَين يُبرران شعور تينيسون بالاشمئزاز تجاه الطبيعة. إلا أن التعاون بين الأنواع في الطبيعة لا يزال سائدًا بالقدْر نفسه (بالطبع، «الإنسان» نفسه ليس ملاكًا).

يُطلق على الأنواع التي تتعاون من أجل المنفعة المتبادلة أنواعًا تقايضية، ويُطلق على التفاعلات التعاونية بينها تقايُض أو تبادُل المنفعة. أما «التكافل الحيوي» (الكلمة الإنجليزية Symbiosis أصلها يوناني وتعني «التعايش معًا») فهو في حدِّ ذاته تقايُض من خلاله تُكوِّن الأنواع المعنية شراكات مادية تبادلية عن قرب. فعلى سبيل المثال، تعتبر الأشنات تجسيدًا لعلاقات تكافُلية جمعَت بين فطر وبين طحالب البناء الضوئي أو البكتيريا الخضراء المُزرقة. وأغلب العلاقات التقايُضية بين الكائنات الحية أقل حميمية بكثير. فالنحل يحط بخفة على الزهور ليجمع اللقاح من أجل الحضنة الخاصة به، ومن

خلال القيام بذلك تُخصَّب النباتات وتُنتج البذور. ورحيق الزهور ليس له وظيفة سوى جذب الملقحات إلى الزهور. وبالمثل، فالثمار ما هي إلا هبات تُمنح إلى الحيوانات لتتناولها، ومن ثم تنشر البذور التي تحتويها.

ولدراسة التقايض تاريخ طويل، ولكن نظرياته أقل تطورًا. استُخدم مصطلح «التقايُض» لأول مرَّة بوصفه مصطلحًا إيكولوجيًّا في كتاب بيير جوزيف فان بينيدن بعنوان «الطفيليات الحيوانية ورفاقها» الصادر عام ١٨٧٥. وبعد مرور بضع سنوات، وتحديدًا في عام ١٨٧٨، قدَّم هاينريش دي باري، المعروف لدى طلابه وزملائه على حدٍّ سواء بكل بساطة باسم «البروفيسور»، مفهوم «التكافل» بوصفه مفهومًا بيولوجيًّا في محاضرةٍ له بعنوان «ظاهرة التكافل» أمام جمعية الفيزيائيين والأطباء الألمان. عرَّف البروفيسور التكافُل بأنه «ظاهرة من خلالها تتعايش الكائنات الحية المختلفة معًا»، وشملت التعايش التطفلي. وبحلول نهاية القرن التاسع عشر، جرى التعرُّف على الكثير من العلاقات التقايضية بين الكائنات الحية. إلا أنه خلال القرن العشرين، لم يُبذل جهدٌ كبير لتطوير نظرية خاصة بالتقايض. وفيما يبدو كان لدى الكثير من العلماء الأوائل الذين كتبوا عن العلاقات التقايضية تعاطُفٌ يساري، وقد ألمَحَ البعض إلى أن الارتباط بالسياسات اليسارية ربما قوَّض الاهتمام بنظرية التقايُض. وإذا كان هذا صحيحًا، فإن نشر كتاب المُنظِّر الأناركي بيتر كروبوتكين في عام ١٩٠٢ بعنوان: «المساعدة المتبادلة: عامل للتطور» لعب دورًا في ذلك على الأرجح. وحتى إشارة فان بينيدن الأولى إلى «التقايض» في عام ١٨٧٥ قد تكون تلميحًا للجمعيات «التعاونية» للعمال التي تأسَّسَت في فرنسا وبلجيكا في أوائل القرن التاسع عشر بهدف تقديم المساعدة المالية المتبادلة.

التعاون

تُعد الشعاب المرجانية، الممتدة على مساحة آلاف الكيلومترات المربَّعة من المحيطات الاستوائية، من أكثر الأنظمة البيئية تنوعًا على المستوى الحيوي على وجه الأرض (شكل ٤-١). وما كانت هذه الشعاب المرجانية ليُصبح لها وجود لو لم يكُن هناك شراكة بين المرجان (حيوان) ونوع مُعيَّن من السوطيات الدوَّارة ذات البناء الضوئي؛ وهي مجموعة من العوالق الحرة في معظمها. ويُئوي المرجان السوطيات الدوارة التكافلية، المعروفة باسم الحُيَيْوِينات الصفراء، وتحصل هذه السوطيات على المغذيات من الفريسة التي تصطادها

المرجانيات، وفي المقابل تُسدد للمرجان الذي يئويها إيجارًا يتمثل في الكربوهيدرات المُستخلَصة من البناء الضوئي. وتوفِّر الحُيَيْوِينات الصفراء حتى ٩٥ في المائة من الكربون الخاص بالمرجان، والذي يُعزِّز تكلُّس المرجان ويسمح ببناء الشعاب المرجانية الضخمة. وتتمتع الحُيَيْوِينات الصفراء بقدراتٍ متفاوتة خاصة بالبناء الضوئي تحت ظروف الإضاءة المتفاوتة، وتستبدل المرجانيات حُيَيْوِينات صفراء أخرى ببعض الحُيَيْوِينات الصفراء مع تغير الظروف البيئية. وقد تتسبَّب الأحداث الأخيرة لارتفاع درجة حرارة سطح البحر، المرتبطة على الأرجح بالاحترار العالمي، في طرد جميع الحُيَيْوِينات الصفراء بالكامل من كثير من المرجانيات. ويؤدي هذا إلى ابيضاض المرجان، بل وموته إذا لم يتم استبدال الحُيَيْوِينات الصفراء بأخرى سريعًا. ومن خلال تعطيل التكافل الحيوي بين الحُيَيْوِينات الصفراء والمرجان، يهدد التغيير المناخي سلامة الشعاب المرجانية، والمجتمعات البيولوجية الثرية التي تدعمها.

شكل ٤-١: يعتمد النظام الإيكولوجي الصحي الخاص بالشعاب المرجانية على علاقة اعتمادية متبادلة بين حيوان، وهو المرجان، وسوطيات دوارة وحيدة الخلية.

ويعزِّز التكافل التبادلي بين المرجان والحُيَيْوِينات الصفراء نموَّ الشعاب المرجانية، إلا أن استمراره يعتمد على مزيدٍ من التقايض المنتشر بين المرجانيات والأسماك الآكلة للطحالب. تزيل أسماك الشعاب المرجانية نحو ٩٠ في المائة من إنتاج الطحالب، التي

تحافظ على سطح الشعاب النظيف مُهيَّئًا لاستقرار يرقات المرجان وسلامة الشعاب المرجانية. وتستفيد أسماك الشعاب المرجانية بدَورها من الزوايا والشقوق الموجودة في الشعاب المرجانية، والتي تُوفر لها الغذاء والحماية من المُفترسات.

ثمَّة علاقة تكافلية أخرى تُشكِّل أساس مجتمعٍ بأكمله نجدها حول الفتحات المائية الحرارية في المناطق ذات النشاط البركاني من القشرة المُحيطية. تنبعِث من هذه الشقوق سوائل شديدة الحموضة والسخونة، تصِل درجة حرارتها إلى ٤٠٠ درجة مئوية، غنية بكبريتيد الهيدروجين، وسامَّة لمُعظم أشكال الحياة. غير أن الكتلة الحيوية للحيوانات الموجودة في المناطق المجاورة مباشرة لِمثل هذه البيئات التي تبدو عدائية، أكبر بنحو ألف مرة من الكتلة الحيوية للكائنات الموجودة في السهول المحيطية. وجزء كبير من هذه الكتلة الحيوية يخصُّ الرخويات العملاقة ذات الصدفتَين والديدان الأنبوبية التي، للغرابة، لا تملك فمًا أو أحشاءً. وتحصل على التغذية من البكتيريا المؤكسدة للكبريت، التي تعيش داخل أجسادها. توفر الحيوانات ثاني أكسيد الكربون والأكسجين وكبريتيد الهيدروجين للبكتيريا، التي تصنع المُركبات العضوية التي تمتصُّها الكائنات المُضيفة. وهذا التكافل الحيوي هو أساس شبكة غذائية، مدعومة بالكامل بالتركيب الكيميائي البكتيري في هذه الأعماق الحالكة، والتي تشمل مجموعةً متنوِّعة من القشريات وشقائق النعمان وأنواعًا كثيرة من الأسماك والأخطبوط.

تتمتَّع كثير من العلاقات التشارُكية الأقل حميمية بأهمية مُماثلة لِبنية النظام الإيكولوجي. تُشكل أشجار السنط الشوكية الصافرة (فاتشيليا دريبانولوبيوم) ٩٥ في المائة من الغطاء الشجري لغابات السافانا القطنية السوداء بشرق أفريقيا. وتتغذى الأفيال على لحاء الأشجار وأوراقها وأغصانها، وتُلحق أضرارًا كارثية بالأشجار بوجهٍ عام، غير أن أشجار السنط الشوكية الصافرة تبقى بلا أضرار. تتمتَّع أشجار السنط بحرَّاس شخصيين على هيئة أربعة أنواع من النمل. يُعشِّش هذا النمل داخل الأشواك المُنتفخة الجوفاء لأشجار السنط ويتغذَّى على الرحيق الذي تُفرزه قاعدة أوراقها (شكل ٤-٢). يلدغ النمل بعدوانية الجزء الداخلي الحسَّاس من خرطوم أي فيلٍ أحمق بالدرجة الكافية التي تجعله يتغذَّى على أغصان شجرة السنط. ولولا هؤلاء الحراس الشخصيين، لدمرت الأفيال أشجار السنط بغابات السافانا القطنية السوداء، وحلَّ محل السافانا الشجرية أراضٍ عشبية مفتوحة مُقاومة للحرائق، تدعم عددًا أقل بكثيرٍ من الأفيال.

شكل ٤-٢: تُئوي أشجار السنط الشوكية الصافرة النمل الذي يحرسها من الحيوانات الآكلة للعشب، وفي المقابل توفر هذه الأشجار للنمل عشًّا ورحيقًا سكريًّا.

علاقات مضطربة

رغم إعجاب كروبوتكين وفان بينيدن بفكرة التقايض في العالم الطبيعي، فإن الطبيعة أكثر تقلُّبًا في الواقع. فلا يُعد التقايض تقايضًا إذا كان أحد الطرفَين قادرًا على استغلال الطرف الآخَر، ونادرًا ما يقف طرفا العلاقة التشاركية على قدم المساواة. فغالبًا ما يستفيد أحد الأنواع من التفاعل أكثر من النوع الآخَر، وتتغير العلاقات وفقًا للظروف. ومن الممكن أن تتغير شراكة تعاونية لتتحول سريعًا إلى شراكة استغلالية.

لنفكر في مثال النمل الحارس لأشجار السنط الشوكية الصافرة. إن الطاقة التي تستثمرها الشجرة في الأزهار وإنتاج البذور، من منظور النمل، هي طاقة مُهدَرة في سبيل تكوين الأشواك المجوَّفة التي يعشِّش فيها النمل، وتكوين الرحيق السكري. ومن ثَم، يقتلع النمل كثيرًا من الأزهار من الشجرة أثناء محاولتها الإزهار. في المقابل، إذا كانت الحيوانات العاشبة نادرة، لا تكون أشجار السنط بحاجةٍ إلى هذه الحماية القوية، ومن ثَم تُنتج عددًا أقل من الأشواك وكميةً أقل من الرحيق، ما يؤدي إلى القضاء على النمل المُتوطِّن

بداخلها. وينتقِم النمل من خلال تحضين الحشرات الماصة للعصارة، التي يحصل من خلالها النمل على عسل المن، ومن ثَم يحصل على احتياجاته من الكربوهيدرات. وغالبًا ما تتأرجح علاقات التقايض ما بين شراكات ذات منفعة متبادلة وتطفُّل انتهازي.

يحوي كثير من النباتات فطريات «جذرية» تشكِّل غلافًا حول الجذور، أو تخترق الجذور وخلايا الجذور. وتزيد هذه الفطريات الكفاءة التي تتمكَّن بها النباتات من الوصول إلى المواد الغذائية الشحيحة الموجودة في التربة، ولا سيَّما الفوسفور والنيتروجين. يمكن أن يمتد الغزل الفطري، الذي يتألف من بِنًى خيطية دقيقة تُسمَّى الخيط الفطري، ليصل طوله إلى ١٠٠ متر داخل سنتيمتر مكعب واحد من التربة، للوصول إلى مسام التربة التي لا تستطيع جذور النبات أن تصل إليها. وفي المقابل، تستقبل الفطريات الكربوهيدرات التي تنتجها النباتات من خلال عملية البناء الضوئي. وقد تُخصِّص النباتات نسبة تصل إلى ٢٠ في المائة من الكربون المُستخلَص من عملية البناء الضوئي للفطريات الشريكة لها. وهذه العلاقة التقايضية قائمة على أساس أن الفوائد المُكتسبة لِكِلا الطرفَين تفوق التكاليف التي يتكبَّدها كلٌّ منهما. وتتمثَّل التكلفة التي يتكبَّدها النبات في تخصيص الكربوهيدرات للفطريات التي كان يُمكن أن تُستخدَم بدلًا من ذلك من أجل نمو النبات. وعادةً ما تكون هذه التكلفة مُستحَقة من أجل الوصول إلى المواد الغذائية الشحيحة، ولكن في التربة الخصبة قد تحتاج النباتات إلى القليل من الفطريات الجذرية، أو قد تستغني عنها تمامًا. ومع ذلك، تواصل الفطريات اعتمادها على الكربوهيدرات التي يُنتِجها النبات، التي تحدُّ من نموه. وهكذا تحوَّلت العلاقة إلى علاقة استغلالية، بل وطفيلية. وتتنوَّع التفاعلات النباتية والفطرية ما بين علاقة متبادلة ومترابطة بشدة، أو تقايُضية ضعيفة أو طفيلية ضعيفة، بل وحتى طفيلية بشدة، وذلك بناءً على «الموازنة التبادلية» ما بين التكاليف والفوائد المُتأثرة بعوامل مثل خصوبة التربة أو توافُر الضوء لعملية البناء الضوئي. ومثل هذه التغيرات في التكاليف والفوائد النسبية أمر شائع بين الأنواع التقايضية.

تمثِّل الشراكات بين نوعَين تحدِّيًا، أما الشراكة بين ثلاثة أنواع فهي أقرب إلى صراع معقَّد. تدعم النباتات كثيرًا من الشركاء التقايُضيين، بما في ذلك الفطريات الجذرية والحشرات المُلقحة والفقاريات التي تنشر البذور. ويتمثَّل الدور الذي تلعبه النباتات في صفقة المقايضة هذه في توفير الكربون، في الجذور من أجل الفطريات، أو الرحيق من أجل المُلقحات، أو الثمار من أجل الفقاريات الناشرة للبذور. فإذا كانت التربة عالية الخصوبة،

تقلُّ حاجة النبات إلى الفطريات الجذرية، ويمكنه بدلًا من ذلك أن يُخصِّص مزيدًا من الكربوهيدرات للزهور والثمار لتعزيز عملية إنتاج البذور. غير أن إعادة توزيع الموارد على نحوٍ مثالي غالبًا ما تكون مُستحيلة بسبب القيود الفسيولوجية، وتستمر الفطريات في استخلاص بعض الكربوهيدرات على الأقل من النبات، مما قد يحد من كفاءته التناسلية. ويمكن أن يكون التمييز بين العلاقات التقايضية والطفيلية صعبًا عندما تنطوي العلاقة على مقايضات على الموارد بين شركاء مُتعدِّدين.

الولاء والخيانة

يتأثر النوعان اللذان يعتمدان بعضهما على بعض اعتمادًا كليًّا، بالتدهور الذي يصيب أيًّا منهما. لذا فإن أغلب العلاقات التقايضية منتشرة إلى حدٍّ ما؛ نظرًا لأن كل نوع يرتبط بعدة شركاء. ويؤدي هذا إلى توزيع خطر فقدان نوع أو أكثر من الشركاء عَبْر شبكة الشركاء. فالنباتات، على سبيل المثال، لديها مجموعة واسعة من الشركاء من الفطريات الجذرية، ويرتبط كل فطرٍ من هذه الفطريات بأنواعٍ كثيرة من النباتات. بالمِثل، تستقبل أغلب النباتات كثيرًا من الحشرات المُلقحة المختلفة، مثلما تقف هذه الأنواع المُلقحة ذاتها على كثيرٍ من النباتات المُزهرة المختلفة.

ومع ذلك، تُوجَد علاقات تقايُضية شديدة التخصُّص. وبوصفها حالات شاذة، ينصبُّ قدرٌ كبير من الاهتمام الإيكولوجي عليها بسبب قُدرتها على كشف النقاب عن الصراع الكامن الذي تتَّسِم به العلاقات التقايضية. يُلقَّح كل نوع من أشجار التين، التي يبلغ عددها نحو ٧٥٠ نوعًا، بواسطة نوع واحد، أو أنواع قليلة جدًّا، من دبور ثمار التين الصغير جدًّا. تضع إناث الدبابير، التي لا يزيد طولها على ملليمتر واحد، بيضها في الزهور الدقيقة الموجودة داخل طيات ثمرة التين. تتطفل يرقات الدبور على ثمرة التين عن طريق التغذية على الأنسجة النباتية التي ربما كانت ستكوِّن بذورًا لولا ذلك. وبعد أن تستكمل نموها، يتزاوج جيل جديد من الدبابير البالغة ويترك ثمرة التين، ولكن بعد أن تكون قد تشبَّعت بحبوب اللقاح. وتبحث عن ثِمار تينٍ جديدة تضع فيها بيضها. وفي أثناء قيامها بذلك، تُلقِّح كثيرًا من الزهور، وتتطوَّر تلك الزهور التي تُفلت من التعايش التطفلي إلى بذور. وتوجد تنويعات كثيرة لهذه الفكرة الأساسية. وبعض دبابير ثمرة التين تُعد طفيليات حقيقية؛ إذ لا تساهم بأي شيءٍ في عملية التلقيح.

طورت أشجار التين أشكالًا زهرية مختلفة لتحتفظ بقدرٍ من السيطرة على العلاقة. فبعض ثمار التين تحوي أزهارًا قصيرة وطويلة على حدٍّ سواء. ودبابير ثمار التين قادرة على وضع بيضها على أزهار قصيرة، لكنها لا تستطيع وضعه على الأزهار الطويلة. تفصل أنواع أخرى من التين بين الأزهار الذكرية والأنثوية على أشجار مختلفة. وتحتوي ثمار التين الخاصة بالأشجار الذكرية على أزهار ذكرية وأنثوية، إلا أن الأزهار الأنثوية تلعب دورًا في نشأة المُلقِّحات فقط ولا تُنتج بذورًا. أما على الأشجار الأنثوية، فتتمتع الأزهار ببنية تُمكِّن الدبابير من التلقيح ولكن لا تستطيع أن تضع بيضًا. ونظرًا لأن الدبابير لا يمكنها التمييز بين جنسَي ثمار التين، فإن الدبابير المُحمَّلة بحبوب اللقاح التي تهبط على ثمار التين الأنثوية تلقح الأزهار؛ ولكنها تعجز عن جعلها تتكاثر.

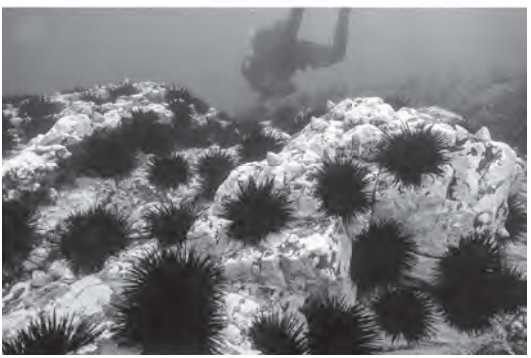
ثمَّة صراعات مماثلة بين نباتات اليُكَّة بأمريكا الشمالية وعثثها المُلقِّحة التي تتغذى على جزءٍ من بذور اليُكَّة، أو ذباب «كياستوشيتا» الذي يُلقحها ولكن يتغذى أيضًا على بُويْضات الزهور الكروية الأوروبية. ولا تُوجَد فوارق كثيرة تُمكننا من التمييز بين التقايض والتطفُّل في هذه العلاقات. فكِلا الشريكَين يعتمد كلٌّ منهما على الآخَر اعتمادًا كليًّا، ولكن وراء هذا التعاون الإيكولوجي يكمُن صراع تطوري. فكل طرف في هذه العلاقة يسعى إلى تقليل التكاليف التي يتكبَّدها، وتعظيم الفوائد التي يحصدها. ويتجلى هذا في جميع أشكال التقايُض، إلا أنه في علاقات التقايض المُتخصص تتكشف الصراعات الكامنة في التعاون.

الشلالات الغذائية

في حين أن هناك بعض الأنواع التي لا تجمعها علاقة تقايض مباشر، إلا أن أنواعًا أخرى تستفيد على نحو غير مباشر من خلال أنشطتها. وقد تعتمد مجتمعات بأكملها على هذه الأنواع «الأساسية»، التي يُخلِّف فقدان أيٍّ منها آثارًا تتوالى عبر النظام البيولوجي.

ففي البحار الشديدة البرودة بالنسبة إلى الشعاب المرجانية، توفر الأعشاب البحرية البِنية المعمارية الطبيعية للنظام البيئي. فتنمو أعشاب السِّفْلِيج البحرية الخاصة بالشواطئ الصخرية المعتدلة بالقرب من الساحل الغربي لأمريكا الشمالية والجنوبية ليصل طولها إلى ٦٠ مترًا، لتكوِّن بذلك غاباتٍ مهيبة من الأعشاب البحرية تحت سطح الماء تدعم مجتمعات الأسماك والثدييات الثرية (شكل ٤-٣ (أ)). وتحافظ القضاعات البحرية على هذا النظام عن طريق التغذية على القنافذ البحرية العاشبة، لتسمح بذلك

(أ)



(ب)

شكل ٤-٣: مجتمع غابة من الأعشاب البحرية الغنية تحافظ عليه القضاعات البحرية (أ)، التي بدونها تخرج أعداد قنافذ البحر العاشبة عن نطاق السيطرة (ب).

بازدهار الأعشاب البحرية. قام صائدو الفراء باصطياد القضاعات حتى قاربت على الانقراض في القرنَين التاسع عشر وأوائل القرن العشرين، وبحلول عشرينيات القرن العشرين لم يتبقَّ سوى مجموعات صغيرة فقط في سيبيريا وألاسكا وكاليفورنيا. ونتيجة لذلك، الْتَهمت الأعداد الغفيرة من القنافذ غابات الأعشاب البحرية ودمَّرَتها، مما أسفر عن «أراضٍ قاحلة من القنافذ» خالية من أي حيوانات أخرى أو طحالب (شكل ٤-٣ (ب)). منعت القنافذ البحرية، التي يمكنها أن تعيش عدة سنوات على القليل من الغذاء، الأعشابَ البحرية الجديدة من النمو والتعافي. واستلزم الأمر إعادة إدخال القضاعات البحرية في

سبعينيات القرن العشرين للحدِّ من أعداد القنافذ البحرية بالقدْر الكافي الذي يسمح بتعافي غابة الأعشاب البحرية. ومنذ عام ٢٠١٣، تكشَّفَت أزمة جديدة بالقرب من ساحل كاليفورنيا. فقد كاد أن يؤدي تفشِّي القنافذ البحرية بأعداد مهولة إلى القضاء على الكثير من أنواع نجم البحر. يُعد نجم البحر بطبيعة الحال مفترسًا نهمًا لقنافذ البحر، وأدَّى فقدانه إلى تفشِّي القنافذ بأعدادٍ كبيرة في عامي ٢٠١٤ و٢٠١٥، وحدوث انهيار آخَر في النظام الإيكولوجي لغابة الأعشاب البحرية. وهذا يعني أيضًا فقدان مصائد الأسماك التجارية، بما فيها أذن البحر الأحمر، وهو أحد الرخويات اللذيذة الذي كان يتوافر بأعداد غفيرة في أنظمة غابات الأعشاب البحرية حتى وقت قريب.

تُعاني المجتمعات أيضًا من التغيرات التي تطرأ على الشلالات الغذائية عندما تُجزَّأ الموائل البيئية، مما يسفر عن رُقع صغيرة ومعزولة من الموائل. تدعم الرُّقع الصغيرة الجماعات الأصغر حجمًا التي تحظى باحتماليات انقراض أعلى. والمحصلة النهائية هي أن الرُّقع الأصغر مساحةً تدعم الأنواع الأقل عددًا. ولهذا السبب يسعى دُعاة حماية البيئة إلى الحفاظ على وحدات الموائل الكبيرة. واستغلَّ جون تربورج فيضانات الغابات المطيرة أثناء ملء خزان جوري الكهرومائي بفنزويلا لتوثيق تأثير الشلالات الغذائية على تجزئة الموائل. فعند ارتفاع مستوى الماء، صارت قمم التلال الشجرية جزرًا منعزلة عن قِمم التلال المجاورة وغابة البر الرئيسي. درس تربورج التغيرات التي طرأت على الجماعات الحيوانية على اثنتي عشرة جزيرة، بعضها صغير والبعض الآخَر كبير. وفي غضون عقد من الزمن، انجرفت جماعات حيوانية بعيدًا عن غابات البر الرئيسي على نحوٍ ملحوظ. اختفت قرود الكبوشي (ويُعرف أيضًا باسم السعدان المُقَلنَس) من على الجزر، إلا أنها ظلَّت موجودة على الجزر الكبيرة. أما على الجزر الصغيرة، فكانت كثافات الطيور ضعف كثافات الجماعات الموجودة على البر الرئيسي، ولكن انخفضت الكثافات على الجزر الأكبر إلى خُمس كثافة جماعات البر الرئيسي. هاجمت القردة أعشاش الطيور الموجودة على الجزر الأكبر مساحة، إلا أن الطيور ظلَّت في مأمن من افتراس قرود الكبوشي على الجزر الصغيرة. كان هناك تغيرات ملحوظة أكثر. فقد كانت أعداد القوارض وسحالي الإجوانا أعلى بمقدار ٣٥ مرة و١٠ مرات، على التوالي، من أعداد الجماعات الموجودة على البر الرئيسي. ووصلت كثافات قرود السعدان العوَّاء إلى ألف قرد لكل كيلومتر مربع، وهي نسبة أعلى بكثيرٍ من كثافات البر الرئيسي التي وصلت إلى ٤٠ قردًا لكل كيلومترٍ مربع. وكان أكثر ما لفت الانتباه هو تفشِّي النمل قاطع الأوراق، الذي كان أكثر توافرًا بنحو

١٠٠ مرة على الجزر عنها في مناطق البر الرئيسي. وفسر غياب المفترسات العُليا، مثل النمر الأمريكي، الزيادة المهولة في أعداد هذه الحيوانات العاشبة. وكان للزيادة الناتجة في أعداد الحيوانات العاشبة آثار مُتعلِّقة بالشلالات الغذائية على المجتمع النباتي من خلال زيادة معدلات موت الأشجار والحيلولة دون تجدُّدها عن طريق البذور. وكانت النباتات الباقية على قيد الحياة هي تلك النباتات المحمية من الحيوانات العاشبة بحُكم كونها غير صالحة للأكل أو سامة، وهو ما قد يكون له تداعيات أخرى على الجماعات الحيوانية وكذلك عمليات أخرى مثل تدوير المُغذيات على هذه الجزر.

التعاقب البيئي

أحد المفاهيم الراسخة في علم البيئة، منذ عشرينيات القرن العشرين على الأقل، هو مفهوم التعاقب؛ أي التطور التعاقبي للمجتمعات الإيكولوجية المتزايدة التعقيد، ليستقر أخيرًا عند نقطة نهاية مستقرة تُسمى الذروة. يحدث التعاقب الأوَّلي على التضاريس المكشوفة حديثًا، مثل التدفقات البركانية الحديثة التكوين أو الجزر الناشئة، أو الأراضي المكشوفة بسبب انحسار ثلوج الأنهار الجليدية. فانحسار الأنهار الجليدية في منطقة جبال الألب يكشف الأسطح الصخرية الجرداء التي تستعمرها أولًا الحشائش والأعشاب القصيرة الأجل، يعقبها الأعشاب المعمرة والشجيرات الخشبية، وبعد ذلك الأشجار. ويمكن متابعة هذه المراحل الخاصة بالتعاقب البيئي من خلال السير من خطم نهر جليدي وصولًا إلى الوادي الذي كان يشغله فيما مضى (شكل ٤-٤).

أما في التعاقب الثانوي، فقد يُزال الغطاء النباتي جزئيًّا أو حتى كليًّا عن طريق اندلاع الحرائق، أو التعرُّض لهجوم العوامل المُمرضة، أو بسبب النشاط البشري، أو أي اضطرابات أخرى، إلا أن التربة، وربما بعض البذور والنباتات المُتبقية، تظلُّ كما هي. وقد أسفر التعاقُب الثانوي من الحقول المهجورة عن خلق غابات مكتملة النمو بشرق أمريكا (شكل ٤-٥). كذلك كانت التلال في منطقة نيو إنجلاند مشغولة فيما مضى بالمجتمعات الزراعية التي أزالت معظم الغابات الصنوبرية وغابات الخشب الصلد. وفي القرن التاسع عشر، اقتفى مزارعو منطقة نيو إنجلاند أثر الأراضي الجديدة على الحدود الغربية لأمريكا. وسرعان ما أعاد المستأجرون الجدد استعمار مزارعهم بمنطقة نيو إنجلاند، والتي لم تعُد صالحة اقتصاديًّا وصارت مهجورةً في ذلك الوقت، مبتدئين بزراعة الأعشاب الحولية والأعشاب المُعمِّرة، تبعها بعد ذلك الشجيرات الأطول عمرًا والأشجار

شكل ٤-٤: صور توضح التعاقُب البيئي في وادي مورتيراتش، بسويسرا؛ حيث يكشف انحسار النهر الجليدي عن أرض جديدة تستعمرها النباتات وتتطوَّر بمرور الوقت إلى مجتمعٍ أكثر تعقيدًا وثراءً. جرى التقاط الصور الثلاث جميعها من الموقع ذاته؛ حيث كانت مقدمة النهر الجليدي موجودة في عام ١٩٧٠ ومُطلة على الوادي باتجاه النهر الجليدي المنحسِر. الْتُقطت الصورة العلوية في عام ١٩٨٥، والصورة الوسطى في عام ٢٠٠٢، والصورة السُّفلى في عام ٢٠١٨.

شكل ٤-٥: غابة مكتملة النمو ولكنها ثانوية (داخل غابة هارفارد) تُغطي الآن ما كان في السابق نظم حقول واسعة النطاق موجودة في المناطق الريفية بولاية ماساتشوستس، وهُجرت في منتصف القرن التاسع عشر. أسوار الحقول القديمة التي تتقاطع مع الغابة هي مخلفات خاصة باستخدامات الأرض في الماضي.

السريعة النمو، وأشجار حور راجفياني وأشجار البتولا الورقية، وأخيرًا الأشجار الكبيرة والقيقب السكري والزان والشوكران والبلوط الأحمر التي تشغل الآن هذه المزارع السابقة. وتُعد غابات شرق الولايات المتحدة بالكامل تقريبًا غابات ثانوية عادت للنمو مرَّة أخرى وليست غاباتٍ بِكرًا.

هل انتهى التعاقُب البيئي عند هذا الحد؟ ربما يتَّجه مجتمع ما، إذا تُرك بكرًا بلا أي تدخل، نحو حالةٍ تهيمن عليها الأشجار الكبيرة التي تُلقي بظلالٍ كثيفة لا يستطيع أن يستمر في العيش فيها إلا الأنواع التي تنمو بذات البطء وتتحمَّل الظلال. وهذه الحالة هي حالة الذروة، وهو مفهوم نظري ذو تاريخ طويل ومُعقَّد. ففي عام ١٩١٦، ذهب فريدريك كليمنتس إلى أنه حال توافُر الوقت الكافي، تُهيمن حالة ذروة واحدة على أي منطقة مناخية مُعيَّنة بغض النظر عن نقطة البداية البيئية الخاصة بها. أدَّت هذه الرؤية، التي انتقدها آرثر تانسلي وهنري جليسون، إلى جدلٍ طويل، ومرير أحيانًا، حول العمليات

التنظيمية الكامنة وراء التعاقُب البيئي. اعتبر كليمنتس المُجتمعات كائنات حية خارقة تمرُّ بسلسلة من المراحل التطورية، لكلٍّ منها تنظيمها الداخلي الخاص. أما جليسون، فذهب إلى أن التفاعُلات بين الأنواع الفردية تُحدِّد التسلسُلات التعاقُبية، وأن النتائج ليست مُحدَّدة في الغالب؛ نظرًا لتأثُّرها بأحداثٍ عرضية خاصة بالانتشار وقدرة الأفراد على الاستعمار وتأسيس الوجود والتنافُس بنجاح على الموارد. وعلى عكس تفسير كليمنتس للمجتمع بوصفه «كيانًا عضويًّا» منفردًا، يقول جليسون إن المجتمع «ليس كائنًا حيًّا، ونادرًا ما يكون حتى وحدة نباتية، وإنما مجرَّد حالة «توافُق»» (جاء التأكيد على الكلمة الأخيرة في النص الأصلي للاقتباس). وزعم تانسلي أن الذروة المحلية تُحدِّدها عدة عوامل. وما المناخ إلا عامل واحد من هذه العوامل؛ وتشمل العوامل الأخرى التربة والجيولوجيا وواجهة المنحدرات والتضاريس. ومن الصعب عمليًّا تحديد مجتمعات الذروة المنعزلة والمستقرَّة؛ نظرًا لأن بِنية المجتمعات وتركيبها تتنوَّع باستمرار عبر تدرُّجات بيئية عديدة. والاضطرابات، على أي حال، موجودة دومًا بشكلٍ أو آخَر.

غير أن معدَّل التغيُّر في مجتمعٍ ما عادةً ما يكون غير محسوس، وهذا كافٍ لإعلان الوصول إلى مجتمع الذروة. وربما يستغرق التعاقُب في حقلٍ مهجور مائة أو مائتَي عامٍ من أجل الوصول إلى حالة من الذروة، كما حدث على الأرجح في أغلب المناطق الواقعة شرق الولايات المتحدة. ففي أثناء تلك الفترة، أعاد تساقط الثمار بفعل الريح وتفشِّي الأمراض واندلاع الحرائق عمليات التعاقُب إلى وضعها الأصلي. وابتدأ انحسار الغطاء الجليدي في نصف الكرة الشمالي قبل نحو ١٠ آلاف عام عمليات التعاقب التي يُقال إنها مستمرة حتى يومِنا هذا؛ ولذا ثمَّة شكوك حول ما إذا كان هناك وجود فعلي لحالة نظرية على أرض الواقع.

مقايضات التنافُس والاستعمار

لماذا يحدُث التعاقب البيئي، ولماذا يحدث بالطريقة التي ينتهجها؟ طُرحت تفسيرات نظرية كثيرة للانقلاب التعاقُبي للأنواع، بداية من الأعشاب والنباتات العشبية السريعة النمو وصولًا إلى الشجيرات والأشجار الخشبية الأبطأ نموًّا والأطول عمرًا، وهو ما يوازيه تطور مجتمعات متزايدة التنوع والتعقيد. وتدور الكثير من هذه التفسيرات حول المقايضات الشائعة في علم البيئة. لا يستطيع نوع واحد أن يتفوَّق في كل شيء. فعندما يتكيَّف نوعٌ ما مع ظرف معيَّن، تتراجع قُدرته على التجاوب مع الظروف الأخرى. ومن هذا المنطلق،

يبدو علم البيئة أشبَه بلعبةٍ لا ربح فيها ولا خسارة، وتلوح المقايضات في أفق عمليات التعاقب البيئي، بما في ذلك عمليات المنافسة في مقابل عمليات الاستعمار.

ينتمي الأفراد الذين يؤدُّون أداءً جيدًا في المراحل المبكرة من التسلسلات التعاقبية إلى الأنواع التي تنمو بسرعة، بشرط وفرة الموارد. وهذه هي الأنواع قصيرة العمر التي تستعمر الأرض الجرداء، أو الأعشاب والشجيرات السريعة النمو التي تستفيد من وفرة الموارد. والواقع أن الموارد تكون وفيرةً بالفعل في البدايات؛ نظرًا لانخفاض الطلب على المساحة والضوء والمُغذيات، بالوضع في الاعتبار الكتلة الحيوية المبدئية للمجتمع الصغير. ويتغير هذا الوضع مع دخول مزيدٍ من البذور وظهور النباتات. فتزايد أعداد النباتات — التي تتنافس جميعًا من أجل المساحة — يُحفِّز المنافسة على الموارد المتناقصة. ولا يستطيع الوافدون الأوائل، ذوو الطلب المرتفع على الموارد، الحفاظَ على النمو السريع عند التنافس مع الوافدين في وقتٍ لاحق، الذين يستغلون الموارد الشحيحة بكفاءة أكبر. وعاجلًا أو آجلًا، تفرض النباتات الأبطأ نموًّا، ولكنها أكثر كفاءة، سيطرتَها وتحلُّ محل الأنواع الأسرع نموًّا التي تتطلَّب موارد كثيرة.

ويستلزِم بقاء جماعات الأنواع السريعة النمو أن تواصل استعمار المواقع المضطربة؛ حيث تُوجَد نُدرة نسبية في المنافسين ووفرة في الموارد. تخلق الاضطرابات البيئية مثل هذه المواقع، إلا أن تحديد مكانها عن طريق نشر البذور هي مسألة تعتمِد على الحظ إلى حدٍّ كبير. ومن أجل تعظيم فرصة نجاح الاستعمار، تُسرف النباتات الأولية التعاقُب في استخدام الموارد لإنتاج كمياتٍ كبيرة من البذور الصغيرة. وتنتشر هذه البذور المُنبتة على نطاق واسع، غالبًا عبر تيارات الرياح، ويُحالف الحظ عددًا قليلًا منها ليهبط على مناطق مناسبة وفيرة الموارد. ولا تحمل البذور الصغيرة بداخلها سوى مخزوناتٍ ضئيلة من الموارد لدعم الأجنة النباتية التي تحتويها، ومن ثم ليس من المرجَّح أن تصمد في المنافسة مع النباتات البذرية الأكبر حجمًا ما لم يُصادف هبوطها في بيئات غنية بالموارد. وعلى النقيض من ذلك، تميل الأنواع المتنافسة إلى إنتاج بذور كبيرة زاخرة بالموارد. وهذا يمنح النباتات الصغيرة الأسبقية في بيئة تنافسية.

قد يبدو الجمع بين نزعةٍ تنافسية شديدة والإسراف في التكاثر استراتيجية لا تُقهر، ولكن المقايضات تحُول دون ذلك. فإنتاج أعداد كبيرة من البذور هو أمر مُكلِّف من حيث الموارد؛ إذ يُقلِّل الموارد المخصَّصة للنمو، أو المُخصصة للجذور لتمكينها من الوصول إلى المُغذِّيات، أو المُخصصة للأوراق لالتقاط الضوء، أو للسيقان الخشبية القوية

لمقاومة الأضرار الميكانيكية، أو للسموم الكيميائية للحماية من الآفات وآكِلات الأعشاب. فالمُقايضات تحُول دون نموِّ نباتات فائقة.

ماذا عن الحيوانات؟

عندما نُفكر في التعاقُب البيئي، نفكِّر في النباتات بالأساس، وذلك لسببٍ واضح مفاده أن تطور المجتمع البيئي على اليابسة يعتمد إلى حدٍّ كبير على تكوُّن الأعشاب والشجيرات والأشجار ونموها وتحولها، وهو ما يُعطي للبيئة شكلها المُميز ويخلق الموئل الذي تعيش فيه الحيوانات. وبالرغم من ذلك، يمكن أن تؤثِّر الحيوانات فعليًّا على مسارات ونتائج التعاقُب. وتلعب الفقاريات أدوارًا محورية في تغيُّر الوفرة النسبية للبذور من خلال افتراس البذور، وفي عمليات الاستعمار من خلال البذور التي تنشرها. فتنشر الفقاريات نحو ٦٠ في المائة من أنواع النباتات الخشبية في الغابات النفضية شرق الولايات المتحدة، في حين تنشر الطيور والثدييات ما بين ٦٠ في المائة إلى ٩٥ في المائة من الأنواع الخشبية في الغابات الاستوائية وشِبه الاستوائية حول العالم. وتنشر الحيوانات ذات الأجسام الأكبر حجمًا نباتات ذات بذورٍ كبيرة، والتي عادةً ما تكون أنواعًا تعاقُبية فيما بعد. وعادةً ما تكون مثل هذه الحيوانات أكثر عُرضةً للصيد والتدهور البيئي، والأرجح أن فقدانها من شأنه أن يؤثر على المسارات التعاقبية لترميم الموائل البيئية. تمثل البذور الكبيرة للكثير من النباتات التعاقبية اللاحِقة حِصصًا غذائية جذابة للقوارض الجائعة. وتشكِّل آكلات الحبوب العمليات التعاقُبية من خلال تقليل كثافات بذور النباتات ذات البذور الكبيرة، كلٌّ على حسب تفضيلاته.

وتستطيع الفقاريات أن تعرقل التعاقب برمته. فتمنع أعدادًا كبيرة من الغزال الأحمر في مرتفعات اسكتلندا تجدُّد الغابات الشجرية في مناطق شاسعة من أراضي الخلنج المُستنقعية العديمة الأشجار. بالمثل، تقتات أعداد كبيرة من الأفيال في السهول العشبية الأفريقية على الأشجار وتكسرها وتسحقها، مُفضِّلة بقاء الحشائش التي تحافظ عليها حرائق الغابات بدورها.

الأنظمة البيئية

يتجلَّى الجدال الذي دار، في أوائل القرن العشرين، بين علماء البيئة المُهتمِّين بتعاقُب المجتمعات النباتية وطبيعة الذروة حتى يومِنا هذا في الخلاف القائم بين المقاربات

الشمولية والاختزالية لدراسة الأنظمة البيئية. عرف تانسلي الأنظمة البيئية بأنها أنظمة «لا تشمل مجموعة الكائنات الحية وحسب؛ وإنما تشمل أيضًا المجموعة الكاملة من العوامل المادية التي تشكِّل ما نُطلِق عليه بيئة المناطق الأحيائية.» وأكَّد اقتران العمليات البيولوجية والكيميائية والفيزيائية داخل نظام بيئي واحد. وتستوحي بعض التعريفات الحديثة تفسير تانسلي؛ إذ عُرِّفت الأنظمة البيئية باعتبارها «وحدة تضم مجتمعًا (أو مجتمعات) من الكائنات الحية وبيئتها الطبيعية والكيميائية، على أي نطاقٍ مُحدَّد بصورة مستساغة؛ حيث تُوجَد تدفُّقات متواصِلة من المادة والطاقة في نظامٍ تفاعلي مفتوح.» قد تكون وحدات النظام الإيكولوجي «المُحدَّدة على نحوٍ مستساغ» صغيرة صِغَر مجتمع الكائنات الحية التي تعيش في تجويفٍ مملوء بالماء في نبات الإبريق. وفي أغلب الأحيان، تتحدَّد الأنظمة البيئية على نطاقاتٍ مكانية أكبر داخل بيئاتٍ مُتباينة نسبيًّا، مثل مجرى مائي، أو بحيرة، أو غابة شجرية. وقد ازدادت تعريفات الأنظمة البيئية غموضًا وصعوبةً بفضل دخول تفسيرات أكثر ميوعةً تشمل قطاعاتٍ واسعة من العلوم البيئية والاجتماعية. وهذه التفسيرات الأخيرة أكثر شمولية في تضمين الأشخاص وتصرفاتهم بوصفها عناصر أصيلة في الأنظمة البيئية.

فسَّر ريموند ليندمان الأنظمة البيئية من خلال علاقات المكونات الأحيائية واللاأحيائية التي تتدفَّق من خلالها الطاقة والمادة. وكفاءة هذه المكونات في الحصول على الطاقة والاحتفاظ بها تعتمِد على البِنية الطبيعية والهيكل الغذائي للأنظمة البيئية. وتشمل البنية الطبيعية للأنظمة البيئية حجم وتوزيع الخصائص الطبيعية للنظام. ربما لا تكون هذه الخصائص بيولوجية بالمقام الأول في الأنظمة المائية أو الصحاري أو التندرا. ففي هذه الأنظمة، تُقيد الصخور أو الرواسب أو المياه أو الجليد توزيع أحياء المنطقة البيئية ووفرتها ودرجة تعقيدها، ولا يكون لدَيها قدرة كبيرة على تعديل البيئة. أما في الأنظمة البيئية الأكثر إنتاجية، مثل الغابات، تكون بِنية النظام الإيكولوجي بيولوجية بالمقام الأول. فتحصل الأشجار على الطاقة الشمسية وتمتص المواد المُغذية ومن ثَم تعدِّل الظروف الأحيائية على نحوٍ ملحوظ، من خلال المشاركة مثلًا في تكوين التربة، وتكوين الحُتات للأنظمة النهرية، وإبطاء وتيرة التآكل، وتنظيم درجة الحرارة والترسيب، وتغيير أنظمة الاضطراب.

الهيكل الغذائي

يتميَّز الهيكل الغذائي للنظام البيئي بالشبكة الغذائية. ويمكن دراسة الأنظمة البيئية من حيث الحصول على الطاقة من الشمس وتخزينها على هيئة كربوهيدرات في الأنسجة النباتية، لتنتقل عَبْر مساراتٍ غذائية متنوِّعة من آكِلات الأعشاب إلى آكِلات اللحوم. ويؤدي التحلُّل إلى إطلاق المُغذيات في المكونات الأحيائية للنظام البيئي مرَّة أخرى، في حين تتبدَّد الطاقة على هيئة حرارة، ومن خلال عملية التنفُّس المُجمع للمجتمع.

تمدُّ أشعة الشمس أحياء الكرة الأرضية بالطاقة، مع وجود عددٍ قليل جدًّا من الاستثناءات. ويُشكِّل حصول النباتات على الطاقة أثناء عملية البناء الضوئي أساس السلسلة الغذائية، وهو المستوى الغذائي الأول في أي مجتمعٍ بيئي. وتشمل الاستثناءات البكتيريا المُخلَّقة كيميائيًّا في أعماق المحيطات الحالكة الظلمة، التي تنتج كتلةً حيوية من أكسدة كبريتيد الهيدروجين أو الأمونيا بدلًا من إنتاجها من البناء الضوئي. وقد وضع ريموند ليندمان إطارًا مفاهيميًّا للسلاسل الغذائية والشبكات الغذائية على أنها انتقال للطاقة من النباتات، أي المستوى الغذائي الأول، إلى المستويات الغذائية التالية التي تشمل آكِلات الأعشاب وآكِلات اللحوم والكائنات الحية المُحلِّلة أو المُحلِّلات. وتعتمد الطاقة المُتاحة عند أي مستوى غذائي على كتلته الحيوية؛ أي كتلة الكائنات الحية عند ذلك المستوى الغذائي. ومن خلال دراسة انتقال الطاقة عَبْر المستويات الغذائية لنظام بيئي ما، من الممكن تحديد مقدار الكتلة الحيوية التي يُمكن أن يدعمها نظام بيئي ما.

لا تستطيع الفطريات والحيوانات، وكذلك أغلب أنواع البكتيريا، تخليق كتلة حيوية جديدة من خلال البناء الضوئي؛ ولذا تحصل على احتياجاتها من المادة والطاقة من النباتات. وتقوم بذلك مباشرةً من خلال تناول النباتات، أو عن طريق غير مباشر من خلال أكل بعضها بعضًا. والإنتاج الأوَّلي هو معدَّل الكتلة الحيوية الناتج لكل وحدة مساحة تشغلها النباتات؛ أي المستوى الغذائي الأول. أما الإنتاج الثانوي فهو معدل الكتلة الحيوية الجديدة التي تُنتجها الكائنات الحية المُستهلكة. وتشكل الكائنات الآكِلة النباتات المستوى الغذائي الثاني، بينما تشغل آكِلات اللحوم، التي تتغذَّى على آكلات الأعشاب، المستوى الثالث. وربما يكون هناك حيوانات مفترسة تتغذَّى على الحيوانات في المستوى الغذائي الثالث. ونادرًا ما يكون هناك أكثر من أربع مستويات غذائية في أي مجتمعٍ بيئي. ويتعلَّق السبب جزئيًّا في ذلك بمسألة انتقال الطاقة.

يأتي الإنتاج الثانوي لآكِلات الأعشاب في مرتبةٍ أقل من الإنتاج الأوَّلي. بالمثل، يتحوَّل عُشر إنتاج آكِلات الأعشاب فقط إلى كتلة حيوية للحيوانات المُفترسة. لذا تمثِّل الكتلة الحيوية المتاحة للكائنات الحية التي تشغل مستوياتٍ غذائية أعلى جزءًا ضئيلًا من الكتلة الحيوية التي تُنتجها النباتات. فلا تُوجَد ببساطة طاقة كافية في المستويات الغذائية الأعلى لدعم الجماعات القابلة للاستمرار ولكنَّها في الوقت ذاته تشمل عددًا أكبر من المستويات الغذائية.

ماذا يحدث للكتلة الحيوية للنباتات والطاقة التي تُمثِّلها؟ لا يُستهلك أغلبها ببساطة، وعندما تموت النباتات تُستغَل كتلتها الحيوية (التي يُطلق عليها في هذه الحالة الكتلة الحيوية الميتة) من جانب مجتمع المحللات الموجودة في التربة — ويتشكل أغلبها من البكتيريا والفطريات والعديد من اللافقاريات — التي تُعيد المواد النباتية إلى التربة مرَّة أخرى. وجزء كبير من الكتلة الحيوية المأكولة لا يمكن أن يتحوَّل بسهولةٍ إلى أنسجة حيوانية، وبدلًا من ذلك تخرج على هيئة فضلات. فالحيوانات غير مؤهلة جيدًا لهضم الكربوهيدرات المُعقَّدة بنيويًّا (الليجنين والسليلوز) التي تُمثل نسبة عالية من الأنسجة النباتية. ومن ثَم فهي لا تمتص إلا نحو ٢٠ إلى ٥٠ في المائة من الكتلة الحيوية التي تستهلكها، على الرغم من أن آكِلات الحبوب أو الفواكه يمكن أن تمتصَّ نسبة كبيرة من الطاقة تصل إلى ٧٠ في المائة. على النقيض من ذلك، تمتص آكِلات اللحوم التي تتغذَّى على الأنسجة الحيوانية، نحو ٨٠ في المائة من الكتلة الحيوية المستهلكة. وتستخدِم الحيوانات أيضًا بعض الطاقة التي تأتي من الكتلة الحيوية المستهلكة للقيام بأنشطتها، سواء اصطياد الفريسة، أم الهروب من الحيوانات المُفترسة، أم ملاحقة شركاء التزاوج، أم الدفاع عن مناطق النفوذ، أم بناء الأعشاش، أم الهجرة. علاوةً على ذلك، يُسفر عدم الكفاءة في استغلال الطاقة وتحويلها من هيئتها ككتلةٍ حيوية عن فقدانها على هيئة حرارة. ومن ثَم، لا يستخدم سوى قدرٍ ضئيل فقط من الطاقة الشمسية التي تحصل عليها النباتات في تكوين الكتلة الحيوية الحيوانية (جدول ٤-١).

ولأسباب عدم الكفاءة في تحويل الطاقة، لا تُمثل الكتلة الحيوية وعدد المستويات الغذائية الأعلى إلا جزءًا صغيرًا جدًّا من الكتلة الحيوية للنباتات عند أدنى مستوى. وقد لاحظ تشارلز إلتون في البداية تراجُع الكتلة الحيوية بمقدار نحو عشرة أضعاف من كل مستوى غذائي إلى الذي يليه، إلا أن ريموند ليندمان استطاع تفسير هذا النمط بأنه ناشئ عن انتقال الطاقة وفقدانها. وفي هذا المقام، لا مفرَّ من القانون الثاني للديناميكا الحرارية

الذي ينص على أن الطاقة تتبدَّد بينما تؤدي مهمتها في تحويل المادة من شكلٍ إلى آخَر عَبْر السلسلة الغذائية. والقانون الثاني للديناميكا الحرارية هو الذي يُفسِّر، على حد قول بول كولينفوكس، سبب ندرة الحيوانات الشرسة الكبيرة.

جدول ٤-١: الكتلة الحيوية للنباتات والحشرات والفقاريات مُجمعة من مجموعة من الأنظمة البيئية، تبين أن نسبة ضئيلة فقط من الكتلة الحيوية النباتية تتحول إلى كتلة حيوية حيوانية (جميع القيم مُقدَّرة بالجرامات لكل متر مربع)

النظام الإيكولوجي	النباتات	الحشرات	الفقاريات
الغابات الاستوائية المنخفضة في بيرو	٣٩٠٠٠	٥,٤	٠,١٥
الغابات الصنوبرية المعتدلة	٣٠٠٠٠	٢,٤	٠,٠٨
الغابات النفضية المعتدلة	٢٠٠٠٠	٥,٠	٠,١١
المراعي الاستوائية، سيرينجيتي	٣٠٠٠	٠,٧٦	٢,٣
المراعي المعتدلة، كولورادو، الولايات المتحدة الأمريكية	٢٣٠٠	٠,٦٢	١,١
كروبلاند، بولندا	١٢٦٠	٥,٨	٠,٢
مجرى مائي، أريزونا، الولايات المتحدة الأمريكية	٣٥٠	٣,٠	٥٠

الدورات البيوجيوكيميائية

يربط تركيز ليندمان على تدفُّقات الطاقة والمواد عَبْر الأنظمة البيئية، بين العمليات الإيكولوجية والبيوجيوكيميائية. ينشأ التدوير البيوجيوكيميائي من تدفُّقات المواد بين مكونات النظام الإيكولوجي الأحيائي واللاأحيائي. فالنباتات، مثلًا، تمتصُّ المُغذيات من التربة، وهو ما يتيسَّر بفعل نشاط الكائنات الحية في التربة، والتعايش بين النباتات والفطريات الجذرية أو الكائنات الحية الدقيقة. تنتقِل المُغذيات إلى أعلى عَبْر الشبكة الغذائية عندما تستهلك الحيوانات العاشبة الأنسجة النباتية، ويُعاد تدويرها في النهاية مرَّة أخرى داخل التربة من خلال عملية التحلُّل. تقوم الحيوانات المُستهلكة، سواء أكانت عاشبة أم مفترسة، بتسريع إعادة تدوير المُغذيات عن طريق الإخراج، وإعادة توجيه تدفُّقات المُغذيات عن طريق نقلها عبر المشهد الطبيعي أو بين الأنظمة البيئية. ويساهم

ظهور مجموعات النمل أو حشرات السيكادا المُتكاثرة بصفةٍ دورية، أو بعبارة أدق موتها وتحللها فيما بعد، في الدفع بالمُغذيات إلى الأنظمة البيئية المائية بما يكفي لتحفيز الإنتاجية المائية. وتحدُث تدفُّقات عكسية عندما يخرج الهاموش البالِغ من موئله اليرقي المائي، مما يزيد من مُدخلات النيتروجين والفوسفور حتى خمسة أضعاف إلى الأنظمة البيئية الأرضية في نطاق ٥٠ مترًا من المجاري المائية.

تؤثر التغيُّرات في تكوين الأنواع في المُجتمعات البيئية بعد وقوع اضطرابٍ ما أو في أثناء التعاقُب البيئي على معدلات المُغذِّيات ومسارات تدفُّقها. فالمُجتمعات النباتية الأولية التعاقُب، التي تنشأ بعد وقوع اضطرابٍ ما بفترةٍ وجيزة عندما تكون الموارد وفيرة، مهدرة للمُغذيات عمومًا؛ نظرًا لضعف المنافسة أو غيابها عن المشهد تمامًا. ويُفقد المزيد من المغذيات من النظام خلال هذه المراحل مقارنة بمراحل التعاقب اللاحق عندما تقتضي المنافسة الاحتفاظ بقدر أكبر من المغذيات وإعادة تدويرها. وتصبح المغذيات المفقودة من أحد الأنظمة البيئية مدخلاتٍ في نظامٍ آخَر. ويُعد الحتات المنجرف إلى المجاري المائية في أثناء هبوب العواصف المصدر الأساسي للمُغذيات لكثيرٍ من الأنظمة البيئية للمجاري المائية، وتُعد المادة العضوية التي تنتقل مع التيار مصدرًا رئيسًا للمغذيات بالنسبة إلى الأنظمة البيئية لمصبَّات الأنهار والأنظمة البيئية الساحلية.

تفتقر الأنظمة الزراعية المُكثفة ونظم زراعة الغابات نسبيًّا إلى الكفاءة في الاحتفاظ بالمُغذيات؛ لأن الأنواع القليلة التي تحتوي عليها لا يُمكنها الحصول على المادة بمختلِف أشكالها وكذلك المُجتمعات النباتية الأكثر تنوُّعًا. وتشتمل مزائج الأنواع المتنوِّعة على مجموعة أكبر من الاستراتيجيات للحصول على المُغذيات، وتتمتَّع بمجموعةٍ أكبر من التفاعُلات التقايضية مع الكائنات الحية في التربة، مما يزيد من المسارات التي تمتصُّ النباتات من خلالها المُغذيات مثل النيتروجين. وانخفاض نسبة المُغذيات التي يتم الحفاظ عليها في الزراعة المُكثفة يُجبِر المزارِعين على استخدام الأسمدة الصناعية لتعويض المغذيات المفقودة. والآن يتفوَّق النيتروجين المُثبَّت صناعيًّا من الغلاف الجوي والمُستخدَم في تصنيع الأسمدة على التثبيت البيولوجي للنيتروجين من جانب جميع الأنظمة البيئية الأرضية. ويشكل الاستخدام المستمر للأسمدة النيتروجينية في زراعة المحاصيل تهديدًا للتربة والمياه وجودة الهواء بسبب تسرُّب النيتروجين وانبعاثات أكسيد النيتروز (N_2O)، وهو أحد الغازات الدفيئة القوية التي تؤدي أيضًا إلى تدهور طبقة الأوزون. ومن خلال تطبيق المعرفة الإيكولوجية، عن طريق الاعتراف بقيمة توليفات الأنواع الموجودة في الأنظمة

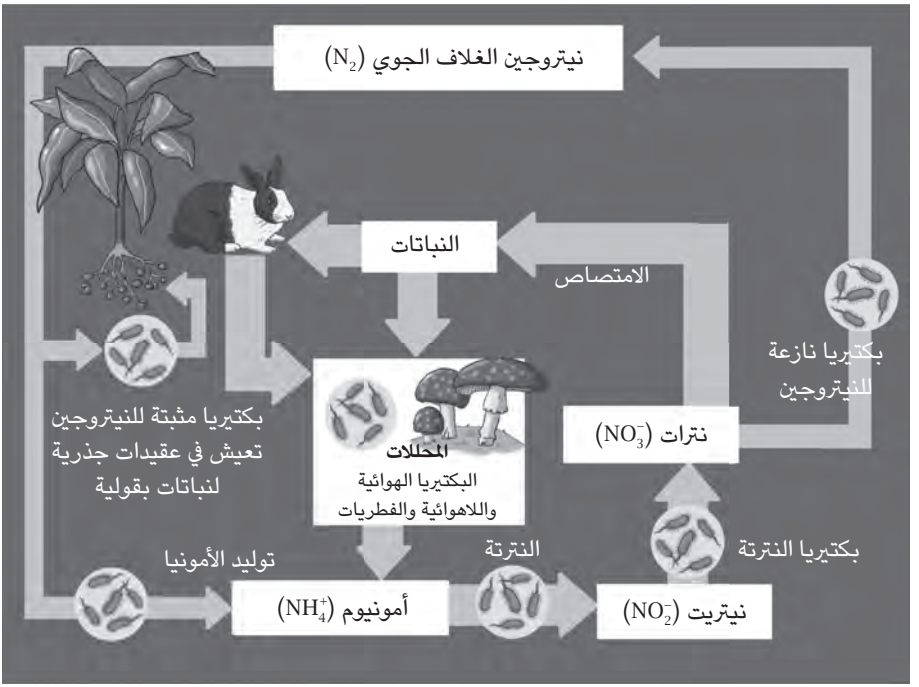
الزراعية، يُمكننا تحسين دورة المُغذيات وكفاءة الاحتفاظ بها، وتقليل استخدام الأسمدة المُصنعة وتأثيراتها البيئية السلبية.

دورة النيتروجين

تتحكم مجموعات الكائنات الحية، والتفاعُلات بينها، في التدفُّقات البيوجيوكيميائية، بما فيها تلك الخاصة بدورة النيتروجين. يدور النيتروجين، الذي يُعَد عنصرًا غذائيًّا أساسيًّا لنمو النباتات، عَبْر الأنظمة البيئية الجوية والأرضية والبحرية في أشكال جزيئية مختلفة (شكل ٤-٦). ففي التربة، تبدأ العملية بتثبيت النيتروجين الجوي (N_2) عن طريق البكتيريا، أو تحويل النيتروجين العضوي من الروث وجُثث الحيوانات والنباتات إلى أمونيوم (NH_4^+)، ونيتريت (NO_2^-) ونترات (NO_3^-). تمتص النباتات الأمونيا والنترات وتنتقِل إلى الحيوانات التي تتغذَّى عليها. ويُعاد النيتروجين إلى التربة على هيئة روث أو جثث. ويعود بعض النيتروجين إلى الغلاف الجوي من التربة من خلال نزع النيتروجين من البكتيريا؛ من خلال عملية اختزال النترات إلى غاز النيتروجين (N_2)، الذي يكمل دورة النيتروجين.

تُعد النباتات أطرافًا نشِطة في هذه العملية. فمن خلال الاستعانة بفطريات التربة بوصفها فطريات جذرية شريكة، ومن خلال تكوين علاقات تكافُلية جذرية أخرى مع بكتيريا التربة، تسرِّع النباتات امتصاص المركبات النيتروجينية وتحويلها إلى كتلةٍ حيوية نباتية. وتُشكل معظم أنواع النباتات البقولية، البالِغ عددها نحو ١٨ ألف نوع، ومن بينها الأنواع المألوفة مثل الفاصوليا والبازلاء والبرسيم، علاقات تكافُلية مع بكتيريا «الريزوبيا» المثبتة للنيتروجين والموجودة داخل العقد الجذرية. تمد النباتات بكتيريا الريزوبيا بالكربوهيدرات، وفي المقابل تحصل على النترات التي تستمدها البكتيريا من النيتروجين الجوي. ويستطيع أن يثبت البرسيم الحجازي أكثر من ٢٠٠ كيلوجرام من النيتروجين لكل هكتار سنويًّا، بينما تثبت أنواع البرسيم الأخرى نحو ١٥٠ كيلوجرامًا للهكتار سنويًّا.

تُطلق جذور النباتات إفرازات غنية بالكربون تُحفز التحول البكتيري للمادة العضوية الموجودة في التربة إلى أشكالٍ من النيتروجين جاهزة للاستعمال، ممَّا يُفيد كلًّا من الميكروبات والنباتات على حدٍّ سواء. وتوفر بعض فطريات «ميثاريزيوم» الحرة غير التكافُلية للنباتات ما يصِل إلى ٤٨ في المائة من احتياجاتها من النيتروجين من أنسجة



شكل ٤-٦: تلعب إيكولوجيا التفاعلات التقايضية والتنافسية والاستهلاكية بين الحيوانات والنباتات والفطريات والبكتيريا دورًا مهمًّا في دورة النيتروجين.

الحشرات عن طريق إصابة حشرات التربة واستهلاكها، وفي المقابل تُطلق النباتات الكربون من الجذور.

تحدث عمليات فقد النيتروجين من الأنظمة البيئية من خلال تسرُّب النترات إلى المياه الجوفية، أو تحويلها إلى غاز النيتروجين من خلال نزع النيتروجين الميكروبي. يتأثر الاحتفاظ بالنيتروجين أو فقده باستراتيجيات نمو النبات وسِماته والتفاعلات بين النباتات وميكروبات تدوير النيتروجين. تُقلل النباتات السريعة النمو من فقد النيتروجين من خلال التنافُس مع البكتيريا على النترات، مما يُقلل فرصة فَقْد مركبات النيتروجين من النظام الإيكولوجي من خلال التسرُّب أو الانبعاثات الميكروبية. بعض مروج البراكياريا العشبية الاستوائية، واثنان على الأقل من محاصيل الأعلاف النباتية في المناطق المعتدلة، ألَا وهما البرسيم الحجازي (ميديكاجو ساتيفا) والنجيل الإصبعي (داكتيلاس جلومراتا)، تقلِّل من

تسرُّب النيتروجين من التربة عن طريق إطلاق مواد كيميائية تُثبط نشاط كائنات النترتة الدقيقة، مما يُقلِّل من معدلات توليد الأمونيا والنترتة بنسبة ٩٠ بالمائة. وفي حين أن هذا قد يبدو ذا نتائج عكسية للنباتات التي تعتمِد على النترات التي تُنتجها هذه البكتيريا، إلا أن هذه المُثبطات لا تُطلق إلا عندما تكون تركيزات الأمونيا في جذور النباتات عالية. وتسخير هذا المثبط المشروط للنشاط الجرثومي يمكنه زيادة كفاءة استخدام النيتروجين في النظم الزراعية. وهذا من شأنه أن يُقلِّل الحاجة إلى مدخلات الأسمدة، ومن ثم تجنُّب التسرُّب المُفرط للنيتروجين في المجاري المائية الذي قد يتسبب في تكاثر الطحالب، على حساب الحشرات المائية والأسماك.

بينما تباين أنواع النباتات المختلفة في قُدرتها على التأثير في عمليات تدوير النيتروجين، المرهونة باستراتيجياتها للحصول على الموارد والسمات المُرتبطة بها، فإن إيكولوجيا التفاعلات بين النباتات والفطريات والبكتيريا لها آثار كبيرة على تدفُّقات النظام الإيكولوجي من النيتروجين والمواد المغذية الأخرى، وتُحدد طبيعة دورة النيتروجين على نطاقات أكبر.

العودة إلى التاريخ الطبيعي

كانت رؤية ريموند ليندمان العظيمة هي تفسير الأنظمة البيئية المُعقدة على أنها تدفُّقات للطاقة والمادة بين مكونات الأنظمة البيئية الأحيائية واللاأحيائية. ويشتهر بدراسته المبتكرة الكَمِّيَّة والمفاهيمية لنظام بيئي كامل، بما في ذلك الكائنات الحية الدقيقة والنباتات والحيوانات والمكونات غير الحية. ولكن ما لا يُعرف عن ريموند الشاب أنه قضى سنوات طفولته مُنغمسًا تمامًا في حُبه التاريخَ الطبيعي. ويعود الفضل في فَهْمه الأنظمة البيئية، بما في ذلك مفهوم الشبكات الغذائية وانتقال الطاقة، إلى نزهاته إلى الأطراف الوعرة لمزرعة العائلة سيرًا على الأقدام.

الفصل الخامس

أسئلة بسيطة وإجابات مُعقَّدة

في علم البيئة، تحظى الأسئلة البسيطة بإجاباتٍ مُعقَّدة. وأبسط الأسئلة، كما لاحظ بول كولينفوكس قبل أربعة عقود، هي الأسئلة المتعلِّقة بالأسباب أو أسئلة «لماذا». لماذا العالم لونه أخضر؟ لماذا يوجد أنواع كثيرة؟ لماذا الحيوانات الضخمة الشرسة نادرة؟ لماذا ينبغي أن نهتمَّ بالتنوع الحيوي؟ تدعونا هذه الأسئلة البسيطة على نحوٍ مخادع إلى التعمق في دراسة المبادئ الأساسية للنظرية الإيكولوجية. أما الأسئلة التي تتناول الكيفية، فتدور حول آليات عِلم البيئة، والعمليات التي تعمل الجماعات والمجتمعات والأنظمة البيئية وفقًا لها. تربط أسئلة الكيفية بين العملية والنمَط، مما يُمكننا من إدارة الأنظمة البيئية كما ينبغي، ولكن من أجل الكشف عن المبادئ العامة لعِلم البيئة وقوانينه، علينا التفكير مليًّا في الأسئلة التي تبدأ بـ «لماذا».

لماذا يكتسي العالم باللون الأخضر؟

كم أُشفق على المزارع الفقير الغارق في كفاحٍ مستمر ضد الآفات الحشرية والعوامل المُمرضة الفطرية التي تهدِّد محاصيله الزراعية. ولهذا يستخدم ترسانة من مبيدات الآفات الكيميائية لإبقاء هؤلاء الأعداء بعيدًا عن حقوله، ويحافظ عليها خضراء ومثمرة. وتعتمد أنظمتنا لإنتاج الغذاء على براعتنا في تطوير سموم جديدة لحماية محاصيلنا من الآفات. وإذا تخلَّينا عن حذَرنا، فإننا بذلك نُخاطر بالتعرُّض لغزوٍ من شتى أنواع الحيوانات العاشبة التي تهدِّد بسلبنا محاصيلنا مثلما يحدث في موجات غزو الجراد. ويعتمد المجال الزراعي على ملاحظة إيكولوجية بسيطة مفادها أن وجود وفرة في الموارد

(أي المحاصيل) هي ميزة لصالح المُستهلكين (الحيوانات العاشبة)، ما لم يبقَ هؤلاء المُستهلكون تحت سيطرة الحيوانات المفترسة أو مبيدات الآفات.

ويعجز مثل هذا التفكير عن تفسير السبب وراء أن معظم سطح الكرة الأرضية، بداية من المناطق المدارية وصولًا إلى المناطق الشمالية المُعتدلة الباردة، يرتع في اللون الأخضر. واقتباسًا من تشارلز داروين، يستلزم هذا التنوُّع اللوني للغطاء النباتي تفسيرًا. ماذا عن الآفات التي تُهدد الجهود الزراعية للبشر؟ لماذا لا تقضي هذه الآفات على غزارة الكتلة الحيوية النباتية الموجودة على كوكب الأرض، كما تفعل بكل سهولة في حقولنا الزراعية؟ لماذا يكتسي العالم باللون الأخضر؟

جاء هذا السؤال البسيط عنوانًا لبحثٍ مُهم أُجري عام ١٩٦٠ (أجراه نيلسون هايرستون وآخرون) يخلُص إلى أن العالم يكتسي باللون الأخضر لأن أعداد الحيوانات الآكِلة للعشب والآفات الزراعية الأخرى تظلُّ مُنخفضة بسبب الحيوانات المفترسة والعوامل المُمرضة والطفيليات. فالحيوانات المُفترسة تتحكَّم في أعداد الحيوانات الآكِلة للعشب الوفيرة، مما يُخفِّف من ضغط المُستهلكين على النباتات. غير أن الحياة، وعِلم البيئة، أكثر تعقيدًا مما تراه العين للوهلة الأولى. ويعزو هذا إلى أن هذه «التأثيرات التنازُلية» يُلازمها «تأثيرات تصاعُدية»؛ حيث تتحكَّم النباتات في أعداد المُستهلكين عند المستوى الأعلى من السلسلة الغذائية. وهذا يعني أنه على الرغم من وفرة الغذاء النباتي للحيوانات العاشبة ظاهريًّا، فإن النباتات تحدُّ بطريقةٍ ما من الوصول إلى هذا الغذاء، ومن ثَم تحدُّ من أعداد الحيوانات العاشبة. والمُفترسات بدَورها تُقيَّد بأعداد فرائسها. وفي هذا السيناريو، تفرض النباتات سيطرتها بقوة. وتُعتبر نظريات التحكم التنازلي والتحكم التصاعدي على حدٍّ سواء مقبولة؛ ولذلك علينا تقييم الأدلة التي تسوقها كلتا النظريتَين لفهم السبب وراء وفرة الغطاء النباتي الأخضر في العالم.

التحكم التنازُلي

لتحديد مدى سيطرة الحيوانات المفترسة على الأنظمة الطبيعية، نحتاج ببساطة إلى انتزاع الحيوانات المُفترسة من المشهد، والانتظار لنرى ما سيحدُث. ومن المؤسِف تمامًا أن تكون هذه التجربة متواصِلة وتفتقر إلى التخطيط؛ فهي تُجرى من خلال إبادة كثيرٍ من الحيوانات المفترسة الضخمة من أحياء المناطق البيئية حول العالَم بلا تفكير. ويُمكننا، على الأقل، أن نستخلِص بعض الدروس المُستفادة من هذه القصة الحزينة.

على افتراض نموذج التحكُّم التنازُلي من أعلى الهرم الغذائي إلى أسفله، نتوقع أن تتكاثر الحيوانات العاشبة الناجية من الافتراس وتلتهِم جميع النباتات. فنجد الظباء الحمراء تجوب أراضي اسكتلندا بأعدادٍ وفيرة، في ظِل غياب الحيوانات المفترسة لها؛ نظرًا لانقراض الذئاب والوِشاق من المملكة المتحدة منذ فترةٍ طويلة. ترعى الظباء بأعدادٍ وفيرة وسط شتلات الأشجار الصغيرة وتَحُول دون تجدُّد الغابات في جميع الأماكن، باستثناء الأماكن التي يصعب الوصول إليها. وتبقى أغلب تلال المُرتفعات الاسكتلندية جرداء وخالية من الأشجار، إلا من غطاءٍ رقيق من الأعشاب أو الخلنج أو السرخس. وتعتمد الجهود المبذولة لإقامة غابات جديدة في المُرتفعات على تسييج مناطق شاسعة لمنع وصول الظباء إليها، أو الذبح المُكثف للظباء. وأسفر ذلك عن استرداد جزءٍ كبير من الأراضي الشجرية وتخضير الأراضي. وتُشير الزيادة الناتجة في الكتلة الحيوية للنباتات إثر محاكاة عملية الافتراس (في صورة ذبح متعمَّد) إلى أن الغطاء النباتي الأخضر الذي يكسو العالَم يرجع إلى التحكم التنازلي من جانب الحيوانات المفترسة في أعداد الحيوانات العاشبة.

لا تُعتبَر الجزر الشجرية الصغيرة التي نشأت عن فيضان مياه خزان لاجو جوري في فنزويلا، وخضعت للدراسة من جانب جون تيربورج، ذات مساحةٍ كبيرة بما يكفي لدعم مجموعات قادرة على البقاء من المدرَّعات والرئيسيات. فهذان النوعان من الثدييات حيوانات مفترسة للنمل القاطع للأوراق. وبما أن هذا النمل قد نجا من الافتراس، فقد تزايدت أعداده على نحوٍ هائل، مما أدَّى إلى تراجُعٍ ملحوظ في أعداد شتلات الأشجار، وانتشار سريع وغزير للنباتات المُتسلِّقة والكرمات المقاومة للنمل. وهكذا، ظلَّت الجزُر المُغطاة بالكرمات خضراء. ولم تشهد الجزُر الصغيرة أي تغيُّر في الكتلة الحيوية النباتية، وإنما حدث تحوُّل في تكوين الأنواع نحو النباتات الأقل استساغة. وأدَّى وجود هذه النباتات لاحقًا إلى الحدِّ من قدرة النمل على الحفاظ على مجموعاتٍ كبيرة، وحتى في ظِلِّ غياب الحيوانات المفترسة، مما يُشير ضمنيًّا إلى التأثيرات التصاعُدية من أسفل الهرم الغذائي إلى أعلاه؛ حيث تسيطر النباتات على أعداد الحيوانات العاشبة. وتُشير هذه النتيجة إلى أن كلًّا من التأثيرات التنازُلية والتصاعدية تلعب دورًا في هيكلة المُجتمعات البيئية.

تتأثر أهمية التحكُّم التنازُلي بالعوامل التي تؤثر على كفاءة الحيوانات المفترسة، ومن ضمنها المناخ. فعلى جزيرة رويال في بحيرة سوبيريور، تكوِّن الذئاب قطعانًا أكبر حجمًا في فصول الشتاء القارسة البرودة بصفةٍ خاصة. وهذا يزيد من نجاحها في صيد حيوانات

الموظ. ويُتيح تراجُع أعداد الموظ الذي يرعى وسط شتلات التنُّوب البلسمي (أبيس بلسميا) نموًّا سريعًا للشتلات، كما يتَّضح من الحلقات الأعرض لجذوع الأشجار. أما في فصول الشتاء الأكثر اعتدالًا، تكون القطعان أصغر حجمًا وتبحث الذئاب عن فرائس بديلة، وتُعاني شتلات شجرة التنُّوب من بطء معدلات النموِّ وارتفاع معدلات الذبول والهلاك، مما يُتيح الانتشار للأنواع النباتية الأخرى. ويُمكن للتقلُّبات المناخية أن تُغير الأنظمة البيئية من خلال تشكيل سلوك الحيوانات المُفترسة، وهو التغيُّر الذي يمتدُّ إلى المستويات الأدنى من السلسلة ليؤثر بذلك على المجتمعات النباتية.

الصحاري الخضراء

ماذا عن عمليات التحكُّم التصاعدي؟ كيف تحد النباتات من أعداد الحيوانات العاشبة؟ تستعين كثيرٌ من النباتات بوسائل دفاعية طبيعية لتحمي نفسها من الحيوانات العاشبة؛ ولنأخُذ مثالًا على ذلك؛ الأشواك الدقيقة لنباتات الصبار والسنط، أو نبات القرَّاص الكبير (أورتيكا ديويكا) المعروف في أوروبا، أو الشجرة الشبيهة بهذا النبات ولكنها مُخيفة أكثر منه؛ وهي شجرة جيمبي جيمبي اللادغة في ولاية كوينزلاند الأسترالية (شكل ٥-١). تحتوي حواف أوراق الحشائش على بلورات من السليكا تُسبب عُسر الهضم وتآكُل الفكوك السفلية للحشرات وأسنان الثدييات. وتؤدِّي طبقة الرمال المُحتجزة على السطح اللزج لنبات رَعي الحمام الرَّملي (من نوع أبرونيا) — وموطنها الأصلي الساحل الغربي لأمريكا الشمالية — وظيفة مشابهة، وتمنع اليرقات من أن تتغذَّى عليها.

تُسلح نباتات أخرى أوراقها وسيقانها بمجموعةٍ من المواد الكيميائية السامة. فالنكهات اللاذعة والحرِّيفة الموجودة داخل مطابخنا مُستخلَصة من مواد كيميائية نباتية تُعد، في الأساس، مواد سامَّة للحيوانات العاشبة التي يُحتمَل أن تتناولها. ويزخر التاريخ البشري والأدب بإشارات إلى النباتات السامة. فنجد سقراط قد تجرَّع مُستخلصًا سامًّا من نبات الشوكران (كونيوم ماكلاديوم) الغني بقلويدات البيبريدين المُميتة. وسمَّم جنود ماكبث الغزاة الدنماركيين بنبيذٍ مصنوع من الثمار الحلوة المذاق لعنب الثعلب السام (أتروبا بلادونا). كذلك تحتوي حبوب الخروع على مادة الرايسين المُميتة، حتى الكميات الصغيرة منها، التي استخدمتها الولايات المتحدة والاتحاد السوفيتي سلاحًا.

تُعد السموم النباتية مركبات أيضية ثانوية؛ أي مركبات لا تدخل في نمو النبات أو تطوره أو تكاثره، وإنما تحمي النباتات من الحيوانات العاشبة والعدوى الميكروبية

شكل ٥-١: تسلح شجرة جيمبي جيمبي، أو الشجرة اللادغة، في ولاية كوينزلاند الأسترالية نفسها بلدغةٍ تُسبِّب الألم والوهن بما يكفي لردع الثدييات الآكِلة للعشب (والأشخاص الذين تعلَّموا من واقع التجربة عدم الاقتراب منها). وعلى الرغم من هذا، يبدو أن ثمة بعض الحشرات على الأقل مُحصَّنة ضد هذه اللدغات، وتمضغ الأوراق بكل سهولة.

بدلًا من ذلك. وتُفرز أشجار الأوكاليبتوس الأسترالية مركبات المونوتيربين التي تُعتبر رادعًا قويًّا للأبوسوم الفرشائي الذيل، وتحتوي شجيرات الكريوزوت في غرب الولايات المتحدة على راتنجات الفينول التي تحد من استهلاك الجيروز الصحراوي لها، وتستخدم أشجار البتولا في الغابات الشمالية بأمريكا الشمالية حمض البيتولينيك لردع أرانب حذاء الثلج البرية. تستعين النباتات أيضًا بمجموعة من المركبات شبه القلوية والفينولات والتانينات لحماية أوراقها من الحشرات العاشبة. وفي حين أن بعض المواد الكيميائية الدفاعية الثانوية سامة جدًّا، فإن البعض الآخَر يجعل الأنسجة النباتية غير مُستساغة أو كريهة فحسب، وتتعلَّم الحيوانات العاشبة تجنُّبها. تُقلِّل المركبات السامة أعداد الحيوانات العاشبة، إلا أنها مُكلفة من حيث الموارد اللازمة لإنتاجها. وعادةً ما تنمو النباتات التي

تحتوي على تركيزات عالية من المركبات الثانوية على نحوٍ أبطأ من النباتات المُفتقِرة إلى مثل هذه الوسائل الدفاعية الكيميائية.

وبذا، تُقلِّل النباتات على نحوٍ ملحوظ ما تتناوله الحيوانات العاشبة، أو على الأقل تقلِّل معدَّل استهلاكها للنباتات، سواء تحصنت بوسائل دفاعية طبيعية أم كيميائية لتحقيق ذلك. وما يبدو للحيوانات العاشبة المُحتمَلة أنه منظر طبيعي غني هو في الحقيقة أقرب إلى صحراء خضراء. تتمتَّع النباتات أيضًا بقيمةٍ غذائية منخفضة مقارنةً بما تحتاج إليه الحيوانات. فالأنسجة الحيوانية غنية بالنيتروجين بنحو عشرة أضعاف ما تحتويه الأنسجة النباتية؛ ولذلك يجب على الحيوانات العاشبة أن تحصُل على النيتروجين من النباتات التي تُعاني من نقصٍ نسبي في المغذيات التي تحتاج إليها. ويجب أن تستهلك الحيوانات العاشبة مواد نباتية أكثر بكثير مما هو ضروري لإمدادها بالطاقة وحدَها من أجل تأمين احتياجاتها من النيتروجين. وهذا الطلَب الكبير على الكتلة الحيوية النباتية يعني ضمنًا أن الحيوانات العاشبة ستُحول العالَم من حولنا إلى اللون البُني سريعًا، ولكن من الواضح أن الموقف ليس هكذا. عوضًا عن ذلك، فإن الوقت والطاقة المُكرَّسَين لاستهلاك الأنسجة النباتية يجعل الحيوانات العاشبة عُرضةً للحيوانات المُفترسة، ويُتيح وقتًا أقلَّ للتكاثُر. وكِلا العاملَين يحافظ على انخفاض أعداد الحيوانات العاشبة.

وإذا كانت هذه النظرية صحيحة، فإن زيادة محتوى المواد المُغذية للنباتات عن طريق إضافة الأسمدة يدعم الكتلة الحيوية العاشبة الموجودة في المستوى الغذائي الأعلى. وقد أدَّت إضافة الأسمدة إلى الأراضي الجرداء في هولندا بالفعل إلى زيادة عدد خنافس الخلنج، مما قلَّل هيمنة نبات الخلنج وسمح لحشيشة السبخات الأرجوانية بالانتشار عَبْر المجتمع النباتي. وكما هو الحال مع التحكُّم التنازُلي، فإن هذه النتيجة لا تُقلل كثيرًا من إجمالي الكتلة الحيوية النباتية، وإنما تُحوِّل بنية مجتمع النباتات نحو أنواع أقل استساغة.

الكائنات المُتخصِّصة

استجابت الحيوانات العاشبة للوسائل الدفاعية لدى النباتات من خلال تطوير آليات لنزع السموم من النباتات أو التحايُل عليها. وفي ظِل تنوُّع السموم النباتية، تعجز الحيوانات العاشبة عن تطوير وسائل دفاعية ضدَّ جميع الأنواع، ومن ثم تميل الاستجابات المتطوِّرة إلى دفع الحيوانات العاشبة إلى التخصُّص في مجموعات نباتية مُعيَّنة، أو حتى نوع

واحد فقط. فتتغذَّى يرقات العثة الحمراء (تيريا جاكوباي) حصرًا على نبات زهرة الشيخ («جاكوبيا فولجاريس») الذي يوهِن الخيول والأبقار؛ بل ويتسبب في موتها. كذلك تختزن يرقة العثة الحمراء سموم نبات زهرة الشيخ لحماية نفسها من افتراس الطيور لها، وتُعلن عن مذاقها غير المُستساغ من خلال أشرطتها الصفراء والسوداء الزاهية (شكل ٥-٢). بالمثل، طورت الحيوانات العاشبة الفقارية قدرات على التعامل مع السموم الموجودة في مجموعاتٍ نباتية معيَّنة، ومن ثم صارت مقتصرة على هذه المجموعات فقط. ولا تتغذَّى دِببة الكوالا في أستراليا إلا على أشجار الأوكاليبتوس الغنية بالتربين الأحادي والتي لا يَستطيع التعامُل معها سوى عددٍ قليل من الحيوانات الأخرى.

شكل ٥-٢: طورت الكائنات العاشبة المُتخصصة مثل يرقة العثة الحمراء قدرات للتغلُّب على الوسائل الدفاعية لدى النباتات، وبذلك احتكرت لنفسها الوصول إلى موارد نباتية كانت ستُصبح سامة لها لولا ذلك.

تفسر السموم النباتية سبب عدم قدرة معظم الحيوانات العاشبة على الْتِهام معظم النباتات، ولكن لماذا لا تستهلك الحيوانات العاشبة المتخصِّصة جميع مصادرها الغذائية؟

بالنسبة إلى الحيوانات العاشبة الفقارية المتخصصة، تفرض السموم حدودًا قصوى لاستهلاكها من الغذاء. ولذا، يجب على هذه الحيوانات أن تتجنَّب تشبُّع أجهزة نزع السمية لديها، وهو ما يحدث قبل أن تتقيد معدلات الهضم بآليات معالجة المواد الغذائية. فالكوالا، على سبيل المثال، تأكُل كميةً من أوراق الشجر أقل بكثيرٍ إذا اضطرت إلى التغذية على أنواع الأوكالبتوس التي تتمتَّع بمستوى أفضل من الحماية ضدها.

إذا كانت غالبية الأنواع النباتية سامة أو غير قابلة للهضم لجميع الكائنات باستثناء الحيوانات العاشبة المُتخصصة، فكيف يكون لدى البشر هذا القدْر من العادات الغذائية المتنوعة؟ الحقيقة أن كثيرًا من النباتات التي نأكلها سامة «فعلًا»، وبعضها شديد السُّمية في هيئته البرية الأصلية، ولكن على مدار آلاف السنين من تربية النباتات وقَعَ اختيارنا على أكثر الأصناف المُستساغة من حيث المذاق. حتى الخضراوات المألوفة لنا، بما في ذلك البطاطس والطماطم من الفصيلة الباذنجانية، تكون شديدة السُّمية في أشكالها البرية الأصلية. على النقيض من ذلك، يتَّسِم أقرب أقربائنا من الكائنات الحية بالانتقائية الشديدة في اختيار أغذيتهم النباتية. فالغوريلا الجبلية تأكل نسبةً صغيرة جدًّا من إجمالي عدد النباتات الموجودة في الغابة، فيما تتجنَّب تمامًا بعض النباتات الأكثر وفرة.

إذَن، لماذا يكتسي العالَم باللون الأخضر؟ يرجع اخضرار سطح الكرة الأرضية إلى مجموعة من العمليات التصاعُدية والتنازُلية، بالإضافة إلى المناخ وعوامل بيئية أخرى، تتحكَّم جميعها تحكُّمًا جماعيًّا في معدلات الحيوانات العاشبة. ويتجلى الدور المزدوج لهذه العمليات في الغابات الاستوائية؛ حيث تحدُّ الحيوانات المفترسة من الأعداد الوفيرة للحشرات العاشبة التي تتغذى على النباتات السريعة النمو في المساحات التي أُزيلت من الغابات، بينما في أعماق الغابات السحيقة المُظلمة، تُهيمن العمليات التصاعدية على الأجواء؛ نظرًا لأن النباتات البطيئة النمو تستثمر مواردها في الدفاعات الورقية التي تحدُّ من نشاط الحيوانات العاشبة وأعدادها. وبصفةٍ عامة، قد تكون العمليات التنازلية أقل أهمية من العمليات التصاعدية في الحفاظ على عالَمٍ أخضر؛ وهذا فقط لأنها لا تُحدد الكتلة الحيوية للنباتات فحسب، بل وتكوين النباتات أيضًا. وتُعَد العمليات التصاعدية التفسير الأكثر قبولًا وملاءمة على نطاقٍ واسع لعدَم قيام الحيوانات العاشِبة بتدمير الغطاء النباتي كله، ما قد يدفعنا إلى تعديل مقولة كوليردج «الماء، الماء في كل مكان، ولا قطرة واحدة للشرب» لتتماشى مع مملكة الأرض لتُصبح: «الطعام، الطعام في كل مكان، ولا لقمة واحدة للأكل.»

لماذا يُوجَد هذا العدد الكبير من الأنواع؟

سجَّل العلماء في لامبير هيلز، وهي محمية غابات تقع شمال خط الاستواء مباشرة في إقليم ساراواك، بجزيرة بورنيو الماليزية، ١٠٠٨ أنواع من الأشجار في قطعة أرضٍ لا تتجاوز مساحتها ٥٠ هكتارًا. وبالمقارنة، نجد أن جميع النباتات الشجرية في الولايات المتحدة وكندا تضمُّ نحو ٧٠٠ نوع فقط. ونجد النمط نفسه من الثراء الاستوائي المرتفع على نحو استثنائي في كثيرٍ من المجموعات الحيوانية، بما في ذلك الزواحف والأسماك والطيور والثدييات واللافقاريات. وتتراجع أعداد الأنواع مع الاتجاه نحو المناطق المعتدلة، وتتراجع أكثر في المناطق الشمالية. إذَن، لماذا يُوجَد هذا العدد الكبير من الأنواع الاستوائية؟ ولماذا يُوجَد عدد قليل نسبيًّا من الأنواع خارج المنطقة الاستوائية؟

يأخذنا شرح المقصد من أنماط توزيع الأنواع على مستوى العالم إلى ما هو أبعد من نطاق علم البيئة إلى الجغرافيا الحيوية والتطوُّر. ومن المُرجح أن يكون ثمَّة شيء يتعلق بالمناخ، وعدم القُدرة على التنبؤ بالمناخ، يؤثر على نطاقات زمنية تطورية يتكشف خلالها الانتواع (نشوء الأنواع) والانقراض. ويستنتج بعض هذه التفسيرات حدوث اضطراباتٍ مناخية على مدى فترات زمنية جيولوجية تزيد من معدلات الانقراض وتحدُّ من احتمالات نشوء أنواع جديدة. وتوفر درجات الحرارة الأكثر دفئًا والتغيُّرات المناخية الأصغر نطاقًا في المناطق الاستوائية أساسًا لتفسير شيِّق للثراء الاستوائي من منظور تطوري بيئي. فقد ذهب دان جانزن إلى أن الممرَّات الجبلية العالية تُمثل عوائق لا يمكن التغلُّب عليها أمام الكائنات الاستوائية التي لا تتكيَّف مع درجات الحرارة المُنخفضة. على الجانب الآخَر، تتعرَّض الأنواع عند دوائر العرض الأعلى سنويًّا إلى درجات حرارة باردة وتتمتَّع بقدرة فسيولوجية أكبر على تحمُّل درجات الحرارة، ومن ثَم تُواجه صعوبة أقلَّ في عبور الممرَّات الجبلية. وقد استخدم جانزن هذا الاستنتاج ليُجادل بأن الأنواع الاستوائية تتمتَّع بنطاقاتٍ أصغر محكومة بتحمُّلها الفسيولوجي لدرجات الحرارة، مما يخلق فرصًا للانتواع من خلال عزل وتباعد الجماعات.

تركز تفسيرات عِلم البيئة لثراء الأنواع على الآليات التي تسمح للأنواع بالتعايش المشترك معًا، كما هو الحال على الأرجح في المناطق الشديدة التنوُّع. ويُعيدنا هذا إلى السؤال عن كيف يُمكن للغابات الاستوائية أن تُعيل أكثر من ألف نوع من الأشجار في مساحة ٥٠ هكتارًا. هذا لا يعني أن الموائل المعتدلة فقيرة في الأنواع على نحوٍ متماثِل. فقد تضمُّ الأراضي العشبية الجيرية الأوروبية أكثر من أربعين نوعًا من الأعشاب والحشائش

النجيلية في نطاق مترٍ مربع واحد من المروج. والسؤال ذو الصلة بعلم البيئة هنا هو كيف يمكن لكثير من الأنواع (سواء كانت أشجار الغابات الاستوائية أم أعشاب المروج المعتدلة) أن تتعايش معًا بالوضع في الاعتبار أن مبدأ الإقصاء التنافسي الذي وضعه جوس يحُول دون حدوث ذلك.

ثمَّة إجابة لهذه المعضلة هي أن الأنواع تتجنَّب المنافسة من خلال التخصص، بنفس الطريقة التي كانت الطيور الهازجة — التي راقبَها ماك آرثر — تبحث عن الحشرات في أجزاء مختلفة من الشجرة نفسها. ويتم تجنُّب المنافسة من خلال التخصُّص عبر التدرُّجات المختلفة على مستوى البيئة والموارد. ويستطيع موئل واحد أن يُعيل المزيد من الأنواع المتخصصة، لكلٍّ منها مُتطلبات محدودة ومتداخلة إلى أدنى حد، مقارنةً بالأنواع غير المُتخصصة ذات المكامن البيئية المتداخلة على نطاق واسع.

يُثير التعايش المشترك عَبْر التخصُّص التساؤل حول ما إذا كان هناك أعداد كافية من المكامن البيئية لإعالة الأنواع العديدة الموجودة في مكانٍ واحد. إجمالًا، تتمتَّع الأنواع بمجموعةٍ مذهلة من السمات، تُشكل الأساس للنموِّ والبقاء والتكاثر. على سبيل المثال، تختلف أنواع الأشجار في إحدى الغابات في الاستجابات الخاصَّة بالنمو والبقاء لظروف الإضاءة، وتوافر مياه التربة والمُغذِّيات، وضغوط الحيوانات العاشبة، ووقائع الاضطراب. كذلك تتمتَّع الأشجار باستراتيجيات تجدُّد مُختلفة؛ فبعضها يُنتج عددًا قليلًا من البذور الكبيرة، والبعض الآخَر يُفضل إنتاج أعداد كبيرة من البذور الصغيرة. والمقايضات بين الاستراتيجيات والسِّمات المرتبطة بها تحول دون هيمنة نوعٍ واحد على جميع الظروف البيئية. فالمُقايضات المُتعدِّدة تخلق تعدُّدًا في الاستراتيجيات بين الأنواع، بينما يخلق التباين البيئي والأحيائي مجموعة من الفرص يُمكن من خلالها تطبيق هذه الاستراتيجيات. فسقوط شجرة يتسبب في حدوث فجوةٍ في المظلة الغابية، مما يؤدي إلى تغير بيئات الإضاءة والتربة، وعُمق نثار الأوراق المُتساقطة، واحتجاز الأمطار وتسرُّبها، والمناخ المحلي (المناخ الموضعي المحدود)، وأحياء المنطقة البيئية، من المظلة إلى أرضية الغابة، ومن مركز الفجوة إلى أطرافها. لذا تضمُّ فجوة المظلة الغابية كثيرًا من الموائل الدقيقة، يختلف كلٌّ منها اختلافًا طفيفًا وفقًا للاختلاف في ظروف الضوء والتربة وأحياء المنطقة البيئية. تتشكَّل شتلات العديد من أنواع الأشجار المُختلفة مبدئيًّا في هذه الموائل المحلية الصغيرة الكائنة في الفجوة الغابية بمحض الصدفة، ولكن سُرعان ما تُفرَز وتُصنف من خلال تبايُن أداء النمو بناءً على مدى تناسُب سماتها مع الضوء المتوافر في المكان وجودة التربة

والظروف المناخية الموضعية المحدودة والتفاعُلات التنافُسية. إن تنوُّع الموائل المحلية الصغيرة يُمهِّد الطريق لفرز الأنواع وفقًا لسِماتها التكيفية ومقايضاتها.

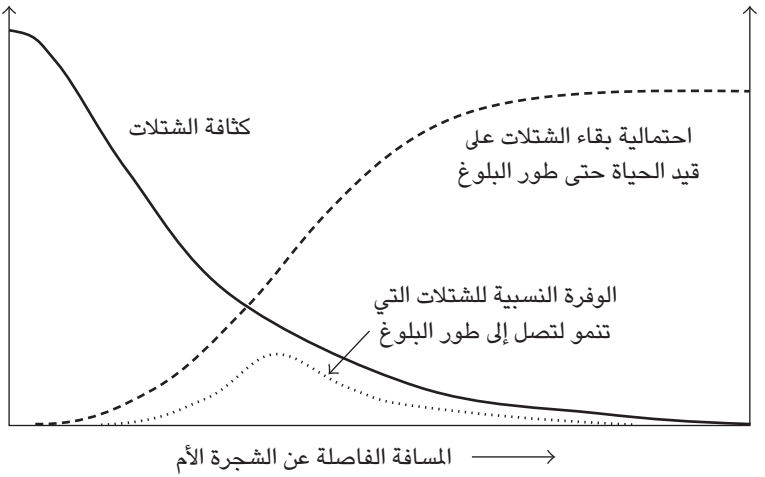
في ضوء التدرُّجات البيئية والأحيائية العديدة وإمكانيات الدمج، هناك عددٌ كبير من المكامن البيئية المُحتمَلة، ومن ثَم هناك فرص للتعايش المشترك بين كثير من الأنواع المتخصِّصة. من الناحية العملية، غالبًا ما يكون من الصعب الربط بصورةٍ مباشرة بين توزيع أشجار الغابات، استنادًا إلى مجموعات سماتها، وبين هذا التعقيد البيئي الصغير والمُحدد للغاية. وقد تعكس الظروف البيئية المحلية أداء أنواع الأشجار واحتمال بقائها على قيد الحياة، ولكن بقليلٍ من الدقة نسبيًّا. ومن المُحتمل أن يكون تفاوُت المكامن البيئية الصغيرة والمُحددة للغاية مجرد تفسيرٍ جزئي لكثرة أعداد الأنواع المتعايشة معًا.

مبدأ الاعتماد على الكثافة

يُمثل الاعتماد على الكثافة مبدأً أساسيًّا في علم البيئة، كما هو الحال مع مبدأ الإقصاء التنافُسي، وليس من المُستغرَب تمامًا أن يقع الاختيار على آليات الاعتماد على الكثافة لتفسير ثراء الأنواع الاستوائية. ففي أوائل سبعينيات القرن العشرين، ذهب دان جانزن وجوزيف كونيل، الذي عمل كلٌّ منهما على نحوٍ مستقل عن الآخَر، إلى أن الأعداد الكبيرة من الحشرات العاشبة المُتخصِّصة، أو العوامل المُمرضة الفطرية، يمكن أن تحدِّد بقاء شتلات الأشجار بطريقةٍ تعتمد على الكثافة، مما يحافظ على تنوُّع الأنواع. معظم البذور لا تنتشر بعيدًا عن الشجرة الأم؛ حيث توجد الشتلات بكثافات عالية، بينما تتناقص كثافاتها كثيرًا كلما ابتعدت. يكون بساط الشتلات القريبة من الشجرة الأم معرَّضًا لهجوم الحيوانات العاشبة المُتخصِّصة والعوامل المُمرضة التي تنتقل بسهولة من الشجرة الأم إلى الشتلات القريبة (شكل ٥-٣). ولذلك تُواجه الشتلات الصغيرة صراعًا في نشأتها ونضوجها بالقُرب من الأشجار الأم أو الأشجار الأخرى من النوع نفسه. أما الانتشار لمسافاتٍ طويلة، فيسمح للشتلات بالإفلات من الآفات والعوامل المُمرضة (شكل ٥-٤). فالبذور المُتناثرة بصورة جيدة تستقرُّ بين شتلات الأنواع الأخرى من الأشجار؛ حيث يمنحها بُعدها عن الشجرة الأم وكثافاتها المُنخفضة فرصة أفضل بكثيرٍ للإفلات من جذب انتباه الحيوانات العاشبة المُتخصصة أو الفطريات المُسبِّبة للأمراض. وهذا يُشجع نشوء مزيج من الأنواع المختلفة في منطقة محلية، وعادةً ما يوقف تكوين تجمُّعات عالية الكثافة من النوع نفسه من الشتلات.

شكل ٥-٣: بساط كثيف من شتلات الشورية المُحدبة «شورية جيبوسا»، بجزيرة بورنيو، عُرضة لهجوم الحيوانات العاشبة، والعوامل المُمرضة للشجيرات الصغيرة، ومن المُحتمَل أن يبقى عدد قليل جدًّا من هذه الشجيرات على قيد الحياة، هذا إن نجت من الأساس، بينما يُحتمَل أن تنجو الشتلات الأبعد انتشارًا والأكثر عزلة من هجوم الآفات والعوامل المُمرضة.

من الافتراضات الأساسية لنظرية جانزن-كونيل أن الحيوانات العاشبة (والعوامل المُمرضة) الاستوائية هي كائنات مُتخصصة، بينما تكون أقل تخصُّصًا في المجتمعات المعتدلة الحرارة. وإذا هيمنت الحيوانات العاشبة غير المُتخصصة على منطقةٍ ما، فلن يُقدم انتشار البذور والكثافة المنخفضة أي ميزة؛ نظرًا لأن الشتلات ستكون عُرضةً للهجوم من أي حيوان عاشب غير مُتخصص موجود وسط الأشجار المجاورة. وتُشير دراسات دقيقة أُجريت على الحيوانات العاشبة والنباتات المُضيفة لها في الغابات الاستوائية النائية في غينيا الجديدة إلى أن غالبية الحشرات الآكِلة لأوراق الشجر ليست مُتخصِّصة



شكل ٥-٤: تقترح فرضية جانزن-كونيل أن احتمالية بقاء الشتلات تكون في أعلى معدلاتها عندما تكون على بُعد مسافاتٍ متوسطة من الأشجار الأم. تتساقط أغلب البذور بالقُرب من الشجرة الأم، إلا أنها عند ذلك المَوضع تكون مُعرَّضة لضغطٍ كبير جدًّا من الحيوانات العاشبة والعوامل المُمرضة التي تُدمر جميع البذور والشتلات تقريبًا. وتكون نسبة البقاء على قيد الحياة عند أعلى مستوى عندما تكون الشتلات على بُعد مسافات متوسطة؛ حيث تظل تستقبل بعض البذور المُتساقطة، ولكن تكون ضغوط العوامل الممرضة والحيوانات العاشبة أقل كثيرًا.

بصورة بحتة، ولكنها تتغذى على كثير من الأنواع المُضيفة ذات الصلة من نفس الجنس أو الفصيلة. يُضعِف هذا التخصص الفضفاض تأثيرات الاعتماد على الكثافة، لكنه لا يُقوِّضها تمامًا. واكتشفت دراسات أخرى توثق درجة تخصُّص الكائن المُضيف بين الحشرات الآكِلة للبذور في أمريكا الوسطى درجة عالية على نحوٍ ملحوظ من التخصُّصية؛ حيث سُجل ٨٠ في المائة من الحشرات من ثمار نوع نباتي واحد فقط، وأكثر من نصف عدد أنواع الأشجار لم تتعرَّض للهجوم إلا من نوعَين فقط من الحشرات. وفي حين أنه من غير المُرجَّح أن ينطبق نموذج جانزن-كونيل على جميع الظروف والمواقع الجغرافية، فإنه يُقدِّم على الأقل تفسيرًا جزئيًّا للتنوع المحلي الكبير للأشجار الاستوائية.

وتحظى كلٌّ من عمليات التخصُّص في المكمن البيئي والعمليات المعتمدة على الكثافة بقدْرٍ من الدعم كتفسيرات للتعايش المشترك بين الأنواع. فبعضها لا ينفي البعض الآخَر،

بل ومن المرجَّح أن تعمل جنبًا إلى جنبٍ مع عوامل محركة أخرى للثراء الشديد للأنواع مثل عمليات الطاقة والإنتاجية أو الاضطرابات. وكما هو الحال مع كثيرٍ من الأمور في علم البيئة، يوجد عدد وافر من الآليات البيئية والتطورية ذات تأثير.

ما فائدة التنوع الحيوي؟

في أوائل عام ٢٠١٩، نشرت المنصة الحكومية الدولية للسياسات العلمية في مجال التنوع الحيوي وخدمات الأنظمة البيئية (آي بي بي إي إس) تقريرًا يشجب الخسائر الكبيرة والمستمرة في الأنواع في شتَّى أنحاء العالم، والموضَّحة من خلال انخفاض أعداد الجماعات وفقدان جماعاتٍ كاملة من كثيرٍ من المناطق، وفي أسوأ الأحوال انقراض أنواع على مستوى العالم. وقدَّر التقرير أن معدلات الانقراض الحالية أعلى ثلاث مرات مما يمكن توقُّعه في غياب البشر. غير أن هناك أكثر من ٦٠ ألف نوع من الأشجار حول العالم، و٣٩١ ألف نبات وعائي. ويبلغ عدد أنواع الحشرات المُوثقة ٩٢٥ ألف نوع، على الرغم من أن التقديرات تُشير إلى أن العدد الإجمالي يبلغ نحو خمسة ملايين. ومن المُحتمَل أن يكون عدد الفطريات أيضًا أكثر من خمسة ملايين. هل نحن بحاجة إلى هذا العدد الكبير من الأنواع؟ هل هناك أي سببٍ إيكولوجي لتبرير المخاوف بشأن تراجُع التنوُّع الحيوي وثراء الحياة وتنوُّعها؟

الخطوة الأولى للإجابة عن هذا السؤال هي فهم ما تفعله الأنواع. إن وظائف النظام الإيكولوجي هي تأثيرات أحياء المنطقة البيئية على الخصائص البيولوجية والفيزيائية والكيميائية للبيئة، بما في ذلك تدفُّقات الطاقة والمُغذِّيات والمواد عَبْر البيئات. ويرتبط بهذا خدمات النظام الإيكولوجي، والعمليات الطبيعية التي تُساهم في رفاهية الإنسان، من خلال، مثلًا، إنتاج الغذاء عن طريق التلقيح، وتدوير المُغذيات في التربة، وتقليل مخاطر الفيضانات عن طريق منع وصول مياه الأمطار إلى التُّربة وإبطاء تدفُّقات المياه، والتخفيف من آثار تغيُّر المناخ عن طريق النباتات التي تمتصُّ ثاني أكسيد الكربون من الغلاف الجوي، وتحسين الصحة العضوية والنفسية من خلال توفير بيئات مُمتعة للاستجمام والاسترخاء. تنشأ وظائف النظام الإيكولوجي وخدماته من خلال التفاعلات بين الأنواع وبيئتها. فإذا كان التنوُّع الحيوي يُحدِّد وظائف النظام الإيكولوجي وخدماته، فإن إبراز هذه العلاقة، وربط التنوع الحيوي بفوائد ملموسة للبشرية، يُقدِّم حجة قوية للحفاظ على التنوع الحيوي.

وفي ضوء التعقيد الذي تتَّسِم به المجتمعات الطبيعية، والعدد الهائل من الأنواع المُنتمية لهذه المجتمعات، يوزع علماء البيئة الأنواع ذات السمات والاستراتيجيات المُماثلة على مجموعات وظيفية. فمن النباتات، تشتمل المجموعات الوظيفية على النباتات المُثبتة للنيتروجين، أو الأعشاب الحولية، أو الشجيرات الدائمة الخضرة. وفي الأنظمة البيئية للتندرا، يمكن توزيع معظم النباتات الوعائية على أربع مجموعات وظيفية، هي: الشجيرات الدائمة الخضرة، والشجيرات النفضية (المتساقطة الأوراق)، والنباتات الشبيهة بالأعشاب (الحشائش ونباتات السُّعدِيَّة)، والنباتات العشبية المزهرة ذات الأوراق العريضة. ويُوجَد في الأنظمة البيئية الاستوائية المزيد من المجموعات الوظيفية النباتية الإضافية، بما في ذلك الأشجار السريعة النمو الأولية التعاقُب، وأشجار الظُّلَّة التنافُسية، والنباتات المُتسلقة. وتشمل المجموعات الوظيفية للحيوانات العاشبة، آكِلات العشب المرتحلة (وتشمل العديد من ذوات الحوافر)، وآكِلات العشب غير المرتحِلة (الحشرات الآكِلة لأوراق الشجر)، وآكِلات الأوراق (الأيائل أو الزرافات)، وآكِلات الأخشاب (النمل الأبيض والفيلة)، وآكِلات الجذور (الحشرات والثدييات)، ومجموعة مُتنوِّعة من الحشرات الحفارة للجذوع، أو المُنقبة عن الأوراق، أو المُسببة للقُرح، أو الماصة للعصارة. وتساهم كلٌّ من هذه المجموعات في وظائف النظام الإيكولوجي بطُرق مختلفة.

فتساهم الحيوانات العاشبة والمحللات في تدوير المواد المُغذية، بينما تعمل الملقحات وناثرات البذور على تعزيز تكاثر النباتات.

التكرار الوظيفي

لاحظ تشارلز داروين أن مزيجًا من أنواع الحشائش الموجودة في المروج يُنتج أعشابًا أكثر مما يُنتجها نوع واحد ينمو بمُفرده. ويسمح التبايُن في أعماق التجذُّر بين الأنواع باستغلال نطاقٍ أكبر من أعماق التربة. ويعمل هذا التكامُل على مستوى المكمن البيئي — حيث تستغل الأنواع المختلفة أجزاءً مختلفة من الموارد الموجودة في بيئة مُعقَّدة — على تحسين كفاءة اكتساب الموارد عَبْر المجموعة الوظيفية، ومن ثم تعزيز أداء النظام الإيكولوجي. وعلى الرغم من أوجُه التكامل على مستوى المكمن البيئي، فإن الأنواع الموجودة ضمن المجموعات الوظيفية تتداخل في مساهماتها الوظيفية. وهكذا يمكن أن يحل أحد الأنواع محل نوع آخَر في المجموعة نفسها، على الأقل بدرجةٍ مُعيَّنة. وتؤيد نظرية التكامل على مستوى المكمن البيئي الحاجة إلى ثراء الأنواع لتعزيز أداء النظام الإيكولوجي، في حين

تدل قابلية استبدال الأنواع أو تكرارها على العكس. نحن بحاجة إلى معرفة كيفية تأثير التنوع الحيوي على وظائف النظام الإيكولوجي في سياق نماذج التكامل والتكرار. ثمَّة مقاربة أولى تفترض أن إمدادات الوظائف الواردة للنظام البيئي تتحسَّن مع كل نوع جديد يُضاف إلى البيئة؛ إذ يساهم كلٌّ منها بطريقته الفريدة. في الواقع، يعني التكرار بين الأنواع أنه في حين أن الأداء الوظيفي يتحسَّن نظرًا لأن كل نوع مُضاف يقدِّم عنصر تكامل للمنظومة كليًّا، فإن الفوائد الهامشية تبدأ في التراجُع مع زيادة التكرارات بين الأنواع حتى لا تعود هناك أي فوائد أخرى مُقدمة. ولو أننا عكسنا هذه العملية، فإن التكرار بين الأنواع في مجتمعٍ غنيٍّ بالأنواع يَعني ضمنيًّا أننا قادرون، في البداية على الأقل، على خسارة الأنواع دون تكبُّد خسارة كبيرة في الوظائف.

يوفِّر التكرار داخل المجموعات الوظيفية التأمين. فيمكن تعويض فقدان بعض الأنواع من خلال زيادة أنشطة الأنواع الأخرى في المجموعة الوظيفية نفسها. ووجود عددٍ كبير من الأنواع يزيد أيضًا من احتمالية أن يكون بعضها على الأقل قادرًا على تحمُّل أي اضطرابات قد تُصيب المجتمع. ومن المُرجَّح أيضًا أن يشمل العدد الأكبر من الأنواع، بمحض الصدفة فحسب، أنواعًا مُنتجة بشكلٍ خاص، أو مرِنة بشكل خاص، ستُواصل الاضطلاع بوظائف النظام الإيكولوجي في مواجهة الاضطرابات الخارجية. ومن الأمور التي تحظى بأهمية إيكولوجية أكبر أن الأنواع التي تستخدِم المورد نفسه من المُحتمَل أن تختلف في الظروف البيئية التي تخرج في ظلها أفضل أداء لها، مما يسهل عملية التكامل في البيئات الموسمية أو المتغيرة.

اختبر علماء البيئة هذه الأفكار بالتجارب، وإحدى الأدوات الأساسية التي يستعين بها أي عالِم بيئة هي التجربة الميدانية. سعى كثيرٌ من التجارب الميدانية إلى اختبار النظرية القائلة بأن تنوُّع الأنواع يزيد من وظيفة النظام الإيكولوجي، وعادةً ما تُقاس الأخيرة على هيئة زيادة في الكتلة الحيوية للمجتمع كليًّا. تُنشئ هذه التجارب توليفاتٍ مختلفة من الأنواع النباتية مُرتبة في مجموعات فقيرة بالأنواع وأخرى ثرية بالأنواع (شكل ٥-٥). وبعد مرور فترة من الزمن، تُقاس إنتاجية هذه الوحدات المُجمعة. من المتوقَّع أن تكتسب الوحدات التي تضم أكبر عددٍ من الأنواع معظم الكتلة الحيوية، وذلك لأسبابٍ تتعلَّق بالتكامل على مستوى المكمن البيئي، والتأثير المُحتمل المتمثِّل في دمج أنواع مُنتجة للغاية. ويُظهر معظم هذه التجارب أن الإنتاجية تزداد بالفعل مع زيادة تنوُّع الأنواع. غير أن هذه العلاقة تتضاءل بسرعةٍ نسبيًّا، مما يُشير إلى تناقص تدريجي في المكاسب

الإنتاجية مع كل نوع إضافي يتم إدخاله. ويستمر هذا حتى تنخفض المكاسب إلى الصفر، بحيث تصبح إضافة أي أنواع أخرى إلى هذا المزيج تكرارًا وظيفيًّا لا لزوم له. وتُشير التجارب إلى أن هذا التشبع في وظيفة النظام الإيكولوجي يحدُث مع عدد قليل نسبيًّا من الأنواع، ومع عدد أقل بكثيرٍ مما يحدُث في الأنظمة الطبيعية. يبدو أن الطبيعة ثَرية بالأنواع المتكررة.

شكل ٥-٥: حقول تجريبية لمزيجٍ مختلف من الأنواع زُرعت عام ١٩٩٤ كجزءٍ من تجربة «التنوع الحيوي الكبير» بجامعة مينيسوتا لتقييم العلاقات بين تنوُّع الأنواع ووظيفة النظام الإيكولوجي.

تركز معظم التجارب على الإنتاجية وزيادة الكتلة الحيوية. ونحن نفترض أن أداء الكثير من عمليات النظام الإيكولوجي الأخرى يتحسَّن من خلال زيادة أعداد الأنواع. فعلى سبيل المثال، تستفيد عملية إعادة تدوير المواد المُغذية من اضطلاع الأنواع المختلفة بأدوار وظيفية مختلفة، من خلال تفتيت الحطام الخشبي الكبير، وتمزيق أوراق الشجر، ومضغ اللجنين والسليلوز، وإذابة الفتات النباتية كيميائيًّا وهضمها، والاضطراب الأحيائي للتربة الذي يُعيد توزيع المواد العضوية. والكائنات الماضغة والقاطعة والهاضمة التي تُعيد توزيع المواد هي مجموعات وظيفية، يُمثل كلٌّ منها العديد من الأنواع. ومع ذلك، يبدو في كل حالة أن هناك أنواعًا أكثر بكثيرٍ مما هو ضروري لتوفير خدمة عملية وفعَّالة تمامًا في تدوير المواد المُغذية.

التكرار يُولِّد الاستقرار

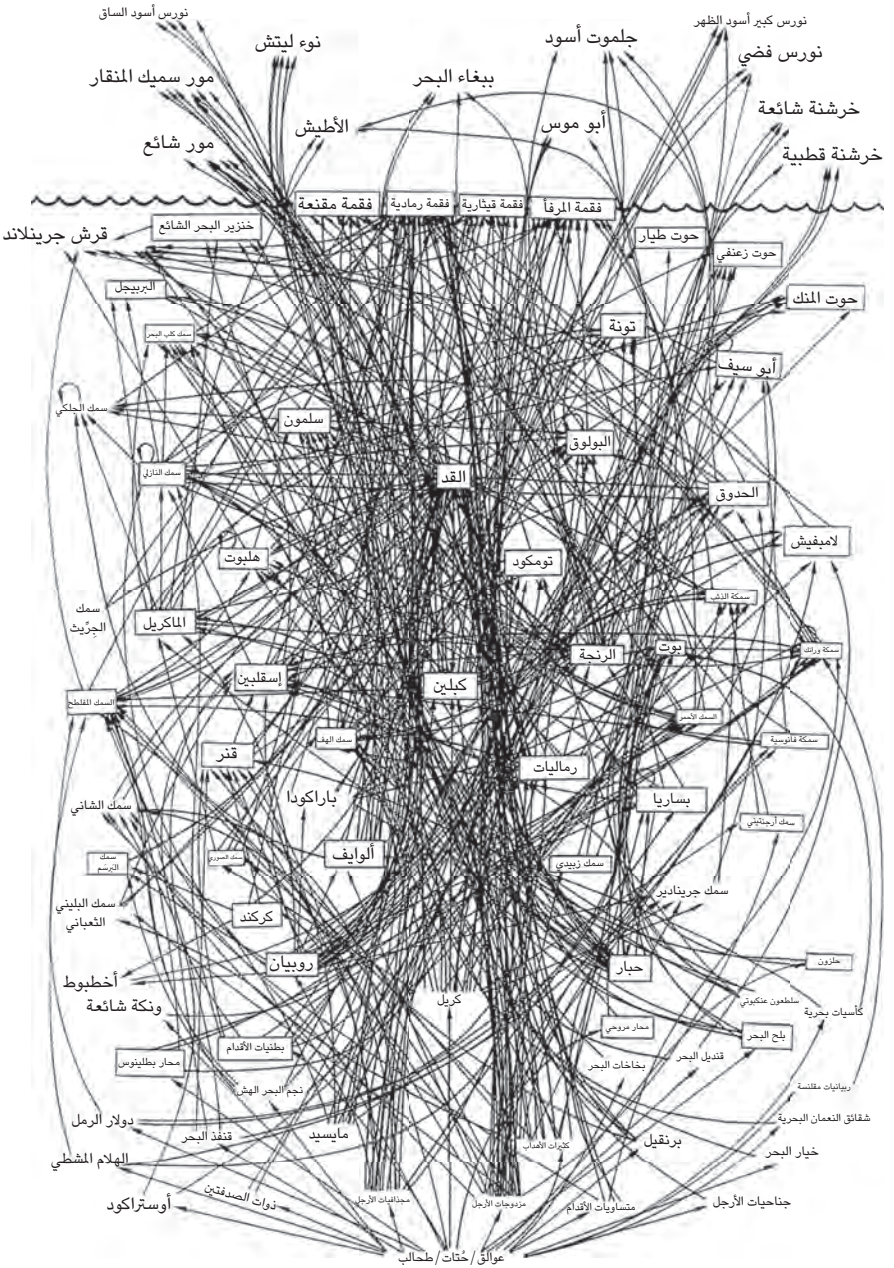
يأتي التكرار الوظيفي الضخم والجوهري بالنسبة إلى الجنس البشري بمنزلة شكلٍ من أشكال الإغاثة في ضوء ما نُخلِّفه من تأثيراتٍ على التنوع الحيوي. غير أن مستودع الأنواع ليس ثابتًا على الإطلاق. فالأنواع تُحقِّق نجاحًا نسبيًّا في ضوء الظروف المُتغيرة والتذبذب المستمر للموارد والمواسم والاضطرابات. وفي داخل أي مجموعة وظيفية، توفر أعداد كبيرة من الأنواع حاجزًا وقائيًّا أو تأمينًا ضد التقلبات البيئية التي تؤثر على بعض هذه الأنواع، ولكن من غير المرجَّح أن تؤثر على جميع الأنواع. وهكذا نتوقَّع أن يؤدي التكرار إلى تحقيق الاستقرار.

إن وجود مجموعة مُتنوعة من الأنواع يُتيح للمجتمع أن يزدهر حتى عند تعرُّضه لظروف واضطرابات بيئية مُتغيِّرة. فالمجتمعات المتنوِّعة أكثر قُدرة على مقاومة الأنواع الغازية؛ إذ تُجاهد الأنواع الغازية المُحتملة من أجل الاستقرار في المجتمعات الثرية بالأنواع؛ حيث تُقسم الموارد المتاحة بدقةٍ وتستولي عليها الأنواع المحلية. يوفر النطاق الأوسع للسمات في المجتمعات الثرية بالأنواع قدرةً على التكيُّف مع الضغوط البيئية على مستوى المجتمع. فمحفظة الأنواع تُشبه محفظة الاستثمارات المالية التي تنشر المخاطر عَبْر مجموعة متنوعة من أنواع الاستثمارات وآلياتها. وهكذا، يوفِّر التنوع مرونة ضد التغيير.

الاستقرار في الأنظمة المُعقَّدة

الأنظمة البيئية الثَّرية بالأنواع لديها مجموعة معقَّدة بدرجة محيِّرة من التفاعلات الغذائية. وحتى الشبكة الغذائية المبسطة للنظام البيئي البحري لشمال المحيط الأطلنطي شبكة فوضوية من روابط متفكِّكة (شكل ٥-٦ (أ)). وتكشف نظرة فاحصة عن كثبٍ عن عدد قليل من القنوات الرئيسة التي يتدفَّق من خلالها الجزء الأكبر من تدفُّقات الطاقة، بدايةً من النباتات والعوالق التي تقوم بعملية البناء الضوئي باعتبارها المنتج الأساسي للطاقة، وصولًا إلى الحيوانات المفترسة العليا. يُمكننا، على نحو مبسَّط وسطحي واضح إلى حدٍّ ما، اختزال شبكتنا الغذائية المُعقَّدة في شمال المحيط الأطلنطي في هذه القنوات الرئيسة، وإعادة رسمها على هيئة فقمات، تتغذَّى على سمك القد، وكلاهما يتغذى على «كل شيء آخَر» (شكل ٥-٦ (ب)). أما في إطار تدفُّقات الطاقة والمواد المُغذية، فإن هذه الشبكة الغذائية المُبسَّطة تجسِّد إلى حدٍّ ما جوهر الشبكة الغذائية المعقدة نسبيًّا في شمال المحيط

أسئلة بسيطة وإجابات مُعقَّدة



(أ)

شكل ٥-٦: صورتان توضيحيتان للشبكة الغذائية لشمال المحيط الأطلنطي، الصورة (أ) صورة مبسَّطة، والصورة (ب) مبسَّطة جدًّا.

الأطلنطي. والدلالة الضمنية لذلك هي أن هناك تكرارًا كبيرًا في الشبكات الغذائية إذا كان اهتمامنا ينصبُّ على فَهْم التدفُّقات الواسعة النطاق من الطاقة والموارد. فتجاهل الروابط الصغيرة والأنواع الثانوية في الشبكة الغذائية يجعل وضع نماذج لإنتاجية مصائد الأسماك أبسط كثيرًا.

غير أنه يتبيَّن أن القنوات الصغيرة والأنواع الثانوية التي ربما نحرص على تجاهلها تلعب دورًا مهمًّا في استقرار الشبكة الغذائية. فالأنواع العديدة ذات التفاعلات الضعيفة تتصدى على نحوٍ جماعي إلى التقلُّبات في جماعات الأنواع السائدة. وبدون هذه الأنواع الصغيرة، ستكون الشبكة الغذائية البسيطة عُرضة لتقلُّبات وتذبذبات شديدة شبيهة بتلك التي تحدث مع حيوانات اللاموس في منطقة التندرا بالقطب الشمالي. فمن خلال الاستئثار بحصةٍ من الموارد، تعمل الأطراف الفاعلة الضعيفة على تخفيف حِدَّة التقلبات في توافُر الموارد أو استهلاكها، ومن ثَم استقرار الشبكة الغذائية والمجتمع كليًّا.

وفي ذلك درس مُهم لنا. لا يكفي أن يقتصر اهتمامنا على الأنواع السائدة عند إدارة الموارد الطبيعية والأنظمة البيئية. بل علينا أيضًا أن ننتبِه إلى فقدان الأنواع الأكثر ندرةً والأقل جذبًا للانتباه. فهذه الأنواع، مجتمعة، تلعب أدوارًا مهمة في حماية الأنظمة البيئية من الاضطرابات الخارجية والتقلبات الداخلية، بينما تُساهم عَبْر التكاملات والتكرارات في استمرار توفير وظائف وخدمات الأنظمة البيئية التي تعتمِد عليها البشرية.

كثيرًا ما يُسأل علماء البيئة عن مقدار التنوُّع الحيوي الذي تحتاج إليه البشرية بالفعل. وهذا السؤال ينطوي على منظورٍ نفعي موجَّه نحو الإنسان فحسب بخصوص

الطبيعة، وهو ما سيعترض عليه معظم علماء البيئة، وربما معظم الناس أيضًا. وإذا وضعنا هذه القضية جانبًا للحظة، فالإجابة هي أنه لا تُوجَد إجابة محدَّدة، لكن العلوم الإيكولوجية تُشير إلى أنه كلما زاد التنوُّع الحيوي، كان ذلك أفضل. ولا شك أن الثراء الحيوي لكوكب الأرض له قيمة تتجاوز وظيفته في تحقيق رفاهية الإنسان. ولذلك، ينبغي أن تستجيب السياسات والإجراءات البيئية أيضًا لأخلاقيات الحفاظ على البيئة، وليس فقط لتحقيق المنافع الوظيفية.

الفصل السادس

علم البيئة التطبيقي

إن أكبر التحديات التي تُواجهنا هي في الأساس تحديات بيئية. فتغيُّر المناخ، وفقدان التنوُّع الحيوي، وتدهور الأراضي، والتلوث والمواد البلاستيكية، وترسُّب النيتروجين، والأنواع الغازية، كلها أمور تشكِّل سلسلة مطوَّلة من القضايا التي يتعيَّن علينا بوصفنا مجتمعًا عالميًّا أن نتعامل معها في الوقت الحاضر وعلى مدار عقودٍ قادمة. ويتفاقم حجم هذه المشكلات بسبب تزايُد حجم التعداد السكاني البشري وثروته. لقد جرى تحذيرنا منذ فترةٍ طويلة من هذه القضايا. ونصَحَنا ألدو ليوبولد وراشيل كارسون، وكثيرون غيرهما، بتطبيق المبادئ الإيكولوجية في إدارة الأراضي وإدارة أنظمتنا الاجتماعية والسياسية. وبوجهٍ عام، فإننا لم نفعل ذلك. ثمة أسباب عديدة وراء عدم قيامنا بذلك، إلا أن جزءًا صغيرًا من التفسير يعود إلى أن معرفتنا الإيكولوجية لم تتطوَّر جيدًا بما يكفي لتوفير الأدوات المفاهيمية والمنهجية اللازمة لتوفير التوجيه الإداري المناسب. بينما يعود جزء أكبر بكثير من سبب الفشل البيئي الذريع إلى عمليات الأنظمة الاجتماعية والاقتصادية والسياسية العالَمية السائدة، وهو موضوع يستحقُّ أن نُفرد له كتابًا آخَر.

تطبيق منهج علم البيئة

يشكِّل علم البيئة أساسًا لكثير من المبادئ والمفاهيم والنظريات والنماذج والأساليب المُتَّبعة لمعالجة المشكلات البيئية. ويسعى علم البيئة التطبيقي جاهدًا إلى إيجاد حلول بيئية عملية من خلال تطوير خيارات الإدارة القائمة على النظرية الإيكولوجية، ومن خلال توقُّع مسارات مقبولة ومنطقية للتغيير، وتقييم النتائج. نحن نطبِّق المعرفة الإيكولوجية لوضع نماذج للموارد المُتجددة، مثل الأسماك أو الأخشاب، وتقديم إرشادات حول كيفية

استغلالها دون تقليص الإنتاجية على المدى الطويل. كذلك يتعامل عِلم البيئة التطبيقي مع الأنواع التي نرغب في السيطرة عليها، بما في ذلك الآفات الزراعية والأعشاب الضارة، والأنواع الغازية، والأمراض التي تُصيب الحيوان والنبات. بالمِثل، نستخدِم النظريات والأساليب الإيكولوجية لحماية الأنواع التي نُثمنها، إما من خلال اتخاذ إجراءات الحماية أو إدارة الموائل.

يوفِّر العالَم الطبيعي مجموعةً متنوِّعة من الخدمات التي تفيد البشرية، بما في ذلك تلقيح النباتات، وتنظيم العمليات الهيدرولوجية، وتدوير المواد المُغذية، وإزالة الكربون. إن إدارة البيئة للحفاظ على خدمات النظام الإيكولوجي تتعدى حدود علم البيئة التطبيقي ليشمل نطاقاتٍ أوسَع من المشهد الطبيعي. ويشمل هذا إدارة الغابات، والأنظمة البيئية الزراعية، والمراعي، والأراضي الخُثِّية، والجبال، والسواحل، والمناظر البحرية، وغيرها الكثير. في بيئات المناظر الطبيعية، نحن مُجبَرون على العمل وَفْق عمليات لا تشمل نطاقاتٍ مكانية فحسب، بل تمتدُّ أيضًا لتشمل نطاقاتٍ زمنية، بدءًا من التقلبات القصيرة المدى التي تؤثر على الجماعة والاضطرابات الحادة، وصولًا إلى التغيُّرات الطويلة المدى في درجة خصوبة التربة، أو تكوين الموائل، أو المناخ.

يعمل المُتخصِّصون في علم البيئة التطبيقي في نقطة التقاطُع ما بين الأنشطة البشرية والنواتج البيئية، وعلم البيئة التطبيقي بطبيعته يحوي تخصُّصات متداخِلة. وتقترح النظرية والمبادئ الإيكولوجية إدارةً سليمة إيكولوجيًّا، ولكن في النهاية، تُنفذ قرارات الإدارة على يد المُزارعين وعُمال الغابات والشركات وصناع السياسات، وجميعهم لدَيهم منظومتهم الخاصة من الاعتبارات والاحتياجات والأولويات. ومن أجل فهم عملية اتخاذ القرار والتخطيط البيئي، لا بدَّ أن يتفاعل علم البيئة التطبيقي مع تخصُّصات أخرى، غالبًا ما تكون مختلفة إلى حدٍّ كبير، مثل الاقتصاد والسياسة وعلم الأخلاق وعلم النفس السلوكي والرياضيات والقانون البيئي. ولذلك فإن الاستعانة بعلم البيئة وتطبيقه في الإدارة هو أمر أكثر فوضوية مما قد يُوحي به علم البيئة بوصفِه تخصُّصًا علميًّا. فالنهج الإيكولوجي للإدارة يأخذ بعين الاعتبار التفاعُلات بين الكائنات الحية وبيئتها، ويبحث في الاستجابات عَبْر المكان والزمان في المشاهد الطبيعية المُعقَّدة، ولكن الأهم من ذلك كله أنه يجب أن يقوم بذلك أيضًا في سياق المعايير والاحتياجات الموجَّهة نحو مصلحة البشرية. وهذا على الأرجح يجعل علم البيئة التطبيقي، في السياق الأوسع لصنع القرارات، من أكثر التخصُّصات البيئية تعقيدًا وتحدِّيًا، فضلًا عن الحاجة الماسَّة إليه بالطبع.

الحد الأقصى للعائد المستدام

تُستخدم النظرية الإيكولوجية لوضع نموذج لديناميات الجماعة، يمكن من خلاله تقدير عوائد الحصاد المستدام. فيستعين علماء مصائد الأسماك بنماذج لتقديم توصيات بشأن حصص الصيد وجهوده لضمان مصائد أسماك مُستقرة وقابلة للاستمرار. توضِّح النظرية الإيكولوجية أن جماعات الأنواع البرية تنمو حتى تصِل إلى أقصى قُدراتها الاستيعابية، والتي تُعرَّف بأنها الحد الأقصى لحجم الجماعة الذي يُمكن أن تدعمه البيئة، وهذا عندما يتساوى عدد المواليد مع عدد الوفيات. ويؤدِّي تقليل عدد الجماعة إلى تخفيف حِدة المنافسة على الموارد المعتمدة على الكثافة، مما يؤدي إلى تعافي الجماعة واستعادة القُدرة الاستيعابية. والانخفاض الطفيف في عدد الجماعة يؤدي إلى انخفاض طفيف في الكثافة وحسب، وتكون الزيادة الناتجة في عدد المواليد عن الوفيات زيادة هامشية. أما الانخفاض الكبير في عدد الجماعة، فيؤدي إلى تخفيف حِدَّة المنافسة إلى حدٍّ كبير، ولكن نظرًا لصغر حجم الجماعة الناتجة، فإن عدد المواليد يكون منخفضًا بالتبعية. وفي موضعٍ ما بين هذَين النقيضَين، يُوجَد حجم الجماعة الكبير بما يكفي لإنتاج الكثير من المواليد الجُدد، ولكنه مُنخفض بما يكفي لتخفيف حِدَّة المنافسة، مما يعني انخفاض معدل الوفيات. وبافتراض أن حجم الجماعة يُنظَّم وفقًا للكثافة فقط، يحدث الفارق الأكبر بين عدد المواليد والوفيات عندما يكون حجم الجماعة يُعادل نصف القدرة الاستيعابية بالضبط. وعند وصول الجماعة إلى هذا الحجم، حيث يكون معدل النمو في أعلى مستوياته، ينبغي أن يكون حصاد أقصى حدٍّ من هذا العدد الفائض، الذي يساوي عدد المواليد ناقص عدد الوفيات، مُمكنًا، مع توقُّع عدَم حدوث تغيير شامل داخل الجماعة، التي ستستمر في توليد هذا الفائض «إلى ما لا نهاية».

يُعتبر مستوى الحصاد هذا هو «الحد الأقصى للعائد المستدام». ومن المُغري إدارة الموارد المتجددة على هذا الأساس، وكثيرًا ما قامت مصائد الأسماك بذلك. يفترِض حصاد الحد الأقصى للعائد المُستدام أننا مُتيقنون من حجم الجماعة ومعدلات النمو المعتمدة على الكثافة. وإذا افترضنا أن مستوى الحصاد المُوصى به أعلى قليلًا من الحد الأقصى للعائد المستدام، فإن عدد الأفراد الذين يتم حصادهم، عامًا تلو الآخَر، سيتجاوز الفائض الناتج. ومن ثَم سوف يتناقص عدد الجماعة، ببطءٍ في البداية، ولكنها ستتَّجِه نحو الانقراض بسرعة متزايدة. أما إذا كان الحصاد أقل إلى حدٍّ ما من الحد الأقصى للعائد المستدام، فستُحقِّق الجماعة مستوًى أعلى من التوازن المستقر، ولكنها ستُولد عائدًا أقل.

كل هذا يؤسِّس لفرضية أن الجماعة الخاضعة للحصاد هي نظام مُغلَق على نفسه، لا يتأثر بأي شيءٍ باستثناء قاعدة التنظيم الداخلي للأعداد اعتمادًا على الكثافة. غير أن الأنظمة الإيكولوجية، عند أي مستوًى من مستويات التحليل، تعتمد على عملياتٍ تقع خارج نطاق الاعتبار وتتأثر بها. إحدى هذه الظواهر الخارجية هي ظاهرة النينيو أو التذبذبات الجنوبية، وهو حدث مناخي مُتكرِّر يؤدي إلى ارتفاع درجات حرارة سطح البحر ويُغيِّر أنماط التيار المائي الصاعد في المحيطات، مما يتسبَّب في استنفاد المُغذيات إلى حدٍّ كبير في المياه بالقُرب من سواحل أمريكا الجنوبية. وتسبَّبت ظاهرة النينيو في عام ١٩٧٢ في انهيار مصائد أسماك البَلَم، التي ظلَّت عند مستوًى مُتدنٍّ حتى تسعينيات القرن العشرين. وأدَّى استمرار الصيد عند الحد الأقصى للعائد المستدام، استنادًا إلى نموذجٍ لم يأخذ هذا التذبذب في الاعتبار، إلى تفاقم مشكلة الانتعاش البطيء لمخزون أسماك البَلَم.

أسماك القد

غالبًا ما تكون فرضية القدرة الاستيعابية المتوازنة الخاضعة لمبدأ الاعتماد على الكثافة غير صحيحة. فمثل هذا النهج لا يأخذ في الاعتبار سوى نوعٍ واحد في المرَّة الواحدة، دون تضمين التفاعلات بين الأنواع المختلفة في المجتمع البيئي.

لنتأمَّل أسماك القد. في عام ١٤٩٧، أعاقت الأسماكُ — التي كانت «بكثافة شديدة بالقرب من الشاطئ لدرجة أننا لم نتمكن من التجديف بقارب عبرها» — تقدُّمَ جون كابوت عَبْر ساحل نيوفاوندلاند بشدة. كان بالإمكان سحب السِّلال التي يتم إنزالها في الماء بجوار السفينة بعد لحظاتٍ وهي مليئة بالأسماك. وبعد نحو ٤٠٠ عام، صرح توماس هنري هكسلي بكل ثقة، وهو يُلقي الخطاب الافتتاحي في معرض مصائد الأسماك في لندن عام ١٨٨٣، قائلًا: «أعتقد أن مصائد أسماك القد، والرنجة، والبلشار، والماكريل، وربما جميع مصائد الأسماك البحرية الكبرى، لا تنضب.» ولكن بعد مائة عام، تحديدًا في عام ١٩٩٢، انهارت مصائد أسماك القد الضخمة في منطقة جراند بانكس. ماذا حدث؟

تتغذَّى أسماك القد على الأسماك الصغيرة والحبَّار وسرطانات البحر، التي تتغذى بدورها على العوالق الحيوانية التي تتغذَّى على العوالق النباتية. تؤثر التغيرات في أعداد العوالق النباتية، التي تخضع إنتاجيتها للتيارات الصاعدة الغنية بالمغذيات الآتية من أعماق المحيطات، في النهاية، على أسماك القد الموجودة بالقُرب من قمة الشبكة الغذائية. تزيد الاستجابات المُفرطة الأمورَ تعقيدًا؛ إذ تُؤكَل أسماك القد الصغيرة من قِبل الأسماك

التي تكون هي نفسها فريسة لأسماك القد البالغة. ويؤدي حصاد أسماك القد البالغة إلى تحرير هذه «المفترسات المُنتمية للمستوى الأوسط من الشبكة الغذائية» من ضغط الافتراس، مما يفرض مزيدًا من ضغوط الافتراس على أسماك القد الصغيرة. حينئذٍ تُصبح مفترسات المستوى الأوسط مفترساتٍ عُليا، ومن خلال الْتِهام أسماك القد الصغيرة فإنها تحُول دون تعافي مخزونات أسماك القد. ولا تزال أسماك القد موجودة شمال غرب المحيط الأطلنطي، ولكن ليس بالأعداد الكافية لدعم مصائد الأسماك الكبيرة، ولم تُظهر أعدادها أي علامات على التعافي منذ الانهيار الذي شهدته في عام ١٩٩٢. يمكن القول إن النظام الإيكولوجي البحري في شمال غرب المحيط الأطلنطي قد انقلب إلى حالةٍ بديلة، لتُهيمن عليه مفترسات المستوى الأوسط التي تقمع أعداد أسماك القد الصغيرة وتحُول دون تعافيها. إن الشبكة الغذائية، التي أُعيدت هيكلتها الآن لتصِل إلى حالةٍ جديدة من الاكتفاء الذاتي، تحُول دون إعادة تمركُز أسماك القد البالِغة على قمة السلسلة الغذائية.

من المؤكَّد أن تقدير حجم المخزونات السمكية أمر صعب، لكن علماء البيئة لديهم الآن أنظمة أكثر تطوُّرًا بكثيرٍ للمراقبة والنمذجة. والأهم أن علماء البيئة يُدركون أيضًا أن النموذج المُغلَق القائم على العمليات المُعتمدة على الكثافة فقط ليس كافيًا لتفسير التذبذبات في أعداد الجماعة. وتتضمَّن النماذج الجديدة تفاعلات الشبكة الغذائية، وتُقدِّر أعداد كلٍّ من أنواع الفرائس والمفترسات، بالإضافة إلى الأنواع المهمة لعملية الحصاد. وتأخذ في الاعتبار التغيرات المناخية وأنماط الطقس التي تؤثر على المُغذيات. ويقوم علماء مصائد الأسماك أيضًا بقياس الاستجابات التي قد تُجازف بالتغيرات وتحولها إلى حالات غير مرغوب فيها. وتيسر التحسينات، التي تطرأ على عمليات الحوسبة العالية السرعة، تحليلَ هذه البيانات.

تتطلَّب التطورات في تحليل الأنواع المُتعددة حتمًا مزيدًا من المعلومات الكمية لتغذية النماذج. إلا أن الإدارة الناجحة لمصائد الأسماك لا تهتم باحتمالية وجود أخطاء في النماذج الموضوعة وحسب، وإنما تهتم أيضًا باستعداد الساسة والقائمين على صناعة صيد الأسماك لقبول توصيات علماء البيئة المُختصين بالمصائد السمكية والالتزام بها، وتسجيل أعداد الأسماك التي يجري صيدها بدقة. وتُحدد لوائح الصيد حصصًا لكمية الأسماك التي يمكن حصادها، أو تحدُّ من جهود الصيد عن طريق فرض قيودٍ على أعداد القوارب، أو أيام الصيد، أو نوعية المعدات المُستخدمة. ومثل هذه القيود مُثيرة للجدل على الصعيد السياسي؛ لأنها تُقلِّل من الأرباح المحتملة لصناعة صيد الأسماك، وتؤثر على سُبل

كسب العيش في المجتمعات المحلية القائمة على الصيد. كما أنها صعبة التطبيق. فتُلقى كميات كبيرة من الأسماك التي جرى صيدها، بما في ذلك أسماك القد غير البالغة، مرَّةً أخرى في البحر؛ لانخفاض قيمتها السوقية، أو لكونها من الأنواع غير المُستهدفة التي لا تحمل القوارب ترخيصًا بصيدها. ويقلِّل هذا الصيد العرضي غير المقصود، بالإضافة إلى البلاغات المضللة عن أعداد الأسماك التي جرى صيدها، من موثوقية نماذج المصائد السمكية. ولذا لا يمكن للإدارة المستقبلية للمصائد السمكية الاعتماد فقط على النظريات والنماذج الإيكولوجية، بل يجب أن يقترن علم البيئة بفهم الأبعاد الاجتماعية للاستجابات السلوكية لصناع السياسات ومجتمعات الصيد.

الأنواع الغازية

تسبَّبَت الأنواع الدخيلة الغازية، التي أُدخلت — بطريقة مُضلِّلة أو عن غير قصد — إلى مناطق جغرافية خارج نطاقها الطبيعي في أضرارٍ بيئية واقتصادية هائلة، خاصة على الجزر. ونظرًا لعُزلتها، تُعد الجزر عمومًا فقيرة في الأنواع، ولكنها غنية نسبيًّا بالأنواع المستوطنة التي لا تُوجَد في أي مكانٍ آخَر. وهذه الأنواع المستوطنة، المحمية من الصعوبات التنافسية للمجتمعات الأحيائية الأكبر حجمًا على اليابسة، مُعرَّضة بصفةٍ خاصة للأنواع الغازية. وما يقرُب من ٦٠ في المائة من حوادث انقراض الأنواع الحديثة حدثت على الجزر، وجزء كبير من السبب في ذلك يرجع إلى تأثيرات الأنواع الغازية.

أدرك تشارلز إلتون مخاطر الأنواع الدخيلة في كتابه الصادر عام ١٩٥٨ بعنوان «إيكولوجيا الغزو لدى الحيوانات والنباتات»، الذي وصف فيه إلى أي مدًى شجَّع البشر عمليات الغزو الحيوانية والنباتية والأسلوب المُتبع في ذلك. سعى إلتون إلى فَهم العوامل الإيكولوجية التي تسهل أو تعيق هجمات الغزو البيولوجية في مراحل مختلفة من عملية الغزو. وربما يمكن التنبؤ بنجاح كثيرٍ من الأنواع الدخيلة من خلال ما نعرفه عن الضغوط التنظيمية التي تفرضها الحيوانات المفترسة، والأنواع المنافسة، والطفيليات، والأمراض التي تُصيب هذه الأنواع في نطاق موطنها الأصلي. وعندما تكون هناك أنواع مُتماثلة في المجتمع الأصلي تتغذى على الأنواع الدخيلة أو تتنافس معها، فمن المُحتمَل أن يكون انتشار الكائن الدخيل وتأثيره محدودَين. غير أنه غالبًا ما تحظى الأنواع الدخيلة بأفضلية في نطاق المنطقة التي جرى إدخالها عليها؛ لأنها لم تعُد معرَّضة للحيوانات

المفترسة والمنافسة الموجودة في نطاقها الأصلي. فالتحرُّر من بطش هؤلاء الأعداء يسمح لها بالانتشار سريعًا، وغالبًا ما يكون ذلك على حساب الأنواع المحلية.

غالبًا ما تنتهي الجهود المبكِّرة للسيطرة على الأنواع الغازية على الجزر نهاية كارثية بسبب عدم الاهتمام الكافي بأساسيات علم البيئة. لقد تطوَّرت الأنواع الغازية جنبًا إلى جنبٍ مع مفترساتها؛ لذا فإن إدخال كائن مفترس إلى المشهد الطبيعي قد يُقلِّل من أعداد أحد الأنواع الغازية، ولكن من غير المُحتمَل أن يقضي عليه تمامًا. والأرجح أن يجد المفترس الدخيل في الأنواع المحلية — التي لم تحتك بهذا المفترس من قبل — صيدًا سهلًا. وهذا يجعل الأحياء الأصلية الغِرَّة في هذه المنطقة البيئية عُرضة للانقراض بقوة. ومن ثَم، كان لإطلاق القطط أو الكلاب أو النمس للسيطرة على الفئران الغازية تأثيرات متواضعة على مجموعات الفئران المستهدفة، إلا أنها دمَّرت كثيرًا من الأنواع المحلية. وقد خلفت الجهود التي بُذلت في القرن التاسع عشر للسيطرة على القوارض في حقول قصب السكر في جامايكا سلسلةً من الكوارث. أولًا، أُدخِل نمل الخشب الأحمر الأوروبي لمكافحة الفئران، ولم يفشل النمل في القيام بذلك فحسب، بل سرعان ما أضحى مشكلة في حدِّ ذاته. وأصبح أيضًا علجوم القصب، الذي جُلِب من البر الرئيسي لأمريكا بهدف التخلُّص من الفئران والنمل، من الآفات، بينما استمرَّ تواجُد النمل والفئران. وأخيرًا، لجأ المزارعون إلى النمس الهندي للسيطرة على الفئران والعلاجيم. وفي تلك الأثناء، اكتشف النمس الهندي أن الطيور المحلية فريسة أسهل للإيقاع بها، مما خلق سلسلةً جديدة من المشاكل.

بالرغم من أننا نمتلك الآن معرفةً إيكولوجية أفضل عن ديناميات المفترس والفريسة، فإننا لا نستخدِم هذه المعرفة دائمًا استخدامًا فعَّالًا. فغالبًا ما تفتقر برامج المكافحة إلى منظور الأنظمة الإيكولوجية الذي يأخُذ في الاعتبار التفاعلات الغذائية والتفاعلات التنافُسية بين الأنواع داخل المجتمعات البيئية، وما زلنا نتفاجأ بالنتائج. ففي عام ٢٠٠٠، كان للتخلُّص الناجح من الماعز والخنازير الدخيلة من غابة محلية مهدَّدة على جزيرة ساريجان في منطقة غرب المحيط الهادئ الاستوائية، نتيجة مؤسِفة ولكنها متوقَّعة فعلًا، تمثلت في تحرير شجرة كرمة غازية، تُدعى أوبركيولاينا فينتريكوزا، من ضغط الرعي، مما أدى إلى انتشارها عَبْر الغابة الأصلية. بالمثل، حدثت زيادات مَهولة في أعداد نوع من الفئران جرى إدخاله والتغافُل عنه فيما سبق عقب عملية إبادة للجرذان. وقد يؤدي التخلُّص من حيوان مفترس أو منافس أو حيوان عاشِب إلى زيادة أنواع دخيلة أخرى قُمعَت من قبل، وهو ما يُضاف إلى التكلفة المُستمرة التي تتكبَّدها الأنواع المحلية.

إن برامج الإبادة التي تعتمد على المعرفة الجيدة بتفاعلات الأنواع عَبْر المجتمع تُحقِّق نجاحًا أكبر. فالتخلُّص من الجرذان السوداء الغازية في عام ٢٠٠٦ من جزيرة سربرايز في منطقة أونتراكاستو رييف، بكاليدونيا الجديدة، سبقته دراسة استمرَّت أربع سنوات أُجريَت على النباتات والحيوانات الموجودة على الجزيرة لتحديد تأثير الجرذان على الأنواع المحلية، والكشف عن وجود أنواع دخيلة أخرى مثل الفئران والنمل والنباتات. تضمَّنت الدراسة مسوحًا للنباتات والفقاريات، وتحليلات للنظام الغذائي، وتوصيفًا للشبكة الغذائية، ووضع نماذج لديناميات الجماعة. وقد أشارت النماذج الخاصة بالعلاقات الغذائية داخل النظام الإيكولوجي الذي تمَّ غزوُه إلى أن التخلُّص من الجرذان وحدها من شأنه أن يؤدي إلى إطلاق جماعة صغيرة من الفئران الدخيلة. ولذلك تم التخلص من كلا النوعَين من القوارض، ومن ثَم تجنُّب أي مفاجآت مؤسفة على جزيرة سربرايز حتى الآن.

تُعَد السيطرة على الأنواع الغازية على جماعات البر الرئيسي أكثر صعوبة؛ إذ يكاد يكون من المُستحيل القضاء عليها بالكامل. يمكن أيضًا أن يؤدي الانتشار لمسافاتٍ طويلة من حينٍ لآخَر إلى ظهور مواقع تفشٍّ جديدة بعيدة عن النطاق الأصلي. بل إن الكائنات الحية الغازية عند حدود منطقة التوسع تُطور قدرات انتشار مُحسنة، مما يسمح لها بالتوسُّع بسرعة أكبر في مناطق جديدة. فقد طوَّر علجوم القصب (انظر مربع ٣) الذي ينتشر غربًا عَبْر شمال أستراليا، أرجلًا خلفية أطول ونزعة للتحرك المُستمر في خط مستقيم، مما أدى إلى زيادة معدل انتشاره من نحو خمسة كيلومترات سنويًّا عند إدخالها إلى أستراليا لأول مرة، إلى ٥٠ كيلومترًا سنويًّا في الوقت الحالي. وهذا يؤدي إلى تسريع معدلات الغزو، ويزيد من حجم المشكلة. وفي مثل هذه المواقف، علينا أن نتعلَّم ببساطةٍ كيف نتعايش مع الغزو.

مربع (٣): علجوم القصب

واجه مزارعو قصب السكر في ولاية كوينزلاند بأستراليا في ثلاثينيات القرن الماضي مشكلة. كانت خنافس القصب تُدمِّر محاصيلهم. أخبر أحدهم شخصًا آخَر عن علجومٍ لدَيه شهية شرِهة لهذه الخنافس المُدمِّرة. وفي عام ١٩٣٥، سافر أكثر من ١٠٠ علجوم داخل حقيبتَين من هاواي إلى أستراليا، لإدخالها إلى حقول قصب السكر الواقعة حول مدينتي كيرنز وجوردونفيل الأستراليتَين. تجاهلت العلاجيم الخنافس، وتجوَّلت وتكاثرَت. ويبلغ عددها الآن أكثر من ١,٥ مليار، وتنتشر على مساحة مليون كيلومتر مربع من كوينزلاند والأقاليم الشمالية. والْتَهمت في طريقها كثيرًا من

النباتات والحيوانات المحلية في أستراليا. ونظرًا لكونها سامة، فإنها تقتُل أي حيواناتٍ مفترسة محتملة. ولا يُوجَد ما يمنعها من التوسُّع المستمر عَبْر جميع المشاهد الطبيعية في أستراليا عدا المناطق الأكثر جفافًا.

إدارة الآفات الزراعية

تُقدَّر مبيعات المبيدات الحشرية لحماية المحاصيل الزراعية عالميًّا بنحو ٥٢ مليار دولار أمريكي لعام ٢٠١٩. وكل دولار يُنفَق على المبيدات الحشرية، إن صدقت هذه التقديرات، يزيد من إنتاجية المحاصيل المُخزنة بنحو أربعة دولارات. وتساعد هذه المحاصيل ذات الإنتاجية العالية، التي يُيسرها استخدام المبيدات الحشرية، على توفير الغذاء الذي يعتمد عليه سكان العالم، وبأسعارٍ مناسبة في متناول الجميع.

تُستخدَم المبيدات الحشرية أيضًا على نطاقٍ واسع في مكافحة الحشرات الحاملة للأمراض التي تُصيب الإنسان والماشية على حدٍّ سواء. ففي خمسينيات القرن العشرين، استُخدِم مركَّب ثنائي كلورو ثنائي الفينيل ثلاثي كلورو الإيثان — المعروف اختصارًا بـ «دي دي تي» (DDT) — على نطاقٍ واسع لمكافحة البعوض، وهو ما خفَّف من خطر الإصابة بالملاريا لملايين البشر. وفي سريلانكا، خفَّض مبيد الحشرات «دي دي تي» كثيرًا من عدد حالات الإصابة بالملاريا من مليون حالة إلى أقل من ثلاثين حالة بحلول عام ١٩٦٤. غير أن هذا المبيد فقد شعبيته بعد نشر كتاب «الربيع الصامت» لراشيل كارسون (١٩٦٢)، الذي شنَّ هجومًا شديدًا على الإسراف في استخدام المبيدات الحشرية، لا سيَّما «دي دي تي». وتراجعت عمليات رش المبيدات، وعادت معدلات الإصابة بالملاريا في سريلانكا إلى الزيادة مرَّةً أخرى لتبلغ نحو نصف مليون حالة بحلول عام ١٩٦٩.

وعلى الرغم من الفوائد الواضحة للمبيدات الحشرية في إنتاج الغذاء ومكافحة الأمراض، فقد كشفت راشيل كارسون النقاب عن تكاليفها البيئية والصحية الخبيثة. واشتُهرت بسردها لمدى تركز الـ «دي دي تي» على نحوٍ متزايد في الأنسجة الحيوانية وصولًا إلى أعلى مستوى في السلسلة الغذائية. فتُعاني الطيور، لا سيَّما الطيور الجارحة، من ترقُّق قشر بيضها، وفشل التكاثر، وأخيرًا انخفاض أعدادها. ولا يُدمر الـ «دي دي تي» والمبيدات الحشرية الأخرى الحياة البرية فحسب، وإنما يُعرِّض صحة الإنسان إلى الخطر أيضًا. ويعود الفضل في تدشين الحركة العالمية للحفاظ على البيئة إلى كتاب كارسون.

يعود ولو جزء على الأقل من مشاكل الآفات في مجال زراعة الأراضي والغابات إلى الممارسات الهادفة إلى الإنتاجية المكثَّفة، حيث تُزرع مساحات كبيرة بمحصولٍ واحد أو نوع واحد من الأشجار. والزراعة الأحادية بمنزلة منجمٍ للآفات الزراعية. ولذا تُعد زيادة تنوُّع أنواع المحاصيل استجابةً واضحة لمشاكل الآفات. صحيح أن الآفات تُهاجم أيضًا الأنواع النباتية الموجودة في المجتمعات الطبيعية المتنوعة، ولكن عادةً ما تكون الأنواع الأكثر تضرُّرًا هي الأنواع الشائعة جدًّا. وقد كانت أشجار الكستناء، التي قضت عليها آفة الكستناء في جبال الأبالاش بالولايات المتحدة، تُشكِّل ربع إجمالي الأشجار الموجودة في هذه الغابات. وحتى أنواع أشجار الغابات الاستوائية المطيرة الموجودة ضمن مزيجٍ من الأنواع الشديدة التنوع تكون عُرضةً للآفات أحيانًا، ولكن في هذه الحالة أيضًا لا يُصاب إلَّا الأنواع الأكثر شيوعًا.

وعلى ذلك، فإن التنوُّع لا يُشكِّل ضمانًا ضد التأثيرات الجسيمة للآفات، ولكنه بالتأكيد يُساعد في إحداثها، كما أثبتت دراسات كثيرة. والسؤال الذي يجب طرحُه هنا هو كيف تساعد توليفات الأنواع في تخفيف ضغوط الآفات والعوامل المُمرضة. لدى علم البيئة عدة إجابات عن هذا السؤال. تنطوي زراعة الأنواع المُختلطة على تباعُد بين أفراد النوع نفسه بعضها عن بعض على نطاقٍ أوسَع مما إذا زُرعت بنظام الزراعة الأحادية. ومن ثَم يتباطأ التقدُّم الذي تُحرزه إحدى الآفات أو العوامل المُمرضة إذا اضطرت إلى قطع مسافاتٍ أكبر للتنقل بين العوائل المُعرَّضة للإصابة. وربما يتسبَّب أيضًا مزيج الأنواع في إرباك الآفات؛ لأن المظهر الخارجي للنباتات غير المُضيفة وبصمتها الكيميائية يتعارضان مع آليات هذه الآفات للبحث عن مضيف.

مكافحة الآفات بالطُّرق الطبيعية

توفِّر المجتمعات النباتية المتنوعة قدرًا أكبر من الوفرة على مستوى الموارد وبِنى الموائل التي تُحافظ على مجتمعاتٍ متنوعة ووفيرة من أشباه الطفيليات (الحشرات التي تتطفل على المفصليات الأخرى) وغيرها من الحيوانات المفترسة للآفات. ويُساهم هؤلاء الأعداء الطبيعيون للآفات في إبقاء الحشرات العاشبة تحت مستويات الإضرار بالاقتصاد. فخدمات مكافحة الآفات بالطُّرق الطبيعية التي تُوفِّرها الطفيليات الأصلية والحشرات المفترسة في الولايات المتحدة تُشكِّل وحدها وفرًا سنويًّا يصل إلى نحو ٤٫٥ مليار دولار بسبب زيادة إنتاجية المحاصيل وتقليل مستلزمات إنتاج المبيدات الحشرية. وتهدف استراتيجيات الإدارة

المُتكاملة للآفات الزراعية إلى الحفاظ على الجماعات السليمة من هذه الحيوانات المفيدة في مكافحة الآفات. ويتم حث المزارعين على الاقتصاد في استخدام المبيدات الحشرية، والحفاظ على الحدود الغنية بالزهور الفاصلة بين الحقول (شكل ٦-١)، والأسيجة، ورُقَع الغابات الشجرية في المشهد الزراعي الطبيعي، وإدخال صناديق للتعشيش من أجل الطيور الآكلة للحشرات.

شكل ٦-١: يدعم شريط الأراضي الغنية بالزهور البرية على طول الحقول الزراعية بسويسرا، تنوُّعًا في الحشرات، بما فيها الكثير من الحشرات التي تُساعد في السيطرة على الآفات الزراعية.

إن تحديد ما إذا كانت زراعة الأنواع المختلطة استراتيجية قابلة للتطبيق في زراعة الأراضي والغابات يعتمِد على كثافة أعداد الكائنات المُضيفة بالنسبة إلى سلوك الانتشار لدى الآفة ومدى فاعلية الحيوانات المفترسة الطبيعية في ظِل هذه الظروف. وتمثِّل المزروعات المُختلطة تحدِّيًا أكبر من الناحية الاقتصادية؛ وذلك بسبب تراجُع مستوى كفاءات الإدارة واقتصاديات التوسع. وفي مختلف أنحاء العالم، لا تزال زراعة المحاصيل الأساسية بنظام الزراعة الأحادية قائمة، مع استمرار استخدام المبيدات الحشرية الكيميائية للسيطرة على

مشاكل الآفات الزراعية المتواصِلة، ولكن بتكاليف كبيرة تتكبَّدها الحشرات المفيدة مثل المُلقحات وأشباه الطفيليات. غير أن مفهوم الإدارة المتكاملة للآفات، باستخدام مزيج من أساليب المكافحة، بعضها بيولوجي وإيكولوجي، والبعض الآخَر آلي أو كيميائي، قد حظِيَ باهتمامٍ واسع النطاق، وخاصة في النظم الزراعية الاستوائية. وقد ساعد هذا النهج في خفض أعداد أنواعٍ كثيرة من الآفات إلى مستوياتٍ مقبولة اقتصاديًّا، وفي الوقت نفسه الحد من الاعتماد على المبيدات الحشرية الكيميائية الضارة.

عدوٌّ عدوِّي هو صديقي

تستعين المكافحة البيولوجية بكائنات حية (أو فيروسات) لقمع آفات معيَّنة بهدف الحد من أضرارها القائمة. ويمكن السيطرة على الأنواع الدخيلة الغازية عن طريق استقدام أعدائها الطبيعيين (أشباه الطفيليات، أو المفترسات، أو العوامل المُمرضة) من مواطنها الأصلية، لتكوين جماعاتٍ مكتفية ذاتيًّا تعمل على قمع الآفات الغازية، أو على الأقل الحد من انتشارها. وتتمتَّع هذه المناهج بميزة تجنُّب الاستخدام المُتكرِّر والمُكلف لمبيدات الآفات ذات الآثار البيئية الممتدة.

طُبِّقت المكافحة البيولوجية على مدار آلاف السنين. ويأتي أول وصفٍ موثَّق من جنوب الصين؛ حيث شُجِّع على بناء أعشاش النمل الحائك منذ ألفَي عام في بساتين المحاصيل الحمضية بهدف السيطرة على الآفات الزراعية. وحتى يومِنا هذا، يُنشئ المزارعون الصينيون جسورًا من الخيزران بين أشجار الحمضيات لتشجيع النمل على البحث عن الطعام عَبْر كل أنحاء البساتين. وأول إقحام مُتعمَّد لعدو طبيعي دخيل بهدف السيطرة على إحدى الآفات كان لطائر المَيْنة من الهند، الذي استُقدم إلى موريشيوس في عام ١٧٦٢ للسيطرة على الجراد الأحمر في مزارع قصب السكر. وبدلًا من أن تتغذَّى طيور المَيْنة على الجراد، فضلت أَكْل السحالي المحلية التي كانت أسهل في اصطيادها. في الواقع إن النجاحات المذهلة للمكافحة البيولوجية (انظر مربع ٤) يُضاهيها إخفاقات مُذهلة أيضًا (كما هو الحال في نموذج علجوم القصب في مربع ٣).

يرتبط علم المكافحة البيولوجية ارتباطًا وثيقًا ببيولوجيا الكائنات الغازية. وهذا هو ما صرَّح به تشارلز إلتون في كتابه المذكور آنِفًا. يهتم هذا العِلم بالتفاعلات بين الآفات والأعداء والتفاعُلات المباشرة وغير المباشرة بين جماعات الكائنات الحية المستهدفة، وعوامل المكافحة البيولوجية، والموارد التي يُقدِّرها البشر. وتُحقق العوامل البيولوجية

هدفها في المكافحة بصورةٍ مباشرة من خلال افتراس أنواع الآفات المستهدفة، ولكنها قد تحدُّ أيضًا من أعداد الآفات من خلال ممارسة ضغوطٍ تنافُسية شديدة عليها. فقد نجحت خنافس الروث الدخيلة في القضاء على ذباب الأدغال في أستراليا نظرًا لكونها أسرع بكثيرٍ في استغلال أكوام الروث وتوزيعها، مما يَحْرم الذباب من هذا المورد الأساسي لها. ونجحت الثعالب الحمراء المُعقمة التي استُقدمت إلى جُزر ألوتيان في القضاء على الثعلب القطبي الشمالي المُستقدَم من خلال المنافسة، قبل أن يتم إقصاؤها هي نفسها من الجزر.

حققت الفيروسات نجاحًا كبيرًا في مكافحة الفقاريات الغازية، وأشهر مثال على ذلك هو فيروس الورم المُخاطي المستخدَم ضد الأرانب في أستراليا. فالمقاومة التي طوَّرَتها الأرانب وتراجُع القدرة على الإمراض (الفَوْعَة) من جانب الفيروس يُعتبر مثالًا نموذجيًّا لتطور الفَوْعَة المتوسطة التي تسمح للمرض والكائن المُضيف بالتعايش معًا بأعداد محدودة. ويمكن للاستجابات المتطورة أن تحد من فاعلية النتائج الطويلة المدى للمكافحة البيولوجية.

مربع (٤): أصحاب المعاطف الحمراء والتين الشوكي وعثة الصبار

يُلقى اللوم في غزو أستراليا على المعاطف الحمراء المُبهرجة لجنود بريطانيا الإمبراطوريين في القرن الثامن عشر، لا من قِبل الجنود أنفسهم، وإنما من قِبل نبات الصبار. استُقدِم صبار التين الشوكي، الذي يُعتقد أن الحاكم آرثر فيليب أدخله إلى ميناء جاكسون بولاية كوينزلاند الأسترالية في عام ١٧٨٨، لتأسيس صناعة الصبغات القرمزية في المستعمرة الجديدة. والدودة القرمزية هي حشرة قشرية تتغذَّى على نبات الصبار، واستُخرجت صبغة قرمزية استخدمت في صَبْغ المعاطف الحمراء المُميزة للجنود البريطانيين من شرنقة الدودة القرمزية.

وسرعان ما تَبِعَ ذلك إدخالات أخرى، وبحلول منتصف القرن التاسع عشر، كان النبات ينتشر عَبْر ولاية كوينزلاند، لتُوزِّعه الطيور والفيضانات هنا وهناك. وبحلول عام ١٩٠٠، انتشرت مجموعات كثيفة من أشجار التين الشوكي على مساحة أربعة ملايين هكتار، ازدادت إلى ٢٤ مليون هكتار بعد عشرين عامًا فقط. وأثبتت جميع الجهود الرامية للتخلُّص منها ميكانيكيًّا عدم جدواها. وفي محاولةٍ مُستميتة، قامت لجنة التين الشوكي المُتنقلة، ذات الاسم الرائع الدال على غرضها والتي تشكلت عام ١٩١٢، بزيارة النطاق الأصلي لنبات الصبار في أمريكا الاستوائية لتحديد الأعداء الطبيعيين الذين قد يعملون كعوامل مكافحة. وبحلول عام ١٩١٤، عُثر على الأنواع المرشحة الواعدة للقيام بهذا الدور، وكان من بينها عثة الصبار. حقَّقت عثة الصبار، التي أُطلِقت لأول مرة في عام ١٩٢٦،

نجاحًا مذهلًا، وفي غضون بضع سنِين دمَّرت يرقاتها الثاقبة للسيقان أغلب المجموعات الكثيفة من أشجار التين الشوكي. وصارت عثة الصبار نجمة فيلمٍ وثائقي بعنوان، «غزو صبار التين الشوكي» (ذا كونكست أوف بريكلي بير)، في حين أهدَت منطقة بونارجا الريفية، الواقعة على بُعد نحو ٣٠٠ كيلومتر غرب مدينة بريزبان، «قاعة عثة الصبار التذكارية» عرفانًا بجميل هذا المنقذ الحشري.

من الصعوبات التي تُواجِه علماء البيئة المختصين بالمكافحة البيولوجية أن التفاعلات التي تبدو واعدةً في الظروف المُختبرية الخاضعة للرقابة غالبًا ما تكون غير فعَّالة في الحقول. فظهور مُعوِّقات بيئية غير متوقَّعة أو حدوث تفاعلات أخرى غير محسوبة يؤثر على النتائج. وبمجرد إطلاق نوعٍ جديد، يرهن نجاحه في مكافحة الآفات بالتفاعُلات مع الأنواع الأخرى في المجتمع البيئي، أو بالظروف البيئية. ومن الأمثلة على ذلك محاولات السيطرة على ياقوتية الماء (إيكورنيا كراسيبس)، وهي عشبة مائية غازية في مختلف أنحاء العالم تعود أصولها إلى أمريكا الجنوبية (شكل ٦-٢). نجحت خنافس السوس المُقحمة (من نوع نيوشتينا) في السيطرة على ياقوتية الماء في بحيرة فيكتوريا شرق أفريقيا، ولكن لم تحقق نجاحًا يُذكر في ذلك في فلوريدا أو جنوب أفريقيا. فالكثير منها يعتمد على مستويات المُغذيات الموجودة في الماء. وتعمل التركيزات العالية من المُغذيات على زيادة القيمة الغذائية للنبات فتدعم تكاثُر خنافس السوس، ولكنها تدعم أيضًا معدلات نمو النبات السريعة والانتشار الخضري. علاوةً على ذلك، عند انخفاض مستويات المُغذيات، تخصص الياقوتية المائية موارد أكثر للإزهار مقارنةً بما تُخصِّصه للنمو الخضري، مما يحدُّ من الغذاء المتاح لخنافس السوس. لذا فإن المكافحة البيولوجية للياقوتية المائية بواسطة خنافس السوس ليست فعَّالة عند التركيزات المُنخفضة جدًّا للمُغذيات، التي لا يمكنها سوى تغذية جماعاتٍ صغيرة من خنافس السوس وتشجع انتشار النباتات من خلال إنتاج البذور، وليست فعَّالة عند ارتفاع تركيزات المُغذيات، وهو ما يحدُث عندما يكون النمو الخضري غزيرًا. تبلغ فاعلية مكافحة خنافس السوس أقصى مستوياتها في ظِل التركيزات المُعتدلة من المغذيات، عندما تحظى خنافس السوس بالتأثير الأكبر فيما يتعلَّق بإجمالي عدد الحيوانات العاشبة مقارنةً بمعدل نمو النباتات التعويضية.

شكل ٦-٢: ياقوتية مائية تخنق المياه الراكدة في زامبيا.

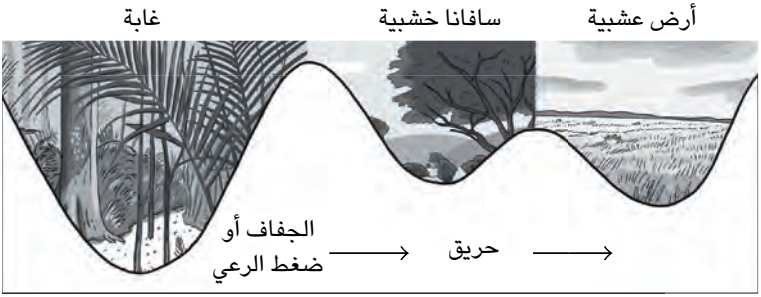
المرونة

سعَت مناهج الإدارة التقليدية إلى تنظيم أعداد جماعات الكائنات الحية، إما بهدف تعظيم الموارد، سواء أكانت هذه الموارد الأشجار الخشبية، أم محاصيل الأسماك، أم غلات المحاصيل، أم حيوانات الصيد، أو بهدف الحدِّ من الأنواع المُسببة للمشاكل، بما في ذلك الحيوانات المفترسة الخطيرة، أو آفات المحاصيل الزراعية، أو ناقلات الأمراض، أو الأنواع الغازية الدخيلة. يميل مثل هذا الأسلوب في الإدارة، الذي يُشار إليه بـ «القيادة والسيطرة»، إلى التركيز على الأعراض بدلًا من التركيز على الأسباب. وأسفر هذا المنهج الإداري عن عواقب غير مقصودة، وغير مُتوقعة، وكارثية في كثيرٍ من الأحيان. وأقنعت هذه التجربة المُديرين بضعف أسلوب القيادة والسيطرة، وأن إدارة الموارد تكون أكثر فاعلية

إذا أخذنا في الاعتبار النظام الإيكولوجي بأكمله. وقد أدرك ألدو ليوبولد هذه الحقيقة في النصف الأول من القرن العشرين، ولكن قُوبلت أفكاره بقدرٍ كبير من التجاهُل حتى قرب نهاية القرن. اقترح ليوبولد أنه من أجل إدارة الجماعات، فمن الضروري إدارة الأنظمة الإيكولوجية؛ إذ تعتمِد الجماعات على كثيرٍ من العناصر الموجودة في النظام الإيكولوجي التي تُشكل جزءًا منه. وربما أحبط تعقيد الأنظمة الطبيعية، وأوجه النقص في معرفتنا بها، محاولات إدارة الموارد باعتبارها أجزاءً من الأنظمة المُعقَّدة. وبدأ هذا يتغيَّر مع قيام علم البيئة بتطوير مفاهيم وأساليب لتفسير الجماعات والعمليات داخل منهج أكثر شمولية للأنظمة المعقَّدة.

يُعتبر مفهوم المرونة أحد عناصر هذا التفكير، وقد لاقى قدرًا ملحوظًا من الاستيعاب عَبْر شرائح المجتمع. وهو أيضًا أحد المُصطلحات (المزعِجة إلى حدٍّ ما) التي يفسرها علماء البيئة بعدة تفسيرات. والمرونة، بصفةٍ عامة، هي قدرة النظام الإيكولوجي على استيعاب الصدمات والاضطرابات والتعافي منها مع الحفاظ على بِنية النظام الإيكولوجي ووظيفته بصورة عامة. والمرونة، بصورةٍ أكثر تحديدًا، هي الوقت الذي يَستغرقه النظام للعودة إلى حالةٍ من الاتزان بعد وقوع اضطراب، أو مقدار الاضطراب الذي يُمكن استيعابه قبل أن يتحوَّل النظام الإيكولوجي إلى حالةٍ دائمة جديدة مختلفة على المستويَين البنيوي والسلوكي (شكل ٦-٣). وتفترض كل هذه التفسيرات أن الأنظمة الإيكولوجية تتمتَّع بحالاتٍ مُستقرة نسبيًّا وتنزع إلى العودة إليها. وهذا صحيح على الأرجح إذا ميَّزْنا فئات عامة، مثل الغابات العريضة الأوراق، أو الأراضي العشبية، أو البحيرات محدودة المُغذيات (الفقيرة بالمُغذيات)، مع تقبُّل إمكانية تغيُّر تكوين الأنواع في هذه الأنظمة الإيكولوجية.

والنظام ذو الإدارة المستدامة هو نظام يتم فيه الحفاظ على بنيته وتكوينه وعملياته من أجل مواصلة توفير الموارد والوظائف والخدمات التي نُثمِّنها، حتى عندما يكون عُرضة لاضطراباتٍ طبيعية أو بشرية. لذا فإن تحقيق الاستدامة يتعلَّق إلى حدٍّ كبير بمرونة النظام الإيكولوجي؛ إذ توفر مجموعة العلاقات والوظائف الإيكولوجية القدرة على التكيُّف والتعافي من الاضطرابات على مستوى مجموعةٍ من النطاقات. ويفترض علم البيئة إمكانية تعزيز المرونة من خلال الحفاظ على تنوع الأنواع والمجموعات الوظيفية وتفاعلات الشبكة الغذائية. وتقرُّ الإدارة الهادفة إلى المرونة أيضًا بأن الاضطراب مكوِّن طبيعي، بل وضروري، في النظم الإيكولوجية، يُحافظ على التأثيرات التفاعُلية والتدفُّقات عَبْر النطاقات، ويساهم في تعزيز القدرة التكيفية للأنظمة الإيكولوجية. ويتطلَّب فَهْم ذلك



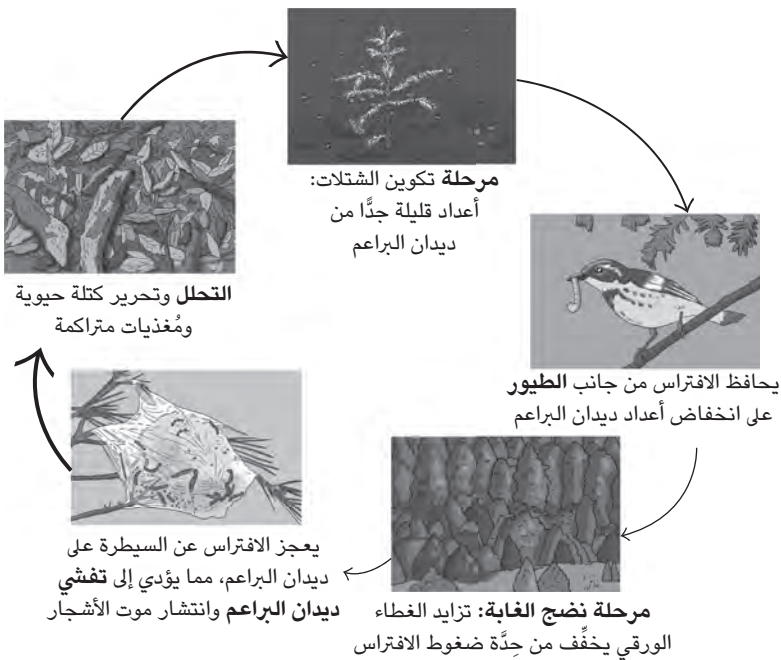
شكل ٦-٣: صورة توضيحية لحالات الاستقرار البديلة. تُمثل القيعان حالات الاستقرار البديلة للنظام الإيكولوجي، لكلٍّ منها درجة المرونة الخاصة به، تنعكس من خلال عُمق القاع. يمكن تخيُّل الوضع الحالي على هيئة كرة مستقرة في الجزء السفلي من القاع. تزيح الاضطرابات الكرة في اتجاهٍ أو آخَر أعلى المنحدر. إذا لم يكن الاضطراب كبيرًا، تستقر الكرة مرة أخرى في الجزء السفلي من القاع، مما يعكس تعافي النظام الإيكولوجي وعودته إلى حالته المستقرة. تتسبَّب الاضطرابات الأكبر التي تفوق مرونة النظام الإيكولوجي، مُمثلةً بارتفاع القمم، في سقوط الكرة المُتخيَّلة في قاع مجاور، مما يُشير إلى حدوث تحوُّل النظام الإيكولوجي إلى حالة استقرار بديلة.

تقدير الطبيعة الدينامية للأنظمة الإيكولوجية على مستوى الزمان والمكان، التي تتجلَّى في دورات التغيُّر وظهور الرُّقَع البيئية المتقطعة.

الاستقرار الدينامي

يجب التوفيق بين الطبيعة الدينامية للأنظمة الإيكولوجية واستقرارها المزعوم. إن التغيرات داخل الأنظمة الإيكولوجية، التي تتَّسِم بتقلباتٍ في أعداد الجماعة، أو تغيرات في تفاعلات الشبكة الغذائية، أو تفاوتات في تدفُّق الموارد، تُتيح للأنظمة الإيكولوجية التكيف مع الاضطرابات. قد تبدو مثل هذه التغييرات حادة، إلا أنها غالبًا ما تُشكل مراحل من دورات التكيُّف الطبيعية. وتُعد غابات التنوب والشوح في أمريكا الشمالية، وهي نظم إيكولوجية منتشرة على نطاقٍ واسع وتبدو مستقرة، موئلًا لدودة براعم التنوب بالمنطقة الشرقية (كوريستينورا فوميفيرانا)، وهي عثة تتغذَّى يرقاتها على شجرة التنوب والأشجار الصنوبرية الأخرى. تتغذَّى الطيور على دودة البراعم مما يُبقي أعدادها عند مستوياتٍ

منخفضة وذلك عندما تكون شُجيرات الغابة صغيرة السن وتكون المظلَّة الغابية مفتوحة نسبيًّا. عندما تنضج الأشجار، تجد الطيور صعوبة مُتزايدة في العثور على ديدان البراعم بين الغطاء الورقي الأكثر كثافة. يُتيح تكوين شجيرة غابية ناضجة وما يُقابلها من خسارة في كفاءة الحيوانات المفترسة زيادة أعداد ديدان البراعم بسرعة، مما يتسبَّب في تفشِّي ديدان البراعم. وينتج عن ذلك تساقط الأوراق على نطاقٍ واسع وموت الأشجار، مع امتداد معدلات موت الأشجار عَبْر عدة كيلومترات مربَّعة. تطلق الأشجار الميتة مُغذياتها في التربة ببطء، مما يفيد الشتلات التي تستعمِر مجموعات الأشجار الميتة. وتعود الغابة إلى المرحلة الغَضَّة، وتُسيطر الطيور مرة أخرى على مجموعات ديدان البراعم (شكل ٦-٤).

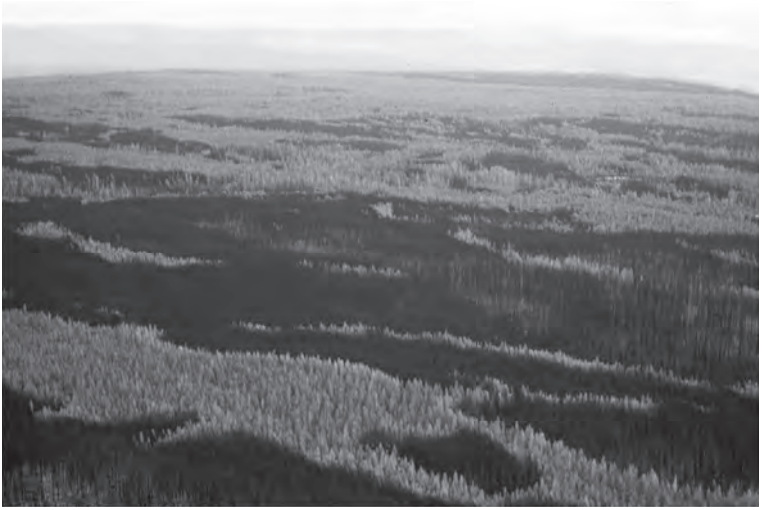


شكل ٦-٤: ديناميات غابات التنُّوب والشوح في أمريكا الشمالية. تُشير الأسهم إلى تتابع الخطوات في الدورة بين مراحل النظام الإيكولوجي المختلفة. يُمثل عرض الأسهم سرعة التغيُّر، وتمثل الأسهم الأعرض تغيرًا أسرع.

تتَّسِم دورات الغابة ودودة البراعم بنشاط دينامي، إلا أنها مستقرة؛ إذ يظلُّ النظام الفعلي عبارة عن غابةٍ من أشجار التنوب والشوح. وثمَّة توازنات محلية طويلة الأمد، عندما تُبقي الطيور على أعداد ديدان البراعم منخفضة، إلى جانب وجود عتبات، وهي النقطة التي لا تعود الطيور عندها قادرة على التحكُّم في أعداد ديدان البراعم. ويتبع ذلك انهيارات حادة، تتجلَّى في موت الأشجار على نطاق واسع، يعقُبها تجدُّد يحدث من خلال تكوين الشتلات وحدوث تعاقُب بيئي. وفي جميع الأحوال، يظلُّ من المُمكن التعرُّف على الغابة باعتبارها غابة، وإن كان ذلك في مراحل مُختلفة من دورة التكيف.

والأنظمة الإيكولوجية عبارة عن رُقَع منفصلة. فدورة النضج، والاستمرار، والتغير الكارثي، والتجدُّد ليست متزامنة على مدى نطاقها الكامل. وتشغل مناطق مختلفة من النظام الإيكولوجي مراحل مُختلفة من دورة التكيُّف في أي فترة زمنية، مما يؤدي إلى ظهور مشهد فسيفسائي من رُقَع متقطعة. والرُّقَع المتقطعة الناتجة عن نظام الاضطراب المُعقد توفر المرونة. فتظلُّ النباتات والحيوانات في مراحل النضج في رُقع غير مضطربة، بينما تنتقل تلك الكائنات المُرتبطة بمراحل التجدُّد من رقعة متجددة قصيرة العمر إلى أخرى في مكانٍ آخَر من المشهد الطبيعي. وتعمل الرُّقَع الناضجة المُتبقية كمصادر للبذور لبدء مرحلة التعافي الرائدة. وتحد الرقع المُتقطعة أيضًا من تأثير ومدى الاضطرابات التي تؤثر إلى حدٍّ كبير على مراحل النضج في الدورة.

والاضطرابات نفسها مُتفاوتة في شِدتها ومداها. حتى الاضطرابات العرضية الكبيرة جدًّا لها تأثيرات غير مُتجانسة على المشهد الطبيعي. فقد تنجو بعض الرُّقع من أحد الاضطرابات بحُكم الظروف البيئية المحلية التي تجعلها أقلَّ عُرضة للخطر، أو قد تنجو بمحض الصدفة ببساطة. كان صيف عام ١٩٨٨ هو الأكثر جفافًا على الإطلاق في حديقة يلوستون الوطنية. ولم يتطلَّب الأمر كثيرًا حتى اشتعلت الحرائق في غابات الصنوبر، وكان حجم الحرائق وشدتها غير مَسبوقَين. فقد احترق نحو ٥٧٠ ألف هكتار من الغابات. في خضم أي حريق، يبدو المشهد الطبيعي خربًا حتمًا. غير أن الدراسات الاستقصائية في أعقاب هذه الحرائق كشفت عن لوحة فسيفسائية من رُقع محترقة وغير محترقة (شكل ٦-٥). تلا ذلك تعافٍ سريع في غابة الصنوبر، وتكوين شتلات، وتعافي جماعات الحيوانات. والآن، وبعد مرور نحو ثلاثة عقود على هذه الحرائق، تتجدَّد غابات يلوستون لتتحوَّل إلى مجموعة شجيرات كثيفة في المناطق التي احترقت.



شكل ٦-٥: مشهد طبيعي فسيفسائي من رقع الغابات المُحترقة وغير المحترقة بعد اندلاع الحرائق في حديقة يلوستون في أكتوبر عام ١٩٨٨.

حالات الاستقرار البديلة

تعايشت غابات يلوستون مع الحرائق على مدار آلاف السنين، وتمتَّعَت بمرونة طبيعية عالية تجاه الحرائق، حتى الحرائق الشديدة كحرائق عام ١٩٨٨. تقضي الحرائق الكبيرة، التي تتكرَّر على فتراتٍ تتراوح من مائة إلى مائتي عام، على المظلة الغابية وتقتل الأشجار الناضجة، ولكنها تُطلق المُغذِّيات وتسمح للضوء بالوصول إلى أرضية الغابة. وهذا يحفز إنبات البذور ونمو الشتلات. وهكذا، تتعافى الغابة. غير أنه ليس واضحًا أن مثل هذه المرونة سوف تستمر في المستقبل. فالتغيُّر المناخي قد يدفع النظام الإيكولوجي إلى تجاوز نطاق تجربته البيئية التاريخية ويدفعه نحو حالةٍ مستقرة بديلة. لم يعُد الطقس الحار والجاف الاستثنائي لعام ١٩٨٨ في يلوستون طقسًا استثنائيًّا. فالغابات التي تكيَّفَت مع الحرائق الشديدة التي تندلِع من حينٍ إلى آخَر أصبحت الآن عُرضةً للحرائق المُتكررة على فترات قصيرة. ومِن الممكن أن تؤدي تلك الحرائق إلى احتراق الغابات قبل أن تتمكَّن من التعافي. ويعتقد علماء البيئة الذين يدرسون أنظمة اندلاع الحرائق أنه من المنطقي ألا تعود طبيعة التفاعلات بين النيران والمناخ والغطاء النباتي المُتوقعة بحلول منتصف القرن الحادي والعشرين مناسبة لاستمرار غابات يلوستون الصنوبرية. ويمكن

لأنظمة اندلاع الحرائق الجديدة أن تُغير العمليات النباتية والحيوانية والإيكولوجية في هذه الغابات والغابات المُماثلة في أمريكا الشمالية، مما يؤدي إلى إحلال مجتمع نباتي بعيد تمامًا عن الغابات محل الغابات الصنوبرية.

إن الأمثلة المُوثقة على التحوُّلات الجذرية للنظام الإيكولوجي (بما في ذلك انهيار مصائد أسماك القد شمال المحيط الأطلنطي) تُضفي مصداقية على التوقُّعات بشأن مستقبل حديقة يلوستون. وتدعم غابات السافانا الأفريقية مجموعة من الأعشاب المقاومة للحرائق التي تضع حدًّا لنطاق انتشار النباتات الخشبية. ويحدُث الانتقال إلى حالةٍ بديلة تعتمد أكثر على النباتات الخشبية إذا كان ضغط الرعي كافيًا لتقليل الأعشاب بصورة كبيرة. وهذا يزيد من تكوين النباتات الخشبية، ويحدُّ من تكرار حدوث الحرائق نظرًا لتراجُع كميات الوقود العشبي، مما يضمن استمرار مجتمع النباتات الخشبية لعقود. وفي نهاية المطاف، يمكن لحيوانات الرعي الضخمة، مثل الفيلة، أن تُعيد تكوين غابات السافانا العشبية عن طريق إنشاء فتحات في المظلَّة الغابية وكسر الأشجار (انظر أيضًا شكل ٦-٣).

الأنظمة الإيكولوجية الاجتماعية

قد يكون الفشل في التنبُّؤ بحالات الاستقرار البديلة، أو الفشل في توقُّع تغييرٍ جذري في النظام الإيكولوجي، مكلفًا للغاية، كما يُوضح انهيار مصائد الأسماك. ولا بد أن تبتعد إدارة النظام الإيكولوجي عن اتباع منهج القيادة والسيطرة في إدارة الموارد الفردية وتتَّجه نحو منهجٍ يأخذ في الاعتبار التفاعلات بين الأنواع، والمرونة، وديناميات النظام الإيكولوجي، ودورات التكيف. ويدرس مديرو الأنظمة الإيكولوجية كيفية تأثير التغييرات المُستحثة بفعل الإنسان على مرونة النظام الإيكولوجي ومدى هذا التأثير، وما إذا كانت المرونة قادرة على الحفاظ على الاستقرار ضمن حدود مقبولة للتغيير. ويُمكن أن تتنوَّع الاستراتيجيات الهادفة لتحقيق المرونة. فقد تُحافظ إحدى شركات المياه على جودة مياه الشرب في بحيرةٍ ما عن طريق إعادة إدخال أحد الحيوانات المفترسة العُليا، أو التخلُّص من الأسماك غير الأصلية التي تُحرك الرواسب، أو الضغط من أجل وضع سياسات للحد من جريان الأسمدة في المجاري المائية، أو تشجيع ملَّاك الأراضي على الحفاظ على الأشجار النامية على ضفاف الأنهار لتقليل تآكُلها ودعم مجتمعات سليمة صحيًّا من الحيوانات

المائية اللافقارية. وإجمالًا، تعمل هذه الإجراءات على تعزيز درجة المرونة التي تتمتَّع بها البحيرة من خلال الحفاظ على شبكاتٍ غذائية مُتنوِّعة وتقليل التغيرات الفيزيائية الحيوية التي قد تتسبَّب في تحوُّل النظام الإيكولوجي للبحيرة إلى حالةٍ مستقرة بديلة غير مرغوب فيها. وتتطلَّب مثل هذه الإجراءات التعاون بين مختلف الجهات المعنية، بدءًا من شركة المياه وحتى ملَّاك الأراضي عند منابع الأنهار، وصنَّاع السياسات، وأصحاب المصالح الآخَرين مثل الصيادين وهيئات الحفاظ على البيئة.

تستلزم هذه التحدِّيات أن يكون مديرو الأنظمة الإيكولوجية خبراء في علم البيئة التطبيقي، وأن يكونوا أيضًا على دراية بالقضايا الاجتماعية والسياسية. إن المجالات البشرية والطبيعية في إدارة النظام الإيكولوجي مُتشابكة على نحوٍ وثيق. ويساهم المتخصِّصون في علم البيئة التطبيقي بمعارف مهمة حول آلية عمل الأنظمة الإيكولوجية، إلا أن إدارة الأنظمة الإيكولوجية تأخُذ هذا الأمر خطوةً إلى الأمام من خلال دمج هذه المعرفة ضمن إطار اجتماعي بيئي أكبر من الاستجابات المتبادلة بين الأنظمة الطبيعية والبشرية. والمتخصصون في علم البيئة التطبيقي بحاجة إلى التعاون بأريحية مع علماء الاجتماع وعلماء الاقتصاد والمُتخصِّصين في علم النفس السلوكي وصُنَّاع السياسات وملَّاك الأراضي، وغيرهم الكثيرين.

الفصل السابع

علم البيئة من منظور ثقافي

في المنظور العام، كثيرًا ما تُدمَج العلوم البيئية مع طيف واسع ومتنوع من علماء الطبيعة والشعراء ومزارعي المحاصيل العضوية وهواة مراقبة الطيور والنشطاء وكل مَن لديهم اهتمام عميق بالطبيعة والبيئة، وهو ما يُزعِج الأكاديميين كثيرًا. لقد اعتُمد «علم البيئة»، بوصفه مفهومًا ومصطلحًا، واقتُبس من قِبَل مجموعةٍ متنوِّعة من السياقات الثقافية ولأغراضٍ ثقافية أيضًا. ونظرًا لكونه كذلك، فقد صار مُسيَّسًا ومُحمَّلًا بالقِيَم. لقد كانت، وستظلُّ، وجهات النظر الإيكولوجية الاجتماعية — الكامنة وراء تزايد الوعي الحديث بقضايا البيئة — مُستوحاةً من الأفكار المنبثقة من العلوم البيئية، لا سيَّما تلك الأفكار الخاصة بالاعتمادية المُتبادلة والتفكير الشمولي والمرونة والأنظمة التكيفية. وعلاوة على ذلك، فإن بعض التخصُّصات الإيكولوجية الأساسية، وأبرزها على الإطلاق علم الحفاظ على الأحياء، هي بطبيعتها تخصُّصات مُحمَّلة بالقِيَم، ومن ثَم تأثرت بتطور القيم الثقافية الحديثة المُتعلقة بالعلاقة التي تجمع (أو التي ينبغي لها أن تجمع) بين المجتمع البشري والبيئة. ولذا، فليس من السهل دومًا التفريق بين العلوم البيئية وتفسيراتها الاجتماعية الأوسع نطاقًا، لا سيَّما عندما تُحاط بإطارٍ من التحدِّيات البيئية الحالية.

كثيرًا ما تستند ثقافات الفكر الإيكولوجي إلى حدٍّ كبير إلى سوابق تاريخية، وغالبًا ما تستوحي الإلهام من أخلاقيات ومُمارسات متأصِّلة، سواء أكانت واقعية أم مُتخيَّلة. ولعلَّ المثال على ذلك خطبة سياتل زعيم هنود الدواميش الحمر التي يزعم أنه قد ندَّد فيها باغتراب الرجل الأبيض عن الطبيعة قائلًا: «هذا ما نعرفه: الأرض لا تنتمي إلى الإنسان، وإنما ينتمي الإنسان إلى الأرض. هذا ما نعرفه. كل الأشياء مُترابطة، مثل صِلة الدم التي تربط بين عائلة واحدة ... الإنسان لم ينسج شبكة الحياة، وإنما هو مجرد خيط فيها. وأيًّا ما كان يقترفه في حقِّ هذه الشبكة، فهو يقترفه في حق نفسه.» لا يُهمنا في هذا المقام الدقة التاريخية والأدبية المُتنازَع عليها في خطبة شيخ سياتل. وإنما الأهم من ذلك أن الأفكار

الإيكولوجية الخاصة بالاعتمادية المتبادلة والشمولية تسبق العلوم الإيكولوجية نفسها. لقد أضفَتِ العلوم الإيكولوجية طابعًا رسميًّا على فهم خلاصة ما عرفته الثقافات حول العالَم على مدار قرون. لكن العلوم الإيكولوجية أيضًا شكلت وألهمت ضميرًا إيكولوجيًّا حديثًا يستجيب للتحدِّيات البيئية الحديثة التي تختلف كمًّا وكيفًا عن أي شيءٍ شهده البشر من قبلُ. وفي الواقع، ربما كانت أهم ثورة ثقافية شهدها القرن العشرين هي ثورة نقل الأفكار الإيكولوجية الخاصة بالشمولية والاستجابات والاعتمادية المتبادلة من المجال العلمي إلى المجال الأخلاقي والسياسي.

الضمير الإيكولوجي

إن عِلم البيئة أكثر من مجرد علم؛ لقد صار رؤيةً شاملة للعالم. ففي خطبة بعنوان «الضمير الإيكولوجي»، ألقاها ألدو ليوبولد في ٢٧ يونيو من عام ١٩٤٧ أمام لجنة الحفاظ على البيئة التابعة لمنظمة جاردن كلوب أوف أمريكا، أكَّد قائلًا: «علم البيئة أو الإيكولوجيا هو علم المجتمعات، ومن ثم فالضمير الإيكولوجي هو أخلاقيات الحياة المجتمعية.» وكان هذا مُنبئًا بظهور فلسفة «أخلاقيات الأرض» الخاصة بليوبولد، التي تنطوي على علاقاتٍ تربط بين علم البيئة والأخلاقيات والسياسة والإجراءات الإدارية. لطالَما كان هناك خلاف بين علماء البيئة المناصِرين لقضايا البيئة وأولئك الذين يرَون مناصرة هذه القضايا لا تتناسب مع المِهَن العلمية. كان ألدو ليوبولد مؤيدًا بقوةٍ لفريق مناصري القضايا البيئية. بالمثل، فقَدَ آخَرون الأمل في النهج الإيكولوجي المُتخصِّص والاختزالي إلى حدٍّ مبالَغ فيه. وفي ذلك كتب لويس مومفورد في كتاب بعنوان «سلوك الحياة» (صدر عام ١٩٥١)، يقول: «هكذا، وبحكم العادة اقتصرت عقولنا على إدراك كل ما هو مُجزَّأ وخاص ومنفرد، ومن ثَم لم تعتد عقولنا النظر إلى الحياة بوصفها نظامًا ديناميكيًّا مترابطًا، لدرجة أننا نعجز عن إدراك متى تتعرَّض الحضارة في مُجملها إلى الخطر اعتمادًا على منظورنا.» حظِيَت هذه الصحوة لعلم البيئة تجاه المخاوف البيئية في منتصف القرن العشرين بزخَمٍ إضافي بفضل كتاب فيرفيلد أوزبورن بعنوان «كوكبنا المنهوب» وكتاب ويليام فوجت بعنوان «الطريق إلى البقاء»، اللذَين نُشِرا في عام ١٩٤٨. ويُعتبر نشر كتاب «الربيع الصامت» (عام ١٩٦٢) لراشيل كارسون اللحظةَ الفاصلة التي صار فيها علم البيئة علمًا ذا مدلولات سياسية وثقافية.

أطلق بول سيرز، بعد مرور عامَين فقط على نشر كتاب «الربيع الصامت»، على علم البيئة «العلم التخريبي». وصرَّح سيرز بوضوحٍ تامٍّ بأن مبادئ علم البيئة زعزعت الكثير

من افتراضات وممارسات النظام السياسي والاجتماعي القائم. ويحظى علم البيئة بقبولٍ لدى الحركات الساعية إلى إعادة المواءمة بين الأنظمة الاجتماعية والسياسية والاقتصادية وبين الأجندات التي لا تُولي اهتمامًا كبيرًا للمخاوف البيئية فحسب، بل أيضًا للمخاوف المُتعلِّقة بالظلم الاجتماعي وعدم المساواة. ويذهب المفكر الماركسي موري بوكتشين إلى أن استغلال الطبيعة يَنتج عن أُطُرٍ اجتماعية ظالمة، وأن الأُطُر الاجتماعية سليمة إيكولوجيًّا. كذلك تذهب الحركة النسوية الإيكولوجية إلى أن النظام الأبوي وفكرة مركزية الإنسان؛ أي هيمنة الإنسان على الطبيعة، هما شكلان للتعبير عن منطق الهيمنة. وقياسًا على منطق مُماثل، سيقوض المبدأ الأخلاقي البيئي الذي يُفنِّد فكرة مركزية الإنسان النظام الأبوي. وتسير حركة علم البيئة المُتقدم على نهجٍ فكري مُماثل في إرجاع الأمراض البيئية التي تُصيب المجتمع الحديث إلى فصل الذات الفردية الأنانية عن الكيان البيولوجي الكلي الأكبر. ويدعو عِلم البيئة المتقدِّم إلى إعادة تشكيل العلاقة المعقَّدة بين الفرد والغلاف الحيوي.

وهذه التفسيرات الخاصة بعِلم البيئة بعيدة كل البُعد عن العلوم الإيكولوجية، ولكنها تستمدُّ أفكارها من مجموعة الأفكار نفسها التي توصَّلَ إليها علماء البيئة. وقد جرى تعديل المفاهيم والتفسيرات والفلسفات الإيكولوجية لأغراضٍ متنوعة في الكثير من الخُطَب الاجتماعية والسياسية. والجدير بالذكر أن عِلم البيئة يُقدم تبريرًا نظريًّا ومفاهيميًّا للموقف المعهود للحركات المُنادية بالحفظ البيولوجي. كما أنه يكمن في صميم السياسات الخضراء، التي تؤكد الاعتمادية المتبادلة بين البشر وبيئتهم. ولعل في هذا تكرارًا لملحوظة جون موير التي كثيرًا ما يُساء اقتباسها: «عندما نُحاول انتقاء أي شيءٍ منفرد، نجده مرتبطًا بكل شيءٍ آخَر في الكون» (من كتاب «الصيف الأول لي وسط جبال سييرا»، ١٩١١). أُسيءَ استغلال علم البيئة حين استخدم على نحوٍ أكثر عملية في تلبية احتياجات التسويق والإعلان، مما يعكس في ظاهره السمات الحميدة بيئيًّا للمنتجات «الإيكولوجية». ففي عام ١٩٧١، مثلًا، أشارت حملة إعلانات شركة كوكا كولا إلى زجاجاتها القابلة لإعادة التدوير باعتبارها «الزجاجة المناسبة للعصر الإيكولوجي».

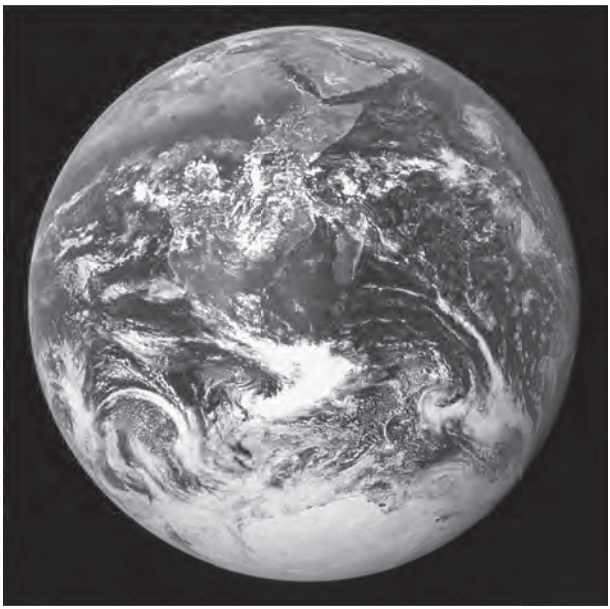
فرضية جايا

إلى جانب العلوم الإيكولوجية السائدة، التي تُركز على المُكونات الفردية وعلاقاتها بعضها ببعض، ثمَّة رؤيةٍ أخرى عن الكرة الأرضية بوصفها منتجًا منبثقًا من جميع أنواعها، والتفاعُلات فيما بينها تتَّسِم بترابُط منطقي يُبرِّر وصفها كائنًا حيًّا. وُضعت فرضية جايا

على يد جيمس لافلوك، اختصاصي كيمياء الغلاف الجوي، ولين مارجوليس، اختصاصِيَّة علم الأحياء التطوري. ببساطة، يذهب كلاهما إلى أن كوكب الأرض كائن حي من حيث كونه كيانًا ذاتيَّ التنظيم قابلًا للتكيُّف، مُستمدًّا من تفاعلات الكائنات الحية بعضها مع بعض ومع بيئاتها الجيولوجية والبحرية والجوية. يُنظم هذا الكائن الحي، الذي يُطلَق عليه «جايا» (بمعنى الأرض الأم)، الجوانب الأساسية لبيئته ذاتيًّا، مِثل درجة حرارتها وملوحة المُحيط، وتركيزات الأكسجين وثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي.

لم يتوانَ لافلوك عن تأكيد أنَّ فرضية جايا ليست غائية الطابع؛ بمعنى أن الغاية من وراء عملياتها الذاتية التنظيم ليست إفادة الحياة، ولكن الحياة تستفيد على أي حال. على سبيل المثال، تعتمد درجة حرارة الأرض على نسبةِ تركيزِ ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي. يُعتبر النشاط البركاني المصدر الطبيعي الأساسي الوحيد لثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي، ويتمثَّل المَسرَب الأساسي في تجوية الصخور، التي تمزج الكالسيوم مع ثاني أكسيد الكربون لتكوين كربونات الكالسيوم التي تترسَّب في النهاية على أرضية قاع البحر. تُسرع وتيرة عملية التجوية إلى حدٍّ كبير بواسطة البكتيريا والنباتات التي تنقل ثاني أكسيد الكربون من الغلاف الجوي إلى التربة على نحوٍ نشِط. وفي المحيطات، تعمل الطحالب البحرية والشعاب المرجانية على تسريع عمليةِ ترسيب الكربونات في أرضية البحر من خلال عزل الكربونات الذائبة في الأصداف الطباشيرية والشعاب المرجانية. تقوم الرواسب الكربونية المُتراكمة بتخزين ثاني أكسيد الكربون على هيئة رواسب من الطباشير والحجر الجيري. وتُساهم بعض الطحالب البحرية، مثل البُذيرات الجيرية، أيضًا في تكوين السحب. وعندما تموت، ينبعث منها كبريتيد ثنائي المِيثيل في صورته الغازية، الذي يتصاعد إلى الغلاف الجوي فوق سطح البحر ليُنتِج قطرات حمضية صغيرة. يتكثف بخار الماء على هذه القطرات ليكوِّن السحب، التي تعكس بدَورها الطاقة الشمسية. وهكذا، تُعَد الحياة مكوِّنًا أساسيًّا لأنظمة الاستجابة العالمية التي تُسهِم في تنظيم تركيزات ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي، وبالتبعية، درجة الحرارة العالمية.

حفَّزت فرضية جايا ظهور نمطٍ من التفكير يتجاوز حدود العمليات والنتائج الميكانيكية، مما أدَّى إلى ميلاد فرعٍ علميٍّ جديد، وهو علم نظام الأرض. كان لصورة كوكب الأرض المأخوذة من الفضاء الخارجي، والتي الْتُقِطت للأرض بأكملها لأول مرة في عام ١٩٧٢، تأثير قوي في تأكيد رؤيةٍ كونية شاملة (وواقعية) (شكل ٧-١). وبغضِّ النظر عن النوايا الأصلية للافلوك، فقد أصبحت فرضية جايا في الثقافة السائدة تُمثل



شكل ٧-١: صورة الرخام الأزرق. حققت هذه الصورة، التي الْتُقطت لأول مرة في عام ١٩٧٢، الكثير في سبيل توصيل رؤيةٍ شمولية عن كوكب الأرض، باعتباره مجتمعًا كوكبيًّا كاملًا ومُتناهيًا.

رؤية شاملة لعِلم البيئة وتفاعلاتنا مع الطبيعة، تختلف عن المنهج العِلمي الاختزالي الذي يتَّسِم به جزء كبير من العلوم الإيكولوجية. لقد تجاوز الأسلوب الفكري لفرضية جايا الهدف الأصلي للافلوك، بدمجه للتفسيرات الميتافيزيقية أو الروحية. وبإدراك أن فرضية جايا تحمل معانيَ مختلفة باختلاف الأشخاص، ينجذب المُؤيدون إلى مفهوم جايا من خلال فكرة أننا، بشرًا وأفرادًا، جزء لا يتجزأ من كيانٍ أكبر يُثير فهمًا عميقًا لواقعية وجود الاعتمادية المتبادلة. وهذا يُبرِّر مُعارضة التدهور البيئي ويُحفزها، وربما لهذا السبب أَسَرَتْ فرضية جايا خيال الكثير من الأفراد والحركات البيئية والمُنادية بالحفاظ على البيئة.

علم البيئة المُتقدِّم

يرتبط بفرضية جايا ارتباطًا وثيقًا، بحسب التفسيرات الرائجة على الأقل، إدراك مفاده أن مُجمل ما نشأ خلال ملايين السنين من التطوُّر له قيمة ومعنى يستحيل التعبير عنهما

من خلال البحث العلمي الاختزالي. وهذا الوعي هو ما يُميز حركة علم البيئة المُتقدِّم، التي نشأت من خلال كتابات الفيلسوف النرويجي آرني نيس، الذي صاغ المصطلح. ويؤكد علم البيئة المتقدِّم على أن الغلاف الحيوي لا يتكوَّن من كياناتٍ منفصلة، وإنما يتكوَّن من عناصر متصلة ومتفاعِلة داخليًّا تُشكِّل معًا واقعًا أساسيًّا.

ينتقد أنصار هذا العلم النزعة الفردية المُتمحورة حول الإنسان والقابعة في صميم الثقافة الغربية. فيرى المُختصون بعلم البيئة المُتقدِّم أن الفلسفة البيئية يجب أن تعترف بالقِيَم الجوهرية للطبيعة، بعيدًا عن احتياجات الإنسان. ويرفضون تيار مناصرة القضايا البيئية السائد، المبني على أولويات رفاهية الإنسان، لا القِيَم الجوهرية. ومن خلال قبول المساواة بين جميع الكائنات الحية وقِيَمها الجوهرية، والاعتراف بوحدتنا الإيكولوجية، يدَّعي المُختصون بعلم البيئة المُتقدم فهمًا أعمق واتصالًا أوثق بالعالم الطبيعي.

علم البيئة المتقدِّم، من حيث المبدأ، هو فلسفة قائمة على المساواة، تُعطي أهمية أخلاقية متساوية لجميع أحياء المنطقة البيئية. وقد تعرَّض هذا العِلم إلى انتقاداتٍ واسعة النطاق لأن مذهب المساواة لا يترك مجالًا يُذكر لاتخاذ القرارات الأخلاقية. فإذا كانت جميع الكائنات الحية ذات قيمةٍ مُتساوية، فكيف لنا أن نفصل بين المصالح التنافُسية؟ وعلى هذا الأساس، في عام ١٩٨٠، ذهب بيرد كاليكوت إلى أن الأخلاقيات البيئية لا يُمكنها «إضفاء قيمة أخلاقية متساوية على كل فردٍ في المجتمع الأحيائي».

علم البيئة الثقافي

إن تطبيق الفكر الإيكولوجي على المجتمعات البشرية يُقدِّم رؤًى ونظريات حول أعرافنا وطقوسنا ومحاذيرنا. ويذهب علم البيئة الثقافي إلى أن البيئة الطبيعية تُساهم إلى حدٍّ كبير في الثقافة المُجتمعية والتنظيم المجتمعي. وقد صور عالِم الأنثروبولوجيا جوليان ستيوارد عِلم البيئة الثقافي بأنه «طُرق يُستحَث بها التغيير الثقافي عن طريق التكيُّف مع البيئة». وذهب ستيوارد إلى أن البيئة تؤثر على الثقافة البشرية، ولكن لا تُحددها، على الرغم من تعرُّض أنصار علم البيئة الثقافي اللاحِقين لانتقاداتٍ بسبب اقتراحهم وجود حتمية بيئية أقوى للثقافة. وأوضحَ العمل الميداني الذي قام به ستيوارد بين شعب الشوشون في أمريكا الشمالية كيف مَكنتهم الاستراتيجيات الثقافية المُعقَّدة من العيش في البيئة الصحراوية للحوض الكبير الواقع بين سييرا نيفادا وسلاسل جبال روكي. إن معرفتهم التفصيلية بالتغيُّرات الموسمية في توافر الموارد المتنوعة مثل الصنوبر والأعشاب والتوت والغزلان

والأيائل والأغنام والظباء شكلت ثقافة الشوشون، من خلال التأثير على أنماط هجرتهم، وتفاعُلاتهم الاجتماعية، ومنظومات المعتقدات الثقافية لديهم.

وتابع أحد أبرز طلاب ستيوارد، وهو روي رابابورت، دراسة ممارسات الكفاف لشعب قبيلة تسيمباجا في هايلاند بغينيا الجديدة. استعان رابابورت بالمفاهيم الإيكولوجية، مثل تدفُّقات الطاقة، والقدرة الاستيعابية، والتقايُض لشرح الأساس المنطقي وراء إدارة الموارد من قِبَل شعب تسيمباجا. كانت الخنازير في قرى تسيمباجا تنظف نفايات القرية وتزيل الأعشاب الضارة من بساتين أشجار الفاكهة، لكنها بدأت في إثارة المشاكل عندما ارتفعت أعدادها ارتفاعًا مُبالغًا فيه. استخدم شعب تسيمباجا طقوسًا دورية لتقليص أعداد الخنازير إلى مستوياتٍ مناسبة بيئيًّا. ومن خلال استخدام المفاهيم الإيكولوجية لفهم ممارسات الكفاف في تسيمباجا، قلَّل رابابورت من دور المعتقدات الثقافية لصالح القيود البيئية.

على نحوٍ مُماثل، طبق مارفن هاريس التفكير الوظيفي والمادي على المعتقدات الهندوسية حول الأبقار المُقدسة في الهند. تُقدَّس الأبقار بين الهندوس؛ لأنها ترمز إلى الإحسان الإلهي والطبيعي، ومن ثَم يُتجنَّب تناول لحوم الأبقار. ذهب هاريس إلى أن مثل هذا الاعتقاد الثقافي عقلاني تمامًا داخل الأنظمة الإيكولوجية والاقتصادية الهندوسية. وجادل بأن القيود المفروضة على ذبح الأبقار هي استجابة للحاجة إلى الحليب، والروث المُستخدَم في تصنيع الوقود والأسمدة، والحيوانات اللازمة لأعمال الحرث.

تُوفِّر دراسة الممارسات الثقافية عَبْر مرشحات إيكولوجية فهمًا أكثر تعاطفًا واطِّلاعًا لإدارة البيئة. فعلى مدى سنواتٍ عديدة، تعرَّضَت الزراعة المتنقلة لانتقادات شديدة من قِبَل العلماء، والنشطاء البيئيين، ووسائل الإعلام؛ لأنها تؤدي إلى إزالة الغابات الاستوائية. فيقوم صغار المزارِعين الذين يُمارسون الزراعة المُتنقلة بإزالة مساحة صغيرة من الغابات التي يزرعون فيها المحاصيل السنوية والدائمة وحرقها، مثل الأرز والفاصوليا والذرة والقلقاس والكاسافا. وبمرور الوقت، تتراجع خصوبة التربة وتتراكم الآفات الحشرية. وبعد مرور بضع سنوات، يُدخِل المزارعون أشجار الفاكهة إلى المساحة المزروعة، ويُزيلون مناطق جديدة من الغابات من أجل زراعة محاصيلهم. اعتُبرت دورة إزالة الغابات وزراعتها ثم إهمالها دورةً مُدمِّرة ومُهدِرة من قِبَل أنصار حماية البيئة الذين نجحوا في إقناع الحكومات في بعض البلدان الاستوائية بحظر ممارسات الزراعة المُتنقلة لصالح الزراعة المستقرة. وقدَّم علم البيئة الثقافي تفسيرًا مختلفًا للزراعة المتنقلة، من خلال إدراك

المعرفة البيئية التفصيلية التي يَمتلكها المزارعون والتي حافظت على مُمارساتهم على مدى أجيالٍ عديدة. تُعتبر الزراعة المُتنقلة، عند الكثافات السكانية البشرية المنخفضة نسبيًّا، مُستدامة إلى حدٍّ كبير؛ إذ يتبع الزراعة فترات إراحة طويلة للأرض تُعيد بناء مُغذيات التربة. وتشجع أشجار الفاكهة المزروعة الطيور والقوارض على جلب بذور أنواع الأشجار الأخرى من الغابات المُحيطة، مما يُعزِّز تعافي الغابات بصورةٍ أكبر. وتُحاكي عملية إزالة الرقع الصغيرة نسبيًّا عمليات الاضطراب الطبيعية التي تُصيب الغابات الاستوائية، حيث تتسبَّب العواصف وسقوط الأشجار بصفةٍ دورية في فتح مساحات صغيرة. وتعمل الرقع الصغيرة التي تتم إزالتها على تعزيز التنوُّع الحيوي من خلال خلق مجموعةٍ أكبر من الموائل في منطقةٍ معينة.

إن وجهات النظر البيئية غير المناسبة المُستمدَّة من الموروثات الاستعمارية لإدارة الأراضي، والتي لم تأخذ في الاعتبار ممارسات الإدارة التقليدية قد أسفرت عن سياسات خاطئة. وتصف دراسة جيمس فيرهيد وميليسا ليتش في غينيا بغرب أفريقيا كيف فسَّر مسئولو الغابات الحكوميون، المتأثرون بالمفاهيم الغربية لإدارة الأراضي والتحول الإيكولوجي، رُقَع الغابات الفسيفسائية بأنها بقايا غابات استوائية أكثر اتساعًا. وافترض المسئولون الحكوميون أن السكان المحليين قد دمَّروا الغابات، ومن ثَم فرضوا لوائح وغراماتٍ لحظر فَقْد المزيد من الغابات. وأوضح فيرهيد وليتش أن جُزر الغابات كانت تتمدَّد في الواقع بسبب زراعة الأشجار وأنشطة مكافحة الحرائق التي يقوم بها السكان المحليون.

الهمجي النبيل

يُعزِّز علم البيئة الثقافي المفرط البساطة صورة الهمجي النبيل من الناحية الإيكولوجية؛ وهي أسطورة ثابتة تاريخيًّا من الثقافة الغربية. تُنسَب الأسطورة الحديثة للهمجي النبيل عادةً إلى فيلسوف عصر التنوير جان جاك روسو، على الرغم من أنه هو نفسه لم يستخدِم هذه العبارة قط. لقد انبهر الكتَّاب والفنانون الرومانسيون في القرن الثامن عشر وصاعدًا بفكرة الماضي المثالي الأكثر بساطة، الذي عاش فيه الناس في وئامٍ مع الطبيعة. واحتُفي بمجتمعات السكان الأصليين في الفن والأدب، وفي الأعمال الأكاديمية الدراسية، باعتبارها مُجتمعاتٍ مُتناغِمة ثقافيًّا وروحيًّا مع إيكولوجيا بيئتهم. ويتجلَّى استمرار التمسُّك بهذه

المُثل العُليا في فيلم جيمس كاميرون «أفاتار»، الصادر عام ٢٠٠٩، الذي يُحافظ فيه سكان قبائل النافي الأصليون على عالَمٍ طبيعي نابض بالحياة.

ولهذه الأفكار نظيراتها الحديثة. فقد اتَّخذ كلٌّ من شعب الكيابو في منطقة الأمازون، وشعب بينان الشرقي في غابات بورنيو المطيرة، موقفًا مُعارضًا لإزالة الغابات، وشق الطرق، وتشييد السدود، دفاعًا عن أراضيهم الموروثة، وأنماط حياتهم القائمة على الغابات (شكل ٧-٢). وقد توحَّدت مجتمعات السكان الأصليين هذه بمساعدة المنظمات البيئية في بعض الأحيان، لحماية غاباتها، ونجحَتْ في إيقاف بعض مشروعات التنمية الواسعة النطاق.

وكان الجمع بين الحفاظ على الغابات المَطيرة وحقوق السكَّان الأصليين فعَّالًا للغاية في جذب اهتمام وسائل الإعلام، واستحضار فكرة الهمجي النبيل الغربية القديمة من المنظور البيئي، إلى جانب التوافق مع المخاوف البيئية المتزايدة.

شكل ٧-٢: احتجاج شعب بينان على عمليات توغل قاطعي الأشجار في الغابات التي يعتمدون عليها.

واجهت الأفكار، التي تَنسِب إلى السكان الأصليين تمتُّعهم بوعي إيكولوجي، انتقادات بوصفها تشويهًا للمجتمعات التقليدية، بل وتقويضًا لشرعيتها. إن التلميح إلى أن السكان

الأصليين لم يكُن لهم أي تأثير يُذكر على بيئتهم هو إنكار لتاريخهم الإنساني. لقد غيرت كثير من مجتمعات السكان الأصليين بيئتها إلى حدٍّ كبير ودائم. فقد قام السكان الأصليون بإدارة المشاهد الطبيعية وتعديلها بنشاطٍ على مدى آلاف السنين. وفعل السكان الأصليون الأستراليون ذلك على مدى ٦٠ ألف عام، حيث استخدموا النار لتعديل المشاهد الطبيعية التي ربما ساهمت في انقراض كثيرٍ من الحيوانات الضخمة في أستراليا. بالمثل، استخدم الأمريكيون الأصليون النار، التي ساهمت أيضًا على الأرجح في انقراض الأنواع.

علاوةً على ذلك، كثيرًا ما تذعن مجتمعات السكان الأصليين لبرامج التنمية التي تتعارض مع التوقُّعات الثقافية المتوقَّعة منها، بل وتدعمها. فقد دعم شعب كوكو يالانجي شق طريق إلى جنوب مدينة كوكتاون في منطقة كيب تريبيوليشن، بأستراليا، ما أثار الرعب في نفوس دعاة الحفاظ على البيئة. ويسعى شعب بينان الغربي في ساراواك، على عكس جيرانهم من شعب بينان الشرقي، إلى إبرام اتفاقيات تعويض مع شركات قَطْع الأشجار للدخول إلى أراضيهم، ويُرحبون بالمزايا وفُرَص العمل المرتبطة بها. إنهم لا يُرحبون بقَطْع الأشجار، وإنما، مثل أي مجتمع آخَر، يتكيفون مع الوضع لتحقيق أقصى استفادة من الظروف الحالية.

تميل المجتمعات، بغضِّ النظر عن تقاليدها وأعرافها وثقافاتها، إلى استخدام الموارد على نحوٍ مستدام عندما تكون الكثافات السكانية مُنخفضة، ويكون الوصول إلى الأسواق والتكنولوجيا محدودًا، وليس بسبب أي أخلاقيات تتعلَّق بالحفاظ على البيئة. وهذا لا يعني أن أخلاقيات الحفاظ على البيئة ليست مهمة، بل يعني أنها تندرِج تحت أولويات أكبر تتعلق بتأمين الرفاهية للأفراد. ومع نموِّ التجمعات السكانية البشرية، سوف تتجاوز في نهاية المطاف القدرة الاستيعابية التي يمكن أن تدعمها البيئات المحلية. وهذا من شأنه أن يخلق أزماتٍ بيئية يمكن أن تؤدي إلى الحروب، أو الهجرة، أو الانهيار الاجتماعي، أو إلى تحولٍ مؤسَّسي وثقافي نحو أنظمة اجتماعية وإنتاجية وفلسفات جديدة.

علم البيئة المقدس

في حين أن فكرة الهمجي النبيل لم تعُد قابلة للاستمرار في شكلها الأصلي، إلا أن ثمَّة اهتمامًا كبيرًا بفهم الطريقة التي تفسر بها المجتمعات التقليدية، ذات التاريخ الطويل من استغلال الأراضي والموارد المحلية، البيئة المحيطة بها. والمعرفة الإيكولوجية التقليدية هي مجموعة المعارف والممارسات والمعتقدات، التي تراكمت وتغيَّرَت على مدار الأجيال عن

طريق الانتقال الثقافي، المتعلقة بعلاقات البشر مع الكائنات الحية الأخرى ومع بيئتهم. في أغلب الأحيان تتمتَّع المُجتمعات التي لدَيها معرفة إيكولوجية تقليدية ثَرية بعلاقةٍ مباشرة أكثر مع بيئتها، وتكون أقلَّ توجهًا نحو التكنولوجيا. والكثير منها يكون مؤلَّفًا من السكان الأصليين أو القبائل، ولكن ليس بالضرورة أن تكون كذلك.

يعترف فِكريت بركس بـ «علم البيئة المقدس» — وهو مُكون عقائدي قوي ضمن المعرفة الإيكولوجية التقليدية — الذي يُشكل تصوراتِ الشعوب حيال طريقة تفاعُلها مع الطبيعة وعناصرها. وهذا السياق الأخلاقي يجعل من المُستحيل على هذه المجتمعات التمييز بين الدين وعلم البيئة. فلا يمكن فصل السمات البيئية عن الجوانب الاجتماعية أو الروحانية. وتُشير القصص والطقوس إلى المعنى الإيكولوجي الذي يُضفي «إحساسًا بالمكان» وتنقُّله. وبالنسبة إلى شعب بينان ساراواك في بورنيو الماليزية، يوضح بيتر بروسيوس أن «المشهد الطبيعي هو أكثر من مجرد مخزون للمعرفة الإيكولوجية التفصيلية ... فهو أيضًا مستودع لذكريات الأحداث الماضية، ما يجعله بالتبعية تمثيلًا تذكيريًّا ضخمًا للعلاقات الاجتماعية والمجتمع.»

أدَّى تفكُّك الثقافة وعلم البيئة في المجتمعات الصناعية إلى إحلال أنظمة الإدارة الصناعية والموجهة نحو الإنتاج محلَّ الإدارة البيئية التقليدية، أو ربما كان هذا التفكك هو نتاج هذا الإحلال. من الصَّواب أن ننتقد أسطورة الهمجي النبيل، ولكن من المُهم بالقَدْر نفسه أن نعترف بشرعية الأشكال الأخرى من المعرفة الإيكولوجية التي صمدت طويلًا أمام اختبار الزمن. ومن أجل استعادة الصحة البيئية عبر الوعي الإيكولوجي المتجدد، ربما نحتاج إلى إعادة بناء علم بيئة ذي منظور ثقافي لتحفيز التغيير بين سكان العالم الصناعي في المناطق الحضرية.

الفصل الثامن

مستقبل علم البيئة

جرت العادة على اعتبار عمل عالِم البيئة مهمة بسيطة. ولقد ثبتت فاعلية عدة أدوات لعلماء البيئة، التي لا تزيد على مجرد نظارة مُعظِّمة، وشريط قياس، وربما بعض المصائد والأنابيب لأخذ العينات، ودفتر ملاحظات، في فحص أعقَد الأنظمة الطبيعية. ولكن في القرن الحادي والعشرين دخل علم البيئة عصر البيانات الضخمة والتقنيات الحديثة. لذلك يستعين علماء البيئة دائمًا بالأقمار الصناعية، والطائرات المُسيَّرة، وأجهزة التتبُّع، وعلم الوراثة، والنظائر المُستقرة لرصد وتفسير الأنماط والعمليات والتفاعُلات عبر نطاقات مكانية وزمانية متعددة.

كانت الأسئلة الإيكولوجية تدور حول قضايا ليس لها تأثير مباشر يُذكر على المخاوف ذات الأبعاد السياسية. وقد تغيَّر هذا أيضًا. فعلماء البيئة الآن يتعاملون على نحوٍ روتيني مع قضايا الحفاظ على البيئة، وإدارة الأراضي، واستغلال الموارد، وهي موضوعات مألوفة بطبيعتها وخلافية عادةً. نحن نعيش في عصر الأنثروبوسين، الذي يُحدِّد ملامحه إرث دائم للبشرية على نظام الأرض. ويشمل هذا الإرث خسائر التنوُّع الحيوي، وتغيُّر المناخ، وارتفاع نسبة الكربون في الغلاف الجوي، وتحمُّض المحيطات، وترسب النيتروجين، وانتشار الأنواع الغازية، وإزالة الغابات، وتآكل التربة، وكلها عوامل تُغيِّر بنية النظام الإيكولوجي وأداءه على المدى الطويل. وفي ظِل هذه الظروف، فإن الفهم الإيكولوجي القائم على أنظمة طبيعية سليمة من الماضي إلى حدٍّ كبير يُوفر إرشادات توجيهية محدودة للأنماط والنتائج المستقبلية.

ثمَّة شكوك عديدة حول طريقة استجابة الجماعات والمجتمعات البيئية والأنظمة الإيكولوجية للتغيُّر المناخي العالمي. ربما يئول ارتفاع نسبة ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي إلى زيادة إنتاج النباتات من خلال تأثير التسميد، ولكنه قد يجعل النباتات

أيضًا عُرضة للجفاف أو نقص المُغذيات. وسيؤثر تحمُّض المحيطات على إنتاجية الأنظمة الإيكولوجية البحرية وسلامة بنية الشعاب المرجانية، بالإضافة إلى ما قد يترتَّب على ذلك من تداعياتٍ كارثية تطول التنوع الحيوي البحري ومصائد الأسماك على حدٍّ سواء. ويعمل الاحتباس الحراري على تسهيل انتشار العوامل المُمرضة والآفات في مناطق جديدة، مما يُسفر عن تفشي الآفات المُدمِّرة في الغابات الأمريكية. وهكذا، فإن العواقب المتتابعة المترتبة على هذه النتائج عَبْر السلاسل الغذائية والمُجتمعات وعَبْر الأنظمة الإيكولوجية يكتنِفها الغموض. كما أننا لا نفقَهُ العوامل التي تُحدِّد مرونة النظام الإيكولوجي على نحوٍ صحيح، أو حتى كيفية قياس هذه المرونة. وفي ضوء الخسائر المُستمرة والسريعة للتنوُّع الحيوي على مستوى العالم، فإننا نجهل، إلى حدٍّ مُثير للقلق، كيفية تأثير التنوع الجيني وتنوع الأنواع، وبنية شبكات التفاعل الإيكولوجي، على أداء النظام الإيكولوجي ومرونته. ثمة الكثير لتعلُّمه وفِعله في هذا الصدد.

منطقة مجهولة

تؤثر التغيُّرات البيئية العالمية على تواتُر الاضطرابات وشدتها، مثل هبوب الرياح، وموجات الجفاف، واندلاع الحرائق، وموجات تفشي الآفات. وستشهد العقود القادمة أنظمة اضطرابٍ جديدة، وأحداثًا مناخية حادة وأكثر تواترًا. وتتأثر قدرة النظم الإيكولوجية على الاستجابة لهذه التغيرات بدرجة مرونتها، التي تتأثر بدَورها بالأنشطة البشرية التي تغير تكوين النظام الإيكولوجي وبِنيته. لقد أصبح الوصول إلى فهمٍ شامل لمسارات التغيُّر البيئي واستجابات النظام الإيكولوجي هدفًا محوريًّا لعِلم البيئة. وما يُثير القلق بشدة هو ما إذا كانت الأنظمة الإيكولوجية سوف تتجاوز العتبات أو نقاط التحوُّل، مما يؤدي إلى تغيُّرات جذرية يُصبح التعافي منها صعبًا بل ومُستحيلًا وفقًا للمقاييس الزمنية البشرية.

وبينما ننتقِل إلى هذه المنطقة المجهولة، لم يعُد الماضي دليلًا استرشاديًّا فعَّالًا للمستقبل. غير أن الفهم الإيكولوجي لطريقة عمل الأنظمة الإيكولوجية عنصر لا يُقدَّر بثمنٍ في توقُّع عمليات التغيُّر البيئي ونتائجها، وتخطيط الاستجابات المناسبة لها. ويمكن للأنظمة الإيكولوجية أن تتعافى — وغالبًا ما يكون هذا التعافي سريعًا — حتى من الاضطرابات الطبيعية الشديدة. ويُعد تعافي الغابات على منحدَرات جبل سانت هيلينز في أعقاب الانفجار البركاني الذي وقع في عام ١٩٨٠ مثالًا على ذلك (شكل ٨-١). ورغم

شكل ٨-١: تعافي الغابات بعد وقوع الانفجار البركاني لجبل سانت هيلينز في عام ١٩٨٠.

ذلك لا ينبغي لنا أن نَقنع بما تحقَّق. سيتعيَّن على الأنظمة الإيكولوجية أن تتعامَل مع ظروف مُستقبلية وأنظمة اضطرابات لم يسبق لها المرور بها من قبلُ، وليست مُتكيفة معها بالطبع (مربع ٥).

تتعرض الموائل كذلك للتهديد بسبب الآثار التراكمية والتآزرية للاضطرابات المتكرِّرة. فغابات الأمازون المطيرة لا تشتعل بها الحرائق طبيعيًّا، إلا أن توغُّلات الطُّرق والمزارع، إلى جانب التغيُّرات المناخية، بدأت في تجفيف المناطق الداخلية من الغابة، كما أن وجود البشر يزيد من تواتُر الحرائق. في البداية تكون الحرائق ذات شدة مُنخفضة، إلا أن أشجار الغابات المطيرة غير مُتكيفة مع النيران، وحتى الحرائق ذات الشدة المنخفضة تقتل كثيرًا منها. تخلق الأشجار الميتة فتحات في المظلة الغابية، مما يؤدي إلى جفاف الطبقات السفلية من أرضية الغابة أكثر، كما يؤدي تراكُم الأخشاب الميتة إلى زيادة كميات الوقود. وهذا يمهد الطريق لحرائق مُتزايدة الشدة والانتشار، لا سيَّما عندما تتزامن مع زيادة تكرار موجات الجفاف. ويعتقِد بعض علماء البيئة أن تفاعلات الاضطراب التآزرية هذه تنذر بتحويل الغابات المطيرة الرطبة إلى سافانا مُشجرة أكثر جفافًا بكثير. وإذا تحققت مثل

هذه السيناريوهات، فإن العواقب المترتبة على التنوع الحيوي وانبعاثات الكربون ستكون هائلة.

مربع (٥): الخنافس وفطر صدأ الصنوبر والدببة وقصة الصنوبر الأبيض

تتعرض غابات الصنوبر الأبيض الساق (باينس ألبيكوليس) الموجودة في سلسلة جبال روكي الشمالية إلى هجوم من جانب فطر صدأ الصنوبر الأبيض، وهو كائن مُمرض من الفطريات الدخيلة على المنطقة (كرونارتيوم ريبيكولا)، وخنافس الصنوبر الجبلية الأصلية (دندروكتنوس بوندروسي). كانت توزيعات الخنافس فيما مضى مُقيَّدة بدرجات الحرارة الباردة على الارتفاعات العالية التي تشغلها أشجار الصنوبر الأبيض الساق، بينما أُدخلت الفطريات الصدئية، التي تنتمي في الأصل إلى قارة آسيا، إلى أمريكا الشمالية في مطلع القرن العشرين تقريبًا. لم تُطوِّر أشجار الصنوبر الأبيض آلياتٍ دفاعية ضد الخنافس أو فطريات الصدأ؛ نظرًا لأنها لم تتعرَّض من قبلُ إلى هذه التهديدات حتى هذه اللحظة. وأغلب الظن أن الصنوبريات الأخرى ستحلُّ محل الصنوبر الأبيض المفقود في الوقت المناسب، ولكن من المُحتمَل أن يكون هناك تأثيرات خاصة بالشلالات الغذائية على الدببة الرمادية وغيرها من الحيوانات التي تُمثل بذور الصنوبر الأبيض مصدرًا مُهمًّا للغذاء بالنسبة إليها. علاوةً على ذلك، يمكن أن يزيد موت أشجار الصنوبر الأبيض الواسع النطاق من حرائق الغابات الهائلة من خلال خلق مجموعاتٍ مُمتدَّة من الأشجار الميتة.

تعقُّب المناخ

ربما يُمثل تغير المناخ التهديد الأكبر على المدى الطويل للتنوع الحيوي والمجتمعات البيئية. فقد قدَّرَت إحدى الدراسات أن نسبة تتراوح من ١٥ إلى ٣٧ في المائة من جميع الأنواع عُرضة لخطر الانقراض لأسبابٍ متعلقة بتغير المناخ. ومع ارتفاع درجة حرارة المناخ، لا يُتاح أمام الأنواع غير القادرة على التكيُّف سريعًا خيارات سوى الانتقال إلى مناطق أكثر ملاءمة لاحتياجاتها المناخية. وتُقدِّر دراسات النمذجة النطاقات المستقبلية المتوقعة للأنواع في ظِل سيناريوهات المناخ المختلفة، إلا أنه لم يتضح بعدُ ما إذا كانت الأنواع ستكون قادرةً على الانتشار بالسرعة الكافية في ضوء معدلات تغيُّر المناخ.

وقد انتقلت جماعات من النباتات والثدييات والطيور والفراشات بالفعل إلى دوائر عرض وارتفاعات أعلى استجابةً لتغيُّر المناخ. كانت استجابات كثير من الأنواع سريعة، إلا أن ثمة أنواعًا أخرى لم يتسنَّ لها مواكبة تغيرات درجات الحرارة الجغرافية. ومن واقع عيِّنة ضمَّت ٣٥ نوعًا من الفراشات الأوروبية غير المهاجرة، شهد ٢٢ نوعًا إزاحات للنطاق

تتراوح من ٣٥ إلى ٢٤٠ كيلومترًا نحو الشمال خلال القرن العشرين، وخلال هذه الفترة تغيرت خطوط تساوي درجات الحرارة المناخية بنحو ١٢٠ كيلومترًا شمالًا. ولم تتحرك الثلاثة عشر نوعًا المتبقية سوى مسافة قصيرة. راكمت كثير من الطيور والفراشات، حتى تلك الأنواع ذات القدرات الفردية العالية على الانتشار، نسبة كبيرة من «الدَّيْن المناخي»؛ أي الفارق بين القدرة الفعلية للأنواع على استعمار مناطق جديدة والمعدل اللازم من أجل ذلك في ظِل وتيرة تغيُّر المناخ. وتشير إحدى الدراسات إلى أنه بين عامَي ١٩٩٠ و٢٠٠٨، كانت إزاحة درجات الحرارة جهة الشمال في أوروبا سريعةً بالدرجة الكافية لمراكمة متوسط ديون مناخية يُقدَّر بمسافة ٢١٢ كيلومترًا للطيور و١٣٥ كيلومترًا للفراشات. وإذا كانت هذه الدراسات صحيحة، فلربما عجزت مجموعات الطيور والفراشات ذات القدرة العالية على التنقُّل عن مواكبة تغير المناخ.

ويبدو النحل الطنان عُرضة لذلك على نحو خاص. فقد عجزت معظم الأنواع عن الانتشار بعيدًا عن حدود نطاقها الشمالي الحالي. وفي الوقت نفسه، عانت من تقلُّص حدود النطاقات الجنوبية بمقدار نحو ٣٠٠ كيلومتر في كلٍّ من أوروبا وأمريكا الشمالية، على الأرجح بسبب ارتفاع درجات الحرارة على نحو غير طبيعي وبصورة متكررة. وعادةً ما يتراوح انتشار ملكات النحل الطنان الوَلودة من ثلاثة إلى خمسة كيلومترات سنويًّا، إلا أن ثمة انتشارات لمسافات أطول تحدُث على نحوٍ غير منتظم، ومن ثَم يبدو أن قدرات الانتشار ليست محدودة. بدلًا من ذلك، قد يكون الأمر أن الأنواع المُستقدَمة تواجِه منافسة على المكان والموارد مع الأنواع الموجودة بالفعل. وربما يتصادم اتِّساع نطاق النحل الطنان جهة الشمال مع المجتمعات النباتية الأقل وفرةً وثراءً من حيث الزهور المُوفرة للرحيق وحبوب اللقاح. إن تعقُّب تغيُّر المناخ ليس مجرد مسألة متعلقة بإزاحة نطاقات الأنواع، بل هو أيضًا مسألة إعادة تكيف وتنظيم المجتمع كليًّا. وهذا مجال خصب للدراسات الإيكولوجية المستقبلية.

تُعد أكثر الحيوانات المُهددة بالانقراض لأسبابٍ ذات صِلة بالمناخ هي تلك الحيوانات ذات التوزيعات الضيقة النطاق وقُدرات الانتشار المحدودة. وأحد الخيارات المطروحة للحفاظ على الجماعات البرية لهذه الأنواع المُعرضة للخطر بصفة خاصة هو نقلها إلى أماكن جديدة مناسبة لها. ويمكن نقل النحل الطنان بكل سهولة من خلال انتقال أعداد صغيرة من الملكات المُخصبة في فصل الربيع إلى موائل ملائمة مناخيًّا. وقد لاقى هذا النوع من الاستعمار بمساعدة البشر انتقادات لكونه تدخُّلًا مبالَغًا فيه، مما يُسفر عن

خَلْق مجتمعات «غير طبيعية». وتتمثَّل الحُجة المضادة في أن الحفاظ على المجتمعات البيولوجية على حالتها الحالية أو كما كانت على مَر التاريخ هو أمر غير قابل للتنفيذ في ظِل التغيرات المناخية والبيئية الأخرى التي يتسبَّب فيها الإنسان. ولهذا الانتقال المكاني سوابق تتمثَّل في التدخُّلات الرامية إلى حماية الأنواع المُهددة، أو الاستعاضة عن الأنواع المُنقرضة بنظيراتها الإيكولوجية. فعلى سبيل المثال، أُدخلت طيور نيوزيلندا، تحديدًا ببغاء الكاكابو الذي لا يطير وطائر التاكاهي، وهو طائر مُرعة لا يطير، إلى جزر معزولة خالية من الحيوانات المفترسة كملاجئ خارج نطاقها الأصلي بهدف مساعدتها على التعافي. وأُدخلت سلاحف ألدابرا العملاقة إلى جزيرة راوند، بجمهورية موريشيوس، في المحيط الهندي، لاستعادة انتشار بذور أشجار الأبانوس الأصلية، وهي مهمة كانت تؤديها فيما مضى السلاحف المحلية المُنقرضة. ويذهب المؤيدون لمؤازرة انتقال الكائنات الحية إلى مناطق جديدة ملائمة مناخيًّا إلى أن مثل هذه الإجراءات تدمج ببساطة التغيُّر المناخي ضمن أُطُر العمل الحالية القائمة بالفعل للحفاظ على البيئة.

حدائق العصر البليستوسيني وأنظمة فرانكنشتاين الإيكولوجية

شاع بين أنصار الحفاظ على البيئة الدعوة إلى استعادة الأحياء البيئية المفقودة من خلال إعادة إدخال الثدييات والطيور الكبيرة مثل آكلات الأعشاب والمفترِسات إلى الموائل التي كانت تُوجَد فيها من قبلُ، سواء أكانت هذه الحيوانات ذئابًا في حديقة يلوستون الوطنية أم القنادس والعقاب الأبيض الذيل في اسكتلندا، فيما يُعرف بعملية «استعادة الحياة البرية». وهو أمرٌ مُثير للخلاف أيضًا. فعلى صعيدٍ آخَر، يُثير المعارضون مخاوف بشأن مدى تأثير وملاءمة إعادة إدخال الحيوانات إلى مناطق غابت عنها مدة طويلة. وتأخذ عملية إعادة الحياة البرية للمشهد الطبيعي خطوةً أخرى على هذا الطريق، من خلال الادعاء بضرورة استعادة مناطق شاسعة للسماح بتعافي الأنظمة البيئية السابقة، المدعومة ذاتيًّا بتنوع حيوي مُشابه لِما كان موجودًا قبل التدخل البشري السافر (شكل ٨-٢). وقد اصطُلح على تسمية مثل هذه الأفكار بحدائق العصر البليستوسيني، أو بمصطلح أكثر استخفافًا، أنظمة فرانكنشتاين الإيكولوجية. تهدف عملية استعادة الحياة البرية إلى تعافي التفاعلات الإيكولوجية التي فُقدت بسبب اختفاء الحيوانات الكبيرة التي كانت موجودة قبل وقوع التحوُّل الشامل للأرض والموائل على يد البشر. وتدعو هذه العملية إلى إعادة بناء الأنظمة الإيكولوجية من خلال إزالة البنية التحتية، وتجنُّب الإدارة النشِطة للجماعات

البرية، وإعادة إدخال الأنواع المحلية المفقودة. بل إن البعض يؤيد إعادة إدخال الثدييات الأفريقية والآسيوية الكبيرة إلى القارة الأمريكية. ويأتي ردُّ علماء البيئة المُتشككون على هيئة تساؤلات عن مدى ملاءمة إدخال الأنواع من جديدٍ إلى المشاهد الطبيعية التي شهدت تغيُّرًا جذريًّا وتكيَّفَت من جديد مع وقائع جديدة. علاوةً على ذلك، يزعم العلماء أن المشكلة الكبرى تتمثَّل في خطر ظهور تفاعُلات بيئية جديدة وغير مرغوب فيها.

شكل ٨-٢: رسم تصويري لمشهدٍ طبيعي أُعيدت إليه الحياة البرية مرةً أخرى.

ينتاب السكَّان المحليِّين مخاوفُ مشروعة حيال مشاركة مشهد طبيعي مع حيوانات برية ضخمة لا يألفونها كثيرًا. كانت الخنازير البرية شائعةً يومًا ما في المملكة المتحدة، إلا أنها أُبيدت في العصور الوسطى. وما إن استُورِدَت ثانيةً من أوروبا القارية في ثمانينيات القرن العشرين لتربيتها بهدف الاستفادة من لحومها، حتى هربت وكوَّنت جماعات من السلالات البرية بحلول أوائل التسعينيات، وهو ما أثار الذُّعر في نفوس المُزارعين لأنها تتسبَّب في إتلاف محاصيلهم، وتُزعج المُتنزِّهين الذين يُصيبهم الخوف في رحلاتهم الترفيهية من هذه الخنازير البرية الطليقة. وبتنحية الأسئلة المُتعلقة بما يُريده الناس وما هم على استعداد لقبوله، جانبًا، يجِب أن تتجاوب عملية استعادة الحياة البرية مع المسألة البيئية المُتعلقة بما إذا كانت المشاهد الطبيعية الحالية ما زالت تُحافظ على مساحة المكمَن

البيئي الضروري لدعم الأنواع المُستقدَمة. ويجب على أنصار الحفاظ على البيئة أن يتوخَّوا الحرص البيئي الواجب لضمان أن عمليات إدخال الحيوانات تحظى بفرصةٍ للنجاح دون التسبُّب في أضرار غير مقصودة ناتجة عن آثار بيئية غير متوقعة.

وبعيدًا عن تقييم المُتطلَّبات البيئية للأنواع، لا بد أن يدرس علماء البيئة التغيرات المُحتملة الطارئة على موئلٍ ما نتيجة عمليات الإدخال الناجحة، بما في ذلك التداعيات بالنسبة إلى الأنواع الأخرى. تُعدِّل الكائنات الحية بيئتها، وفي خِضمِّ قيامها بذلك تؤثر على الظروف والموارد المتاحة للكائنات الحية الأخرى التي تُقاسمها الموئل نفسه. وقد تكون التغيرات إيجابيةً أو سلبية، أو كليهما في الغالب. فعندما تبني القنادس السدود، فإنها تُعدل بذلك عمليات تدوير المُغذيات والتحلُّل، وتُغيِّر البنية الطبيعية للأنظمة النهرية، وتؤثر على كمية ونوعية المواد المنقولة عبر مجرى النهر، وتُشكل تكوين النباتات في المناطق الموجودة على ضفة النهر (شكل ٨-٣). وفي الغالب، حققت إعادة إدخالها إلى اسكتلندا في عام ٢٠٠٩ فائدة للتنوُّع الحيوي المحلي، والتخفيف من آثار الفيضانات وموجات الجفاف، إلا أنه يجب التعامُل مع كل نوعٍ يتم اختياره لإدخاله مرة أخرى ودراسته بناءً على مزاياه.

شكل ٨-٣: سدٌّ بناه قندس أوراسي (كاستور فايبر)، مما أدَّى إلى تكوُّن بِركة ضحلة في المُستنقعات، بمنطقة تايساید الاسكتلندية.

استعادة الأنظمة الإيكولوجية

تدهور نحو ٢٥ في المائة من الأراضي على مستوى العالم، من خلال تآكُل التربة أو التملُّح أو إغراق الأراضي الخثية والأراضي الرطبة أو فقدان الغابات أو التصحُّر. وهذه ليست بمشكلةٍ جديدة. فتاريخ تدهوُر المشهد الطبيعي وتغيُّر ملامحه يعود إلى آلاف السنين، كما هو ثابت من البقايا الأثرية وآثار الفحم في طبقات التربة حتى في الأماكن البعيدة من المناطق المُعتدلة والاستوائية. ومنذ أكثر من ألفَي عام، أدرك كونفوشيوس تدهوُر التربة والغطاء النباتي في الشرق ووصفهما، وفعل أفلاطون وأرسطو الشيء نفسه في الغرب. ويذهب جارد دايموند، وإن كان على نحوٍ مُثير للجدل، إلى أن التدهور البيئي تسبَّب في تراجُع وانهيار كثيرٍ من الحضارات الإنسانية على مَر التاريخ. وفي منتصف القرن العشرين، أنبأ ألدو ليوبولد وراشيل كارسون، على سبيل المثال لا الحصر، بعصرٍ جديد من المسئولية البيئية من خلال الاعتراف بالحاجة إلى الحفاظ على المشاهد الطبيعية والموائل التي تسبَّبْنا في تدهورها واستعادتها. واكتسبت فكرة استعادة المناظر الطبيعية زخمًا واسع النطاق من خلال حركةٍ عالَمية واسعة تهدف إلى زراعة الأشجار لعزل الكربون للتخفيف من آثار تغيُّر المناخ، واستعادة الوظائف الإيكولوجية والتنوُّع الحيوي لأنظمة الغابات المتدهورة. فقد استهدفت حركة مبادرة «تحدي بون» إعادة ٣٥٠ مليون هكتار من الأراضي المتدهورة إلى الغابات بحلول عام ٢٠٣٠. وزراعة الأشجار تضرب بجذورها بعُمق في كثيرٍ من الأعراف الثقافية، وهذا الحماس العام لاستعادة الأنظمة الإيكولوجية من خلال زراعة الأشجار ليس مستغربًا.

غير أن استعادة المناظر الطبيعية لا يقتصر على زراعة الأشجار فقط. ففكرة استعادة الغابات والمشاهد الطبيعية تُفسر المشاهد الطبيعية والأنظمة الإيكولوجية التي تحتويها بوصفها أنظمةً تكيُّفية مُعقَّدة، تتألَّف من مكوناتٍ عديدة تتفاعل معًا عَبْر نطاقات مكانية وزمنية عديدة. ويُعد هذا منظورًا إيكولوجيًّا شموليًّا، وإن كان لا يخلو من التحديات القابعة أمام التخطيط المُستقبلي لعملية الإصلاح والترميم. فقد تُضعِف التفاعلات عَبْر نطاقات مختلفة حدة التقلبات البيئية أو تُعززها، مما يؤدي إلى نتائج ديناميكية غير مُتوقعة عادة. ففي الأراضي المستصلحة مؤخرًا في الأجزاء الوسطى من غابات الأمازون، تؤثر شدة الأنشطة السابقة للإنسان في استخدام الأرض على استعادة بِنية الغابات على نطاقات محلية، في حين تحدد تركيبة المشهد الطبيعي المحيط مدى تنوُّع أنواع الغابات،

وهو تأثير ذو نطاق أكبر بكثير. وثمَّة كثير من النتائج المحتملة لعمليات الاستصلاح، الخاضعة للتفاعُلات على النطاق المحلي وعلى نطاق المشهد الطبيعي.

وبالوضع في الاعتبار المسارات المتعددة للتعافي، والشكوك حول الظروف المناخية والبيئية المستقبلية، ربما يُعزِّز وضع هدف أكثر ملاءمة، مُتمثل في استعادة المشهد الطبيعي، من مرونة النظام الإيكولوجي، بدلًا من استعادة تراكيب أو مكونات نظام إيكولوجي مُعيَّن. ويعتمد بناء النظام الإيكولوجي ومرونة المشهد الطبيعي على تأسيس (أو بالأحرى إعادة تأسيس) العمليات الوظيفية، بما في ذلك التفاعلات بين النباتات والتربة التي يقوم عليها تدوير الكربون والمُغذِّيات، وتحكم الحيوانات المفترسة في الشبكات الغذائية، والتلقيح ونشر البذور. ويتطلَّب هذا تنسيق التحرك بين مُلَّاك الأراضي والقائمين على إدارة المناظر الطبيعية ومسئولي التخطيط وصنَّاع السياسات. وتضع عمليات السياسة في الاعتبار الآن «رأس المال الطبيعي»؛ أي الأصول البيئية ذات القيمة المباشرة أو غير المباشرة للأشخاص، وتشمل الأنواع، والمياه العذبة، والغابات، والتربة، والجو، والمُحيطات، وكذلك العمليات والوظائف الإيكولوجية التي تربط بين هذه المكوِّنات وتدعم الحياة. ومما لا شك فيه أن الإدارة المستقبلية للمناظر الطبيعية واستعادتها ستفرض مُتطلبات جديدة على الخبرة الإيكولوجية.

التقنيات الجديدة

لقد أصبح علم البيئة أوسع في نطاقه المكاني الذي يدرسه. وفي هذا الصدد، تستلزم التقديرات البيئية وعمليات الرصد الإيكولوجية، سواء كانت بغرض استعادة المناظر الطبيعية أم لأي غرضٍ آخَر، ملاحظة ديناميات الجماعة والتفاعُلات بين الأنواع، وحالات النظام الإيكولوجي وتدفُّقاته، وتأثيرات الاضطراب، عَبْر نطاقات مكانية متعدِّدة. ويستفيد علماء البيئة من التقنيات الجديدة في هذا الغرض، وقد أحدث ظهور الأنظمة العالمية لتحديد المواقع (جي بي إس)، ووسائل الاتصال عَبْر الأقمار الصناعية، والاستشعار عن بُعد، والحوسبة العالية السرعة، والثورة الوراثية، تحولًا في العلوم الإيكولوجية.

يتتبَّع علماء البيئة الآن الحيوانات على نطاقٍ أوسَع وبدقةٍ أكبر من أي وقتٍ مضى. وتشمل أجهزة التتبُّع المستخدمة مقاييس السرعة، وهي مُماثلة لتلك الموجودة في أجهزة رصد اللياقة البدنية المُستخدَمة في الألعاب الرياضية، وتوفر معلوماتٍ عن تحركات الحيوانات وسلوكياتها، مثل النوم أو اصطياد الفريسة، والتمثيل الغذائي مثل مُعدل

نبضات القلب واستهلاك الطاقة. وتُتيح تقنية تصغير الأجهزة استخدام أجهزة التتبُّع مع الأسماك والطيور بل والحشرات أيضًا.

لطالما استُخدِمت الكاميرات التي تُنشَّط عن بُعد ويتم تشغيلها بواسطة مستشعرات الحركة، والمعروفة بمصائد الكاميرا، لتسجيل الحياة البرية، إلَّا أن فائدتها محدودة بسبب الحاجة إلى قصد مكان كلِّ كاميرا لتنزيل البيانات يدويًّا. ومن خلال ربط مصائد الكاميرات بشبكة استشعار لاسلكية (دبليو إس إن)، يُمكن الآن تنزيل الصور عن بُعد. ويمكن لأي نوع آخَر من المستشعرات الأرضية المُهيَّأة للارتباط بشبكة استشعار لاسلكية أن يجمع البيانات موضعيًّا، ونقل البيانات من خلال شبكة الاستشعار اللاسلكية إلى نقطةٍ مركزية لتجميع البيانات، يمكن من خلالها تحميل المعلومات. ويمكن مشاركة البيانات المُستمدة من أجهزة الاستشعار المناخية البالِغة الصِّغر، والمنتشِرة عَبْر آلاف الأماكن الطبيعية، بكفاءة باستخدام أنظمة لاسلكية موضعية؛ بحيث لا يستلزم منَّا الأمر سوى الوصول إلى جهاز واحد فقط للحصول على باقي المعلومات التي رصدتها عدة أجهزة. تُقلِّل هذه التقنيات الحاجة إلى القيام بجولاتٍ متعدِّدة ومُجهِدة إلى كل موقعٍ من مواقع المُستشعرات لتنزيل المعلومات يدويًّا، ولها ميزة إضافية تتمثل في الحدِّ من إزعاج الحيوانات أو الاحتكاك بالمناطق الحساسة.

أنصِت!

نحن — البشر — نوع يعتمِد بالأساس على حاسَّة البصر. أغمض عينَيك دقيقة وأنصِت إلى العالم من حولك لتكتشف منظورًا مختلفًا للطبيعة. لقد بدأ علماء البيئة يُسجِّلون أصوات المناظر الطبيعية، أو بالأحرى المناظر الصوتية، ليستخرجوا منها معلوماتٍ مفيدة حول تكوين الأنواع ودرجة تعقيد النظام الإيكولوجي. وفقدان الثراء الصوتي البيئي يعكس تأثير الإنسان على البيئة، كما يُصوره فيلم «جوقة الغسق» (داسك كوراس) (٢٠١٦) الذي يتتبع مسار رحلة ديفيد موناكي لتسجيل الصور الصوتية المُتضائلة للأنظمة الإيكولوجية حول العالم. وفي ذلك ترديدٌ لما جاء في كتاب راشيل كارسون، «الربيع الصامت» (١٩٦٢)، حيث يُعد الصمت غير الطبيعي مقياسًا للتدهور البيئي.

أصبحت دراسة المناظر الصوتية من المنظور الإيكولوجي أمرًا مُمكنًا بفضل أجهزة التسجيل الآلية، وإمكانيات التخزين الرخيصة، وبرامج الكمبيوتر المتخصِّصة لتحليل التسجيلات المُعقَّدة التي يتم الحصول عليها. وكثيرًا ما استُخدمت المناظر الصوتية

لدراسة مجتمعات الطيور، ووثقت تراجُع أنواع الطيور الشائعة في أوروبا. كما يُستعان بها الآن لتقييم وفرة الحشرات والبرمائيات والثدييات وغيرها من الحيوانات الصوتية الموجودة في الموائل الطبيعية. ولا تزال هناك تحديات تحليلية في التمييز بين الأنواع بناءً على التنافر الصوتي في الأصوات المُسجَّلة، إلا أن هذا الاقتران الجديد والمُثير بين البحث العلمي والتكنولوجيا يَعِد بتقديم وجهات نظر جديدة حول تنوع المجتمعات الحيوانية وديناميكاتها.

نحن نتاج ما نأكُله

غالبًا ما تختلف ذرَّات عناصر مُعيَّنة في عدد النيوترونات التي تحتوي عليها، مما يؤدي إلى ظهور نظائر مختلفة. والنظائر «الثقيلة» غنية بالنيوترونات، وإن لم تكُن كذلك تصير نظائر «خفيفة». وعلى عكس النظائر المشعَّة، لا تتحلَّل النظائر المستقرة غير المشعة. وهذه النظائر المستقرة ذات فائدةٍ بالنسبة إلى علم البيئة؛ إذ إن بعضها يَسهُل على المستهلكين تمثيله غذائيًّا بصورة أكبر، مما يؤدي إلى تغيُّر تدريجي في نِسَب النظائر في أجسام الحيوانات الموجودة أعلى السلسلة الغذائية.

تُتيح نِسَب النظائر، التي يتم الكشف عنها باستخدام مطيافية الكتلة، الوصولَ إلى استدلالات عن نوعية مصادر الغذاء وموضعها، وتُوفِّر رؤًى وأفكارًا بخصوص بِنى الشبكات الغذائية البحرية والبرية. وغالبًا ما تكون النتائج غير مُتوقعة. ونحن نُدرك الآن أن آكِلات اللحوم التي تتغذَّى على مستويات غذائية متعددة، أكثر انتشارًا مما كان يُعتقد سابقًا، مما يُفند الرأي القائل بأنه يمكن تخصيص الكائنات الحية لمستوًى غذائي معيَّن. وقد ساعد هذا في حل «معضلة الكتلة الحيوية للنمل». يُعتبر النمل عمومًا من الحيوانات المفترسة من الدرجة الأولى، ولكن في ظِل توافر الغذاء الحيواني، يبدو أنه يُمثَّل على نحو غير متكافئ في عينات الحشرات المأخوذة من قِمَم الأشجار الاستوائية. وتُشير دراسات النظائر المستقرة إلى أن نمل المظلَّة الغابية يستمد كميات كبيرة من احتياجاته من النيتروجين من آكلات العشب بدلًا من الافتراس، عن طريق التردُّد على الغدد المُفرزة للرحيق الموجودة على أوراق النبات أو سيقانه، أو عن طريق التغذية على المَن الذي تُنتجه حشرات المن وغيرها من الحشرات. وفي البحيرات الكندية، أقحمت النظائر الأسماك الغازية، مثل سمك القاروس الصغير الفم وسمك القاروس النهري الأمريكي، في التغييرات الطارئة على سلوكيات التغذية لدى سمك السلمون المُرقط الأصلي ليتحول من نظام غذائي يعتمد

في المقام الأول على الأسماك إلى نظامٍ غذائي يعتمد على العوالق، مما يوضح كيفية قيام الأنواع الغازية بإعادة هيكلة الشبكات الغذائية على حساب الأنواع المحلية. وقد كشفت النظائر المُستقرة أيضًا كيف تغير المدخلات الغذائية المتدنية الجودة، من جانب السياح على جزيرة فريزر بأستراليا، الشبكات الغذائية للبحيرات هناك، مما دفع مديري المُتنزَّهات إلى تحسين مرافق المراحيض!

علم الوراثة

يقضي علماء البيئة وقتًا أطول داخل المُختبرات أكثر مما كانوا يفعلون في الماضي. وقد أصبحوا مُتمرِّسين في استخدام العلامات الجينية لتتبُّع حركات الشتلات وأصولها، وأنماط التزاوج لدى النباتات والحيوانات على السواء. وقد ثبت أن هذا أمر بالِغ الأهمية لفهم كيفية تأثير تغيُّر الغطاء الأرضي وإزالة الغابات على تبادُل الجينات بين الأشجار في مشهدٍ طبيعي ما، ومن ثَم إنتاج بذور قابلة للاستمرار. ويمكن للتقنيات الجزيئية المُطبقة على الحمض النووي المُستخرَج من براز الثدييات أن توفر معلومات عن تركيبة الجماعة، والعادات الغذائية، والتكاثر، ونسب الجنسَين، والأحمال الطفيلية.

تُتيح التطوُّرات في نظم تحديد تسلسل الحمض النووي العالية الإنتاجية توصيفًا آنيًّا لتسلسلات الحمض النووي الفريدة (أو شفرات الباركود) من أنواعٍ متعدِّدة من العينات البيئية، بالإضافة إلى توفير مؤشِّر لأعداد الأنواع من خلال تنوُّع التسلسلات الجينية. وتستطيع تقنية «التشفير الشمولي» هذه، تطوير طرق تقييمنا لتركيب الأنواع داخل المجتمعات جذريًّا. إن ربط شفرات الباركود بأنواعٍ مُعيَّنة محدود حاليًّا؛ إذ إن قواعد البيانات المرجعية التي تربط شفرات باركود الحمض النووي بأسماء الأنواع منقوصة للغاية. وفي بعض الحالات، تكون الطرق الخالية من التصنيفات كافيةً لقياس مدى تنوُّع المجموعات غير المعروفة مثل العوالق البحرية. ومع ذلك، إذا كان لعلم البيئة أن يستفيد من عمليات الرصد المعتمدة على الحمض النووي، يجب أن يوفر التشفير الشمولي معلوماتٍ عن سمات الكائنات الحية وتفاعلاتها، والتي من أجلها سيتحتَّم إنشاء ملفٍّ تعريف تصنيفي لتسلسلات الحمض النووي المكتشَفة. إن زيادة تغطية قاعدة البيانات المرجعية الخاصة بالحمض النووي هي ببساطة مسألة وقت.

الاستشعار عن بُعد

أصبحت صور الأقمار الصناعية متاحةً منذ عام ١٩٨٢ من خلال صور مجموعة أقمار لاندسات، بدقة ٣٠ مترًا كافية لاكتشاف فئات واسعة من الغطاء الأرضي، بل والتمييز بين الفجوات الكبيرة التي تحدُث بسبب الأشجار التي سقطت من تلقاء نفسها وتلك التي تساقطت بفعل العواصف، وهي مكوِّنات مهمة لديناميات الغابات. ومنذ ثمانينيات القرن العشرين، تطور الاستشعار عن بُعد عَبْر الأقمار الصناعية إلى حدٍّ كبير. وتوفر الأقمار الصناعية الجديدة تغطية منتظمة لسطح كوكب الأرض بدقةٍ تصِل إلى ٥٠ سينتيمترًا. فهي بذلك لا تكشف الغطاء النباتي فحسب، بل تكشف أيضًا نسبة الكربون في التربة ودرجة رطوبة التربة وملوحة المحيطات والعديد من المُتغيرات البيئية الأخرى التي تُهمُّ علم البيئة. تتتبَّع الأقمار الصناعية، التي تدور حول الأرض، التغيُّرات الطارئة على الغطاء النباتي، وأنظمة اندلاع الحرائق، وتحرُّكات الحيوانات على مدى فترةٍ زمنية تتراوَح من أيام وحتى سنوات.

وتعمل أجهزة الاستشعار المحمولة جوًّا، على الرغم من أنها لا تتمتَّع بنفس نطاق الأقمار الصناعية، على تصوير الغطاء النباتي بدقةٍ أعلى بكثير، بل يُمكنها أيضًا رسم خريطة لسمات النباتات والتنوُّع الكيميائي. وتقدِّم أجهزة «ليدار» للاستشعار (أنظمة التصوير ورصد الضوء وتحديد المدى) المحمولة جوًّا صورًا ثلاثية الأبعاد لبِنية الغطاء النباتي وجغرافية الأرض (نماذج الارتفاع الرقمية) عن طريق رصد الضوء المنعكس لنبضات الليزر. ويُتيح تصغير حجم أجهزة الاستشعار عن بُعد الآن إطلاق أجهزة ليدار أرضية من حقيبة الظهر.

تُستخدَم المركبات الجوية الصغيرة بدون طيار (طائرات السبر الجوي أو الطائرات المسيَّرة) الآن على نطاقٍ واسع في الأبحاث الإيكولوجية. ويُمكنها رسم خريطة للمناظر الطبيعية بدقة تصِل إلى سنتيمتر واحد، ورصد الغطاء النباتي وسلامته في تلك المناظر الطبيعية. وتُجمَع البيانات على نحوٍ أسرع وأكثر موثوقية وبتكلفةٍ زهيدة على نطاق مناطق أكبر باستخدام الطائرات المُسيَّرة مقارنةً بما يمكن تحقيقه من خلال المسوحات الأرضية. وعلى الرغم من أنها تفتقر إلى التغطية الجغرافية التي توفرها الأقمار الصناعية، فإنها تتَّسِم بدقة أعلى واستخدامات متعدِّدة، ويمكن أن تطير بالقُرب من المناطق محل الاهتمام. وهذا يُتيح استخدامها في تحديد الأنواع النباتية ومسوحات الحياة البرية. ويمكن

إجراء تعداد للثدييات على مسافاتٍ متقطعة باستخدام طائرات مُسيَّرة يتم التحكُّم فيها من داخل سيارة مُريحة. وبهذه الطريقة أعشاش النوم الخاصة بإنسان الغاب في بورنيو، وجماعات الأفيال ووحيد القرن في أفريقيا. تقوم الطائرات المُسيَّرة بتتبُّع الحيتان وتصويرها، وتحليل الصور لفَهْم كيفية تأثير الظروف البيئية على صحة الحيتان البالغة، وعلى النجاح التناسُلي للجماعة. وفي حين يتم نشر الطائرات المُسيَّرة عادةً على نحوٍ منفرد، إلا أنه يُمكن برمجتها للاتصال بعضها ببعض، مما يسمح لكثيرٍ منها بجمع البيانات في آنٍ واحد على نطاق مناطق أكبر.

علم المواطن

رغم القيمة التي تحظى بها تقنيات الاستشعار عن بُعد، فإنها تجتهد لتقديم نظريات للعمليات أو الظروف الإيكولوجية القابعة تحت المظلات النباتية أو في التربة. ولهذا الهدف يحتاج علماء البيئة إلى أجهزة استشعار أرضية. ويؤدي الأشخاص المتحمسون للقيام بذلك، بمساعدة الهواتف الذكية، دور أجهزة استشعار أرضية ممتازة. لقد سهلت التكنولوجيا على الجميع عملية تجميع البيانات الإيكولوجية، دون الاستعانة بما هو أكثر من مجرد هاتف محمول مزوَّد بكاميرا مدمجة وتطبيق تحديد المواقع (جي بي إس). وقد رحب علماء البيئة بمشاركة «المواطنين العلماء» في مجموعةٍ متنوعة من البرامج البحثية التي يمكنها الاستفادة بمجموعاتٍ ضخمة من البيانات عَبْر التعهيد الجماعي أو حشد المصادر. توفر المنصات الإلكترونية واجهاتٍ يُقدِّم من خلالها المشاركون بياناتهم، ربما من خلال تحميل صورة بإحداثيات نظام تحديد المواقع وحسب. ويرصد علم المواطن انتشار أمراض الأشجار والأنواع الدخيلة الغازية، ومن ثَم يوفر أنظمة إنذارٍ مُبكِّر واسعة النطاق جغرافيًّا. وهناك مجموعة مُتنوِّعة من «تطبيقات» الهواتف الذكية متاحة لهذه الأغراض. ويساعد المواطنون هيئات الحفاظ على البيئة على تحديد مواقع القطع الجائر للأشجار وكشفها عن طريق تحميل صورٍ ذات مرجعية جغرافية لِمثل هذه الحالات. ورفع الوعي بالطبيعة وإيكولوجيتها عَبْر عدسة الأبحاث التشارُكية هو حصيلة ثانوية إيجابية لعِلم المواطن، وهي حصيلة تساعد في بناء ثقافةٍ من التاريخ الطبيعي، وإعادة اكتشافها في الواقع، داخل المجتمع.

تطوُّر علم البيئة

إن العلوم الإيكولوجية تتطوَّر من حيث الأسئلة التي تطرحها والأساليب التي تستعين بها. وقد زادت التقنيات الجديدة، من الأقمار الصناعية إلى البرامج، من عُمق العلوم الإيكولوجية ونطاق امتدادها، وقدَّمَت فرصًا جديدة للانخراط مع المجتمع. إن هيمنة النمذجة الرياضية والبيانات المُجمعة عن بُعد أعفت عالِم البيئة من مغادرة مكتبه وترك كرسيه من أجل الخروج في حملة ميدانية مجهدة. وتتمثَّل النتيجة المؤسِفة لذلك في فقدان الاتصال بالتاريخ الطبيعي؛ فمُعظم علماء البيئة لا يكادون يُميزون دودة الفستق من السَّحَّاريَّات. غير أننا بحاجةٍ إلى فهم بيئتنا وعلاقتنا بها في سياق مجموعةٍ متنوعة من التفاعُلات بين النباتات والحيوانات والأنظمة الإيكولوجية. فبدون حسٍّ بديهي حيال آلية عمل الطبيعة، مكتسب من التاريخ الطبيعي التجريبي، نُخاطر بفقدان الإبداع العلمي في علم البيئة. ومصدر القلق هنا يكمن في أن أفراد الإدارة البيئية معرفتهم واطلاعهم في الغالب من البيانات المُجمعة عن بُعد، وهي لا تعكس بالكامل ثراء إطار تفاعلات النظام الإيكولوجي والعوامل الطارئة. ولا بديل عن الملاحظة الدءوبة والتجريب المُتقَن الذي يُميِّز العمل الميداني البيئي.

عانى الباحثون الميدانيون في مجال علم البيئة من السخرية بتصويرهم على هيئة رجال مُشعرين (لا نساء مشعرات بالتأكيد) بملابس غير رسمية وشعر أشعث قليلًا، يظهرون بكل أريحية في صحبة كائنات يخشاها الآخرون، وهي صورة لا تخلو من الصحة بدرجةٍ ما. وقد حقَّق بعض علماء البيئة، الذين تحوَّلوا إلى مُقدمي برامج تلفزيونية، نجاحًا إيجابيًّا بهذه الصورة الكاريكاتيرية الهزلية، وحوَّلوها لتصُبَّ في صالحهم على نحوٍ مثير للإعجاب. لا يمكن إنكار أن كثيرًا من علماء البيئة، بل وربما معظمهم، قد أصبحوا علماء بسبب افتتانهم في وقتٍ مبكِّر بالتاريخ الطبيعي والأماكن المفتوحة. وبفضل الخبرات المكتسَبة من خلال هذا الافتتان، أصبح علماء البيئة مرتبطِين ارتباطًا وثيقًا بالحفاظ على البيئة. وعن هذا كتب ألدو ليوبولد يقول: «لا يَسعنا أن نكون أخلاقيين إلا فيما يخصُّ شيئًا يُمكننا رؤيته أو فهمه أو الشعور به أو حُبه، أو بالأحرى الإيمان به.» لذا، فمن الضروري أن نغرس في نفوس الأطفال حماس علماء البيئة وفضولهم تجاه التاريخ الطبيعي. فتقدير الطبيعة يبدأ في الصغر، سواء تَمثَّل ذلك في التعبير عن البهجة عند رؤية الطيور على منضدة الطيور، أو إبداء فضولٍ حيال العُثَث التي ترفرف حول الضوء، أو الإثارة تجاه الشراغف الصغيرة في بِركة مياه (شكل ٨-٤). قد تكون مثل هذه الاهتمامات

شكل ٨-٤: يمكن للاهتمام المبكر بالشراغف أن يغذِّي الوعي البيئي الذي يحتاج إليه هذا الكوكب بشدة.

عابرة، إلَّا أن التعرُّض المُبكِّر لتنوع الحياة والتاريخ الطبيعي يُعزِّز شعورًا أعمَق بالوعي البيئي والمسئولية البيئية. إن الشعور بالتقدير تجاه التاريخ الطبيعي في وقتٍ مُبكِّر يكون أطول أمدًا وذا مغزًى أعمَق، ويجب علينا أن نُكرِّس الاهتمام والطاقة لتعليم أطفالنا هذا الأمر إذا أردْنا تأسيس مجتمع مستدام حقًّا. فمِن طِين التاريخ الطبيعي يتشكَّل علماء البيئة.

قراءاتٌ إضافية

ليس هناك نهاية للاحتمالات المفتوحة أمام البحث المُستفيض في مجموعة من التفسيرات والتطبيقات بمجال علم البيئة الواسع النطاق. وتعكس اقتراحاتي الفضفاضة هنا الموضوعات التي قُمت بتغطيتها في هذا الكُتيِّب، البعيدة بكل وضوح عن الشمولية. ولقد وقع اختياري على عددٍ من الكتب والمقالات التي تندرج تحت ثلاث فئات رئيسية: فئة تُمثِّل معالم كلاسيكية في تطوُّر التخصُّص الإيكولوجي ولا تزال تُمثِّل إرثًا دائمًا، وفئة تُمثل معالجات للمفاهيم العامة الثَّرية بالمعلومات المفيدة ويسهل الوصول إليها، وفئة تُمثِّل الاتجاه السائد في الكتب الدراسية التي ربما تعتمدها المُقرَّرات الجامعية النموذجية لعلم البيئة.

الفصل الأول: ما هو علم البيئة؟

Beeby, A. and Brennan, A.–M. (2004) *First Ecology: Ecological Principles and Environmental Issues.* 2nd edition. Oxford University Press, Oxford. 318 pages.

A good introductory text to ecological science.

Begon, M., Townsend, C. R., and Harper, J. L. (2005) *Ecology: From Individuals to Ecosystems.* 4th edition. Wiley–Blackwell, Hoboken, NJ. 750 pages.

A long–standing textbook for undergraduate ecological courses, and rather more comprehensive than Beeby & Brennan. Not exactly entertaining reading, but highly informative, especially on ecology as a theoretical and experimental science.

Hagen, J. B. (1992) *An Entangled Bank: The Origins of Ecosystems Ecology.* Rutgers University Press, New Brunswick, NJ. 245 pages.

Accessible and well–written book on ecological theory, as traced through its historical development since 1900, albeit with a North American bias.

Scheiner, S. M. and Willig, M. R. (eds) (2011) *The Theory of Ecology.* University of Chicago Press, Chicago. 416 pages.

The science of ecology has a strong theoretical basis, although this can be difficult to discern. *The Theory of Ecology* is a series of contributions that aims to convey theoretical clarity and structure to ecological theory.

الفصل الثاني: بداية علم البيئة

Anderson, J. G. T. (2013) *Deep Things out of Darkness: A History of Natural History.* University of California Press, Berkeley.

Evaluates the role of natural history in the development of ecological science and environmental discourse, and argues for the need for natural history in our current era of environmental change.

Clements, F. E. (1936) Nature and structure of the climax. *Journal of Ecology* 24: 252–84.

Frederic Clements's perspective on succession as a developmental process whose final stage, the climax formation, is determined primarily by regional climate, with all other types of vegetation formations constituting stages of development on the path towards

the climax state. While this view is no longer accepted, the concept of a successional process remains highly relevant and influential.

Connell, J. H. (1961) The influence of interspecific competition and other factors on the distribution of the barnacle *Chthamalus stellatus.* Ecology 42: 710–23.

A seminal study on how competition among two species, coupled with their different proclivities to local physical conditions, can shape their distributions.

Elton, C. (1927) *Animal Ecology.* Macmillan Press, New York.

An early classic text in which Elton defined some of the foundational ecological concepts, including that of an ecological community interpreted through the trophic interactions that occur between its living components.

Hutchinson, G. E. (1957) Concluding remarks. *Cold Spring Harbour Symposium on Quantitative Biology* 22: 415–27.

The paper that formalized the definition of an ecological niche.

Hutchinson, G. E. (1959) Homage to Santa Rosalia, or why are there so many kinds of animals? *The American Naturalist* 93: 145–59.

Addresses the issue of how species avoid competitive exclusion to coexist within a seemingly similar environment.

Kricher, J. (2009) *The Balance of Nature: Ecology's Enduring Myth.* Princeton University Press, Princeton. 256 pages.

Very readable exploration of the history of ecology with particular emphasis on the debate regarding concepts of self–regulation in ecological systems.

Worster, D. (1994) *Nature's Economy: A History of Ecological Ideas.* 2nd edition. Cambridge University Press, Cambridge. 526 pages.

An excellent history of the field of ecosystem ecology.

الفصل الثالث: الجماعات

Hanski, I. (1999) *Metapopulation Ecology.* Oxford University Press, Oxford.

A thorough synthesis of research on metapopulations, drawing on the author's own research on the Glanville fritillary butterfly. Includes discussion of the relevance of metapopulation ideas to conservation biology.

Rockwood, L. L. (2015) *Introduction to Population Ecology,* 2nd edition. Wiley–Blackwell, Hoboken, NJ. 378 pages.

A textbook treatment of population ecology, drawing on a wide array of examples and experiments to explore the fundamental laws of population ecology, including the role of interactions such as competition, mutualism, predation, and herbivory.

Vandermeer, J. H. and Goldberg, D. E. (2013) *Population Ecology: First Principles.* Princeton University Press, Princeton. 263 pages.

A quantitative approach that presents some of the mathematical and theoretical foundations underlying the structure and dynamics of populations.

الفصل الرابع: المجتمعات

Bronstein, J. L. (ed.) (2015) *Mutualism.* Oxford University Press, Oxford. 320 pages.

An authoritative perspective on the ecology and evolution of mutualisms.

Eichhorn, M. P. (2016) *Natural Systems: The Organisation of Life.* Wiley Blackwell, Hoboken, NJ. 392 pages.

A textbook treatment that encompasses the links between ecology, biodiversity, and biogeography.

Estes, J. A. (2016) *Serendipity: An Ecologist's Quest to Understand Nature.* University of California Press, Berkeley. 256 pages.

James Estes's personal narrative on a fifty–year research career on trophic cascade ecology, based on his field studies on the Aleutian Islands examining relationships among kelp forests, sea otters, sea urchins, and killer whales.

Pimm, S. L. (1991) *The Balance of Nature? Ecological Issues in the Conservation of Species and Communities.* The University of Chicago Press, Chicago. 448 pages.

Stuart Pimm provides an ecological critique and analysis of widely used terms such as 'stability', 'balance of nature', and 'resilience', and places the interpretation of these terms in the context of the food web structures and the physical environment.

Silvertown, J. (2005) *Demons in Eden: The Paradox of Plant Diversity.* University of Chicago Press, Chicago. 169 pages.

In this very readable book, Silvertown links ecological and evolutionary processes to understand the emergence and maintenance of plant diversity through the interacting effects of environmental conditions, species competition, predation, and dispersal.

الفصل الخامس: أسئلة بسيطة وإجابات مُعقَّدة

Colinvaux, P. (1978) *Why Big Fierce Animals are Rare: An Ecologist's Perspective.* Princeton University Press, Princeton. 256 pages.

An outstanding collection of essays that delve into many ecological and biological ideas, of which *Why Big Fierce Animals Are Rare* is but one. The book covers many big ideas in ecology, including ecosystems, habitats, communities, niches, associations, and animal population dynamics.

Connell, J. H. (1971) On the role of natural enemies in preventing competitive exclusion in some marine animals and in rain forest trees. In: P. J. Den Boer and G. R. Gradwell (eds), *Dynamics of Population.* Pudoc, Wageningen.

Janzen, D. H. (1970) Herbivores and the number of tree species in tropical forests. *The American Naturalist* 104: 501–28.

Dan Janzen and Joseph Connell independently formulated the idea that density-dependent processes mediated by natural enemies, such as seed predators, could maintain species coexistence. The subsequently named Janzen–Connell model continues to be highly influential and a widely accepted mechanism explaining high species diversity in the tropics.

Sherratt, T. N. and Wilkinson, D. M. (2009) *Big Questions in Ecology and Evolution.* Oxford University Press, Oxford. 312 pages.

Following the spirit of Colinvaux's book *Why Big Fierce Animals are Rare,* Sherratt and Wilkinson's book considers a range of fundamental ecological and evolutionary questions that continue to be discussed and debated.

الفصل السادس: علم البيئة التطبيقي

Baskin, Y. (2003) *A Plague of Rats and Rubbervines: The Growing Threat of Species Invasions.* Island Press, London. 330 pages.

An engaging exploration of invasive alien species and the problems they have caused across the world, and the efforts invested in trying to control them.

Gunderson, L. H., Allen, C. R., and Holling, C. S. (eds) (2012) *Foundations of Ecological Resilience.* Island Press, Washington, DC. 496 pages.

Ecological resilience theory provides a basis for understanding how complex systems adapt to and recover from disturbances. *Foundations*

of Ecological Resilience is a collection of some of the most influential articles on ecological resilience.

Newman, E. I. (2001) *Applied Ecology and Environmental Management.* 2nd edition. Wiley–Blackwell, Hoboken, NJ. 408 pages.

Townsend, C. R. (2007) *Ecological Applications: Toward a Sustainable World.* Wiley–Blackwell, Hoboken, NJ. 328 pages.

Two books that describe and present issues in the realm of environmental management and sustainability, drawing on ecological theory at individual, populations, and community levels.

Wilson, E. O. (1988) *Biodiversity.* Harvard University Press, Cambridge, Mass.

An edited volume with contributions on the current threats to biodiversity, its value, and practical and policy approaches to conserving and restoring biodiversity.

الفصل السابع: علم البيئة من منظور ثقافي

Berkes, F. (2008) *Sacred Ecology*. 2nd edition. Routledge, Abingdon. 313 pages.

Describes and evaluates the contributions of traditional ecological knowledge to natural resource management. Reflects growing interest in alternative ecological visions and insights from indigenous resource use practices, and the need to develop a new ecological ethic by drawing on a wide range of traditions.

Carson, R. (1962) *Silent Spring*. Houghton Mifflin Co., Boston. 378 pages.

'Every once in a while in the history of mankind, a book has appeared which has substantially altered the course of history': Senator Ernest Gruening of Alaska. He was referring to *Silent Spring*.

Leopold, A. (1949) *A Sand County Almanac: And Sketches Here and There.* Oxford University Press, Oxford. 226 pages.

Little more than a series of personal thoughts and reflections of nature and our interactions with it, yet immensely powerful and influential, contributing greatly to the development of modern conservation science, policy, and ethics.

Lovelock, J. (1979) *Gaia: A New Look at Life on Earth*. Oxford University Press, Oxford. 148 pages.

A much debated but classic work that continues to inspire many and aggravate some. James Lovelock argues that life on earth functions as if it were a single self-organizing organism.

Naess, A. (1989) *Ecology, Community, and Lifestyle: Outline of an Ecosophy*. Translated and edited by D. Rothenberg. Cambridge University Press, Cambridge. 223 pages.

Naess argues that environmental issues are framed by the values of people and society, and that such values are shaped by ethical considerations. He advocates that we should conceive ourselves as part of the world whereby the value of life and nature is intrinsic to our being, an approach based on 'deep ecological principles'.

الفصل الثامن: مستقبل علم البيئة

Dayton, P. K. (2003) The importance of the natural sciences to conservation. *American Naturalist* 162: 1–13.

A comprehensive argument calling to reinstate basic knowledge of natural history in science courses to enable meaningful understanding of, and action for, environmental management and conservation.

Devictor, V., van Swaay, C., Brereton, T., Brotons, L., Chamberlain, D., Heliölä, S., Herrando, J., Julliard, R., Kuussaari, M., Lindström, Å., Reif, J., Roy, D. B., Schweiger, O., Settele, J., Stefanescu, C., Van Strien, A., Van Turnhout, C., Vermouzek, Z., WallisDeVries, M., Wynhoff, I., and Jiguet

F. (2012) Differences in the climatic debts of birds and butterflies at a continental scale. *Nature Climate Change* 2: 121–4.

A paper that compared the rates at which bird and butterfly communities could keep up with temperature change across Europe. Concludes that both birds and butterflies are not able to keep up with temperature increases, implying the accumulation of 'climatic debts' for these groups at continental scales.

Hampton, S. E., Strasser, C. A, Tewksbury, J. J., Gram, W. K., Budden, A. E., Batcheller, A. L., Duke, C. S., and Porter, J. H. (2013) Big data and the future of ecology. *Frontiers in Ecology and the Environment* 11: 156–62.

Ecologists are generating increasingly large volumes of data by a variety of means, but there is little collective planning on how such data are curated. This article advocates that if ecologists are to address large-scale complex questions of the future, they will need to organize and archive data for posterity, share their data freely, and participate in collaborations among scientists and the wider public.

كتب أخرى عن موضوعات لم يستطع هذا الكتاب تناولها تفصيلًا، وتشمل:

Brown, J. H. (1995) *Macroecology*. Chicago University Press, Chicago. 269 pages.

Ecological processes give rise to patterns in nature, but mostly these have been explored at relatively small spatial scales that are amenable to observation and experimentation. The field of macroecology extends the discipline to much larger spatial and temporal scales, to explore patterns of life across the globe.

Crawley, M. J. (ed.) (1997) *Plant Ecology*. Blackwell Science, Oxford. 736 pages.

An excellent edited collection of contributions that encompasses broad themes in plant ecology, including ecophysiology, population dynamics, community structure, ecosystem function, herbivory, sex, dispersal, global warming, pollution, and biodiversity.

Ghazoul, J. and Sheil, D. (2010) *Tropical Rain Forest Ecology, Diversity, and Conservation.* Oxford University Press, Oxford. 516 pages.

An introduction to the tropical rainforests of the world, their species diversity, and the richness of ecological interactions that sustain them.

Whittaker, R. J. (1998) *Island Biogeography: Ecology, Evolution, and Conservation.* Oxford University Press, Oxford. 285 pages.

Biogeography has its roots in ecology. Island biogeography theory was originally developed by Robert MacArthur and E. O. Wilson as the *Theory of Island Biogeography* (1967) to explain the species richness and dynamics of islands. This topic has become very influential in conservation theory, and especially in the debate on the size and number of protected areas.

With, K. A. (2019) *Essentials of Landscape Ecology*. Oxford University Press, Oxford. 656 pages.

Landscape ecology is the science that investigates ecological processes and patterns in natural and human structured landscapes across a wide range of scales.

مصادر الصور

(1–1) Patterns in ecology (Stephan Getzin).

(2–1) Humboldt's *Physical Picture of the Andes* (© RBG KEW).

(2–2) The trophic pyramid, representing the transfer of energy from plants to herbivores and predators.

(2–3) Resource partitioning of five warbler species in the white spruce forests of North America (After S. S. Mader, *Biology: Florida Advanced Placement edition* (2004). By permission of McGraw–Hill.).

(3–1) (a) A lemming. (b) Population dynamics of lemmings and voles ((a) Frank Fichtmueller/Shutterstock. com. (b) P. Turchin et al., 'Are lemmings prey or predators?', *Nature* volume 405, pp. 562–5 (2000). Reprinted by permission from Springer Nature.)

(3–2) (a) Canadian lynx and hare. (b) Population cycles of the snowshoe hare and Canadian lynx ((a) Tom and Pat Neeson. (b) K. J. Åström and R. M. Murray, *Feedback Systems: An Introduction for Scientists and Engineers.* Princeton University Press, 2008 (after MacLulich, 1937).).

(3–3) Idealized population growth.

(3–4) Parasitoid wasp and Pierid butterfly (© Justin Bredlau; Matthias Tschumi.).

(4–1) A coral reef (iStock.com/Iborisoff.).

(4–2) Acacia trees and their ant bodyguards (Whitney Cranshaw, Colorado State University, Bugwood.org (CC BY 3.0).).

(4–3) A rich kelp forest community maintained by sea otters (a), without which herbivorous sea urchin numbers get out of control (b) ((a) Douglas Klug. (b) John Turnbull.).

(4–4) Succession in Morteratsch valley, Switzerland (Juerg Alean.).

(4–5) A mature but secondary forest (within the Harvard Forest) where once there were extensive field systems in rural Massachusetts (Peter Thomas.).

(4–6) The nitrogen cycle.

(5–1) The gympie–gympie, or stinging tree, of Queensland, Australia (Jaboury Ghazoul.).

(5–2) Cinnabar moth caterpillar (Rob Knell.).

(5–3) A dense carpet of seedlings of *Shorea gibbosa*, in Borneo (Jaboury Ghazoul.).

(5–4) The Janzen–Connell hypothesis.

(5–5) The 'Big Biodiversity' experiment at the University of Minnesota (Forest Isbell.).

(5–6) Food webs of the North Atlantic (Lavigne, D. M. 2003. 'Marine Mammals and Fisheries: The Role of Science in the Culling Debate', pp. 31–47 in *Marine Mammals: Fisheries, Tourism and Management Issues* (N. Gales, M. Hindell and R. Kirkwood eds.). Collingwood, VIC, Australia: CSIRO Publishing, 446 pp. Reprinted with permission.).

(6–1) Species-rich wildflower strips along agricultural fields (Matthias Tschumi.).

(6–2) Water hyacinth choking backwaters in Zambia (Fritz Kleinschroth.).

(6–3) A representation of alternative stable states.

(6–4) The dynamics of the spruce–fir forests of North America.

(6–5) A mosaic landscape of burned and unburned forest patches after the Yellowstone fires in October 1988 (Monica Turner.).

(7–1) The Blue Marble (NASA.).

(7–2) Penan protesting against incursions by loggers (© Bruno Manser Fund.).

(8–1) Forest recovery after eruption of Mt St Helens in 1980 (Jeff Hollett.).

(8–2) A representation of a rewilded landscape (Jeroen Helmer/ARK Nature.).

(8–3) A dam built by Eurasian beavers (Nick Upton/Alamy Stock Photo.).

(8–4) An early interest in tadpoles (Jaboury Ghazoul.).

هنـــداوي