دونالد آر بروثيرو

قصة التطور في ٢٥ اكتشافًا

الأدلة العلمية والعلماء الذين توصلوا إليها

ترجمة عمر ماجد

قصة التطور في ٢٥ اكتشافًا

الأدلة العلمية والعلماء الذين توصلوا إليها

تأليف
دونالد آر بروثيرو

ترجمة
عمر ماجد

مراجعة
الزهراء سامي

هنـــداوي

قصة التطور في ٢٥ اكتشافًا

دونالد آر بروثيرو

The Story of Evolution in 25 Discoveries

Donald R. Prothero

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

يورك هاوس، شيبت ستريت، ويندسور، 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: ٨ ٣٤٧٤ 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 كولومبيا.

Copyright © 2020 Columbia University Press. This Arabic edition is a complete translation of the U.S. edition, specially authorized by the original publisher, Columbia University Press.

المحتويات

شكر وتقدير	٩
تمهيد	١٥
الجزء الأول: في البدء	١٧
١- كل شيء يتطور ويتغير	١٩
٢- هاوية الزمن	٣٣
الجزء الثاني: أدلة داروين على التطور	٤٩
٣- التحول السريع	٥١
٤- المخطط المشترك لأجسادنا	٧١
٥- النمو الجنيني يلخِّص تطور السلالات	٨٧
٦- غرق سفينة نوح	٩٩
٧- شجرة الحياة المتفرعة	١١٥
٨- دفاعًا عن الدبابير القاسية	١٢٧
٩- أدوات ارتجالية	١٣٩
الجزء الثالث: تحولات كبرى في تاريخ الحياة	١٥١
١٠- حكاية هائلة عن الحيتان	١٥٣
١١- اجتياح البر	١٦٩
١٢- اكتشاف الحلقات المفقودة	١٨٥
١٣- طيور لها أسنان	٢٠٥

١٤- حصان! حصان! مملكتي مقابل حصان! ٢١٩
١٥- كيف حصلت الزرافة على عنقها؟ ٢٣٧
١٦- كيف حصل الفيل على خرطومه؟ ٢٥١

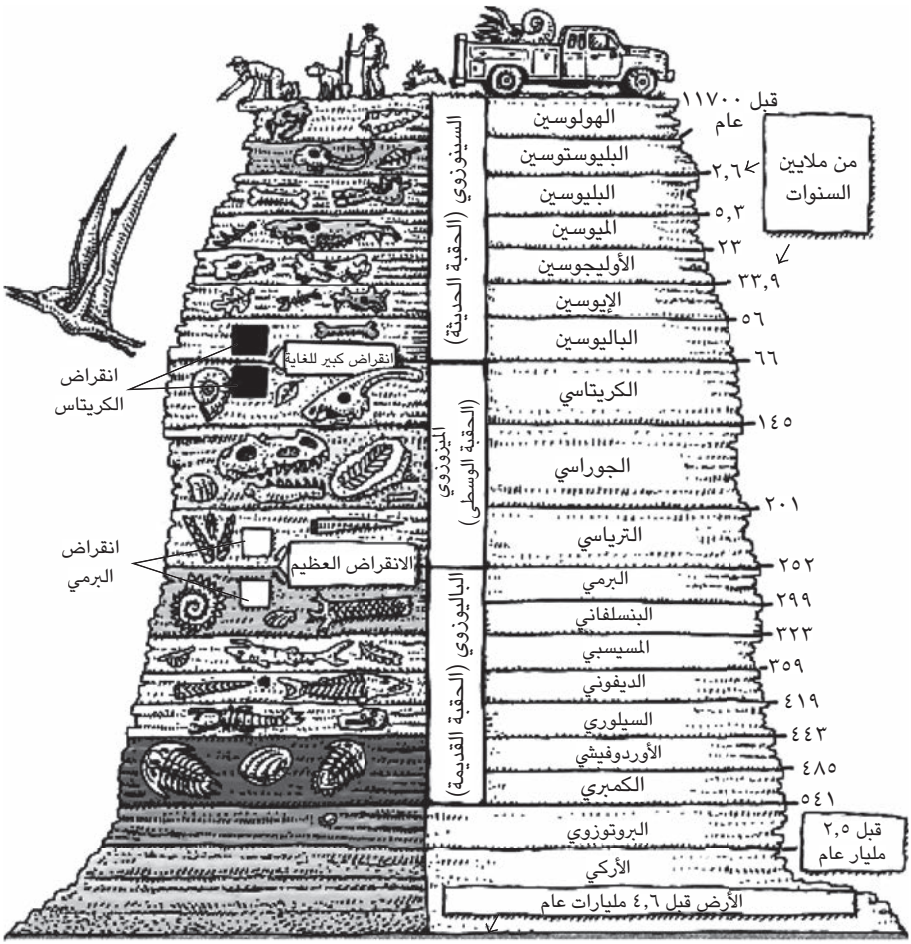
الجزء الرابع: العيون والجينات ٢٦٩
١٧- بِركة صغيرة دافئة ٢٧١
١٨- باحة مخلَّفات جينية ٢٩١
١٩- أرجُل على رءوسها ٣٠٥
٢٠- الأعين دليل على التطور ٣١٥

الجزء الخامس: الإنسان والتطور ٣٢٧
٢١- مصلِّح، لا مهندس ٣٢٩
٢٢- الشمبانزي الثالث ٣٤٩
٢٣- انعكاس القرد ٣٥٩
٢٤- عظام أسلافنا ٣٧٥
٢٥- الإنسان السابق والمستقبلي ٣٩٩

أهدي هذا الكتاب لذكرى صديقي ومعلمي ستيفن جاي جولد (١٩٤١–٢٠٠٢). لقد كان مصدر إلهام لجيلي من علماء الحفريات وعلماء علم الأحياء التطوري من خلال أبحاثه العظيمة، ورؤاه الثاقبة بخصوص موضوعات مهمة. وقد بذل الكثير في سبيل تثقيف العامة بشأن حقائق التطور. وأثبت لنا أن الكتابة عن التاريخ الطبيعي يمكن أن تكون ممتعة ومثيرة للاهتمام، وأنه بإمكان العامة استيعاب الأفكار المعقَّدة إذا قُدِّمت لهم بأسلوب واضح ومسلٍّ.

شكر وتقدير

أتوجَّه بالشكر لمحرِّري السابق في «مطبوعات جامعة كولومبيا»، باتريك فيتزجيرالد، لحثِّه إياي على تأليف هذا الكتاب، ولدوره في استهلال هذا العمل، كما أشكر محرِّرتي الحالية في جامعة كولومبيا، ميراندا مارتن، لمتابعة هذا العمل إلى أن ظهر للنور. أتوجَّه أيضًا بالشكر إلى جوليا كوشنيرسكي وإليوت كيرنز العاملَين بمطبوعات جامعة كولومبيا، وبن كولستاد من شركة «سينفيو»؛ لعملهم الدَّءوب في إنتاج الكتاب. وأودُّ أيضًا أن أشكر ثلاثة مراجعين مجهولين على مساهماتهم المبكِّرة في المشروع، وبات شيبمان ونورمان جونسون لمراجعة النسخة النهائية من الكتاب، أو بعض الفصول منه على الأقل. وأخيرًا، أشكر عائلتي الداعمة — أبنائي إريك وزاكاري وجابرييل، وزوجتي الرائعة، الدكتورة تيريزا ليفيل — لاحتمالها فترات غيابي الطويلة في أثناء عملي على الكمبيوتر خلال تأليف هذا الكتاب على مدار صيف عام ٢٠١٩.


قبل ١١٧٠٠ عام
من ملايين السنوات
٢,٦
٥,٣
٢٣
٣٣,٩
٥٦
٦٦
١٤٥
٢٠١
٢٥٢
٢٩٩
٣٢٣
٣٥٩
٤١٩
٤٤٣
٤٨٥
٥٤١
قبل ٢,٥ مليار عام
الهولوسين
البليوستوسين
البليوسين
الميوسين
الأوليجوسين
الإيوسين
الباليوسين
الكريتاسي
الجوراسي
الترياسي
البرمي
البنسلفاني
المسيسبي
الديفوني
السيلوري
الأوردوفيشي
الكمبري
البروتوزوي
الأركي
الأرض قبل ٤,٦ مليارات عام
السينوزوي (الحقبة الحديثة)
الميزوزوي (الحقبة الوسطى)
الباليوزوي (الحقبة القديمة)
انقراض كبير للغاية
انقراض الكريتاس
الانقراض العظيم
انقراض البرمي

ثمة جلال يكتنف هذه النظرة للحياة؛ فقد نُفخت الحياة بقواها المتعددة في أنواع قليلة أو نوع واحد من الكائنات، بينما كان هذا الكوكب مستمرًّا في دورانه وفقًا لقانون الجاذبية الثابت، ومن مثل هذه البداية البسيطة جدًّا، تطوَّرت أنواعٌ لا حصر لها في غاية الجمال والروعة، ولا تزال تتطوَّر.

تشارلز داروين، ١٨٥٩

لا معنى لعلم الأحياء إلا في ضوء التطور.

ثيودوسيوس دوبجانسكي، ١٩٧٣

تمهيد

منذ أن نُشِر كتابي «التطور: ما تخبرنا به الحفريات وأهميته» (كولومبيا يونيفرستي برس، ٢٠٠٧؛ الطبعة الثانية، ٢٠١٧)؛ توصَّل مجالا علمِ الأحياء التطوري وعلم الحفريات إلى العديد من الاكتشافات الجديدة. وفي الوقت نفسه، تجمَّع الكثير من الأدلة على التطور وتراكم منذ عام ١٨٥٩، حين نُشِر كتاب تشارلز داروين الثوري «أصل الأنواع». وقد ناقشتُ بعض هذه الأدلة في كتابي الأول عن التطور، لكن الكثير منها جديد أو لم يُذكَر في ذلك الكتاب إلا بإيجاز.

وبدلًا من أن يقتصر تركيزي على السجل الأحفوري، مع تخصيص الكثير من الوقت لتصحيح الأكاذيب والخرافات التي يردِّدها منكرو التطور؛ ارتأيت أنه سيكون من المفيد والمثير للاهتمام التركيزُ على مسارات مفردة من الأدلة أدَّت إلى اكتشاف التطور، وعلى الرؤى الثاقبة التي قدَّمتها لنا هذه الأدلة عن آليات الحياة. لقد أوضح كتاب «ماذا بحق الجحيم! التطور: نظرية عن تصميم غير مفهوم»، الصادر عام ٢٠١٤ لمارا جرونباوم، وكتب أخرى؛ أنَّ الحياة مليئة بالأمور الغريبة والمضحكة والقبيحة التي لا يكون لها أي معنًى في كونٍ إلهي التصميم، مما يوضح مدى ما قد تكون عليه الطبيعة من خَرَق وإهدار. غير أنه في الأساس كتاب مليء بالصور والتعليقات القصيرة والدعابات الساخرة. وسوف أعمد في كتابي هذا إلى توضيح المسألة نفسها لكن بأسلوب أكثر جدية، مستكشفًا هذا الموضوع، ومتعمِّقًا في معناه.

إضافةً إلى ذلك، فإني أستمتع بالكتابة على نسق الكتب الثلاثة السابقة في هذه السلسلة؛ «قصة الحياة في ٢٥ حفرية» (٢٠١٥)، و«قصة الأرض في ٢٥ صخرة» (٢٠١٨)، و«قصة الديناصورات في ٢٥ اكتشافًا» (٢٠١٩)، وكلٌّ منها صادر عن كولومبيا يونيفرستي برس. وعلى غرار المؤلَّفات السابقة، يمثِّل كل فصلٍ من فصول هذا الكتاب مقالةً صغيرةً

قائمة بذاتها تصف فكرة معينة، وغالبًا ما تُذكَر في السياق التاريخي لكيفية التفكير في هذا الموضوع. وعلى غرار الكتب السابقة أيضًا، فإن المادة العلمية غالبًا ما تُذكَر في سياق قصص الأشخاص الذين قاموا بالاكتشافات، وأهمية الاكتشاف في سياق العلم.

ينقسم هذا الكتاب إلى خمسة أجزاء. يصف الجزء الأول، الذي يحمل عنوان «في البداية: كل شيءٍ يتطور، والأرض سحيقة القِدَم»، كيفيةَ حدوث التطور في جميع أنحاء الكون الذي يبلغ عمره مليارات السنين (الفصلين ١ و٢). ويناقش الجزء الثاني الاتجاهات الرئيسية والأصلية التي استخدمها داروين لتشكيل أدلته على التطور، والاكتشافات ذات الصلة بالتطور التي ظهرت منذ زمن داروين (الفصول ٣–٩). ويتناول الجزء الثالث بعنوان «تحولات كبرى في تاريخ الحياة»، الأدلةَ البارزة من السجل الأحفوري، والتي توضح كيف أنَّ مجموعات رئيسية معينة من الكائنات الحية قد تطورت من شيء مختلف تمامًا، أو ما يُعرَف بالتطور الكبروي (الفصول ١٠–١٦). ويصف الجزء الرابع، الذي يحمل العنوان «العيون والجينات»، الأدلةَ الضخمة التي تأتينا من مجالَي علم الجينات وعلم الأحياء الجزيئي (الفصول ١٧–١٩)، ويتناول أيضًا اللغز الشهير لكيفية تطور بنية معقدة مثل العين (الفصل ٢٠). أما الجزء الخامس «البشر والتطور»، فيوضح بالتفصيل الأدلة الداعمة لفكرة أن البشر قِرَدة قد تطورت، شأنهم في ذلك شأن أي كائن حي آخر (الفصول ٢١–٢٤)، كما يوضح أي الاتجاهات قد يتخذها التطور في المستقبل، وأي الاتجاهات قد لا يتخذها على الإطلاق (الفصل ٢٥).

وكما فعل داروين في عام ١٨٥٩، فإني آمل أن أقنعك، أيها القارئ، بحقيقة التطور من خلال ترسيخ القضية بذكر الحقائق غير الاعتيادية عن الطبيعة واحدةً تِلو الأخرى. فكلٌّ منها دليل واضح على التطور، وأنا آمل أن تقتنع بعجائب التطور من خلال الأدلة وقيمتها الهائلة فحسب. والحق أنَّ هذا يتناقض مع كتابي الأول عن التطور، والذي كان أكاديميًّا وفلسفيًّا بدرجة أكبر، وتناول بشكل مباشر نظرية الخلق وقضايا أشمل عن التطور.

فلتتفضلْ أيها القارئ ولْتستعدَّ لاستكشاف الجوانب العجيبة والغريبة للطبيعة، والتي توضِّح أنَّ لها تاريخًا، وأنها تطورت وتغيرت عبر الزمن. ومثلما كتب العالم العظيم ثيودوسيوس دوبجانسكي في مقال له عام ١٩٧٣، مكرِّرًا هذه الكلمات: «لا معنى لعلم الأحياء إلا في ضوء التطور.»

الجزء الأول

في البدء

كل شيء يتطور، والأرض سحيقة القِدَم

الفصل الأول

كل شيء يتطور ويتغير

اكتشاف التطور في الكَون

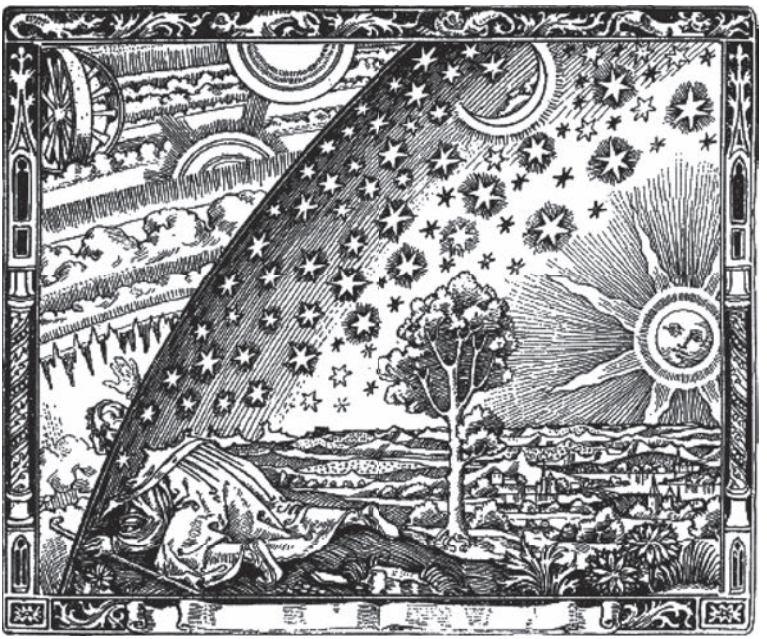
ما من شيء ثابت في الكون،
كل شيء يتقلب بالزيادة أو النقصان، وكل ما يولَد
يَحمِل في رَحِمه بذور التغيير.

أوفيد، «التحولات»، الجزء الخامس عشر (٨ ميلاديًّا)

كل شيء يتغير، ولا شيء يظل ساكنًا.

هيراقليطس، ٥٠٠ ق.م. تقريبًا،
كما نقله أفلاطون في «محاورة كراتيليوس»

لقد تغيرت نظرتنا للكون وللنظام الشمسي تغيرًا جذريًّا خلال الأعوام الخمسمائة الماضية. فقبل عام ١٥٤٣ كان جميع البشر تقريبًا يؤمنون بأن الأرض مسطحة، وأنها في مركز الكون، وأن النجوم نقاط بالغة الصغر من الضوء توجد على قُبَّة السماء (الشكل ١-١). وفي عام ١٥٤٣، قَدَّم كوبرنيكوس الأدلة على فكرة أنَّ الشمس — لا الأرض — هي التي تقع في مركز عالمنا، وأنَّ الأرض ليست سوى كوكب يدور حول الشمس. وفي عام ١٦٠٩، استخدم جاليليو جهازًا حديث الاختراع يُدعى التلسكوب، ليكتشف أنَّ النجوم لا تُعَد ولا تُحصَى، وأنها ليست متناثرة على قُبَّة هائلة فوق رءوسنا. أثبت جاليليو أيضًا أن كوكب المشتري له أقماره الخاصة التي تستطيع القيام بدورة كاملة حوله، مما دلَّ على



شكل ١-١: نقشٌ مشهور من كتاب يرجع إلى عام ١٨٨٨ لعالم الفلك الفرنسي نيكولا كامي فلاماريون، يوضح تصوُّر البشر للأرض في العصور الوسطى على أنها قرص مسطح محاط بالنجوم المُثبَّتة على قُبَّة سماوية. يحرِّك المستكشفُ المحب للاستطلاع رأسَه عبر «قُبة السماء»؛ ليرى الشمس والقمر والكواكب تتحرَّك على عجلات تروسٍ هائلةٍ أثناء دورانها من حولنا. (إهداء من «ويكيميديا كومنز»)

أنَّ المشتري لا يقبع في كرة سماوية نموذجية، أو قُبَّة توجَد فوق الأرض. كشف جاليليو أيضًا زيف الفكرة القائلة بأن أجسام الكواكب مثالية لا تشوبها شائبة؛ عندما كشف من خلال تلسكوبه أنَّ قمر كوكب الأرض مُغطًّى بفُوَّهات، وليس عبارة عن كرة سماوية مثالية. وأخيرًا، باكتشافه أن كوكب الزهرة يمر بأطوار شبيهة بأطوار قمر كوكب الأرض (التربيع الأول للزهرة، التربيع الثاني للزهرة ... إلخ.)، أَوضَح أنَّ كوكب الزهرة يدور حول الشمس في مدار يقع داخل مدارنا. والأهم من ذلك كله، أنه أكد فكرة كوبرنيكوس القائلة إنَّ الأرض مجرد كوكب آخر يدور حول الشمس. وبحلول سبعينيات القرن السابع عشر

وثمانينياته، كان إسحاق نيوتن قد توصَّل إلى قوانين الحركة والجاذبية، مثبِتًا بذلك إمكانية تفسير النظام بأكمله من خلال قواعد الفيزياء الأساسية.

إننا ننظر اليوم إلى صور الفضاء المذهلة التي تأتينا من التلسكوبات الموجودة على الأرض وتلسكوب هابل الفضائي، ونرى ما لم يكن بمقدور أي شخص أن يتخيله منذ ٣٠ عامًا مضت. فنحن نستطيع أن نرى مراحل ولادة النجوم وموتها، وكيفية تشكُّل الكواكب والأنظمة الشمسية الأخرى. وهذه الصور، إضافةً إلى الحسابات الفيزيائية الفلكية والنماذج الرياضية التي تفسرها؛ تقدِّم لنا رؤيةً جديدةً عن أصل النظام الشمسي، وتسمح لنا بأن نفسر معظم ما كنا نخمِّنه قبل هذا القرن.

من أين أتينا؟ متى وأين بدأ كل شيء؟ مثل هذه الأسئلة أَسَرَت الإنسانَ وأثارت لديه القلق منذ أن نظر إلى السماء لأول مرة. وعلى مدار آلاف السنين، أتت التفسيرات من مجموعة كبيرة من مختلف الأساطير والقصص الدينية، التي تمثِّل جميع الثقافات الموجودة على الأرض. لكن في أوائل القرن العشرين، صار تجاوز الأسطورة والتكهُّن ممكنًا، وبدأنا في استخدام مناهج العلم لنكتشف ما حدث بالفعل.

تحقَّق أول إنجاز علمي كبير على يد مجموعة من عالمات الفلك (الشكل ١-٢) العاملات في مرصد كلية هارفارد تحت إشراف دبليو إس بيكيرينج. كُن يُعرَفن باسم «كمبيوترات هارفارد»؛ لأنهن كُن عالمات رياضيات موهوبات يستطعْنَ أن يجرين العمليات الحسابية ذهنيًّا وكتابةً بسرعة كبيرة، وأن يَقُمن بعمليات القياس بأيديهن. (الحقُّ أنَّ كلمة «كمبيوتر» لم تظهر إلا بعد ذلك بوقت طويل لتشير إلى الأجهزة الإلكترونية التي نستخدمها جميعًا الآن.) لم يُعيِّنهن بيكيرينج لإجادتهن للرياضيات فحسب، بل لحَذَرهن أيضًا وتدقيقهن في دراسة الآلاف من ألواح الصور الزجاجية لسماء الليل التي الْتقطَتْها مختلف التلسكوبات، وتحليلها. إضافةً إلى ذلك، كُن أقلَّ تكلفةً من المساعدين الذكور (٢٥ سنتًا في الساعة، أي أقل من السكرتير)، وكُن يعملْنَ باجتهادٍ دون شكوى لستة أيام في الأسبوع. كان هذا في وقت تُمنَع فيه النساء من الوظائف العلمية تمامًا، وهؤلاء اللواتي حاولْنَ أن يحصلْنَ على تعليم متقدم في العلوم قابلْنَ عقباتٍ ضخمة في كل خطوة على الطريق.

بالرغم من ذلك، سرعان ما ظهرت مواهبهن وقامت كلٌّ منهن باكتشافات أحدثت ثورة في علم الفلك، وتفوَّقْنَ على معظم علماء الفلك الذكور في عصرهن. أشهرهن كانت آني جامب كانون، التي فهرست نجوم سماء الليل، واقترحت أولَ نظامٍ لتصنيف النجوم وفقًا لدرجات حرارتها. استندَت آني جامب كانون في تشكيل هذا النظام إلى أول نظامٍ كاملٍ لتصنيف النجوم لأنتونيا ماوري.

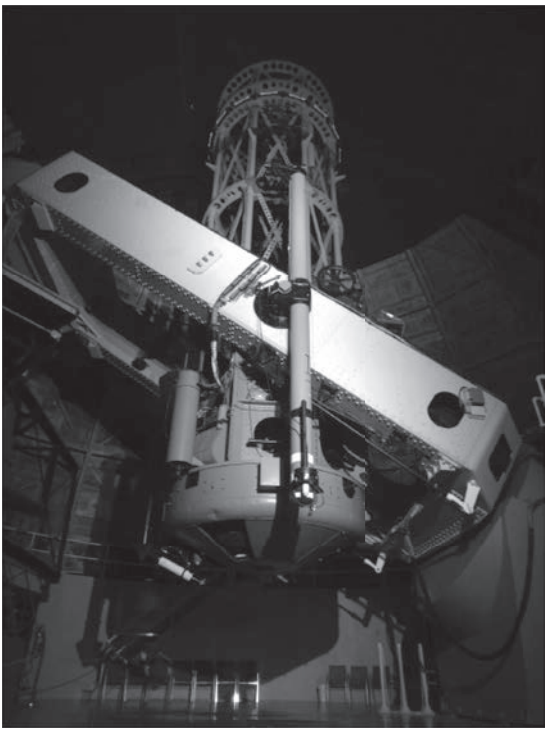
شكل ١-٢: «كمبيوترات هارفارد» في مقر عملهن نحو عام ١٨٩٠. تجلس هنرييتا سوان ليفيت، الثالثة من اليسار، ممسكة بالعدسة المكبِّرة. وإلى يمينها توجد آني جامب كانون، وتظهر ويليامينا فليمنج واقفة، وأنتونيا ماوري في أقصى اليمين. (إهداء من «ويكيميديا كومنز»)

لكن المرأة الأهم في قصتنا هي هنرييتا سوان ليفيت. كُلِّفت هنرييتا بدراسة «النجوم المتغيرة»، وهي أنواع من النجوم يتغير سطوعها من ليلة لأخرى. وسرعان ما أدركت أن التغير في سطوعها يحدث على مدار فترة منتظمة من التقلب، حيث النجوم الأكثر سطوعًا (الأكثر لمعانًا) تمر بأطول فترات من تغير السطوع. وجدت ليفيت نجومًا متغيرة في تجمع نجمي في كوكبة قيفاوس (ومن ثَم سُمِّيتْ بالنجوم «القيفاوية») كانت جميعها على نفس المسافة، مما أتاح لها معايرة طيف السطوع. وفي عام ١٩١٣، وبعد دراسة ١٧٧٧ من النجوم المتغيرة، توصلت ليفيت إلى العلاقة بين مدة تقلب سطوع النجوم المتغيرة ولمعانها، مما مكَّنها من تحديد بُعد نجم ما من خلال قياس لمعانه وفترة تقلُّبه. وبفضل ليفيت، صار لدى علماء الفلك أداة موثوقة لقياس المسافة التي يبعدها نجمٌ ما أو مجرةٌ ما عن الأرض.

قام بالخطوة التالية عالم الفلك الأسطوري إدوين هابل. ففي عام ١٩١٩ كُلِّف هابل بالعمل في مرصد ماونت ويلسون المكتمِل إنشاؤه حديثًا آنذاك (الشكل ١-٣(أ))، والذي يقع في الجبال أعلى باسادينا بولاية كاليفورنيا. كانت لديه حرية استخدام ما كان آنذاك أقوى تلسكوب على وجه الأرض؛ وهو تلسكوب عاكس بمرآة حجمها ١٠٠ بوصة (الشكل ١-٣(ب)؛ والشكل ١-٣(ج)). وتوصَّل هابل إلى أول اكتشافاته المهمة في عام ١٩٢٤ باستخدام نجوم ليفيت المتغيرة الملتهبة، ليوضِّح أنَّ ما كان علماء الفلك يشيرون إليه باسم «السُّدُم الحلزونية» هو في الحقيقة مجرات تقع خارج مجرتنا، درب التبانة، وأن درب التبانة ليس سوى مجرةٍ واحدةٍ ضمن العديد من المجرات. أدَّى هذا إلى اتساع إدراكنا لحجم الكون بدرجةٍ أكبر كثيرًا مما كان البشر يعتقدون أنه ممكن من قبل.

(أ)

(ب)

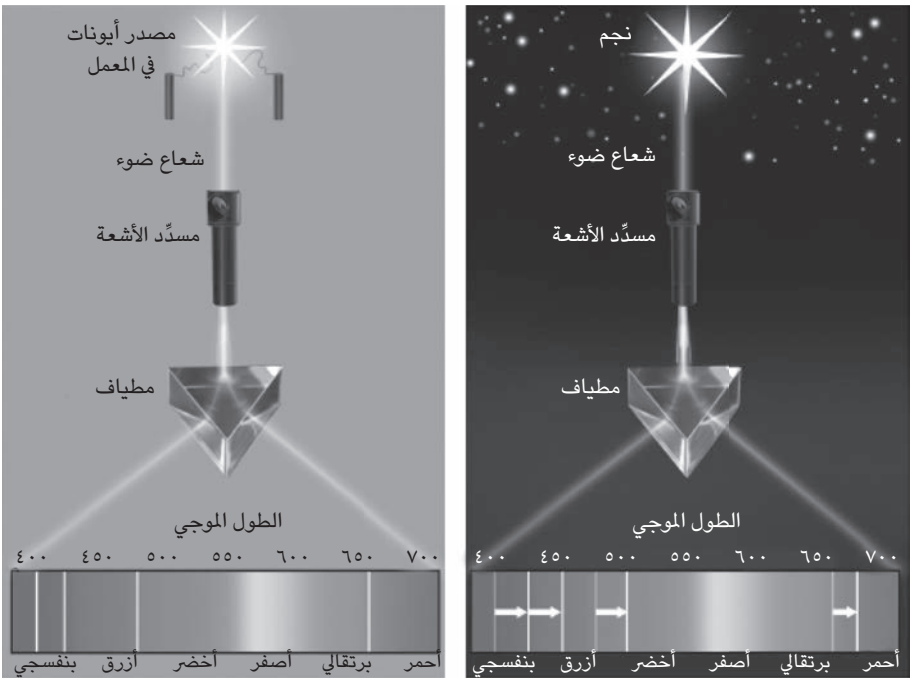


(ج)

شكل ١-٣: (أ) إدوين هابل ينظر عبر التلسكوب الرئيسي على جبل ويلسون. (ب) أكبر القِباب الثلاث على جبل ويلسون، والتي تضم (ج) التلسكوب العاكس بحجم مائة بوصة الذي استخدمه هابل. (إهداء من «ويكيميديا كومنز»؛ [الصورتان: (ب)، و(ج)] من تصوير المؤلف)

استخدم هابل التلسكوب ليدرس أكبر عدد ممكن من النجوم والمجرات وغيرها من الأجرام السماوية الضخمة دراسةً منهجية. فقاس المسافة التي تبعدها باستخدام أسلوب المتغير القيفاوي، كما استفاد أيضًا من عمل عالم الفلك الهولندي فيستو سليفر الذي كان يعمل في مرصد لويل في فلاجستاف بولاية أريزونا، وحلل أطياف الضوء القادم من النجوم. فمثلما يُقسِّم المنشور الزجاجي ضوء الشمس إلى ألوانه الرئيسية، يمكن أيضًا للضوء القادم من النجوم أن يُقسَّم إلى طيف من الألوان (الشكل ١-٤). لكن هذا الطيف توجد

به «نطاقات» مميزة على طول مقياس الألوان، وهي ناتجة عن امتصاص عناصر معينة. عندما نُحلِّل في المعمل الطيفَ الناتج عن احتراق الصوديوم أو أي معادن أخرى، نجد تلك النطاقات نفسها، ويمكننا أن نُحدِّد العناصر التي نراها في كل مجموعة من النطاقات.



شكل ١-٤: عندما ينقسم طيف ضوء النجوم عبر منشور زجاجي، تظهر الألوان والأطوال الموجية المختلفة جنبًا إلى جنب مع نطاقات امتصاص بيضاء مختلفة الأطوال الموجية، تشير إلى عناصر مختلفة، مثل الصوديوم والكالسيوم. ويتضح في الضوء القادم من النجوم البعيدة انزياح نطاقات الامتصاص إلى الطرَف الأحمر من الطيف، وذلك مقارنةً بمواقعها الطبيعية على النحو الذي يحدده مصدر الضوء في المختبر. (بتصريح من أكسفورد يونيفرستي برس)

كان أهم شريك لهابل في هذا المسعى هو ميلتون هيوماسون، الذي لم يحظَ بأي تعليمٍ بعد أن تخطَّى سن الرابعة عشرة، لكنه كان متحمسًا لإثبات جدارته. كانت مهمة

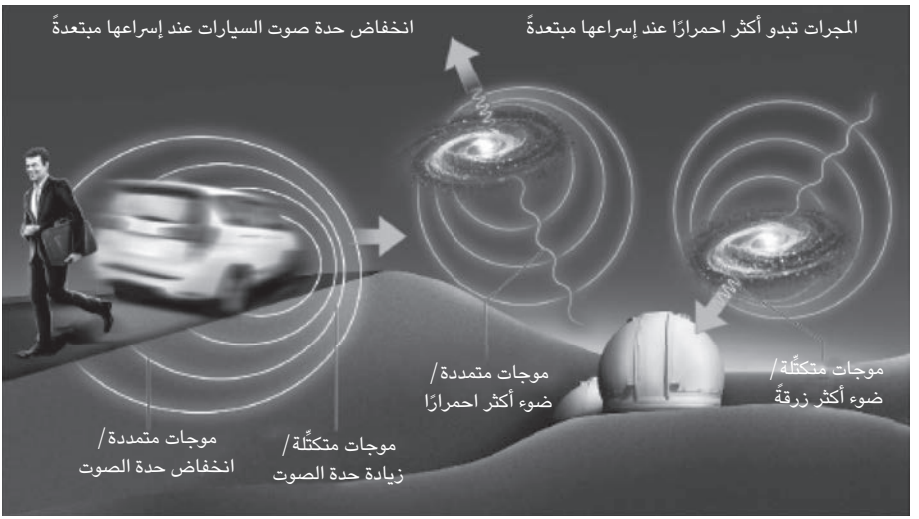
هيوماسون الأصلية هي قيادة البغال الحاملة للتلسكوب وباقي الأدوات إلى أعلى ذلك الجبل الشديد الانحدار. وبعدها أصبح حاجبًا خلال النوبة الليلية التي كانت تتزامن مع عمل علماء الفلك، فتعرف هابل عليه. وجد هابل أن لديه مواهب غير متوقَّعة فقام بترقيته ليكون مساعده. أُعجبَ هابل بتصميم هيوماسون الهادئ على أخذ الصور الفوتوغرافية الصعبة، وإجراء القياسات الدقيقة لأطياف آلاف الألواح الفوتوغرافية التي الْتقطها التلسكوب.

وبعد قياس المئات من مختلف النجوم والمجرات، لاحظ هابل وهيوماسون شيئًا غير اعتيادي. وجدا أنَّ أطياف النجوم الأقرب بها خطوط امتصاص تتشابه مع خطوط الامتصاص التي تظهر في طيف ذلك العنصر الموجود على الأرض. وكلما ابتعد النجم أو المجرة عن الأرض، انزاحت نطاقات الامتصاص البيضاء من مكانها الأصلي باتجاه الطرَف الأحمر من الطيف.

لماذا تتحرك خطوط الامتصاص باتجاه الطرف الأحمر من الطيف؟ أعلن فيستو سليفر عن هذا الاكتشاف وعن تفسيره في حالة بِضع مجرات في عام ١٩١٢. تُعرَف هذه الظاهرة باسم انزياح دوبلر، وهي تحدث بسبب ما يُعرَف باسم تأثير دوبلر. لقد سبق لك أن اختبرت تأثير دوبلر للصوت مرات عديدة. فعلى سبيل المثال، إذا كنت تقف على الطريق بينما تندفع نحوك سيارة أو قطار بسرعة عاليةٍ نافخةً بوقها، فستلاحظ أن حدَّة الصوت تزداد قليلًا مع اقتراب السيارة أو القطار. وحالما تتخطَّاك المركبة مسرعةً بعيدًا عنك، ستجد أن حدة صوت البوق تنخفض مجددًا. يحدث تأثير دوبلر لأن موجات الصوت تتكتَّل كلما ازداد مصدرها قربًا منك. إذا تكتَّلت الأمواج وكان طولها الموجي أقصر، فستكون حدة صوتها أعلى. وبصورة مماثلة، عندما يتحرك مصدر الصوت بعيدًا عنك، تتمدد الأمواج (الشكل ١-٥). والأمواج الأطول، الأكثر تمددًا، أقلُّ درجةً في حدة الصوت.

ينطبق تأثير دوبلر على موجات الضوء مثلما ينطبق على الموجات الصوتية. فإذا كان المصدر يتحرك بسرعة شديدة تجاهنا، فستتكتَّل الموجات الضوئية، وسيصبح طولها الموجي أقصر (وهو ما يتطابق مع الطرف الأزرق والبنفسجي من طيف الضوء). وإذا كان مصدر الضوء يتحرك مبتعدًا عنا بسرعة كبيرة، فستتمدَّد الموجات الضوئية وتصبح أطول (وهو ما يتطابق مع الطرف الأحمر من الطيف).

أوضحتْ أولى ملاحظات سليفر في عام ١٩١٢، ثم التصنيف الدقيق الذي وضعه هابل وهيوماسون لأكثر من ٤٦ مجرة والعديد من النجوم، أنَّ المجرات المرصودة جميعها



شكل ١-٥: يحدث تأثير دوبلر في حالة وجود حركة بين مصدر الموجات وبين الراصد. فعندما تُطلِق سيارة متحركة بوقها مثلًا، يبدو أن الموجات الصوتية تزداد حدة مع اقتراب السيارة، ويبدو أنها تنخفض في الحدة بينما تتحرك السيارة بعيدًا. تعود زيادة حدة الصوت إلى ضغط الموجات الصوتية مع اقتراب البوق (تكتُّل الموجات وقِصَر الطول الموجي). وعندما يتحرك مصدر الصوت بعيدًا عنك، تتمدد الموجات ويزداد طولها الموجي، فتنخفض حدة الصوت. ينطبق التأثير نفسه على موجات الضوء المنبعث من النجوم البعيدة. إذا كانت النجوم تقترب منا، فستتجمَّع أطوالها الموجية وتتقلَّص؛ مما يؤدي إلى انزياحها إلى الطرف الأزرق-البنفسجي من الطيف. غير أنَّ جميع النجوم والمجرات تنزاح إلى الطرف الأحمر من الطيف، مما يدل على أنها تبتعد عنا. (بتصريح من أكسفورد يونيفرستي برس)

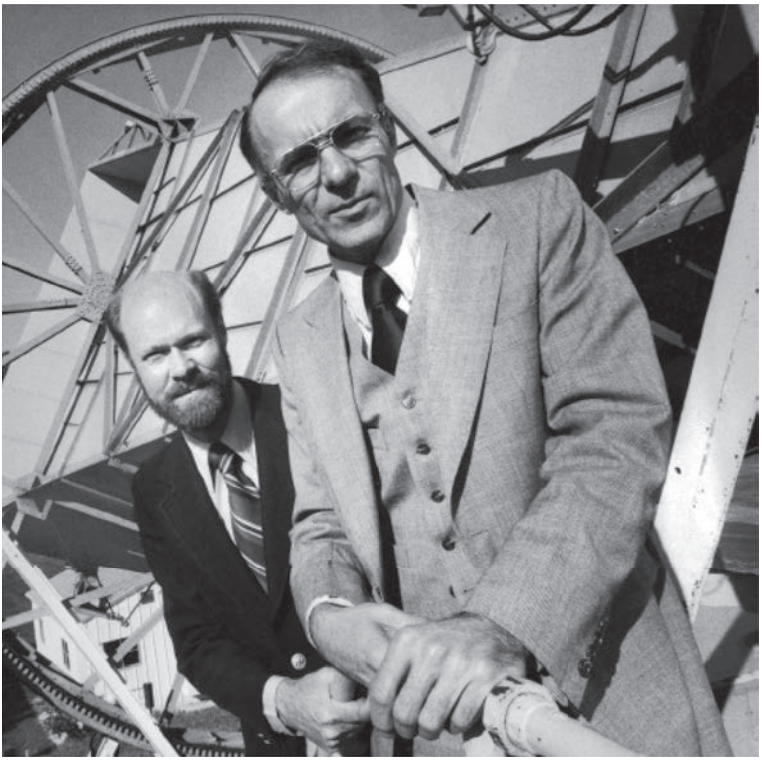
تقريبًا تنزاح باتجاه الطرف الأحمر، مع عدم وجود أية أجرام تنزاح باتجاه الطرف الأزرق ربما تكون تتحرك باتجاهنا. والأهم من ذلك أنَّ هابل وهيوماسون اكتشفا أن الأجرام الأبعد عنَّا تتَّسم بدرجةٍ أكبر من الانزياح نحو الأحمر، ولا بد أن تكون هي الأسرع في الابتعاد عنَّا. كان ما اقترحه عمل هابل وهيوماسون أنَّ الكون يتمدد. ويمكننا تشبيه ذلك بصنع رغيف خبز بالزبيب. فعندما تبدأ بكُرة العجين، تكون جميع حبَّات الزبيب متلاصقة بالقرب من بعضها. لكن مع تمدد كرة العجين، تبتعد كل حبة زبيب

عن الأخرى، وتلك الحبَّات الواقعة على الجزء الخارجي من كرة العجين تكون هي الأسرع حركةً.

«الكون يتمدد». هذه فكرة مخيفة، ولم يكن معظم علماء الفلك قادرين على تقبلها في البداية. غير أنَّ بيانات هابل وهيوماسون كانت متَّسقة ومتماسكة، ومع مرور الوقت، ومع تحليل المزيد والمزيد من الأجرام، تبيَّن أنَّ جميعها ينزاح نحو الأحمر. وفي عام ١٩٢٧، اقترح عالم الفلك والقَسُّ البلجيكي جورج لومتر نموذجًا تمدَّد فيه الكون من نقطةٍ واحدةٍ في الماضي السحيق. لم يُعجَب معظم علماء الفلك بفكرة وجود بداية للكون؛ إذ كانوا يعتقدون أنه في «حالة ثابتة»، مع خلق مادة جديدة في المركز طوال الوقت. وكان فريد هويل من بين هؤلاء المؤيدين لفكرة الحالة الثابتة، وهو الذي صاغ مصطلح «الانفجار الكبير» على سبيل السخرية من نموذج لومتر، وقد ظل هذا المصطلح مستخدمًا منذ ذلك الحين.

استمر الجدال بشأن الانفجار الكبير في مقابل الحالة الثابتة لما يقرب من ٣٠ عامًا، حتى نهاية خمسينيات القرن العشرين، بدون التوصل إلى أي إجماع واضح. وبعد ذلك، توصلت البشرية إلى اكتشاف حاسم، ولم يكن مَن توصَّل إليه مِن علماء الفلك، بل عالَمَا فيزياء ومهندسَان في نفس الوقت؛ أرنو بنزياس وروبرت دبليو ويلسون (الشكل ١-٦). ففي عام ١٩٦٤ كان بنزياس وويلسون يعملان في «مختبرات بِل»، وهي قسم الأبحاث الأصلي لشركة «إيه تي آند تي» أو «بِل تليفون»، وهي المختبرات التي كانت مسئولةً عن تطوير تكنولوجيا التواصل لشركات «ما بِل». كان بنزياس وويلسون يعملان على تطوير أول قرون استشعار، لاستقبال الإشارات وإرسالها من خلال الموجات الميكروية، وذلك في المقام الأول لإتاحة التواصل مع مشروع وكالة الفضاء الأمريكية «إيكو» (أول محاولة لاستخدام الأقمار الصناعية من أجل التواصل العالمي)، ومع القمر الصناعي «تلستار» لاحقًا. وبصفتهما كبيرَي العلماء والمهندسين في المشروع، كانت وظيفتهما الرئيسية هي التخلص من «عيوب» الجهاز وتحسين كفاءته. وقد وجدا العديد من مصادر «الضوضاء» في قرون الاستشعار وتخلصا منها، لكنهما وجدا بعد ذلك مصدر «تشويش في الخلفية» أقوى مما كانا يتوقعان بمائة مرة. كان الجهاز يلتقط هذا التشويش ليلًا ونهارًا، وكان موزَّعًا بالتساوي عبر السماء (لم يكن التشويش آتيًا إذن من مصدر واحد على الأرض أو من الفضاء). كان من الجليِّ أنه آتٍ من خارج مجرتنا، ولم يتمكَّنا من تفسير ذلك.

ومن حسن الطالع أنه على بُعد ٣٧ ميلًا فقط، في برينستون بولاية نيوجيرسي، كان الفيزيائيون روبيرت ديك، وجيم بيبلز، وديفيد ويلكينسون يعملون على مشكلةٍ وثيقة



شكل ١-٦: روبرت دبليو ويلسون (على اليسار) وأرنو بنزياس (على اليمين) أمام قرن استشعار الموجات الميكروية الخاص بهما، والذي الْتقط دليلًا على إشعاع الخلفية الكوني المتخلف من أثر الانفجار الكبير. (إهداء من «ويكيميديا كومنز»)

الصلة بهذا الأمر. ففي أربعينيات القرن العشرين، تنبَّأ جورج جامو ورالف ألفر بوجود «ضوضاء» في الخلفية متبقية من الانفجار الكبير، عندما تفجر كل شيء بدفقات ضخمة من الإشعاع. كان علماء برينستون في بداية تجاربهم للكشف عن تلك الضوضاء، عندما قال صديقٌ ما لبنزياس إنه اطَّلع على ورقةٍ علمية، لم تُطبع بعدُ، لمجموعة برينستون التي تنبَّأت بضوضاء الخلفية نفسها. تواصلت المجموعتان، وعرض بنزياس وويلسون ما اكتشفاه. ويا للمفاجأة؛ لقد اكتشف عالِما مختبرات بِل بالصدفة الدليلَ على أن الانفجار

الكبير قد حدث بالفعل. فاز بنزياس وويلسون بجائزة نوبل في الفيزياء لعام ١٩٧٨، عن هذا الاكتشاف الذي حدث بالكامل عن طريق الصدفة!

هذه القصص أمثلةٌ تقليديةٌ توضِّح كيف يمكن للبحث العلمي «الخالص» أن يؤدي إلى اكتشافات مذهلة. في بعض الأحيان يتوصل إلى الاكتشافات أشخاصٌ يبحثون عن حل لمشكلة بعينها. لكن في أغلب الأحيان، يقوم العلماء والمهندسون بإنجازات مهمة عن طريق ممارسة البحث فحسب، أي ممارسة البحث لغرض البحث في حد ذاته. لكن أفضل الإنتاج العلمي في الغالب يتحقق عن طريق جمع نطاق واسع من البيانات عن موضوع محدَّد، بدون معرفة ما يمكن أن نجده. عادةً ما يتهكَّم الساسة وغيرهم على الأبحاث التي لا يكون لها هدف محدد، ويحاولون منع التمويل عن مثل هذه المشروعات. وبالرغم من ذلك، فالبحث من أجل البحث في حد ذاته هو ما أدى إلى الاكتشافات العظيمة في العلم جميعها تقريبًا، وبدونه سينتهي العلم، وستنتهي معه الطفرات العلمية والاكتشافات التي يمكن أن تنقذ حياتنا وتنفعنا جميعًا.

منذ هذا الاكتشاف، خضع نموذج الانفجار الكبير للكثير من التعديلات؛ إذ يستخدم الفيزيائيون خصائص المادة ومعادلات الفيزياء ليعرفوا كيف حدث كل شيء. وأحدثُ الأساليب الموجودة لدينا يؤرِّخ وقت الانفجار الكبير بأنه حدث منذ نحو ١٣,٨ مليار سنة تقريبًا. في البداية، كان الكون عبارةً عن «متفردة»، وهي منطقة صغيرة بشكل لا نهائي، عالية الطاقة، وذات كثافة لا نهائية. وبعد مرور ١٠ ملِّي ثوانٍ على هذه المتفردة، امتلأ الكون بجزيئاتٍ عالية الطاقة، تتمدد بسرعة كبيرة في كل الاتجاهات، في درجات حرارة تتعدى التريليون درجة كلفنية. كانت الحرارة مرتفعة للغاية حتى إنه لم يكن للمادة وجود، بل الإشعاع فحسب، ولم يكن للزمان والمكان المعنى الذي نعطيه لهما الآن، وإنما كانا مُلتوِيَين بشكل لا نهائي حول هذه المنطقة الشديدة الكثافة. وخلال الثواني القليلة التالية، انخفضت حرارة الكون بما يكفي لتكوين الجُسيمات دون الذرية، وظهرت المادة في صورة ذرَّات في غضون حوالي ٣٨٠٠٠٠ سنة. استمر التمدد خلال الاثني عشر مليار سنة التالية، وبدأت كُتَل عشوائية من المادة تندمج لتُكوِّن نجومًا ومجرات وكوازارات. واحترقت بعض هذه النجوم بالفعل وانفجرت، منتجِةً العناصر الأثقل، كالأكسجين، والسيليكون، والكربون، والحديد ... إلخ، والتي تُكوِّن معظم المادة في النظام الشمسي. وعلى هذا النحو، فنحن جميعًا نُعد من غبار النجوم.

لقد علَّمَنا علمُ الفلك أن الكون هائل بدرجة نعجز عن إدراكها، وأن البشر ليسوا سوى جزء صغير منه. لقد تلقَّى غرورُنا الكوني، الذي ورثناه عبر آلاف السنين من

الثقافة والأسطورة، ضربةً مميتة. ففكرة أننا في مركز الكون، وأن الكون قد خُلِق من أجلنا تحطمت بفعل الجهد الدَّءوب لاكتشاف ماهية الكون الحقيقية، وليس ما نودُّه أن يكون عليه. وقد عبَّر كارل ساجان عن هذا المعنى في برنامج «كوزموز» قائلًا:

> منذ أن كان لنا نحن البشر وجودٌ في هذا الكون، ونحن نبحث عن موضعنا فيه. أين نحن؟ من نحن؟ ثم نكتشف أننا نحيا على كوكب عديم الأهمية، لنجم رتيب تائه، في مجرة تقبع بعيدًا في زاويةٍ منسيَّة من كون به من المجرات أكثر مما يوجد من البشر. وهذا المنظور للكون هو امتدادٌ شجاع لوَلَعنا ببناء نماذج ذهنية للسموات واختبارها، مثلما حدث عندما وصفنا الشمس بأنها حجر ملتهب، والنجوم بأنها شعلة سماوية، والمجرة بأنها العمود الفقري للَّيل.

قراءات إضافية

Bartusiak, Marcia, *The Day We Found the Universe*, New York: Pantheon, 2009.

Bembenek, Scott, *The Cosmic Machine: The Science That Runs Our Universe and the Story Behind It*, New York: Zoari Press, 2017.

Brockman, John, ed., *The Universe: Leading Scientists Explore the Origin, Mysteries and Future of the Cosmos*, New York: Harper Perennial, 2014.

Carroll, Sean, *The Big Picture: On the Origins of Life, Meaning and the Universe Itself*, New York: Dutton, 2016.

An Illustrated Guide to the Cosmos and All We Know About It, New York: Chartwell Books, 2017.

Hazen, Robert, *The Story of Earth: The First 4.5 Billion Years from Stardust to Living Planet*, New York: Penguin, 2013.

Krauss, Lawrence, *The Greatest Story Ever Told … So Far: Why Are We Here*? New York: Atria Books, 2017.

_____, *A Universe from Nothing: Why There Is Something Rather Than Nothing*, New York: Atria Books, 2012.

Natarajan, Priyamavada, *Mapping the Heavens: The Radical Scientific Ideas that Reveal the Cosmos*, New Haven, Conn.: Yale University Press, 2016.

Perlov, Delia and Alex Velenkin, *Cosmology for the Curious*, Berlin: Springer, 2017.

Ryden, Barbara, *Introduction to Cosmology*, Cambridge: Cambridge University Press, 2017.

Sagan, Carl, *Cosmos*, New York: Ballantine, 2013.

Saraceno, Pablo, *Beyond the Stars: Our Origins and the Search for Life in the Universe*, New York: World Scientific, 2012.

Silk, Joseph, *The Big Bang*, 3rd ed., New York: W. H. Freeman, 2001.

Singh, Simon, *Big Bang: The Origin of the Universe*, New York: Harper Perennial, 2005.

Sobel, Dava, *The Glass Universe: How the Ladies of the Harvard Observatory Took the Measure of the Stars*, New York: Viking, 2016.

Tyson, Neil deGrasse and David Goldsmith, *Origins: Fourteen Billion Years of Cosmic Evolution*, New York: Norton, 2004.

الفصل الثاني

هاوية الزمن

عمر الأرض الهائل

نتيجة بحثنا الحالي إذن هي أننا لا نجد أثرًا لبداية، ولا أُفقًا لنهاية.
جيمس هاتون، «نظرية الأرض» (١٧٨٨)

بدا أن العقل أصابه الدوار جراء النظر عميقًا في هاوية الزمن.
جون بلايفاير (١٨٠٥)

[إن مفهوم الزمن الجيولوجي] يصيبك بالفصام. فمقياسا الزمن — أحدهما بشري وعاطفي، والآخر جيولوجي — يختلف أحدهما عن الآخر أشد الاختلاف. لكن العامل الأهم لنجاح التواصل مع غير المتخصصين في الجيولوجيا هو أن نجعلهم على دراية بجانب من مفهوم الزمن الجيولوجي؛ بطء العمليات الجيولوجية التي لا يتجاوز تأثيرها سنتيمترات قليلة في السنة الواحدة، مع تراكم هذه التأثيرات إلى حد الضخامة إذا استمرَّت لسنواتٍ كافية. فمليون عام هو رقم صغير على مقياس الزمن الجيولوجي، بينما التجربة البشرية سريعة الزوال، وأنا أعني التجربة البشرية بأكملها منذ بدايتها، وليس عمرًا واحدًا وحسب. ولا يتزامن المقياسان إلا في بعض الأحيان القليلة فحسب.

إلدريدج مورز، في «تجميع كاليفورنيا»
لجون ماكفي (١٩٩٣)

منذ بَدْء التاريخ المُدوَّن، وضع البشر أفكارًا مختلفةً بشأن زمن وقوع الأحداث في الماضي السحيق. ففي الهند وفي بعض مناطق جنوب آسيا وشرقها، نظرت ثقافات كثيرة إلى الزمن على أنه سرمدي ودوري. ووفقًا لهذا المنظور، ليس للأرض ولا للحياة بداية أو نهاية، بل هما جزء من دورة لا تنتهي. وابتكرت بعض الثقافات الأخرى أساطير عن الخلق تُفسِّر بداية الكون في نقطة زمنية فريدة في الماضي. ففي بعض أساطير الخلق اليابانية، ظهرت كتلة مختلطة من العناصر على هيئة بيضة، ولاحقًا في القصة أنجبت الإلهة إيزانامي، آلهة أخرى. وفي الأساطير الإغريقية، وضع الطائر نيكس بيضة فقست إيروس إله الحب، وتحولت أجزاء القشرة إلى جايا وأورانوس. وفي أسطورة أوروكويس، وقعت «سيدة السماء» من جزيرة طافية في السماء لأنها كانت حبلى، ودفعها زوجها خارجًا. وبعدما هبطت، أنجبت العالم المادي. وآمن سكان أستراليا الأصليون بـ «الشمس الأم» التي خلقت كل الحيوانات والنباتات والمسطحات المائية بإيعاز من «أبي جميع الأرواح».

وفور أن أصبحت فكرةُ وجود بداية أصيلة لخلق الكون جزءًا من الثقافة الغربية، أصبح السؤال التالي هو «منذ متى حدث ذلك؟» ولم تستطع أغلب الثقافات أن تتخيل أن الكون عمره أكثر من بضعة آلاف من السنين. اعتبرَت هذه الثقافات أن الأرض في مركز الكون، وأن النجوم مُثبَّتة على «قُبَّة سماوية» عظيمة (انظر الشكل ١-١). واعتقدت أيضًا أن الشمس والقمر والكواكب التي تجول في السماء (فالمرادف الإنجليزي لكلمة «كواكب» يعني «متجولون» باليونانية) تُحمَل كلها على عجلات ضخمة تحيط بالأرض، وكأنها «تتحرك» على خلفية من النجوم «الثابتة».

آمنت هذه الثقافات أن الأرض نفسها خُلِقت على الشاكلة التي نراها عليها اليوم، أي إنها مثالية ولم تتغير منذ أن تكوَّنت. وكان وجود أي علامة على حدوث تغيير، مثل تآكل أو انهيار، يُفسَّر على أنه نتيجة لخطيئة آدم. وحتى بدايات القرن السابع عشر، كان معظم قاطني العالم الغربي يعتقدون أن الأرض مركز الكون، وأن عمرها لا يتجاوز بضعة آلاف من السنين، وأنها لم تتغير منذ تكوينها إلا فيما يتعلق بالتلف الناتج عن هبوط آدم عليها. حتى المؤرخ الطبيعي البارز جون وودوارد كان تفكيره اعتياديًّا بالنسبة لعصره. فقد كتب في سنة ١٦٩٥ يقول: «لم تزل الكرة الأرضية حتى يومنا هذا على حالتها نفسها التي كانت عليها منذ الطوفان العالمي، وستظل على هذه الحالة إلى أن يجيء وقت خرابها وانحلالها؛ إذ تظل محفوظةً للغاية نفسها التي تكونت من أجلها للمرة الأولى.» وقبل

ذلك ببضعة عقود، في سنة ١٦٥٤، استخدم كبير الأساقفة جيمس أشر، رئيس أسقفية أرماج الأنجليكية في أيرلندا (التي كانت كاثوليكية في معظمها آنذاك، مع وجود قِلَّة فقط من الأنجليكيين)، أعمار البطاركة في الكتاب المقدس ليحدد وقوع عملية الخلق في الثالث والعشرين من أكتوبر من عام ٤٠٠٤ قبل الميلاد. وحدَّد باحث آخر، هو جون لايتفوت، أن الخلق كان في التاسعة صباحًا. كانت هذه إذن هي خلفية الثورة التي حدثت في التفكير وعُرِفت باسم «الزمن الجيولوجي».

كيف تغير مفهومنا عن الزمن وإدراكنا لعُمر الكون منذ ذلك العصر؟ إن أغلبنا يفكر في الزمن بالأيام والساعات، وإذا أردنا أن ننظر إلى الماضي، فقد نفكر في الزمن بالعقود، أو بقرن على الأكثر. فأغلب البشر لا يحيا لأكثر من ٧٠ أو ٨٠ عامًا، وقِلة فقط هم من يعيشون حتى قرن من الزمان. إننا نعتبر أنَّ الأحداث البشرية التي يزيد عمرها عن ألفَي عام أحداث «عتيقة»، ونجد صعوبة في فهم عالم العصور الوسطى، فضلًا عن الحياة في مصر القديمة مثلًا، أو حياة الإغريق أو الرومان. فالأحداث التي وقعت قبل خمسة آلاف عام تبدو مُستغلقةً علينا تمامًا.

ولك أن تقارن هذا المفهوم عن الزمن بالطريقة التي ينظر بها العلماء إليه. فنحن عادةً ما نتعامل بملايين السنين أو حتى المليارات. وحين نتعامل مع أحداث وقعت منذ ملايين السنين، فإن الخطأ بمقدار بضع مئات الآلاف من السنين بالزيادة أو النقصان لا يشكِّل أهمية. فنحن لا نستطيع في الغالب تحديد توقيت الأحداث التي وقعت في الماضي البعيد، منذ الآلاف من السنين أو مئات الآلاف. ويتعامل العلماء (لا سيما علماء الفلك والجيولوجيا) مع فتراتٍ ضخمةٍ من الزمن، مما دفع الكاتب جون مَكفي أن يطلق عليها «الزمن العميق». والاقتباس الذي يَرِد في بداية هذا الفصل (وهو من أحد كُتُب مَكفي) يُجسِّد جوهر مشكلة استيعاب الزمن الجيولوجي.

لم يَألَف البشر سوى التفكير في المدى القصير والمستقبل القريب، وهم يواجهون صعوبة في استيعاب ما تعنيه ملايين السنين. لذا ربما يجدر بنا أن نعرض تشبيهًا في هذا الصدد يساعد في استيعاب هذا المفهوم. من أكثر التشبيهات المشهورة هي أن نضغط الزمن الجيولوجي الذي يتألف من ٤,٦ مليارات سنة في ملعب كرة قدم أمريكية طوله ١٠٠ ياردة أو ٣٠٠ قدم، حيث تمثِّل كل بوصة ١,٤ مليون سنة. وفقًا لهذا المقياس، فإنَّ الياردة الواحدة (ثلاث أقدام) تساوي ٥٠ مليون سنة، و٥٠ ياردة (نصف الملعب) تساوي ٢,٣ مليار سنة. وعندما تدرس الأحداث المهمة في التاريخ الجيولوجي على هذا

المقياس، ستندهش من مقدار الزمن الذي مَر قبل ظهور الحفريات المرئية (الزمن ما قبل العصر الكامبري)، ومدى قِصَر الفاصل الزمني لجميع الأحداث المألوفة لنا. لو أنَّ مُستقبِل التسديدة تلقَّى الكرة على خط المرمى، لاضطُر أن يجري ٨٨ ياردة عبر الملعب، خلال الزمن ما قبل الكامبري كله قبل أن يظهر أول الحيوانات المتعددة الخلايا، كثلاثيات الفصوص، وذلك على بُعد ١٢ ياردة فقط من خط التسجيل. وداخل خط خمس الياردات (أي على بُعد أقل من خمس ياردات من خط المرمى) هو بداية عصر الديناصورات (الميزوزوي)، وسيكون على اللاعبين أن يركضوا ١,٥ ياردة من خط المرمى ليصلوا إلى نهاية عصر الديناصورات، حين اختفت جميعها (باستثناء نسلها من الطيور). يقع عصر الثدييات كله في آخر ١,٥ ياردة، ونجد أول أفراد سلالة البشر على بعد ٨,٣ بوصات فقط من خط المرمى. ويبدأ العصر الجليديُّ على مسافة ٣,٦ بوصات من خط المرمى. ويظهر أول أفراد النوع الذي ننتمي إليه، «الإنسان العاقل»، على بعد ٠,٣ بوصة فقط قبل خط المرمى. أما الخمسة آلاف سنة الأخيرة من الحضارة الإنسانية، فلا تمثِّل سوى ٠,٠٨ بوصة، أي أقل من سمك ورقة عشب. ولو كان خط الطباشير الذي يحدد خط المرمى أكثر اتساعًا بمقدار قليل، لَمَحا التاريخ البشري كله.

سوف نعرض أيضًا تشبيهًا آخر. لنضغطْ تاريخ الأرض كله البالغ ٤,٦ مليارات سنة إلى سنة واحدة، ٣٦٥ يومًا. عندما تُقسِّم ٤,٦ مليارات سنة إلى ٣٦٥ قطعة، سيُمثِّل كل يوم ١٢,٣ مليون سنة. وتصبح كل ساعة مكافئة لنصف مليون سنة تقريبًا (٥١٣,٦٦٠ سنة بالتحديد)، وتمثل كل دقيقة ٨,٥٦١ سنة. فإذا كانت الأرض قد تشكلت في رأس السنة، فلن يظهر أول أشكال البكتيريا البسيطة حتى الحادي والعشرين من فبراير. وتمضي الشهور والحياة لا تزيد تعقيدًا عن الكائنات الوحيدة الخلية، حتى نصل إلى الخامس والعشرين من أكتوبر عندما تظهر أولى الحيوانات المتعددة الخلايا (كثلاثيات الفصوص والإسفنجيات). يطلق علماء الجيولوجيا على هذه الفترة اسم العصر الكامبري. وبحلول الثامن والعشرين من نوفمبر، نصل إلى العصر الديفوني حين كانت البحار مليئةً بأسماكٍ مفترسةٍ ضخمة، وحين زحفت أول البرمائيات إلى اليابسة المغطَّاة بأولى الغابات الحقيقية.

وبحلول السابع من ديسمبر (ذكرى الهجوم على بيرل هاربر)، نكون قد وصلنا إلى فترة العصر البرمي قبل حوالي ٢٥٠ مليون سنة، حين لم يكن باليابسة سوى قارة عملاقة وحيدة تمتدُّ من القطب الشمالي إلى القطب الجنوبي تُدعى «بانجيا»، ومحيط واحد

يغطي تقريبًا ثلاثة أرباع الكوكب. هيمنت على اليابسة برمائيات ضخمة بحجم التماسيح، ومجموعة متنوعة من الزواحف الأولية، وكائنات ضخمة قريبة من الثدييات غطَّت ظهورَها الزعانفُ. وبحلول الخامس عشر من ديسمبر نصل إلى العصر الجوراسي، وهو اسم نَأْلَفه بفضل سلسلة أفلام ناجحة، حين راحت الديناصورات الضخمة تجوب الكوكب، وظهرت أولى الثدييات والسحالي والطيور. وينتهي عصر الديناصورات في يوم عيد الميلاد عندما محت أحداثٌ كارثية وجودَ الديناصورات الضخمة، والعديد من المجموعات الحيوانية المهمة في البحار، كالزواحف المائية. ويمكننا ضغط الأعوام الستة والستين مليونًا الماضية من عمر الثدييات بأكملها في الأسبوع الأخير بين يوم عيد الميلاد ورأس السنة. ولا يظهر أول أقربائنا من البشر إلا قبل سبع ساعات من منتصف ليلة رأس السنة، أما أول أفراد جنسنا (الإنسان) فلا يظهر إلا قبل منتصف الليل بساعة واحدة فقط. وتَمُر الحضارة الإنسانية بأكملها سريعًا في آخر دقيقة من العد التنازلي لرأس السنة. ومعنى هذا أنك إذا بدأت الاحتفال مبكرًا بضع ثوانٍ فحسب، فسيتلاشى التاريخ البشري كله.

إنَّ عرض تاريخ الأرض على هذا النحو يضع من شأننا، ومن شأن إحساسنا المبالَغ فيه بأهميتنا. إننا هامشيون، وقد جئنا إلى مسرح تاريخ الأرض متأخرين للغاية، ونحن حتى لم نقضِ على الأرض بقدر ما قضت عليها معظم الأنواع في السجل الأحفوري. إننا لا نستطيع تتبُّع نَسب الجنس البشري إلى أبعد من سبعة ملايين سنة تقريبًا، بينما هيمنت الديناصورات على الكوكب لأكثر من ١٣٠ مليون سنة. تذكَّرْ هذا في المرة القادمة التي تسمع فيها شخصًا يستخدم كلمة «ديناصور» ليصف شيئًا ما بأنه قديم عفا عليه الزمن. سنكون محظوظين إذا تمكنا من البقاء بقدر ما بقيت معظم الأنواع على الكوكب. ومثلما قال الكاتب الأسطوري مارك توين (بذكائه اللاذع وسخريته) في مقالته «هل خُلِق العالم من أجل الإنسان؟»:

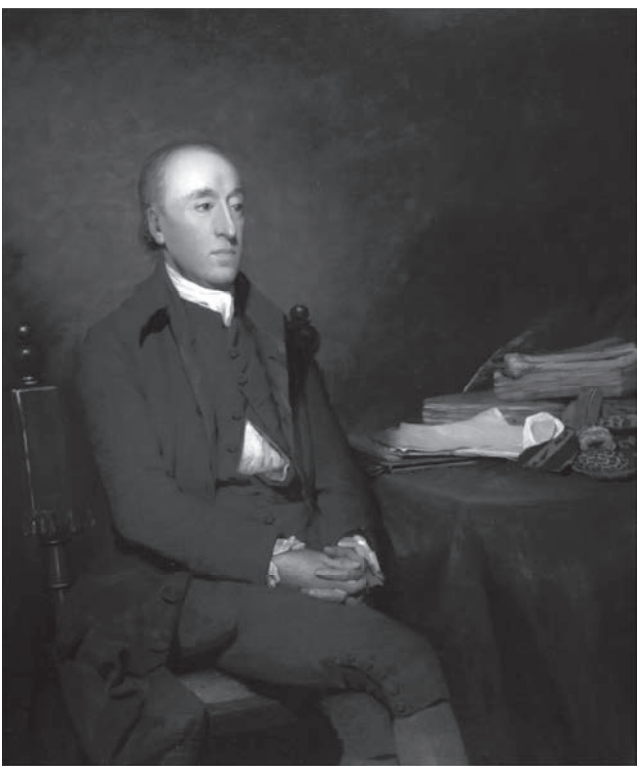
> لو أنَّ برج إيفل كان يُمثِّل عمر العالم، لكانت طبقة الطلاء الموجودة على مقبض قمة البرج هي ما يعبِّر عن نصيب الإنسان من ذلك العمر، ولاعتقدَ الجميع أنَّ البرج قد بُني لأجل هذه الطبقة من الطلاء. أظن أنهم كانوا سيعتقدون ذلك. لا أعلم.

كيف اكتشفنا العمر الهائل للأرض والكون؟ إن تاريخ إدراك ضخامة الزمن الجيولوجي لا يتجاوز مائتَي عام إلا قليلًا، ولم نبلغه إلا بمشقة. وعلى الرغم من أن بعض

الإغريق والرومان اعتقدوا أن الأرض قديمة للغاية، فإنَّ فَهْمنا الحديث لعمر الأرض لم يبدأ حتى نهاية القرن الثامن العشر، عندما حلَّ عصر التنوير على أوروبا (وهو العصر الذي يُشار إليه أحيانًا باسم «عصر العقل»). تميز عصر التنوير بكونه عصر الاكتشافات العلمية، وفيه تحرَّر البحث العلمي من قيود الكنيسة الكاثوليكية وطبقة النبلاء. كان لمفكِّري عصر التنوير، مثل فولتير، ومونتسكيو، وجون-جاك روسو، ودينيس ديديرو في فرنسا، ولفلاسفة مثل جورج بيركلي، وجيريمي بينثام، وجون لوك، والعالم إسحاق نيوتن في إنجلترا؛ بالِغُ الأثر. فقد صبُّوا اهتمامهم على الدليل والعقل والمنهج العلمي، على حساب الماورائيات والأساطير التي توارثوها على مدار قرون.

ومن المثير للدهشة أنَّ مدينة إدنبرة في اسكتلندا كانت إحدى بؤر الثَّوَران الفكري، رغم أنها لم تكن عاصمةً رئيسيةً لدولة كبيرة. ففي ذلك الوقت، كانت نِسَب المعرفة بالقراءة والكتابة في اسكتلندا من بين أعلى النسب في العالم؛ إذ كانت الكنيسة المشيخية الحاكمة لأجزاءٍ من اسكتلندا تؤمن بأنه ينبغي للجميع أن يكونوا قادرين على قراءة الكتاب المقدس وتفسيره بأنفسهم، دون الاعتماد على رجال دين ليقرءوه لهم. أقامت الكنائس مدارس عامة، وحاولت أن تحرص على أن يكون كلُّ مواطن اسكتلندي قادرًا على القراءة والكتابة، بغضِّ النظر عن مكانته الاجتماعية. تبيَّن أنَّ الاسكتلنديين كان لديهم ظمأٌ للمعرفة، وقامت المكتبات العظيمة والعديد من دور النشر بإنتاج الكتب والصحف بكثافة. ونظرًا للتأثير الضعيف نسبيًّا للكنائس العديدة المختلفة، لم تشهد اسكتلندا الاضطهاد الكهنوتي مثلما حدث في إنجلترا أو فرنسا أو معظم أوروبا. ونتيجةً لذلك، أصبحت إدنبرة عاصمة «التنوير الاسكتلندي» البارزة بحلول نهايات القرن الثامن عشر. ففي المنطقة نفسها من إدنبرة، كان يعيش مفكرون مبدعون لامعون، مثل المؤرخ والفيلسوف ديفيد هيوم (مؤسس منهج الشك الحديث)، وآدم سميث (مؤلف كتاب «ثروة الأمم»، أول كتاب عظيم يشرح الرأسمالية)، والكيميائي جوزيف بلاك، والمخترع جيمس واط (الذي بنى أول محرك عملي يعمل بالبخار ومهَّد بذلك للثورة الصناعية). معظمهم كانوا رفقاء شراب في النوادي الاجتماعية؛ حيث كانوا يناقشون الأفكار ويتباحثون في العلم والفلسفة والدين والحُكم، والعديد من الموضوعات الأخرى دون خوف من الاضطهاد. أثَّرت هذه الشخصيات البارزة في الآباء المؤسِّسين للولايات المتحدة، مثل بنجامين فرانكلين وتوماس جيفرسون، اللذَين زارا إنجلترا وفرنسا واسكتلندا، وقابَلا العديد من كبار المفكرين. والحق أنَّ قدرًا كبيرًا من إعلان الاستقلال ودستور الولايات المتحدة مستمَدٌّ من أفكار جون لوك، والفلاسفة الفرنسيين بشكلٍ مباشر.

ومن عباقرة التنوير الاسكتلنديِّ رجلٌ نبيلٌ ومالك أرض يُدعى جيمس هاتون (الشكل ٢-١). وُلد جيمس هاتون بإدنبرة في الثالث من يونيو عام ١٧٢٦، وتُوفي في السادس والعشرين من مارس عام ١٧٩٧. اشتهر هاتون في عصره بصفته كيميائيًّا وعالم طبيعة، وهو يُعَد الآن «أبا الجيولوجيا الحديثة». فعلى الرغم من أنه تلقى تعليمه في القانون والطب، فقد كان أكثر اهتمامًا بالكيمياء والتاريخ الطبيعي، ومارس هذه الهوايات بمنهج تفكير مستقل للغاية.



شكل ٢-١: جيمس هاتون في عام ١٧٧٦، كما رسمه هنري رايبورن. (إهداء من «ويكيميديا كومنز»)

لما كان هاتون أحد الإقطاعيين مُلاك الأراضي، وورث عدة مزارع ضخمة في أرجاء اسكتلندا، استخدم معرفته بالكيمياء ليحدد كيفية تسميد حقوله، وسافر على نطاق واسع بحثًا عن وسائل جديدة لتحسين الممارسات الزراعية. وفي غضون ذلك، قاده فضوله إلى عدة ملاحظات عن عملية التجوية البطيئة، وكيفية تكوُّن التربة، وانجراف الرواسب إلى البحر ببطء، ثم تراكمها طبقةً فوق طبقة. وفي النهاية، أجَّر ممتلكاته لمزارعين، وعاد إلى إدنبرة ليتفاعل مع غيره من المفكرين العظماء، مثل آدم سميث وجوزيف بلاك، اللذين كانا من أقرب أصدقائه. سافر هاتون كثيرًا في أرجاء اسكتلندا مضيفًا إلى ذخيرته من الملاحظات، وساعيًا إلى إجابات عن أسئلته بشأن آليات كوكب الأرض. نشر هاتون أفكاره عام ١٧٨٨ في ورقة بحثية علمية عنوانها «نظرية الأرض: أو بحث في القوانين المشاهَدة في تكوُّن الأرض وتحلُّلها واستصلاحها على الكوكب»، ونشرها مجددًا في كتاب «نظرية الأرض» الصادر عام ١٧٩٥.

أدرك هاتون أن كل ما رصده يدل على أن العمليات التي تحدث على كوكب الأرض تجري تدريجيًّا وببطء شديد. فقد استغرق الأمر سنوات لتتكون التربة السميكة، وقرونًا لتتراكم طبقات الرواسب في قاع البحيرات. زار هاتون جدار هادريان (الشكل ٢-٢)، الذي بناه الرومان على طول اسكتلندا قبل أكثر من ١٥٠٠ عام، ولم يرَ أي علامات على أن الحجارة قد تغيَّرت، أو حتى تعرَّضت للكثير من عوامل التجوية خلال كل تلك القرون. وإضافةً إلى ذلك، طبَّق هاتون فلسفة الطبيعانية التي ظهرَت في عصر التنوير على الجيولوجيا، واستنتج أن العمليات الطبيعية التي نراها اليوم — التجوية البطيئة، والتعرية، ونقل الرواسب — قد عملت، لا بد، بالطريقة نفسها في الماضي الجيولوجي. فمن الممكن وصف الصخور القديمة وتفسيرها من خلال العملياتِ القابلة للرصد، وتلك العملياتُ التي تجري الآن فوق الأرض وداخلها إنما تجري على نحو ثابت موحَّد، على مدى فترات طويلة للغاية من الزمن. وقد صيغَ هذا الاستنتاج فيما صار يُعرَف بعد ذلك بنظرية «الوتيرة الواحدة»، أي إنَّ العمليات الطبيعية تحدث بوتيرة واحدة عبر الزمن. وقد لخَّص أحد أتباع هاتون، وهو أرشيبالد جايك، هذا المفهومَ بقوله: «الحاضر مفتاح الماضي». فلا بد أن نستخدم فهمنا للقوانين والعمليات الطبيعية في الحاضر لفهم تلك التي حدثت في الماضي.

كان ما حفز أفكار هاتون بقوة هو رصده لنتوءات ما يُعرَف اليوم باسم اللاتوافق الزاوي. في هذا التكوين، تكون الصخور الموجودة في الجزء السفلي متجهةً إلى الأعلى بزاويةٍ

شكل ٢-٢: كان جيمس هاتون يعرف السور الروماني الذي بُني عبر الحدود الجنوبية لاسكتلندا، والمعروف باسم جدار هادريان، والذي شُيِّد عام ١٢٢ ميلاديًّا تقريبًا. انبهر هاتون بقِلة علامات التجوية التي بدَت على الجدار خلال الأعوام الألف والخمسمائة التي مرَّت منذ بنائه، واستنتج، بناءً على هذا، أنَّ الصخور الموجودة على سطح الأرض تتعرَّض للتجوية أيضًا، وللتآكل ببطء شديد على مدى المئات أو الآلاف من السنوات. (تصوير المؤلف)

على جانبها، ثم تتآكل طبقتها العلوية، ثم تترسَّب الصخور الأحدث على السطح المتآكل القديم (الشكل ٢-٣). استنتج هاتون أن الطبقات السفلية كانت تقبع أفقيًّا قبل ذلك في قاع نهر أو محيط. واستحالت بعد ذلك من رمال ناعمة وطين إلى حجر رملي صُلب وحجر طيني، وهي عملية تستغرق ملايين السنين. وبعد فترة من الزمن، مالت هذه الطبقات على جانبها بفعل قوًى بالغة الشدة، ثم رُفِعت في الهواء كالجبال ثم تآكلت، مثلما يحدث

شكل ٢-٣: اللاتوافق الزاوي الشهير في سيكار بوينت، بيرويكشاير، على الساحل الشرقي لاسكتلندا. رأى هاتون هذا النتوء لأول مرة في آخر رحلة ميدانية كبرى له، وقد رسَّخ قناعاته بأن الأرض قديمة للغاية. أدرك هاتون أن التسلسل السفلي للصخور قد تشكَّل في الأصل حتمًا على شكل كومة سميكة من الرمال والطين في قاع المحيط، ثم ضُغِطت هذه الكومة لتكوِّن الحجر الرملي والصخور. وبعد ذلك، مالت هذه الصخور تدريجيًّا في اتجاه عمودي. وبعد فترة من الزمن، رُفعت هذه الصخور إلى سلسلة جبلية تآكلت، مما أدى إلى تشكيل السطح المتآكل الذي يقطع حواف الطبقات المائلة. غرق السطح المتآكل بأكمله مرة أخرى، وغطَّته رمال أحدث تحولت الآن إلى أحجار رملية. أدرك هاتون أن كلًّا من هذه العمليات يستغرق آلاف السنين أو أكثر، مما أشار إلى أن تشكيل اللاتوافق الزاوي بأكمله لا بد أنه يمثل قدرًا هائلًا من الزمن. (إهداء من «ويكيميديا كومنز»)

في الجبال اليوم ونشهد حدوثه. وأخيرًا، أنَّ تلك الجبال نفسها قد تآكلت أو غرقت، ثم غُطِّيت بطبقة من الرواسب الأحدث. ونظرًا لمعرفته بمدى بطء المعدلات الحديثة للتجوية والتآكل، والوقت الذي يستغرقه ترسب آلاف الطبقات من الرواسب، أدرك هاتون أن اللاتوافق الزاوي يمثِّل حتمًا فترة تتراوح من آلاف إلى ملايين السنين، وليس مجرد ٦٠٠٠ عام مثلما كان رجال الدين يعتقدون. وعلى حد تعبير هاتون، فإنه لم يرَ «أثرًا لبداية،

ولا أُفقًا لنهاية». اكتشف هاتون أنَّ الأرض قديمة للغاية، وتعمل وفق مقياس زمني نجد صعوبة شديدة في استيعابه. ذهب هاتون إلى أن مجمل هذه العمليات الجيولوجية يمكن أن تُفسِّر الأشكال الأرضية الحالية في جميع أنحاء العالم تفسيرًا كاملًا، وأنَّنا لا نحتاج إلى أي تفسيرات من الكتاب المقدس في هذا الصدد. وأخيرًا، أشار هاتون إلى أن عملياتِ التعرية ونقل الرواسب والترسيب والرفع هي عملياتٌ دورية، وأنها يجب أن تكون قد تكررت عدة مرات على مدار تاريخ الأرض. ونظرًا للفترات الزمنية الهائلة اللازمة لمثل هذه الدورات، أكد هاتون أن عمر الأرض لا بد أن يكون كبيرًا إلى حد لا يمكن تصوره.

على مدار قرن كامل بعد عمل هاتون، لم يتمكن أحد من تحديد عمر الأرض حقًّا. جمع الجيولوجيون القِيَم العددية القصوى للصخور التي تمثِّل جميع العصور على المقياس الزمني الجيولوجي، باستخدام المعدلات القياسية لتراكم الرواسب، وحاولوا حساب أقل فترة زمنية يمكن أن تكون قد مرَّت منذ العصر الكمبري. أشارت تقديراتهم إلى أن عمر الأرض يبلغ حوالي ١٠٠ مليون سنة، أي إنهم أخطئوا في التقدير بمقدار خمسة أضعاف على الأقل. لماذا إذن بلغ الخطأ في تقديراتهم هذه الدرجة الكبيرة؟ كان سجلُّ الصخور يضم الكثير من الفجوات في حالات التآكل، أو حالات اللاتوافق، حيث لم تُرسَّب أية صخور، لتمثل فترات هائلة من الزمن. قدَّر الفيزيائي الأيرلندي جون جولي عمر الأرض من خلال حساب المدة اللازمة لتراكم محيطات العالم مقدار ما تحتوي عليه من ملح (حوالي ٣٫٥ بالمائة من مياه البحر العادية)، وذلك بناءً على المعدلات المعتادة التي يتعرى بها الملح من اليابسة، ويترسَّب في المحيط. كان التقدير الذي توصَّل إليه هو أيضًا من ٨٠–١٠٠ مليون سنة، مبتعدًا هو أيضًا عن التقدير الفعلي بمقدار خمسة أضعاف. تضمن هذا التقدير افتراضاتٍ خاطئةً مثلما حدث في التقديرات التي سبقته. والافتراض الخاطئ في هذه الحالة أننا نعلم أن تركيز الملح في المحيطات لا يتغيَّر كثيرًا بمرور الزمن، وإنما يظل في حالة اتِّزان مستقر. ذلك أنَّ الملح الفائض يُسحَب من المحيط عندما تتشكل كميات كبيرة من الرواسب التبخرية، مما يحبس هذا الملح في قشرة الأرض.

جاء التقدير الأشهر لعمر الأرض على يد الفيزيائي الأسطوري ويليام طومسون، الأكثر شهرة بلقب «لورد كلفن». افترض طومسون أن الأرض بدأت كتلةً منصهرة في مثل درجة حرارة الشمس، وحسبَ عمر الأرض من خلال قياس معدل تسرب الحرارة من التيار الحراري القادم من باطن الأرض. كان التقدير الذي توصل إليه هو ٢٠ مليون سنة فقط، وهو عمر أصغر من أن يقبله معظم الجيولوجيين أو تشارلز داروين. وخلال

الجزء الأكبر من أواخر القرن التاسع عشر، بدأ الجيولوجيون يتحيَّزون بتقديراتهم نحو فترات أقصر وأقصر إرضاءً لكلفن. فقد كانت الغيرة من الفيزياء شديدة آنذاك بقدر ما هي عليه الآن!

ما الخطأ إذن في تقديرات كلفن؟ وضع كلفن افتراضَين خاطئين: (١) أن كل الحرارة التي قمنا بقياسها من باطن الأرض يعود أصلها إلى وقت تكوُّن الأرض، و(٢) أنه لا يوجد مصدر آخر للحرارة. وفي عام ١٨٩٦، اكتشف هنري بيكريل النشاط الإشعاعي، وبحلول عام ١٩٠٣، اكتشفت ماري كوري وزوجها بيير كوري أن المواد المشعَّة، مثل الراديوم، تنتج الكثير من الحرارة خلال الاضمحلال النووي. وفي عام ١٩٠٤، توصل إرنست رذرفورد، عالم الفيزياء بجامعة كامبريدج، إلى العديد من الاكتشافات بشأن النشاط الإشعاعي. كان رذرفورد يستعد لإلقاء محاضرة عن عمله في المعهد الملكي لبريطانيا العظمى، عندما أدرك أن اللورد كلفن البالغ من العمر ٨٠ عامًا كان بين الحضور. كان أمرًا مخيفًا لرذرفورد الشاب أن يتحدث أمام اللورد كلفن نفسه، وأن يوضِّح له خطأه. وعن ذلك كتب رذرفورد لاحقًا يقول:

> دخلت إلى الغرفة وكانت خافتة الإضاءة، وسرعان ما ميزتُ اللورد كلفن بين الحضور، وأدركت أني سأكون في ورطة حين أصل إلى الجزء الأخير من حديثي الذي يتناول عمر الأرض، حيث تتعارض آرائي مع آرائه ... شعرت بالارتياح إذ غرق كلفن في النوم، لكني حين وصلت إلى النقطة المهمة، رأيت العجوز يعتدل في جلسته، ويفتح عينًا ليرميني بنظرة متوعدة. حينها أتاني إلهام مفاجئ، فقلت إن اللورد كلفن حدَّ من عمر الأرض بشرط عدم اكتشاف مصدر جديد [للحرارة]. وقد أشارت هذه النبوءة إلى ما نناقشه الآن، الراديوم! فابتسم العجوز في وجهي!

استند تقدير كلفن إلى الافتراض الخاطئ بأنه لا توجد مصادر أخرى للحرارة بخلاف الحرارة الأصلية للأرض، عندما بردت من كتلة منصهرة، وأنها ستبرد خلال ما لا يزيد عن ٢٠ مليون سنة. لكن النشاط الإشعاعي هو مصدرٌ إضافي للحرارة. والحق أنَّ النشاط الإشعاعي يوفر قدرًا كبيرًا من الحرارة، لدرجة أنه أصبح الآن المصدر الوحيد الذي نقيسه للحرارة القادمة من باطن الأرض. فالحرارة الأصلية الناتجة من تبريد الأرض، والتي اعتقد كلفن أنه كان يقيسها، تبددت منذ مليارات السنين، وربما حتى خلال أول عشرين مليون سنة بعد تشكُّل الأرض منذ ٤٫٦ مليارات سنة.

لم يفسر اكتشاف النشاط الإشعاعي بصفته مصدرًا للحرارة خطأً كلفن فحسب، بل قدَّم شيئًا آخر أيضًا؛ وسيلة لإيجاد العمر الحقيقي للأرض. فالانحلال الإشعاعي يعمل بمثابة ساعة من نوع ما. فعند انحلال عناصر غير مستقرة مثل اليورانيوم، تنتج ذرات وليدة مستقرة مثل الرصاص. لحساب عمر صخرة، كل ما عليك فعله هو قياس كمية اليورانيوم الأصلية وكمية الرصاص الوليدة في العينة؛ ومن ثَم قياس معدل انحلال الذرة الأصلية إلى ذرة وليدة.

كان أول من أدرك ذلك هو الكيميائي بجامعة يل، بيرترام بولتوود، الذي لاحظ أنه كلما كانت عيناته أقدم، احتوت على كمية أكبر من الرصاص. وبحلول عام ١٩٠٧، كانت لديه عينات يتراوح عمرها بين ٤٠ مليون سنة إلى أكثر من ٢,٢ مليار سنة. وبعد ذلك، طوَّر الجيولوجي البريطاني الشاب اللامع آرثر هولمز هذه الطريقة. فخلال عطلات عيد الميلاد في ديسمبر ويناير ١٩٠٩–١٩١٠، حلَّل هولمز سلسلة من الصخور بدقة شديدة، ونقَّح طريقة اليورانيوم–الرصاص للتأريخ، متخطيًا بذلك المشكلات التي أعاقت بولتوود. وبحلول عام ١٩١٣، حصل هولمز على العديد من النتائج، مما شجَّعه على نشر كتابه البارز «عمر الأرض»، وذلك بينما كان لا يزال طالبًا بمرحلة الدراسات العليا. (حصل أخيرًا على الدكتوراه في عام ١٩١٧.) كانت لديه عينات من بريطانيا يعود تاريخها إلى ١,٦ مليار سنة، ومع استمراره في تأريخ الصخور خلال مسيرته المهنية الطويلة في التدريس بجامعة دورهام، ثم بجامعة إدنبرة بعد ذلك (مكملًا بذلك دورة كاملة تعيده إلى الجامعة التي درس بها هاتون)، حصل على صخور من أزمنة أقدم وأقدم. بلغ عمر أقدم هذه العينات ٤,٥ مليارات سنة، وهو تقدير قريب للغاية من تقديراتنا الحالية لعمر الأرض. وأقدم المواد التي قمنا بتأريخها على الإطلاق هي نيازك كوندريتية، من النظام الشمسي الأصلي قبل تشكُّل الكواكب، وجميعها يبلغ من العمر حوالي ٤,٥٦٧ مليارات سنة.

لقد قطعنا شوطًا طويلًا منذ اعتقادنا أن الأرض قرصٌ مسطح يوجد في مركز الكون، وأن الكواكب والشمس تدور حولنا، وأن النجوم ما هي إلا نقاط دقيقة من الضوء على قبة سماوية. لكننا نعلم الآن مدى ضآلتنا وهامشيتنا مقارنة بالفضاء الشاسع، وفي سياق الزمن الجيولوجي. إنها رؤية تضع من شأننا، لكن هذا ما كشفه لنا العلم. وبالرغم من ذلك، فثمة وجه آخر لهذه الصورة؛ نحن النوع الوحيد الذي تمكن من إدراك كيفية تشكل كوكب الأرض والكون، وكيفية تطورنا على هذه الأرض وصولًا إلى هذه المرحلة.

وكما قال كارل ساجان في البرنامج التليفزيوني «كوزموس»:

> إن حجم الكون وعمره يتجاوزان الفهم البشري العادي. وفي مكان ما بين الضخامة والأبدية يقبع منزلنا الكوكبي الصغير. من منظور كوني، تبدو معظم الاهتمامات البشرية غير ذات أهمية، بل تافهة. لكن جنسنا البشري شاب وفضولي وشجاع وواعد للغاية. فعلى مدار بضعة آلاف قليلة من السنين الماضية، حقَّقنا أكثر الاكتشافات إثارةً للدهشة عن الكون وعن موضعنا فيه، وأكثرها مفاجأةً، وهي اكتشافات يبعث التأمل فيها على البهجة. إنها تذكِّرنا بأن البشر قد تطوروا ليتساءلوا، وأن الفهم متعة، وأن المعرفة شرط أساسي للبقاء. وأنا أعتقد أنَّ مستقبلنا يعتمد بقوة على مدى فهمنا لهذا الكون الذي نطفو فيه، مثلما تطفو ذرة من الغبار في السماء.

قراءات إضافية

Berry, William B. N., *Growth of a Prehistoric Time Scale*, San Francisco: W. H. Freeman, 1968.

Burchfield, Joe D., *Lord Kelvin and the Age of the Earth*, New York: Science History, 1975.

Dalrymple, G. Brent, *The Age of the Earth*, Stanford, Calif.: Stanford University Press, 1991.

_____, *Ancient Earth, Ancient Skies: The Age of the Earth and Its Cosmic Surroundings*, Stanford, Calif.: Stanford University Press, 2004.

Hedman, Matthew, *The Age of Everything: How Science Explores the Past*, Chicago: University of Chicago Press, 2007.

Holmes, Arthur, *The Age of the Earth*, London: Harper and Brothers, 1913.

Lewis, Cherry, *The Dating Game: One Man's Search for the Age of the Earth*, Cambridge: Cambridge University Press, 2000.

Macdougall, Doug, *Nature's Clocks: How Scientists Measure the Age of Almost Everything*, Berkeley: University of California Press, 2008.

Ogg, James G., Gabi M. Ogg, and Felix M. Gradstein, *A Concise Geologic Time Scale 2016*, Amsterdam: Elsevier, 2016.

Prothero, Donald R., *The Story of the Earth in 25 Rocks*, New York: Columbia University Press, 2018.

Prothero, Donald R. and Fred Schwab, *Sedimentary Geology: Principles of Sedimentology and Stratigraphy*, 2nd ed., New York: W. H. Freeman, 2013.

الجزء الثاني

أدلة داروين على التطور

الفصل الثالث

التحول السريع

التطور على أرض الواقع

الانتخاب الطبيعي يمحِّص جميع التنويعات الموجودة في العالم بأكمله على مدار اليوم والساعة؛ لينبذ منها ما هو سيئ، ويحفظ ما هو جيد ويضيف إليه، وهو يعمل بصمت ودونما وعي على تحسين الظروف الحياتية العضوية وغير العضوية لكلٍّ من الكائنات الحية، وذلك متى توفرت الفرصة وأينما توفرت.

تشارلز داروين، «أصل الأنواع» (١٨٥٩)

أخيرًا بدأ علماء الأحياء يدركون أن داروين كان شديد التواضع. فيمكن للتطور من خلال الانتخاب الطبيعي أن يحدث بسرعة تكفي لأن نرصده بأنفسنا. والآن، صار هذا المجال البحثي شديد الرواج والازدهار. ذلك أنه يوجد أكثر من ٢٥٠ شخصًا حول العالم يعملون على رصد التطور وتوثيقه، وليس ذلك في الشرشوريَّات وأسماك الجوبي فحسب، بل في حشرات المن أيضًا، والذباب، وسمك تملوس، وزهرة الدندل، وأسماك السلمون، وسمك أبو شوكة. ومن هؤلاء الباحثين مَن يعمل على توثيق التطور في حالة أزواج من الأنواع — كالحشرات والنباتات التكافلية — التي وجد بعضها البعض مؤخرًا، وهم يرصدون هذه الأزواج من الكائنات وهي تنجرف معًا إلى عالمها الخاص، كعاشقين في رواية من تأليف دي إتش لورانس.

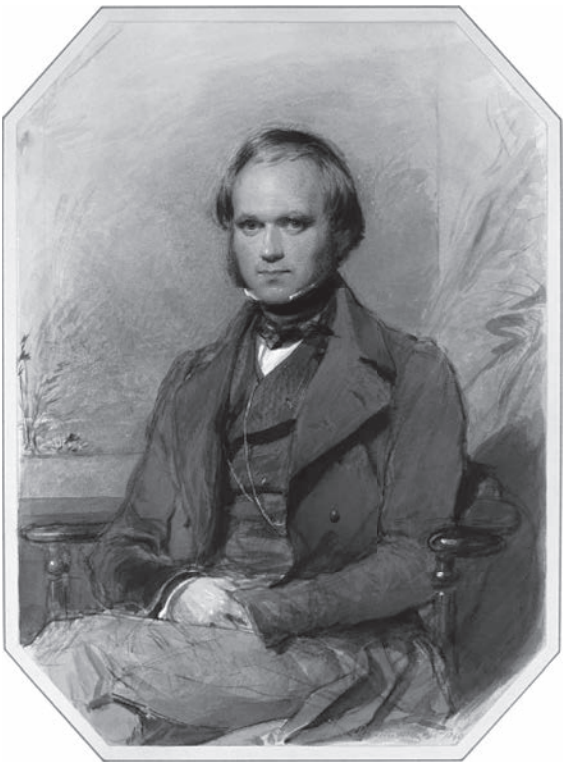
جوناثان وينر، «التطور على أرض الواقع» (٢٠٠٥)

من الخرافات الشائعة التي تتردد بين هؤلاء الذين لا يفهمون التطور أن كل هذا حدث في الماضي، ولكنه لا يحدث اليوم. والحق أنَّ هذا بعيد كل البعد عن الحقيقة! فليس التطور بتخمين جامح لتفسير الأحداث التي حدثت منذ زمن بعيد. إنما التطور ظاهرة حقيقية وُثِّقت في الطبيعة مئات المرات، على يد عشرات من علماء الأحياء الذين يعملون في ظروفٍ ميدانيةٍ قاسية عامًا بعد عام، موثِّقين بشِقِّ الأنفس ما تنبَّأ به داروين. في عام ١٩٩٤، ألَّف جوناثان وينر كتابًا حاز جائزةَ بوليتزر بعنوان «منقار الشرشوريات: قصة تطور في زماننا»، وهو يصف فيه العشرات من أمثلة التطور التي تحدث حاليًّا. وقد تراكم المزيد من الأمثلة منذ ذلك الحين، ويقدم ديفيد ميندل العديد من الأمثلة المعاصرة للتطور في كتابه الصادر عام ٢٠٠٦ بعنوان «عالمنا الذي يتطور: التطور في الحياة اليومية».

يبدأ كتاب وينر بأحد أشهر أمثلة التطور؛ عصافير جالاباجوس. خلال رحلته حول العالم على متن سفينة البيجل من عام ١٨٣١ إلى عام ١٨٣٦، قضى تشارلز داروين الشاب (الشكل ٣-١) خمسة أسابيع في جزر جالاباجوس خلال شهرَي سبتمبر وأكتوبر من عام ١٨٣٥. توقفت السفينة في جزر جالاباجوس لاستكشاف الجزر، إلى جانب الحصول على المياه العذبة والطعام، وإجراء بعض الإصلاحات الطفيفة بعد إبحارها حول الطرف الجنوبي العاصف لأمريكا الجنوبية. وخلال ذلك الوقت، أبحر داروين من جزيرة إلى أخرى في قارب صغير مدوِّنًا الملاحظات في أثناء تجواله، إضافةً إلى اصطياد عينات من الحيوانات والطيور ليأخذها معه إلى الوطن.

كان الكثير من البحَّارة آنذاك يأخذون سلاحف حية على متن سفنهم؛ لتكون مصدرًا للُّحوم الطازجة في الرحلات الطويلة. لاحظ داروين بعض الاختلافات الواضحة بين السلاحف العملاقة على الجزر، وأخبره نائب حاكم الجزر البريطاني أنه يستطيع التمييز بينها. كانت السلاحف التي تعيش بالجزر الوافرة المياه لها أصدافها العادية المقبَّبة (الشكل ٣-٢(أ))، بينما تلك التي تعيش على الجزر الأكثر جفافًا كانت لها ثنية على شكل سرج، تبلغ ذروتها عند مقدمة صدفتها (شكل ٣-٢(ب)). كان ذلك يسمح لها برفع أعناقها ورءوسها للوصول إلى النباتات الأعلى، وإلى أوراق الصبار في فترات الجفاف.

لاحظ داروين هذه الاختلافات آنذاك، ولاحظ أيضًا الاختلاف بين الطيور المحاكية في كل جزيرة. وقد دوَّن ملاحظات دقيقة عن الطيور المحاكية وعن موطنها، ولاحظ أن الطيور الموجودة على جزيرة تشاتام مشابهة لتلك الموجودة في أمريكا الجنوبية، لكن تلك الموجودة في جزيرة تشارلز كانت مختلفة تمامًا. إضافة إلى ذلك، بدا أنَّ الطيور المحاكية



شكل ٣-١: صورة لتشارلز داروين في أواخر العشرينيات من عمره، رسمها جورج ريتشموند في أواخر ثلاثينيات القرن التاسع عشر، بعد أن عاد داروين من رحلته على سفينة البيجل، وبدأ ينشر ملاحظاته، واستهلَّ حياته المهنية كعالم. (إهداء من «ويكيميديا كومنز»)

التي تعيش بجزيرة ألبيمارل، وتلك التي تعيش بجزيرة جيمس، كلٌّ منهما ينتمي لأنواع مختلفة. ورأى داروين الإجوانا البحرية المميزة القادرة على السباحة بين الصخور في الأمواج المتكسرة والرعي على الطحالب، ولاحظ تشابهها مع الإجوانا البرية المعتادة، لكن كان من الواضح أنَّ الإجوانا البحرية قد بدأت في اتخاذ نمط حياة فريد تمامًا بين السحالي. ومثلما توضح لنا دفاتر داروين، فبعد مغادرته جزر جالاباجوس، وقضائه العديد من الأيام الطويلة المملَّة في البحر، بدأ يفكر في أن الأنواع ليست ثابتة ومستقرة، بل قادرة على التغير، وكان هذا يُعَد مستحيلًا في ذلك الوقت لأن معظم الناس كانوا يعتقدون أن

(أ)

(ب)

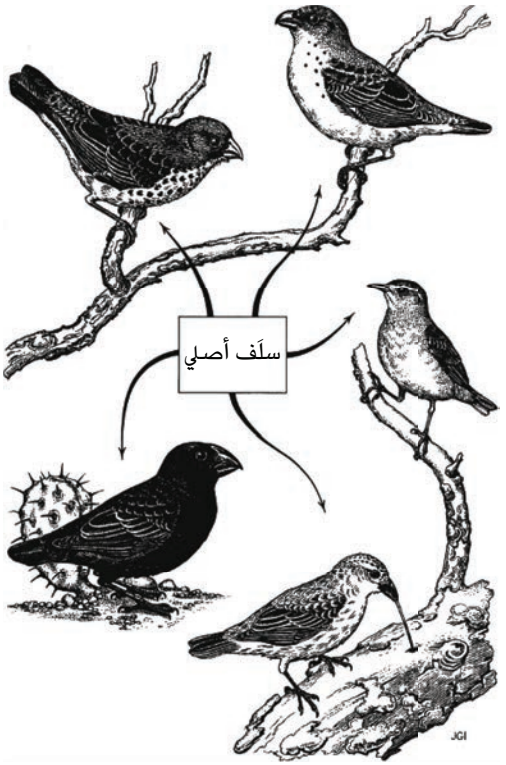
شكل ٣-٢: تختلف أشكال أصداف سلاحف جالاباجوس وفقًا لنوع الجزيرة التي تعيش عليها. في الصورة (أ)، تظهر السلاحف التي تعيش في الجزر الوافرة المياه، وأصدافها هي العادية المقبَّبة؛ إذ لا يتعين على هذه السلاحف الوصول إلى منطقة مرتفعة للعثور على الطعام. وفي الصورة (ب)، تظهر السلاحف التي تعيش في الجزر الأكثر جفافًا، والتي يكون لها سرج مرتفع في مقدمة قوقعتها، كي يمكنها رفع رقبتها إلى أعلى للوصول إلى النباتات العالية وأوراق الصبار في فترات الجفاف. (إهداء من «ويكيميديا كومنز»)

الله خلق كل نوع على حدة، وأن جميع الأنواع قد ظلَّت على حالها عبر الزمن. كانت بذور فكرته العظيمة تتسرب إلى رأسه، لكنه لم ينشرها كاملةً إلا بعد ٢٤ عامًا (على الرغم من

أنه سجَّل الخصائص المثيرة للفضول التي رصدها في جزر جالاباجوس، في كتابه الصادر عام ١٨٣٩ بعنوان «رحلة البيجل»).

إننا لم نفهم ما حدث في جزر جالاباجوس فهمًا تامًّا، إلى أن وثَّق مؤرخ العلوم فرانك سولاوي مكان وجود داروين كل يوم، وما قام بجمعه توثيقًا دقيقًا. صاد داروين وخادمه سيمز كوفينجتون عشرات الطيور وحنَّطاها، وكان داروين يعتقد أن بعضها من طيور النمنمة، أو «ذوات المنقار الغليظ»، أو طيور الشحرور، أو الشرشوريات (٣١ منها كانت شرشوريات من أربع جزر مختلفة، مُمثِّلةً تسعة أصناف مختلفة). وبعد خمس سنوات طويلة في البحار، عاد داروين إلى إنجلترا في الثاني من أكتوبر عام ١٨٣٦، وسرعان ما بدأ في اتخاذ الترتيبات اللازمة لدراسة العينات التي جلبها معه من رحلة البيجل. وفي الرابع من يناير ١٨٣٧، تبرع داروين بعيناته لجمعية علم الحيوان في لندن (وهي موجودة الآن في متحف التاريخ الطبيعي في لندن). كان داروين قد رتَّب لأن يدرس عالِمُ الطيور جون جولد، من المتحف البريطاني، مجموعتَه من الطيور المحنَّطة، وأن ينشر نتائج دراسته. (فعل داروين ذلك مع معظم مجموعاته؛ لأنه لم يكن قد أصبح خبيرًا بعدُ في أي مجال. فعلى سبيل المثال، أعطى داروين جميعَ حفرياته إلى عالم التشريح ريتشارد أوين، عالم الحفريات الأبرز في بريطانيا في ذلك الوقت.) نحَّى جولد جميع أشغاله الأخرى جانبًا، حتى يتمكن من إبلاغ علماء الحيوان المجتمعين بعد أسبوع (في ١٠ يناير) أن طيور «النمنمة»، و«ذوات المنقار الغليظ»، و«الشحرور» وغيرها من الطيور التي جمعها داروين كلها أنواعٌ جديدةٌ من العصافير (لم يكن داروين حاضرًا في ذلك الوقت، بل كان في كامبريدج). ومثلما أعلن جولد، «كانت مجموعة من طيور الشرشوريات مميزة للغاية [حتى إنها تُشكِّل] مجموعة جديدة تمامًا، تضم ١٢ نوعًا». وكان التقرير بارزًا جدًّا لدرجة أنه ذُكِر في الصحف آنذاك.

وأخيرًا الْتقى داروين وجولد بكامبريدج في مارس ١٨٣٧، وتلقَّى تقريرًا كاملًا عن العمل الذي قام به على مدار شهور. لم تكن الطيور المحاكية التي تستوطن جزرًا مختلفة من أنواع مختلفة فحسب، بل إنَّ جولد أقنع داروين بأن معظم طيور «النمنمة» و«ذوات المنقار الغليظ» و«الشحرور» قد عُرِّفت خطأً، وأنها في الواقع شرشوريات عُدِّلت بحيث أصبحت تُشبه طيور الشحرور، والنمنمة، وذوات المنقار الغليظ الموجودة في أجزاء أخرى من العالم (الشكل ٣-٣). إجمالًا، أخبره جولد أن ٢٥ من طيور اليابسة، البالغ عددها ٢٦، هي أنواع جديدة ومميزة لا توجد في أي مكان آخر. وكما وثَّق المؤرخ فرانك سولاوي،



شكل ٣-٣: على الرغم من أن داروين لم يدرك ذلك خلال وجوده في جزر جالاباجوس، فقد كانت غالبية الطيور هناك من الشرشوريات، التي تطوَّرت من سلَف مشترك للشرشوريات، وانتقلَت من أمريكا الجنوبية، وتطوَّرت إلى طيورٍ تتمتع بمجموعةٍ متنوعةٍ من المناقير المناسبة لتكسير الجوز، والبحث عن الحشرات، والْتقاط البذور الصغيرة، والعديد من المهام الأخرى التي تؤديها فصائل مختلفة من الطيور في البر الرئيسي. (بتصرف من كتاب «عصافير داروين» لديفيد لاك [١٩٤٧]، إعادة طبع. كامبريدج: كامبريدج يونيفرستي برس، [١٩٨٣])

عندئذٍ فقط أدرك داروين أنه كان مهملًا في جمع العينات، ولم يسجل اسم الجزيرة التي أتَت منها كل عينة. لقد كان في عجلةٍ من أمره؛ إذ دوَّن ملاحظات مذهلة، وجمع كل ما في وسعه تقريبًا، لدرجة أنه لم يُسجِّل المكان الذي حصل منه على كل عينة. افترض داروين أن الطيور التي اصطادها في أول جزيرة قابلها، كانت مماثلةً لتلك الموجودة في الجزيرة

التي تلَتْها؛ لأن الجزر كانت متقاربةً جدًّا وشديدة التشابه في المناخ وأنواع النباتات؛ لذلك قام بوضع عيناته معًا في الحقيبة نفسها.

تشاوَر داروين مع قبطان السفينة روبرت فيتزروي، وأيضًا خادمَيه هاري فولر وسيمز كوفينجتون، اللذين جمع كلٌّ منهما مجموعته الخاصة، واحتفظا بملاحظات أكثر دقة. وفي النهاية، تمكَّن داروين من تذكر مواقع معظم عينات طيوره، ومثلما كان مؤكدًا بالطبع، تبيَّن أن الأنواع المختلفة من الشرشوريات كانت جميعها من جزرٍ مختلفة، مما يؤكد فكرة أن كل جزيرةٍ لها نوعها المميز الخاص بها.

في عام ١٨٣٦، لم يحاول داروين الإعلان عن الاستنتاج الواضح التالي، وهو أن الشرشوريات قد تحوَّلت من سلَفٍ مشتركٍ وصل من البر الرئيسي، وتطوَّرت إلى أشكالٍ مختلفةٍ تمثَّلَت في ذوات المنقار الغليظ، وطيور النمنمة، وطيور البر الرئيسي الأخرى التي لا تنتمي إلى جزر جالاباجوس. وبالرغم من ذلك، فبحلول عام ١٨٣٩، حين صدر كتابه «رحلة البيجل»، كان داروين مستعدًّا للذهاب إلى أبعد من ذلك. فقد جاء في كتابه ما يلي:

> تشكِّل طيور اليابسة المتبقية مجموعةً فريدة للغاية من الشرشوريات، يرتبط بعضها ببعض في بنية مناقيرها، وذيولها القصيرة، وشكل أجسادها وريشها ... يوجد منها ثلاثة عشر نوعًا، قسَّمها السيد جولد إلى أربع مجموعاتٍ فرعية. كل هذه الأنواع مختصَّة بهذا الأرخبيل، وكذلك هي المجموعة بأكملها، باستثناء نوعٍ واحدٍ من المجموعة الفرعية كاكتورنيس، التي أُحضِرتْ مؤخرًا من جزيرة بو الموجودة في الأرخبيل المنخفض ... عند رؤية هذا التدرُّج والتنوُّع في بنية مجموعة واحدة صغيرة من الطيور الوثيقة الصلة؛ يمكن للمرء حقًّا أن يتخيَّل أنَّ ثمة مجموعةً صغيرةً من الطيور الأصلية في هذا الأرخبيل، قد اختير منها نوعٌ واحدٌ وعُدِّل لغايات مختلفة.

من شيء كاد أن يفوته تمامًا في أثناء جمع العينات، جعل داروين من عصافير جالاباجوس واحدة من أفضل الأمثلة على كائنات لا بد وأنها قد تغيرت من سلف مشترك منذ زمن ليس ببعيد. صحيحٌ أنَّ داروين لم يشهد تطورها في الوقت الفعلي الذي حدث فيه، لكنه توصل من خلال هذه العصافير إلى آلية عمل التطور.

كانت المجموعة التالية التي قامت بأبحاث عن عصافير جالاباجوس، هي رحلة استكشافية من أكاديمية كاليفورنيا للعلوم في سان فرانسيسكو على مدار العامَين

١٩٠٥–١٩٠٦، وجمعت مجموعة عينات أكبر بكثير على مدى عدة أشهر. وفي نهاية المطاف، درَس هذه المجموعةَ عالمُ الطيور الشهير بجامعة أكسفورد ديفيد لاك، وذلك في عامَي ١٩٣٨ و١٩٣٩. قدَّم كتابُه «عصافير داروين»، الصادر عام ١٩٤٧، وصفًا مُحدَّثًا للعصافير وأكثر تفصيلًا، متضمِّنًا العديد من تفاصيل علم الأحياء التطوري من تلك الفترة الزمنية. أمضى لاك ثلاثة أشهر في الجزر لتوثيق سلوك العصافير وبيئتها وخصائصها الجسمانية، فتدارك بذلك الكثير من التفاصيل التي أَغفَلها داروين. وبالرغم من ذلك، استند لاك في الكثير من أبحاثه إلى الطيور المُحنَّطة في أدراج المتحف، ولم يقضِ في المراقبة الميدانية إلا ثلاثة أشهر فقط، وليست تلك بالمدة الكافية لمشاهدة الطيور وهي تتغيَّر على مدار سنوات عديدة.

وقعت هذه المهمة على عاتق بيتر جرانت وروزماري جرانت، الباحثَين بجامعة برينستون، وهما فريق من زوج وزوجته، عالِما طيور عقدا العزم على إجراء دراسة تفصيلية طويلة الأجل قد تسجِّل التطور أثناء حدوثه. ومنذ عام ١٩٧٣ إلى عام ٢٠١٢، أمضيا ستة أشهر في الميدان، معظمها وهما يخيِّمان في جزيرة دافني ميجور، وهي واحدة من أكثر الجزر انعزالًا وأقلها تلوثًا في الأرخبيل. وهناك، ميَّزا كل عصفور على تلك الجزيرة بعلامة، وقاما بقياسه وتصويره على مدار ٤٠ عامًا تقريبًا، ثم تقاعدا أخيرًا من العمل في عام ٢٠١٢. عرف الزوجان جرانت من أبحاث لاك أن شكل المنقار وحجمه يدلان على نوع الطعام الذي يمكن أن يأكله كل نوعٍ من أنواع الشرشوريات. فتلك الطيور التي أخطأ داروين في تعريفها على أنها من ذوات المنقار الغليظ لها مناقير سميكةٌ وقوية، ومُكيَّفة لتكسير البذور الكبيرة الصُّلبة (انظر الشكل ٣-٣). أما الشرشوريات ذات المنقار الأصغر فتتغذى على بذور أصغر، وأكثر ليونةً تكون أكثر وفرةً في السنوات الممطرة؛ كي يمكنها أن تتغذَّى بسرعةٍ أكبر من الشرشوريات ذات المنقار السميك. وتتخصص بعض الشرشوريات في اصطياد الحشرات من على أجنحتها، وجسِّ الأشجار بحثًا عن اليرقات، وهناك نوع يستخدم شوكة الصبار «لصيد» اليرقات في جحورها.

بعد سنوات عديدة من جمع البيانات، رصد الزوجان جرانت بعض الأحداث المدهشة. ففي عام ١٩٧٧، حدث جفاف شديد، وفي الأشهر التالية، كانت العصافير ذات المنقار السميك هي المفضَّلة؛ إذ لم يعد متاحًا من الطعام سوى البذور الصُّلبة القديمة ذات القشرة السميكة، والتي كانت تتجاهلها في السابق. وفي غضون عامَين، تطوَّرت لدى هذه العصافير مناقير أكثر سُمكًا وقوة. تغيرت بسرعة أكبر بكثير مما كان يظنُّ أي شخص في

ذلك الوقت. وفي الوقت نفسه، ماتَت أنواع العصافير الأصغر التي لا تمتلك مناقير سميكة. وفي العامَين ١٩٨٢-١٩٨٣، شهدت الجزيرة ثمانية أشهرٍ من الأمطار، بدلًا من الشهرَين المعتادين؛ بسبب ظاهرة إل نينيو قياسية. أدَّى هذا إلى نموٍّ هائلٍ للنباتات وإلى البذور الأصغر الأكثر ليونة، مما أدى إلى تفضيل العصافير ذات المنقار الأصغر. وحتى عندما ضرب الجفاف العام التالي، كانت لا تزال هذه العصافير تتغذَّى على الفائض الوفير.

في عام ١٩٨١، اكتشف الزوجان جرانت طائرًا لم يرياه من قبل. كان أثقل من الشرشوريات الأخرى بمقدار ٥ جرامات؛ ولهذا لقَّباه بـ «الطائر الكبير». كان له نداء مميز، وريش أكثر لمعانًا، وكان يستطيع أكل أي موردٍ غذائي تقريبًا، بما في ذلك البذور الكبيرة والصغيرة، والرحيق، وحبوب اللقاح، وحتى الصبار. وعلى الرغم من أنه ربما كان هجينًا من الشرشوريات الأرضية المتوسطة المنقار وشرشوريات الصبار، فقد عاش لمدة ١٣ عامًا، وأنشأ جماعةً جديدةً من الشرشوريات التي لم تتزاوج إلا فيما بينها، مما أدى على ما يبدو إلى إنشاء نوعٍ جديد. لم يوثق الزوجان جرانت التغير التطوري الذي حدث داخل الأنواع استجابةً للانتخاب وحسب، بل شهدا أيضًا على ما بدا أنه تشكُّل نوع جديد. وقد نجحت الأبحاث الحديثة في تحديد الجينات التي تتحكم في شكل المنقار في هذه الشرشوريات، إضافةً إلى محاكاة النمط الموجود في الطبيعة عن طريق زيادة عدد تلك الجينات أو تقليله.

وُلِد كلٌّ من بيتر جرانت وروزماري جرانت عام ١٩٣٦، وهما الآن متقاعدان — بينما أكتب سطور هذا الكتاب — بعد أن بلغا من العمر ٨٤ عامًا. إنهما عملاقان في مجال علم الأحياء لقيامهما بهذه الدراسة الطويلة والمفصَّلة والعسيرة بشكل لا يُصدَّق، حيث أمضيا ما يقرب من نصف حياتهما، لمدة ٤٠ عامًا، في مخيَّمات صغيرة رَثَّة على جزيرة دافني ميجور، منجزَين قدرًا هائلًا من العمل لتوثيق التطور السريع. لقد حصلا على كل الجوائز الممكنة تقريبًا في مجالهما، ومنها «جائزة ليدي» من أكاديمية العلوم الطبيعية في فيلادلفيا عام ١٩٩٤، و«جائزة لوي وآلين ميلر» عام ٢٠٠٣، و«جائزة بالْزان لعلم الأحياء السكاني» عام ٢٠٠٥، و«جائزة كيوتول» في العلوم الأساسية عام ٢٠٠٩، و«الميدالية الملكية» في علم الأحياء عام ٢٠١٧، وفي عام ٢٠٠٨، حصلا على الجائزة الأسمى على الإطلاق؛ «وسام داروين-والاس» للجمعية اللينية في لندن، والتي تُمنَح مرة واحدة فقط كل ٥٠ عامًا. وبفضل كتاب واينر لعام ١٩٩٥ والذي حمل عنوان «منقار الشرشوريات: قصة تطور في زماننا»؛ فإنهما بمثابة أسطورتين مشهورتين عالميًّا بين علماء الأحياء.

ملأ عملُ الزوجين جرانت فجوةً طويلة الأمد في أبحاث التطور. لقد أوضح داروين أن الحياة تطورت، وأن الانتخاب الطبيعي أفضل آلية تشرح كيفية تطورها، لكن لم يكن لديه أي وسيلة لمشاهدة حدوث ذلك آنيًّا، لم يكن بوسعه سوى أن يستنتج وجوده من النتائج. في عام ١٨٩٣، أشار عالم الأحياء الألماني أوجست وايزمان إلى أنه «من الصعب جدًّا تخيُّل تفاصيل عملية الانتخاب الطبيعي، ولا يزال من المحال حتى يومنا هذا إثبات هذه العملية في لحظة بعينها».

طيلة الجزء الأعظم من القرن التالي، نما علم الأحياء التطوري وتوسع مع اكتشاف علم الجينات والنمذجة الرياضية لعلم الأحياء السكاني، مما أثبت أن آلية الانتخاب الطبيعي كافية لتفسير كيفية حدوث التطور. لكن قِلة فقط من علماء الأحياء هم مَن استطاعوا التوصل إلى طريقة لمشاهدة الانتخاب الطبيعي وهو يحدث فعليًّا في الطبيعة؛ لأن هذا كان يتطلب سنوات من العمل الميداني، إضافةً إلى جمع الكثير من الملاحظات والبيانات، وكلتاهما عمليتان بطيئتان للغاية، وتحملان الكثير من المشقة. وبحلول عام ١٩٣٤، علَّق أحد علماء الوراثة بأنه إذا «صرخت فكرة ما وتوسلت» طلبًا لبرنامج بحثي تجريبي «فهي تلك الفكرة ولا شك ... لكن هذه البرامج نادرة للغاية». وفي عام ١٩٦٠، علَّق عالم وراثة مختلف بأن «مقدار الملاحظة أو التجربة التي أُجرِيتْ حتى الآن على التطور في المجموعات البرية» لا يزال «صغيرًا بدرجة مدهشة». وقد وجد هذا الأمر مزعجًا؛ لأن «التطور هو المسألة الأساسية في علم الأحياء، بينما الملاحظة والتجربة هما أدوات العلم الأساسية». وفي أواخر عام ١٩٩٠، اشتكى عالم أنثروبولوجيا في «موسوعة التطور» من أن «شكوى نصف قرن مضى لا تزال تنطبق في وقتنا هذا؛ فعدد الاختبارات التجريبية للانتخاب الطبيعي هزيل للغاية، ولا تزال هذه القِلة القليلة تُستخدَم بمثابة أمثلة ونماذج على نحو مكثَّف».

وبفضل ما أنجزه الزوجان جرانت والعديد من علماء الأحياء الآخرين منذ سبعينيات وثمانينيات القرن العشرين، لم يعد هذا الرثاء في محله. فبدلًا من ذلك، تضاعفت الدراسات الخاصة بتغيير الانتخاب الطبيعي للأنواع الموجودة، أو نشوء الأنواع الجديدة لتشكِّل مجالًا بحثيًّا رئيسيًّا في حد ذاته. كان بنجامين والش، زميل داروين في كامبريدج، أحد مَن أجرَوا واحدة من أوائل هذه الدراسات. هاجر والش وزوجته إلى الولايات المتحدة، وقاما ببناء العديد من المزارع وخسارتها في ولايات مختلفة، وفي النهاية أصبح عالم حشرات علَّم نفسه بنفسه. وعندما وصله كتاب داروين، أصابه الذهول وأصبح مقتنعًا رويدًا رويدًا باستنتاجات داروين.

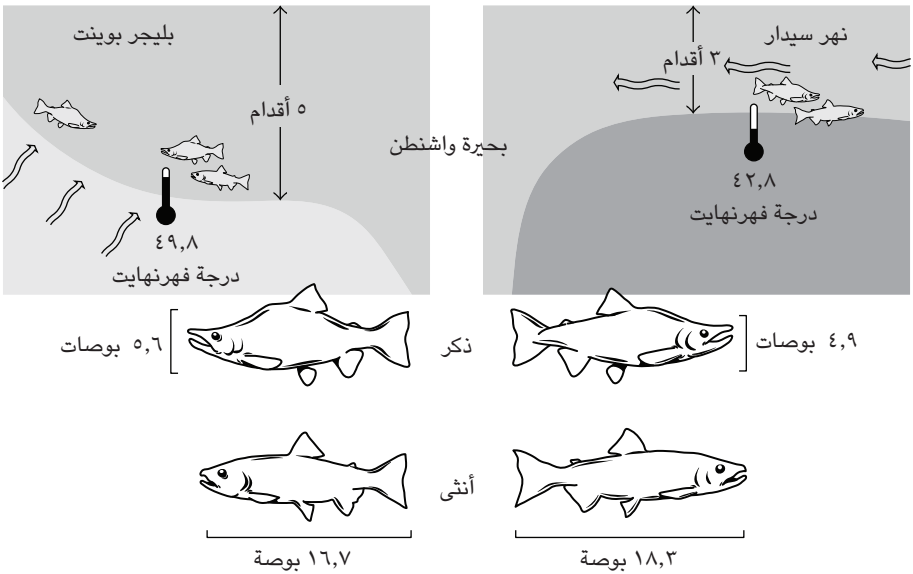
بعد ذلك، لاحظ والش مثالًا على نوع يتكيف مع مورد جديد. فإحدى أنواع ذبابة الفاكهة، المعروفة باسم ذبابة الزعرور، تضع بيضها على ثمار شجرة الزعرور البرية. ومع قيام المزارعين بنشر زراعة أشجار التفاح في جميع أنحاء المنطقة، غيرت ذبابة الزعرور عاداتها وتكيفت مع التغذية على التفاح، وانتشرت ببطء في هذه البيئة على هيئة نوع جديد من ذبابة التفاح. في عام ١٨٦٧، نشر والش بحثًا أشار فيه إلى أن هذا الذباب «لا يهاجم إلا التفاح المزروع في منطقة محدودة معينة، حتى في الشرق؛ لأن ... هذا العدو الجديد والمَهول للتفاح موجود في وادي نهر هادسون، لكنه لم يصل بعدُ إلى نيوجيرسي». تُوفِّي والش بعد وقتٍ قصير من نشره هذا التوقع، لكن تبيَّن بعد ذلك أنه كان على صواب. فقد اكتُشِف هذا الذباب في شمال نيويورك وفيرمونت ونيو هامبشاير في عام ١٨٧٢، وفي ولاية مين عام ١٨٧٦، وفي كندا بحلول عام ١٩٠٧. وفي غضون ذلك، انتشر الذباب جنوبًا عبر جورجيا في عام ١٨٩٤، وغربًا إلى ميشيجن بحلول ١٩٠٢. وفي نهاية المطاف، انتشر في جميع أنحاء البلاد إلى أن وصل إلى الساحل الغربي منذ حوالَي ٣٠ عامًا فقط. تطوَّرت أنواع أخرى لتتغذَّى على ثمرة الورد البري، وأحيانًا الكمثرى والبرقوق، وفي شمال ويسكونسن، يوجد نوع آخر يأكل الكرز الحامض، وإلى جانب ذلك كلِّه، لا تزال ذبابة الزعرور الأصلية تأكل فاكهة الزعرور. دُرِست جينات هذه المجموعات المختلفة من الذباب فيما بعد، واتضح أنها متمايزةٌ جينيًّا بالفعل، مما أظهر أنها أصبحت أنواعًا مختلفة خلال ما يزيد قليلًا عن قرن.

ثمة حالة أخرى من حالات التطور رصدها هيرمون كاري بومبوس في فترة مبكرة، وهي العصفور الدوري الإنجليزي. جاءت هذه الدراسة نتيجة صدفة سعيدة؛ إذ هبَّت عاصفة ثلجية ضخمة في ٣١ يناير ١٨٩٨، وأثَّرت على عشرات الطيور، التي أُحضِرت بعدها إلى بومبوس في مختبره بجامعة براون في بروفيدنس بولاية رود آيلاند. وفي دفء المختبر، عاد ٧٢ من عصافير الدوري الإنجليزية إلى الحياة، لكن ٦٤ منها لم تتمكن من النجاة وماتت. أخذ بومبوس قياسات جميع الطيور وسجَّل جنسها. وجد أنه في الظروف القاسية للعاصفة الثلجية، كان أغلب الذكور الناجين أقصر وأخفَّ وزنًا، أي إنهم كانوا يُنتخَبون على حساب الذكور الأكبر حجمًا (وهذا ما يُسمى بالانتخاب الاتجاهي). وكانت جميع الإناث الناجية متوسطة الحجم، أي إنَّ الانتخاب لم يكن في صالح أكبر الأفراد حجمًا ولا أصغرهم (وهذا ما يُسمَّى الانتخاب التثبيتي). وسرعان ما اشتهرت هذه الحالة المبكرة، ووردت في الكثير من مراجع علم الأحياء في القرن العشرين. وبالرغم من ذلك،

فهي حالة لا تجسِّد إلا مثالًا واحدًا للانتخاب الطبيعي ولم تكن قابلةً للتكرار؛ فلم يتمكن باحثون آخرون من تأكيد ما إذا كانت العواصف الثلجية قد تسبَّبت في تغير المجموعة بمرور الوقت أم لا.

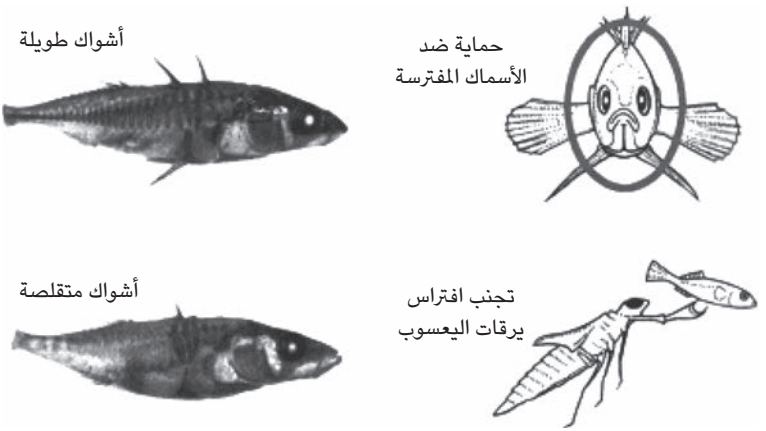
يوجد الكثير ممن يدرسون جماعات الطيور البرية (ومنهم هواة مراقبة الطيور)، وكثيرًا ما بيَّنوا أمثلة على التطور. على سبيل المثال، جُلِب عصفور الدوري الأوروبي إلى أمريكا الشمالية في عام ١٨٥٢، وانتشر منذ ذلك الحين في الغالبية العظمى من المناطق المأهولة بالسكان في القارة، بدايةً من غابات كندا شمالًا إلى كوستاريكا جنوبًا. وبعد انتشاره في كل هذه الموائل، بدأ يتشعَّب سريعًا إلى مجموعات مختلفة الأحجام، حيث الشمالية منها هي الأكبر حجمًا. وذلك أسلوب تكيُّفي مشهور يُعرَف باسم قاعدة بيرجمان؛ للأجساد الكبيرة مساحة سطح أقل مقارنة بحجمها؛ ومن ثَم تفقد حرارة الجسد ببطء أكبر من الأجساد الأصغر والأنحف، التي تكون أكثر ملاءمة للمناطق الاستوائية. وتوجد أيضًا تغييرات في طول الجناح وشكل المنقار وصفات أخرى؛ لذلك تختلف هذه العصافير اختلافًا كبيرًا عبر خطوط العرض المختلفة في الأمريكتَين، حتى إنها تُصنَّف في كثيرٍ من الأحيان إلى أنواعٍ فرعيةٍ مختلفة. فغالبًا ما تكون تلك التي تعيش في المناخات الصحراوية الجافَّة أفتح لونًا، للتمويه الوقائي. وبالرغم من ذلك، فقد تباعَد بعض هذه الأنواع من الناحية الجينية أيضًا، ومن أمثلة ذلك النويعة «الباخترية»، وهو نوع فرعي للعصفور الدوري.

ويمكن أن يكون التحول سريعًا جدًّا في بعض الحالات. فعلى سبيل المثال، عادةً ما تتسم ذكور سمك السلمون الأحمر البري، الذي يعيش في أنهار سريعة الحركة، بأجساد قوية نحيلة لتتمكن من السباحة ضد التيارات، بينما تكون أجسام الإناث أكبر حجمًا لتتمكن من عمل حُفَر أعمق تضع فيها بيضها دون أن يجرفها النهر بعيدًا. ولكن في عام ١٩٥٧، استعمر سمك السلمون شاطئًا يُدعى «بليجر بوينت» في منطقة سياتل، حيث كان يعيش في المياه العميقة الهادئة (الشكل ٣-٤). وفي غضون ٤٠ عامًا، تطوَّر الذكور لتصبح أجسادهم أكثر عمقًا واستدارة؛ لأنهم لم يعودوا مضطرين لمحاربة التيارات القوية، بل صار التحدي الأكبر الذي يواجههم هو محاربة الذكور الآخرين للتزاوج مع الإناث. وطوَّرت الإناث أيضًا أجسادًا أصغر حجمًا؛ لأنها لم تعُد تحتاج إلى حَفْر ثقوب عميقة لوضع بيضها. وقد أظهرت الدراسات الجينية لهذه الجماعة من أسماك السلمون أنها تباعدت بشكلٍ ملحوظٍ بالفعل عن نوعها السالف، وأنها كانت في طريقها لأن تصبح نوعًا جديدًا متمايزًا.



شكل ٣-٤: حدث التطوُّر في بعض المجموعات خلال عقود قليلة فحسب. ففي التيارات السريعة لنهر سيدار بواشنطن، تكيَّف سمك السلمون الأحمر الذي جاء إلى النهر في ثلاثينيات القرن الماضي بما يمكِّن الذكور من السباحة في التيارات القوية، ويمكِّن الإناث من حفر جحور أعمق في الرمال لتضع فيها بيضها. غير أنَّ ذكور السلمون التي غزت المياه الضحلة في بليجر بوينت عام ١٩٥٧؛ طوَّرت أجسادًا أكثر استدارةً وعمقًا لمساعدتها في محاربة الذكور المنافسين، وصار للإناث أجساد أصغر إذ أصبحت تحفر جحورًا ضحلة لبيضها؛ لأنه لا توجد تيارات قوية. («التطور على أرض الواقع» جوناثان وينر (بتصرف)، «ناتشورال هيستوري» ١١٥، ٩ [٢٠٠٥]: ٤٧-٥١)

ومن الأمثلة التي دُرِست جيدًا سمكة أبو شوكة الثلاثية الأشواك، التي يمكنها تعديل الدرع الواقي للبدن وعدد الأشواك وفقًا لموئلها (الشكل ٣-٥). فأسماك أبو شوكة التي تستوطن مناطق عميقة في المحيط تمتلك دروعًا جسدية أثقل، بينما تتَّسم المجموعات التي تعيش في البحيرات بدروع أخف. وقد حدث هذا التغيير في أقل من ٣١ عامًا في بِركة بالقرب من مدينة بيرجن بالنرويج، ولم يستغرق سوى اثني عشر عامًا في بحيرة لوبيرج بألاسكا. ولدينا أيضًا معلومات موثَّقة عن وجود تغيُّرات في أشواكها. فلأسماك



شكل ٣-٥: تُعَد سمكة أبو شوكة الثلاثية الأشواك مثالًا آخر على التطور السريع. فالأنواع التي تعيش في البحيرات أو المحيطات لها أشواك أطول، مما يجعل من الصعب على المفترس ابتلاعها. طوَّرت أسماك أبو شوكة التي تعيش في جداول ضحلة أشواكًا أقصر؛ حتى لا تتمكن يرقات اليعسوب والحيوانات المفترسة الأخرى من الإمساك بها عن طريق أشواكها البارزة. (الصور إهداء من دي إم كينجسلي وشون كارول)

أبو شوكة التي تعيش في المياه المفتوحة العميقة أشواكٌ طويلة لردع الحيوانات المفترسة. لكن هذه الأشواك الطويلة قد تمثل مشكلة لسمكة أبو شوكة التي تعيش في الجداول، حيث يمكن ليرقة يعسوب أن تمسك الأشواك بملاقطها؛ ولهذا فغالبًا ما تُقلِّص سمكة أبو شوكة التي تعيش في مجاري المياه أشواكها أو تستغني عنها. ثمة جين واحد، هو جين Pitx1، مسئول عن تنظيم الاستجابة المتعلقة بطول الأشواك. وثمة دراسات تضمنت إجراء تعديل اصطناعي لأسماك أبو شوكة أسيرة؛ بحيث أصبح لديها تكوينات جديدة وغير مألوفة من الأشواك. وَجدت هذه الدراسات أن الإناث لا تتزاوج إلا مع الذكور التي تتمتَّع بصفاتٍ جديدة؛ ومن ثَم فإن الانتخاب الجنسي قوة دافعة في تطورها. قبل هذه الدراسات، كان علماء الأسماك يتسرعون في تصنيف الأسماك إلى أنواعٍ مختلفة، بناءً على تباين عدد أشواكها واختلاف دروعها البدنية، لكن هذه الدراسات توضِّح مدى سهولة تحول مجموعةٍ من أسماك أبو شوكة إلى نوعٍ آخر في ظل الظروف المناسبة.

إن مثل هذه الأمثلة يمكن أن تتضاعف إلى ما لا نهاية. ففي نيو إنجلاند، غيَّرت رخويات الونكة الشائعة شكل قشرتها وسُمكها بشكل كبير في أقل من قرن، وذلك على الأرجح بسبب ضغوط الافتراس من السرطانات التي كانت قد جاءت إلى البيئة حديثًا. وفي جزر الباهاما، غيَّرت سحالي الأنول («الحرباء» الشائعة في متاجر الحيوانات الأليفة، وهي ليست حرباء في واقع الأمر) النِّسَب بين أطرافها الخلفية والأمامية عندما جاءت إلى جزر جديدة بها نباتات مختلفة. وفي جزر هاواي، طوَّر طائر العسل المتسلق منقارًا أقصر، عندما تحوَّل إلى تناول مصدرٍ آخر للرحيق حين اختفى مصدر الغذاء المفضَّل لديه؛ وهو زهور اللوبيليا المحلية. وفي نيفادا، سرعان ما طوَّرت أسماك البعوض الصغيرة، التي تعيش في حُفَر المياه المنفصلة الموجودة بالصحراء، والتي كانت متصلةً خلال العصر الجليدي الأخير، اختلافاتٍ كبيرةً في أقل من ٢٠ ألف عام. وفي أستراليا، قامت الأرانب البرية التي جلبها المستوطنون الأوروبيون منذ أقل من قرنٍ من الزمان، بتعديل وزن أجسادها وحجم آذانها استجابةً للظروف المختلفة في المناطق النائية.

يمكننا أيضًا أن نلاحظ في الحشرات بعضًا من أفضل الأمثلة على التطور السريع، وقد ذكرنا منها الدراسة التي أجراها والش على ذبابة الزعرور. ذلك أنَّ الزمن الجيلي لمعظم الحشرات قصير للغاية، وهي تضع أعدادًا هائلة من البيض تتراوح من المئات إلى الآلاف؛ ولهذا يمكنها التطور بسرعة أكبر كثيرًا من الحيوانات ذات الأجيال الطويلة ومعدلات الولادة البطيئة. ولعل أشهر مثال على ذلك هو العُثَّة المُرقَّطة، («بيستون بيتولاريا»)، التي تُذكَر في العديد من الكتب الدراسية لعلم الأحياء (الشكل ٣-٦). كانت حشرات العُث البرية مغطَّاة ببقع على أجنحتها، لتمويهها على لِحاء الأشجار المغطَّى بالطحالب. لكن هذا كله قد تغير خلال الثورة الصناعية، عندما أدى التلوث إلى تحويل جذوع الأشجار إلى اللون الأسود. وفجأة أصبح الشكل الأكثر شيوعًا من هذه الحشرة هو نوعًا متحوِّرًا، كان نادرًا فيما سبق، له أجنحة سوداء؛ إذ كانت تخفيه جيدًا على لحاء الشجر الأسود في ذروة التلوث الناجم عن حرق الفحم. أما الضَّرْب البري المُرقَّط، فقد اختفى تقريبًا لأنه أصبح الآن واضحًا للطيور المفترسة، ولم يكن الانتخاب الطبيعي في صالحه. وفي الستينيات والسبعينيات من القرن العشرين، أدت قوانين مكافحة التلوث إلى إغلاق محطات الطاقة أو تنظيفها، وعادت الأشجار إلى مظهرها الرمادي المرقط. ومرة أخرى، أصبحت حشرات العُث السوداء نادرة، وازدهرت حشرات العُث المُرقَّطة؛ لأنها كانت مموَّهة جيدًا.

ثمة مثال آخر على التطور السريع الحديث في الحشرات، وهو حشرة «سرينثاني»؛ وهي حشرة صغيرة ذات «منقار» طويل، أو خرطوم، تستخدمه لاختراق قشرة الفاكهة

شكل ٣-٦: عادةً ما تكون العُثَّة المُرقَّطة مغطَّاة بنمط مُرقَّط رمادي، لكنَّ لها أيضًا شكلًا متحوِّرًا نادرًا أسود تمامًا. وقد سادت هذه الأشكال السوداء خلال الثورة الصناعية، عندما تسبب السُّخام في اسوداد لحاء الشجر، مما جعل العُث الأسود أقل وضوحًا؛ ومن ثَم فضَّله الانتخاب الطبيعي على الأصناف المرقَّطة. (إهداء من «ويكيميديا كومنز»)

أو البذور، وامتصاص باطنها المغذِّي. في جنوب الولايات المتحدة، تعيش هذه الحشرة على ثلاثة أنواع من النباتات الأصلية، ولهذه الحشرات مناقير طويلة نسبيًّا. لكن في فلوريدا، تعلمت هذه الحشرات العيش على نبات جُلِب في الخمسينيات من القرن الماضي؛ شجرة المطر الذهبية ذات القرون المسطحة، وهي شجرة تتسم بأنَّ قشور بذورها أرقُّ. يبلغ طول مناقير هذه الحشرة في البرية ٩ ملِّيمترات تقريبًا، لكنها لا تحتاج إلا إلى حوالي ٣ ملِّيمترات من هذا المنقار، لاختراق الجزء الخارجي من مصدر الغذاء الجديد هذا. وبناءً على هذا، فإن حشرة سرينثاني الموجودة في فلوريدا تكيَّفت عن طريق امتلاكٍ لمناقير أقصر في الستين عامًا الماضية فقط. وفي منطقة أخرى، تتغذَّى هذه الحشرة نفسها على نبات النوفة (الذي تتسم بذوره بسُمك قشرتها)، وبدأت بالفعل في أن تتطور لديها مناقير أطول منذ عام ١٩٧٠، عندما أُدخِل هذا النبات قبل أقل من ٥٠ عامًا.

ومن بين الأمثلة العديدة للحشرات التي تتطور، فإن أكثرها لفتًا للنظر هي تلك التي طورت مقاومة لمبيدات الحشرات في غضون بضعة عقود فحسب، مما تسبب في أضرار اقتصادية هائلة في جميع أنحاء العالم. إنَّ جميع حشرات الذباب المنزلي الحديثة لا تحمل الآن جينات تجعلها مقاوِمة لمادة الـ «دي دي تي» فحسب، بل تزودها أيضًا بالمقاومة للبيرثرويد والديلدرين والفوسفات العضوي والكارباميات، فلم يتبقَّ سوى القليل للغاية من السموم التي يمكن أن تبيد هذا الذباب. وهذا البعوض الذي طور مقاومة لمادة الـ «دي دي تي» وغيرها من المبيدات الحشرية المصنوعة من الفوسفات العضوي، والذي تطور في أفريقيا خلال الستينيات على ما يبدو، انتشر في آسيا ووصل إلى كاليفورنيا بحلول عام ١٩٨٤، وإيطاليا في عام ١٩٨٥، وفرنسا في عام ١٩٨٦. وأودُّ هنا أن أقتبس وصف عالم الحشرات مارتن تايلور لهذه المسألة، والذي ورد في كتاب جوناثان وينر «منقار الشرشوريات»:

> دائمًا ما يدهشني أن أنصار التطور لا يُولون مثل هذه المسائل كثيرًا من الاهتمام، وأنَّ على مزارعي القطن التعامل مع هذه الآفات في الولايات نفسها التي تعارض هيئاتها التشريعية نظرية التطور. إن ما يكافحونه في حقولهم كل موسم ليس إلا التطور نفسه. فهؤلاء الأشخاص يحاولون حظر تدريس التطور، بينما يفشل محصول القطن في حقولهم بسببه. كيف يمكن أن تكون مزارعًا يؤمن بالخلق بعد كل هذا؟ (٢٢٥)

غير أنَّ الأمثلة الأسرع على التطور توجد في الميكروبات، التي يمكن أن تتكاثر في غضون فترة تتراوح من بضع دقائق إلى ساعات من الزمن الجيلي، لتكوِّن آلاف الأفراد في المجموعة السكانية. لن يوجد لدينا علاج لفيروس البرد الشائع أبدًا لأن الفيروسات التي تسبب نزلات البرد تطوِّر أغلفة بروتينية جديدة في غضون بضعة أشهر، مما يجعلها غير مألوفة لجهازنا المناعي؛ ومن ثَم قادرة على مهاجمتنا مرة أخرى (سوف نعاني من نزلة برد شديدة إلى أن يتمكن نظامنا المناعي في نهاية المطاف من مقاومة الفيروسات). وفي كل عام، يجب على المختبرات الطبية حول العالم تطوير لقاحات جديدة لفيروس الإنفلونزا؛ إذ تظهر منه في كل عام سلالات جديدة لا يتعرف عليها جهازنا المناعي. فلقاح الإنفلونزا يحتوي على نسخ مقتولة من عدة سلالات من هذا الفيروس، يتفاعل جهازك المناعي مع هذه النسخ ويتأهب لها حتى لا تصاب بالمرض. لكن العديد من السلالات الجديدة يظهر كل عام، ولا يمكن للقاح الإنفلونزا توقعها جميعًا؛ ولهذا ثمة أشخاص ممَّن يتلقَّون اللقاح

يصابون بالعدوى رغم ذلك. هذه معركةٌ لا تنتهي أبدًا مع الكائنات الحية التي تتطوَّر بوتيرةٍ أسرع كثيرًا من وتيرة حمايتنا لأنفسنا، مثل الحشرات التي تطوِّر مقاومة لجميع ما لدينا من مبيدات حشرية.

لذلك في المرة القادمة التي تُصاب فيها بالبرد أو الإنفلونزا، أو تلدغك بعوضة، تذكر أنك شاهد على التطور في أرض الواقع، حتى وإن استخدمت المبيدات الحشرية لإبعادها عنك. إنَّ التطور يحدث في كل مكان من حولنا طوال الوقت، سواء اعترفنا به أم لا. ويُعَد تطوير مبيدات حشرية جديدة ولقاحات للإنفلونزا أمرًا ضروريًّا لبقائنا في هذا السباق مع هذه الكائنات السريعة التطور. إذا لم نعترف بالتطور، فسنخسر السباق ضد الأمراض ونخسر المحاصيل.

قراءات إضافية

Berta, Annalisa, *The Rise of Marine Mammals: 50 Million Years of Evolution*, Baltimore, Md.: Johns Hopkins University Press, 2017.

Berta, Annalisa, James L. Sumich, and Kit M. Kovacs, *Marine Mammals: Evolutionary Biology*, 3rd ed., Amsterdam: Academic Press, 2015.

Gould, Stephen Jay, "Hooking Leviathan by Its Past," *Dinosaurs in a Haystack: Reflections in Natural History*, New York: Norton, 1997.

Prothero, Donald R., The Princeton Field Guide to Prehistoric Mammals, Princeton, NJ: Princeton University Press, 2016.

Prothero, Donald R. and Scott E. Foss, eds., *The Evolution of Artiodactyls*, Baltimore, Md.: Johns Hopkins University Press, 2007.

Prothero, Donald R. and Robert M. Schoch, *Horns, Tusks and Flippers: The Evolution of Hoofed Mammals*, Baltimore, Md.: Johns Hopkins University Press, 2002.

Pyenson, Nick D., *Spying on Whales: The Past, Present and Future of the World's Most Awesome Creatures*, New York: Viking, 2018.

Savage, R. J. G. and M. R. Long, *Mammal Evolution: An Illustrated Guide*, New York: Facts-on-File, 1986.

Thewissen, J. G. M., ed., *The Emergence of Whales: Evolutionary Patterns in the Origin of Cetacea*, New York: Plenum Press, 1998.

_____, *The Walking Whales: From Land to Water in Eight Million Years*, Berkeley: University of California Press, 2014.

Zimmer, Carl, *At the Water's Edge: Macroevolution and the Transformation of Life*, New York: Free Press, 1998.

الفصل الرابع

المخطط المشترك لأجسادنا

التناظر

رأينا كيف أنَّ الكائنات التي تنتمي إلى الطائفة نفسها يتشابه بعضها مع بعض في الأساس العام لتكوينها العضوي، بصرف النظر عن عاداتها الحياتية. وغالبًا ما يُعبَّر عن هذا التشابه بمصطلح «وحدة النمط»، أو بالقول إنَّ الأجزاء والأعضاء المختلفة في الأنواع المختلفة التي تتبع الطائفة نفسها؛ متناظرة. يندرج الموضوع بأكمله تحت مصطلح عام، وهو علم الشكل؛ المورفولوجيا. وهذا العلم هو واحد من أكثر تخصصات التاريخ الطبيعي إثارة للاهتمام، بل يجوز لنا القول إنه روحه نفسها. فأي شيء أعجب من أن تكون يد الإنسان المهيَّأة للقبض، ويد الخُلْد المهيأة للحفر، وساق الحصان، ومجداف خنزير البحر، وجناح الخفاش، قد تأسست جميعها على النمط نفسه، وهي تضم عظامًا متشابهة في المواضع النسبية نفسها؟

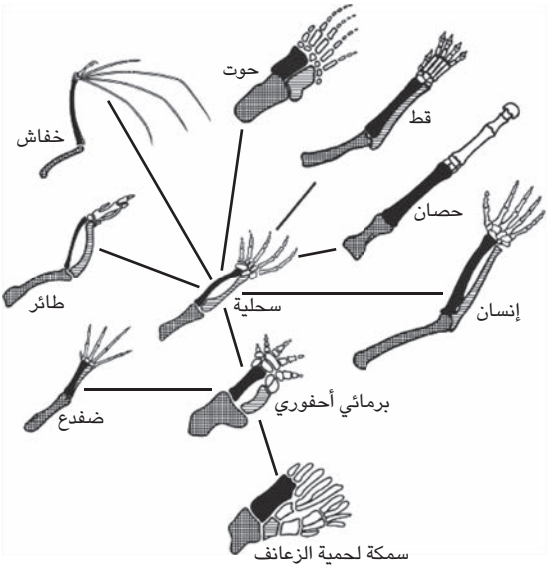
تشارلز داروين، «أصل الأنواع» (١٨٥٩)

كتب الفيلسوف وعالم الرياضيات البريطاني الشهير ألفريد نورث وايتهيد يقول إن «أسلم وصف عام للفلسفة الأوروبية هو أنها تتألف من سلسلة من الهوامش على أفلاطون». هذا تبسيط مخلٌّ بالطبع، لكنه يعكس حقيقة أن أفلاطون هو مَن حدد معظم الموضوعات الرئيسية في الفلسفة، ووضع الأساس لها، وتلك هي الموضوعات نفسها التي طُوِّرت بعد ذلك على مدى الألفَي عام التي تلَتْه. ومن بعض النواحي، نشأ الكثير من العلوم الحديثة (لا سيما علم الأحياء) مع طالب أفلاطون الشهير؛ أرسطو، الذي لم يركز كثيرًا على

الفلسفة بقدر ما ركَّز على وصف الطبيعة، كما عرفها الإغريق عام ٣٥٠ قبل الميلاد تقريبًا وتفسيرها. ورغم ذلك، فعلى عكس المشاكل الفلسفية التي وضعها أفلاطون والتي لن تُحَل أبدًا، تلاشت معظم أفكار أرسطو؛ إذ أثبت العلم الحديث أنه أخطأ أكثر مما أصاب.

غير أنَّ أرسطو كان محقًّا عندما ناقش مفهومًا مهمًّا نعرفه نحن الآن باسم «التناظر». ربما يكون علماء الطبيعة القدماء الآخرون قد لاحظوه كذلك، لكن أرسطو هو أول من كتب عنه فيما يبدو (هذا ما تشير إليه الكتابات القديمة التي وصلت إلينا على الأقل). أشار أرسطو إلى أن العظام نفسها في أطراف الفقاريات قد عُدِّلت تعديلات كبيرة لاستخدامات مختلفة تمامًا (الشكل ٤-١). فعلى سبيل المثال، تحتوي بنية الأطراف الأمامية لدى رباعيات الأرجُل على نفس العناصر الأساسية؛ عظمة ذراع طويلة قوية معلَّقة بلوح الكتف من خلال مَفصِل كروي حُقِّي (عظم العَضُد)، وزوج من العظام الطويلة في الساعد (الكُعبُرة والزَّنْد)، وعدد من العظام التي يتكون منها الرُّسْغ والأصابع (عظام الرُّسْغ، عظام السِّنْع، والسُّلامَيَات). ورغم ذلك، عُدِّلت هذه البنية الأساسية بما يتلاءم مع وظائف مختلفة تمامًا في مختلف الفقاريات. تُعَد بنية هذه العظام في البشر والرئيسيات الأخرى غير معدَّلة نسبيًّا، لكنها معدَّلة في الحيتان لتُشكِّل زعنفة، وفي الخفافيش تستطيل الأصابع للغاية لدعم غشاء الجناح، وفي الخيول تُفقَد جميع الأصابع الجانبية ولا يبقى سوى الإصبع الوسطى وعظام الرسغ الأوسط (ميتابوديال) التي تستطيل بدرجةٍ كبيرةٍ لتشكيل الحافر، وفي الخُلْد يصبح الرسغ والأصابع بالغَي القِصَر ومتينَين بغرض الحفر، وفي القطط تندمج الأصابع في كفٍّ بمخالب حادَّة، وهكذا. بعبارة أخرى، يبدأ الطرف الأمامي للفقاريات بتخطيطٍ أساسي، لكنه يتحوَّل تمامًا بعد ذلك ليؤدِّيَ وظائف مختلفة للغاية. لم يعرف أرسطو تفسيرًا لهذه الظاهرة، لكنه قال إنها توضح الوحدة الأساسية لخطة الطبيعة، أي إنها منظومة موحَّدة، وليست خليطًا عشوائيًّا من المخلوقات.

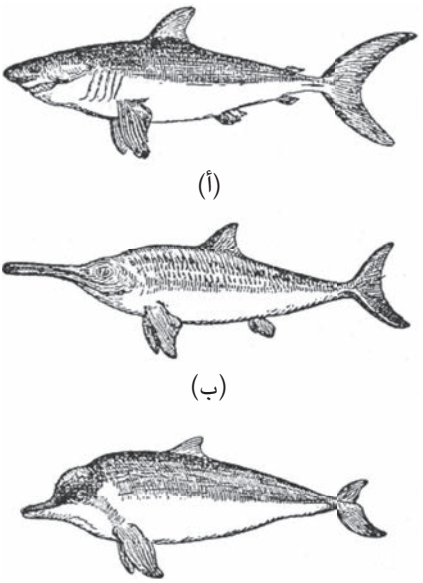
إضافةً إلى ذلك، ميَّز أرسطو هذا المفهوم عن «التماثل». في حالة التناظر، تستخدم الحيوانات الأجزاء الأساسية نفسها لوظائف مختلفة. أما في حالة «التماثل»، فإنَّ الحيوانات تُعدَّل للقيام بوظائف متماثلة باستخدام أجزاء مختلفة من أجسادها. فعلى سبيل المثال، تمتلك معظم الفقاريات المائية أجسادًا انسيابية على شكل الطوربيد، إضافةً إلى نوع أو غيره من الزعانف لدفعها (الشكل ٤-٢). ولسنا بحاجة إلى مقارنة أجساد الفقاريات المائية الشبيهة بالأسماك، مثل الحيتان والدلافين وطيور البطريق، بأجساد الزواحف المنقرضة الشبيهة بالدلافين، والمعروفة باسم الإكثيوصورات؛ لرؤية التشابه السطحي بين



شكل ٤-١: الأدلة على التناظر. تتكون جميع الأطراف الأمامية للفقاريات على نفس التخطيط الأساسي بالوحدات الأساسية نفسها، على الرغم من أنها تؤدي وظائف مختلفة إلى حد كبير. عُدِّل الطرَف الأمامي الفقاري الأساسي إلى زعنفة لدى الحيتان، وجناحٍ لدى الخفافيش، ويدٍ بإصبع واحدة للركض لدى الخيول، رغم أن الهيكل العظمي الأساسي هو نفسه. (رسم كارل بويل)

هذه وتلك. وبالرغم من ذلك، فبنيتها الأساسية مختلفة تمامًا (لا سيما بالنسبة لتشريحها الداخلي وتكاثرها)؛ ولهذا نعلم أن هذا الشكل الجسدي قد تطور للسباحة بشكلٍ مستقلٍّ في مجموعات مختلفة؛ الثدييات (الحيتان)، الطيور (البطاريق)، الزواحف (الإكثيوصورات)، وأيضًا في العديد من السلالات التي تندرج كلها تحت الاسم الفضفاض للغاية؛ «الأسماك».

يمكنك أيضًا أن تتأمل الوسائل المختلفة التي شكلت بها الحيواناتُ الطائرة أجنحتها (الشكل ٤-٣). فالخفافيش تستخدم أصابعها المطولة، بينما دمجت الطيور جميع عظام أصابعها في عظمة واحدة تُسمى الجُنيح أو «الألولا» (ذلك الجزء العظمي الرقيق من أجنحة الدجاج الذي لا تأكله أبدًا)، وهي تدعم أجنحتها بقوائم الريش. للزواحف الطائرة المعروفة باسم التيروصورات (وتُسمى أيضًا الزواحف المُجنَّحة) إصبعٌ رابعة استطالَت



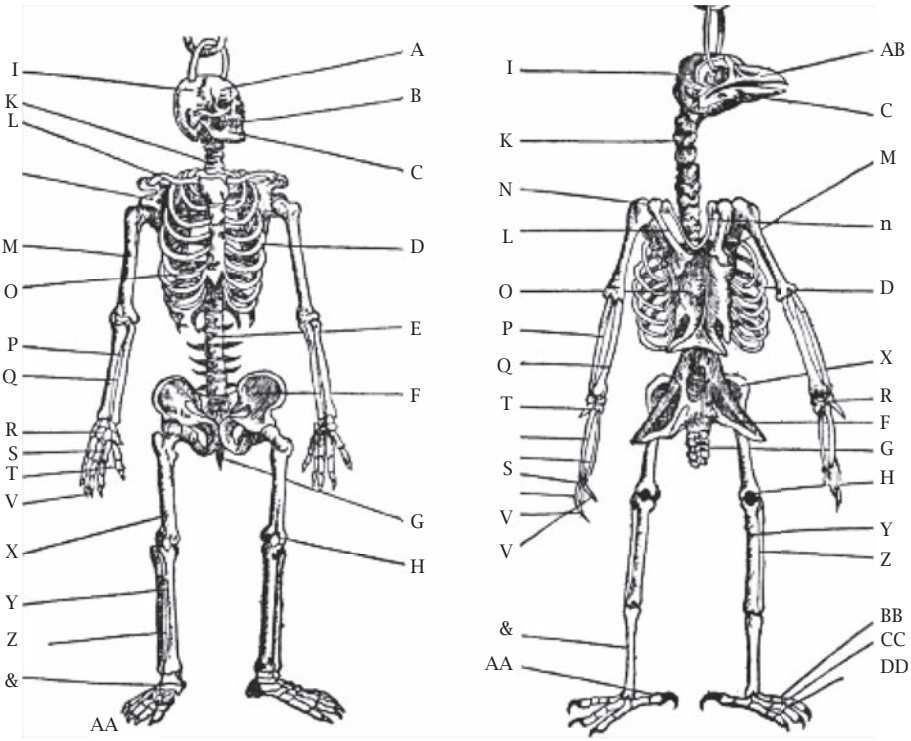
شكل ٤-٢: نقيض التناظر هو التماثل (المعروف أيضًا باسم التطور المتقارب)، والذي يحدث فيه أنْ تتطوَّر بنًى في أجساد الكائنات الحية التي لا تجمعها صلة قرابة وثيقة، لتصبح متشابهة في الشكل والوظيفة. فالزعانف والأجساد الانسيابية للحيوانات المائية، مثل الأسماك والإكثيوصورات والدلافين، تمنحها جميعًا بنًى جسدية متشابهة للغاية، على الرغم من أن دراسة تشريحها غير المرتبط بالسباحة تُظهِر أن أحدها حيوان ثديي يتنفس الهواء (الشكل ٤-٢(جـ))، والآخر زاحف يتنفس الهواء (الشكل ٤-٢(ب))، بينما القرش هو حيوان فقاري خيشومي كالأسماك الأخرى (الشكل ٤-٢(أ)) يستطيع استخلاص الأكسجين من الماء مباشرة.

بدرجةٍ كبيرة («إصبع البِنصَر»)؛ وذلك لدعم أجنحتها. أما الحشرات الطائرة فقد بنَت أجنحتها من أعضاء مختلفة تمامًا عن أذرع الفقاريات الطائرة. صحيحٌ أنَّ هذه البنى جميعها تخدم وظيفة الطيران، سواء في الثدييات أو الطيور أو الزواحف أو الحشرات، لكنها بُنيت بطرق مختلفة تمامًا. حقيقة الأمر أنَّ بذور العديد من النباتات، مثل بذور الجُمَّيز، تحتوي على أغلفة شبيهة بالأجنحة تسمح للبذرة الساقطة «بالطيران» لمسافة كبيرة من الشجرة الأصلية، ومن الواضح بالطبع أنها تشكلت من أجزاء تختلف تمامًا عن تلك التي تشكلت منها أجنحةُ أيِّ حيوان.

شكل ٤-٣: يَبرُز التطور المتقارب في ثلاث مجموعات مختلفة من الفقاريات الطائرة. تستخدم الخفافيش أصابع يدها المطوَّلة لدعم أغشية أجنحتها، بينما دُمِجت أصابع الطيور في عظمة واحدة، وهي تدعم أجنحتها بقوائم الريش. أما التيروصورات فطوَّرت حلًّا آخر؛ الجناح مدعوم بإصبع رابعة طويلة للغاية («البنصر»).

وعلى مدار الألفيتين التاليتين، ناقش العلماء والباحثون وصف أرسطو للتناظر مرات عديدة. والأرجح أنَّ أول تقرير فعلي مُفصَّل عن هذا الوصف هو تقرير عالم الطبيعة والرحَّالة والدبلوماسي الفرنسي بيير بيلون. فعلى غرار غيره من المثقفين في عصر النهضة، كان بيير بيلون مهتمًّا بموضوعات عدة، ومنها الهندسة المعمارية وعلم المصريات وعلم النبات وعلم الأسماك وعلم التشريح المقارن. في عام ١٥٥١، أَلَّف كتابًا عن الأسماك البحرية الغريبة (والتي كانت تشمل الحيتان آنذاك). في عام ١٥٥٣ أَلَّف أربعة كتب جديدة، أصبح أحدها أساس علم الأسماك، والآخر عن الصنوبريات، والثالث عن العادات الجنائزية للقدماء (خاصة التحنيط المصري)، والكتاب الرابع عن «الأشياء البارزة» الموجودة في اليونان، وآسيا، ويهودا، ومصر، و«دول غريبة أخرى». في عام ١٥٥٥، كتب «تاريخ طبيعة الطيور». وفي هذا الكتاب، ناقش بيلون بعضًا من المفاهيم الأولى لما يُسمى الآن

بالتشريح المقارن، وقد أورد فيه رسمًا رائعًا كان من بين أوائل الرسومات التي أظهرت العظام المتناظرة على الهياكل العظمية للطيور والبشر (الشكل ٤-٤).



الهيكل العظمي للإنسان　　الهيكل العظمي للطيور

شكل ٤-٤: رَسْم بيير بيلون الشهير للهيكل العظمي البشري والهيكل العظمي للطيور، مرسومَين بنفس الحجم وفي وضعٍ مماثل، مما يوضح التشابه بين معظم عظام الهيكلَين. من كتاب «تاريخ طبيعة الطيور»، ١٥٥٥.

وقد اعتُبِر هذا النمط من التشابه جزءًا من «سلسلة الوجود العظمى» لعدة قرون، مفسرًا الزيادة التدريجية في التعقيد من الإسفنج والشعاب المرجانية إلى الرخويات إلى الأسماك إلى الزواحف إلى البشر، وغالبًا ما كانت هذه السلسلة تمتد إلى الكائنات الإلهية،

من الشيروبيم والسيرافيم إلى الملائكة لرؤساء الملائكة إلى الرب. وبحلول القرن الثامن عشر الميلادي، كانت المدرسة الألمانية للفلسفة («الفلسفة الطبيعية» أو «التاريخ الطبيعي» في الإنجليزية) تمجِّد التناظر بصفته جزءًا من الخطة العظيمة المتمثلة في وحدة الطبيعة (مع صبغة دينية في المعتاد توحي بأنَّ تلك هي مشيئة الرب). لاحظ الشاعر والفيلسوف والباحث الألماني العظيم يوهان فولفجانج فون جوته في عام ١٧٩٠؛ أنه حتى النباتات تتسم بحالات التناظر؛ إذ ليست بَتَلات الزهور سوى أوراقٍ معدَّلة. وفي عام ١٨١٨، نشر عالم الحيوان الفرنسي الرائد إيتيان جوفروا سانت هيلار نظريته عن التماثل، التي افترض فيها أن الهياكل المشتركة بين الفقاريات كلها واحدة. وقد حاول توسيع افتراضه ليشمل اللافقاريات، مما أثار الجدالات الشهيرة مع البارون جورج كوفييه، أعظم علماء التشريح والحفريات في ذلك الوقت، الذي كان يعتقد أنه لا توجد روابط بين الفروع الخمسة العظيمة للطبيعة.

في البداية، لاحظ عالم الأجنَّة الإستوني الشهير كارل إرنست فون باير (انظر الفصل الخامس) أن البنى المتناظرة، كالطرف الأمامي لدى الفقاريات، بدأت من بنًى جنينية مشتركة بين جميع الفقاريات، وبهذا تتبَّع باير جذور التناظر إلى النمو الجنيني. وأخيرًا، في عام ١٨٤٣، صاغ عالم التشريح والحفريات البريطاني الأسطوري ريتشارد أوين مصطلح «التناظر»، وقد استُخدِم بهذا المعنى منذ ذلك الحين. اعتمدت اختباراته لمعرفة ما إذا كانت أي بنية متناظرة أم لا على ثلاثة أشياء؛ الموضع والنمو والتكوين. ورغم ذلك، فقد ابتكر أوين تفسيراته الخاصة المتفردة للسبب في وجود التناظر، لقد كان التناظر جزءًا من «النموذج الأصلي» الأساسي، أو مخطط الرب لتصميم الكائنات الحية.

واجهت جميع هذه التفسيرات القديمة المزعومة للتناظر المشكلة ذاتها، وهي أنها وصفت التناظر، لكنها لم تفسره في واقع الأمر. ففي معظم الحالات، لا تقدم الأفكار المتمثلة في النماذج الأصلية أو وحدة النمط سوى أنها تُعيد طَرْح ما هو واضح؛ جميع الكائنات لها نمط مشترك للجسد، لكن «سبب» وجود هذا النمط غير معلوم. وفي كثير من الحالات، كان فلاسفة الطبيعة يزعمون أن السبب في وجود هذا النمط المشترك أو النموذج الأصلي؛ أنَّ ذلك هو المخطط الذي وضعه الرب للحياة. لكن هذا الزعم أيضًا ليس بفرضية قابلة للاختبار؛ فالاكتفاء بقول إنَّ «الرب مَن فعل ذلك» لا يسمح بأي نوع من التحليل العلمي، أو أي اختبار لهذه الفكرة. وقد اتضح صحة ذلك تحديدًا عندما أشار فون باير إلى أن التناظر يمتدُّ إلى السلائف الجنينية للأطراف الأمامية.

وإلى هذه الفجوة تقدَّم تشارلز داروين. فمنذ أيام دراسته في جامعتَي إدنبرة وكامبريدج، وهو على دراية بالنقاش الدائر بشأن وحدة النمط، التي أيَّدها فلاسفة الطبيعة في عصره. وكانت هذه المسائل تجول بخاطره، عندما عاد في عام ١٨٣٦ من رحلة البيجل التي استمرَّت خمس سنوات. ومثلما يتضح من دفاتر ملاحظاته المبكرة، فإن كلًّا من هذه الرحلة وأبحاثه التي لحقتها جعله يشكُّ في أن الأنواع «ثابتة» و«غير قابلة للتغيير» على مدار الزمن. وحالما فتح الباب لفكرة تحول نوعٍ ما إلى نوعٍ آخر، وأن هذا التغيير مدفوعٌ بالانتخاب الطبيعي، أصبح من الممكن تفسيرُ وحدة النمط. فالسبب الكامن وراء التناظر بين أفراد أنواع كثيرة من النباتات والحيوانات هو أن سلَفها المشترك قد تكوَّن على نفس مخطط الجسد، ثم عدَّل الأسلاف ما ورثوه ليلائم وظيفة أخرى.

ومثلما فسَّر الانتخابُ الطبيعي التناظر، فسر التماثل أيضًا. فإذا كان الانتخاب قد دفع الكائنات الحية للتكيف مع بيئتها المحلية، فلا بد أنَّ المجموعات المختلفة ذات الأصول المختلفة، مثل الأسماك والحيتان وطيور البطريق والإكثيوصورات، كانت ستتخذ شكلًا أكثر انسيابية للجسد للتنقُّل عبر الماء بكفاءةٍ أعلى. وستبني الكائناتُ التي أصبحت طيورًا فيما بعدُ أجنحتها مما ورثته عن أسلافها، وهذا هو سبب اختلاف أجنحة الحشرات عن أجنحة الخفافيش والطيور والتيروصورات. لقد رأى داروين نفسه كيف أنَّ مناقير شرشوريات جالاباجوس تحوَّلت لتُشبه مناقير طيور البر الرئيسي التي تنتمي إلى نوعٍ مختلف، وليس ذلك لشيءٍ إلا لأنَّ للمنقارَين وظيفةً مشتركة. فعلى أية حال، إذا أراد مصمِّم إلهي كليُّ القدرةِ خَلْق أجنحة، فلماذا لا يستخدم خطة البناء الأكثر كفاءة نفسها، بدلًا من ارتجال أجنحة من بنًى مختلفة تمامًا؟ واليوم، نسمِّي هذا التطور للبنى المتشابهة في المجموعات التي لا تجمعها صلة قرابةٍ وثيقة باسم «التطور المتقارب».

منذ أن ناقش داروين التناظر في «أصل الأنواع» عام ١٨٥٩ (راجع الاقتباس الوارد في بداية الفصل)، تضاعفت الأمثلة بشكل هائل. يمكن رؤية بعض أفضل الأمثلة في نمو الأجنحة والزوائد الأخرى في المفصليات، وهي تلك الكائنات «التي تحتوي أرجلها على مفاصل»، ومنها الحشرات والعناكب والقشريات وثلاثيات الفصوصِ وأقاربها. لجميع هذه الحيوانات خطة جسد مرنة مع عدد من المقاطع (الجسيدات)، التي يستطيع كلٌّ منها أن يتحمَّل زوائد مختلفة. ويمكن لهذه الكائنات مضاعفة مقاطعها كما هو الحال في الديدان الألفية أو المئويات الأرجل، أو يمكنها تعديل زوائدها في كل جزء إلى وظائف مختلفة؛ الأرجل، وأجزاء الفم، وقرون الاستشعار، والملاقط، والأجنحة. تُعرَف ظاهرةُ

وجود البنية نفسها في جميع المقاطع وتكرارها مرارًا وتكرارًا باسم «التناظر التسلسلي». فكل زائدةٍ في كل مقطع متناظرة مع أنواعٍ مختلفةٍ من الزوائد على مقاطع أخرى. أقدم مفصليات الأرجل المعروفة هي الديدان الألفية، وقد تطوَّرت المجموعات اللاحقة عن طريق تقليل عدد المقاطع، وتغيير وظيفة الزوائد في كل مقطع. وحتى داخل المجموعات يمكننا العثور على بعض الأمثلة الرائعة للكائنات المتناظرة تسلسليًّا التي تتطور. فعلى سبيل المثال، أكثر الحشرات المجنَّحة بدائيةً هي اليعاسيب ومقترنات الأجنحة، التي يوجد لها زوجان من الأجنحة على ظهورها (الشكل ٤-٥(ب)). لكن في الخنافس، عُدِّلت المجموعة الأولى من الأجنحة إلى زوجٍ من الأغطية الصُّلبة الشبيهة بالصَّدَف تُسمَّى الغِمْد، والتي تحمي الأجنحة الطائرة خلفها من خلال تغطيتها (الشكل ٤-٥(أ)). وفي حشرات الذباب والبعوض وأقاربها، عُدِّلت مجموعة الأجنحة الخلفية إلى زوج من الهياكل الشبيهة بالعقد تُسمى الرسن، وهي تساعد على استقرارها أثناء الطيران (الشكل ٤-٥(ج)). كل هذه السمات تتطور من جذع جنيني مشترك، والذي عادةً ما يُكوِّن جناحًا طائرًا، لكنها تتغير في أثناء النمو بينما تمر الحشرة بمراحل اليرقة المختلفة حتى تصبح بالغة.

لقد توصل العلماء بالفعل إلى النمط الدقيق للنمو الجنيني للمفصليات، استنادًا إلى المخطط البدائي لتكوينها الجسدي، وتوصلوا منه أيضًا إلى فهم الشفرة الجينية الأساسية التي تتحكم في هذا المخطط. تحمل جميع الجسيدات العشر الأولى أعدادًا تشير إليها (الجدول ٤-١)، وتقوم المجموعات المختلفة من المفصليات بتعديل الزوائد في كل جسيدة بشكل مختلف. على سبيل المثال، نجد أنَّ ثلاثيات الفصوص لا تعدل سوى زوائدها الواقعة على الجسيدة ١ إلى قرون استشعار، بينما بقية المقاطع تحمل أرجلًا. للعناكب ست جسيدات فقط؛ الجسيدة ١ تحمل الكُلَّاب القرني (الفكين والأنياب)، والجسيدة ٢ تتحول إلى اللوامس القدمية (بقية أجزاء الفم)، وبالنسبة إلى الجسيدات ٣–٦ فلكلٍّ منها زوج من الأرجل، ما يمنحها ثماني أرجل إجمالًا. تنتِج المئوياتُ الأرجل قرونَ الاستشعار على الجسيدة ١، ونجد أنَّ الجسيدة ٢ خالية من الزوائد، وتوجد أجزاء فمها على الجسيدات ٣–٥، ثم تبدأ المجموعة الأولى من الأرجل على الجسيدة ٧، وتتبعها عشرات الجسيدات وأزواج من الأرجل. وفي الحشرات، تنمو قرون الاستشعار على الجسيدة ١، وتنمو أجزاء الفم على الجسيدات ٣–٥، وتنمو مجموعاتها الثلاث من الأرجل على الجسيدات ٦–٨. وأخيرًا، تمتلك القشريات مجموعتَين من قرون الاستشعار على الجسيدتَين ١ و٢، بينما تخرج أجزاء فمها من الجسيدات ٣–٥، وتوجد أزواج أرجلها الخمس على الجسيدات

(أ)

(ب)

(جـ)

شكل ٤-٥: بعض البنى الموجودة في الحشرات المُكوَّنة من السلائف الجنينية للأجنحة. (أ) المجموعة الأولى من براعم الجناح تتحول في الخنافس إلى الأصداف الواقية الصلبة، أو الغِمْد، لحماية مجموعة الأجنحة الطائرة الرقيقة التي تنمو من الزوج الثاني من براعم الجناح. (ب) في اليعاسيب، كلا الزوجين من الأجنحة مكتمل النمو. (جـ) في الذباب، تنمو المجموعة الأولى من الأجنحة، بينما تشكِّل المجموعة الثانية زوجًا من المقابض القصيرة يُسمَّى الرسن، ويساعد على حفظ التوازن عند الطيران. (إهداء من «ويكيميديا كومنز»)

٦–١٠. وبناءً على هذا، فإنَّ الجسيدات ٣–٥ أرجل في ثلاثيات الفصوص والعناكب، ولكنها أجزاءٌ من الفم في المئويات الأرجل والحشرات والقشريات.

جدول ٤-١: تناظر الزوائد المختلفة في مجموعات محددة من المفصليات.*

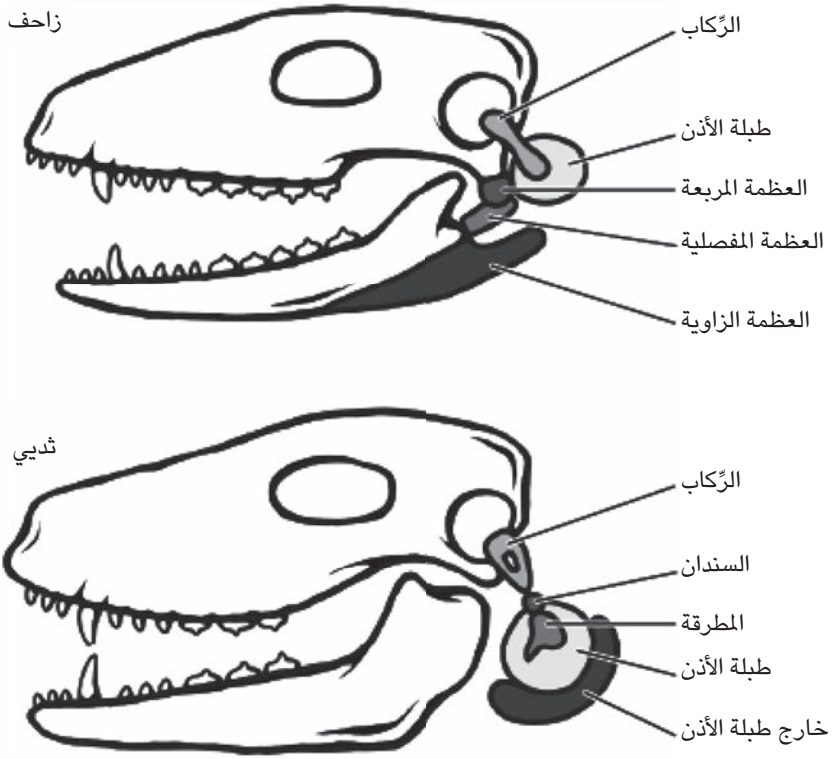
جسيدة (مقطع من الجسم)	ثلاثيات الفصوص (الترايلوبيتومورفا)	عنكبوت (كُلَّابيات القرون)	مئويات الأرجل (دخداخيات)	حشرة (سداسيات الأرجل)	قريدس (قشريات)
١	قرون استشعار	الكُلاب القرني (الفكان والأنياب)	قرون استشعار	قرون استشعار	قرون الاستشعار الأولى
٢	الأرجل الأولى	اللوامس القدمية	-	-	قرون الاستشعار الثانية
٣	الأرجل الثانية	الأرجل الأولى	الفك العلوي	الفك العلوي	الفك العلوي
٤	الأرجل الثالثة	الأرجل الثانية	الفك السفلي الأول	الفك السفلي الأول	الفك السفلي الأول
٥	الأرجل الرابعة	الأرجل الثالثة	الفك السفلي الثاني	الفك السفلي الثاني	الفك السفلي الثاني
٦	الأرجل الخامسة	الأرجل الرابعة	طوق (بدون أرجل)	الأرجل الأولى	الأرجل الأولى
٧	الأرجل السادسة	-	الأرجل الأولى	الأرجل الثانية	الأرجل الثانية
٨	الأرجل السابعة	-	الأرجل الثانية	الأرجل الثالثة	الأرجل الثالثة
٩	الأرجل الثامنة	-	الأرجل الثالثة	-	الأرجل الرابعة
١٠	الأرجل التاسعة	-	الأرجل الرابعة	-	الأرجل الخامسة

* المصدر: تجميع المؤلف من مصادر مختلفة.

وماذا عن إبرة اللدغ لدى الدبابير والنحل؟ كانت إبرة اللدغ في الأصل جهاز حَقن أنبوبيًّا طويلًا (شبيهة بإبرة تحت الجلد) تُعرَف باسم المسرأ، وتستخدمه أنواع كثيرة من إناث الحشرات لوضع البيض (غالبًا داخل مادة حية أخرى كحشرة أخرى، راجع الفصل الثامن). لكن العديد من الحشرات الاجتماعية للغاية، مثل الدبابير والنحل، لم تعد تستخدمها في وضع البيض. فالنحل العامل، على سبيل المثال، جميعه من الإناث، لكنها إناث لا تستطيع التكاثر؛ لذلك عُدِّل المسرأ الخاص بها إلى إبرة اللدغ. إذا لدغت نحلة عاملة شيئًا ما، فعادة ما تكون تلك مهمة انتحارية لها؛ إذ تتمزق إبرة اللدغ خارجة من بطنها، مما يُنهي حياة النحلة. أما ذكور النحل فلا تنمو لديها إبرة اللدغ على الإطلاق لأنها لا تمتلك الجينات الخاصة بالمسرأ، وهو عضو تناسلي أنثوي.

توجد أمثلة مفاجئة على حالات التناظر في مختلف الكائنات الحية. فأنت الآن مثلًا، تسمع من خلال العظام الثلاثة الموجودة في أذنك الوسطى؛ المطرقة والسِّندان والرِّكاب. تعمل هذه العظام على توصيل الأصوات من اهتزازات طبلة الأذن، إلى لوح الضغط الموجود في نهاية الأنبوب الملفوف الطويل في أذنك الداخلية (القوقعة)، والتي تحوِّل هذه الاهتزازات من الشعيرات الصغيرة في السائل إلى صوت في دماغك. لكن كيف تطور هذا التنظيم الأخرق وغير الفعَّال؟ عندما كنت جنينًا، كان كلٌّ من المطرقة والسندان جزءًا من المفصل الواقع بين الجمجمة والفكَّين، وقد انتقلا إلى أذنك الوسطى خلال نُموِّك الجنيني. كان السندان في الأصل هو العظمة المربعة في مؤخرة الجمجمة، والتي كانت متصلةً بالعظمة الزاوية (= المطرقة) الموجودة في مؤخرة الفك.

فلماذا طورت الثدييات مثل هذا التنظيم الأخرق؟ يمكننا تتبع أصله إلى حفريات أقدم أقرباء الثدييات، وهي مجموعة «الثدييات الأولية»، أو ما يُعرَف باسم ملتحمات الأقواس. كانت هذه الحفريات تُسمى بشكل خاطئ «الزواحف الشبيهة بالثدييات»، لكن لم يكن لها أي علاقة بالزواحف، ولم يعد هذا المصطلح يُستخدم الآن. وعندما نتتبَّع تطوُّر أقدم ملتحمات الأقواس إلى ثدييات، نرى أنَّ كلًّا من العظمة الزاوية في الفك، والعظمة المربعة في الجمجمة يصبح أصغر وأصغر حتى يتطوَّر مفصلٌ جديدٌ بين عظمتَين مختلفتَين؛ العظمة الحرشفية للجمجمة والعظم السني للفك، وهو مفصل الفك الموجود الآن في جمجمتك. بقيَت هذه العظام بينما فقدت الزواحف عظام الفك الأخرى؛ لأن الزواحف تنقل الصوت في المعتاد من فكها السفلي عبر مفصل الفك إلى الأذن الداخلية. وفور أن توقف مفصل الفك التربيعي المفصلي القديم لدى الزواحف عن العمل كمفصل للفك، عاد إلى وظيفته الأخرى؛ وظيفة السمع (الشكل ٤-٦).



شكل ٤-٦: خضعت منطقة الأذن في ملتحمات الأقواس («الزواحف الشبيهة بالثدييات») والثدييات إلى تحول جذري؛ إذ تنتقل العظمة المفصلية لمفصل الفك السفلي، والعظمة المربعة لمفصل الفك في الجمجمة إلى الأذن الوسطى، وتتحولان إلى السندان والمطرقة. ونحن لا نرى هذا التحول في الحفريات وحسب، بل في نمو أجنَّة الثدييات أيضًا. عندما كنتَ جنينًا، بدأت عظام أذنك الوسطى في فكك.

الحق أنَّ الأمثلة على التناظر كثيرة للغاية في جميع الحيوانات، بما في ذلك نحن أنفسنا. فعلى سبيل المثال، أعضاؤنا التناسلية (الخصيتان والقضيب لدى الذكور، والمبيض والبظر لدى الإناث) متناظرة، وتؤدي العديد من الوظائف نفسها. ففي المراحل المبكرة من نمو الأجنة البشرية، تظل الأعضاء التناسلية غير متمايزة إلى أن تُفرَز الهرمونات المناسبة لتحفيز نموها. إذا كان لديك الكروموسوم Y، فسوف يُرسَل هرمون التستوستيرون إلى

أعضائك التناسلية الجنينية لتنمو إلى الأعضاء الذكرية. وإذا كنت لا تملك الكروموسوم Y، فسينمو الجنين وفقًا للإعداد الافتراضي المعتاد، وتنمو لديه الأعضاء التناسلية الأنثوية. ومن حين لآخر، تقع اضطرابات في نقل الإشارات الهرمونية للأعضاء التناسلية الجنينية، فيولَد بعض الأشخاص مخنَّثين قد نمَت لديهم كِلتا مجموعتَي الأعضاء، إما جزئيًّا أو كليًّا. لكن تذكر أننا — نحن البشر — إناث كلنا ما لم نحصل على هرمون التستوستيرون في الوقت المناسب؛ لكي يحولنا إلى ذكور!

يمكننا ذكر العديد من الأمثلة الأخرى للأعضاء المتناظرة المدهشة، لكن ما يهمنا أن نتذكر الصورة الكبرى، وهي أنَّ حالات التناظر علامة واضحة على التطور من سلَف مشترك، عبر مسار جنيني مشترك. وليس من الممكن تفسير الأعضاء المتناظرة بفكرة وحدة النمط، أو النماذج الأصلية السابقة على الداروينية. ذلك أنَّ هذه الأعضاء دليل واضح على تعديل التطور لما يمتلكه الجنين بالفعل لإنتاج بنية مختلفة. صحيحٌ أنها لم تُصمَّم بكفاءة أو بشكل جيد، لكن هذا يتفق مع فكرة أن الطبيعة تستخدم ما لديها بالفعل من أشكال مستمَدة من الأسلاف لإنتاج بنًى جديدة. ومنذ صدور كتاب داروين قبل ١٦١ عامًا، اكتشفنا المزيد من الأمثلة على هذه العملية الخرقاء وغير الفعالة، وعرفنا التفسير الجيني والجنيني لكيفية حدوثها وسببه. لقد قطعنا شوطًا طويلًا منذ زمن داروين، وصار دليل التطور المستنِد إلى التناظر أقوى مما كان عليه في زمن داروين.

قراءات إضافية

Carroll, Sean, *Endless Forms Most Beautiful: The New Science of Evo Devo*, New York: Norton, 2005.

_____, *The Making of the Fittest: DNA and the Ultimate Forensic Record of Evolution*, New York: Norton, 2006.

Fitch, Walter M., "Homology: A Personal View on Some of the Problems," *Trends in Genetics* 16, no. 5 (2000): 227–231.

Hall, Brian, *Homology*, Novartis Foundation Symposium, 2008.

Mindell, David P. and Axel Meyer, "Homology Evolving," *Trends in Ecology and Evolution* 16, no. 8 (2001): 434–440.

Panchen, Alec L., "Homology: History of a Concept," In *Homology*, ed. Gregory R. Bock and Gail Cardew, 5–18, Chichester, UK: Wiley, 1999.

Scotland, Robert W., “Deep Homology: A View from Systematics,” *BioEssays* 32, no. 5 (2010): 438–449.

Wagner, Günter, *Homology, Genes and Evolutionary Innovation*, Princeton, N.J.: Princeton University Press, 2014.

Zakany, Jozsef and Denis Duboule, “The Role of Hox Genes During Vertebrate Limb Development,” *Current Opinion in Genetics & Development* 17, no. 4 (2007): 359–366.

الفصل الخامس

النمو الجنيني يلخِّص تطور السلالات

أدلة من الأجنَّة

لقد أشرنا عرَضًا بالفعل إلى أن بعض الأعضاء المحددة التي تصبح عند النضج مختلفة بدرجة كبيرة، وتؤدي وظائف مختلفة، تكون متشابهة تمامًا في المرحلة الجنينية. وغالبًا ما تكون أجنة الحيوانات المتباينة داخل الطائفة نفسها متشابهة بشكل لافت للنظر، وليس على ذلك دليل أقوى من الحالة التي ذكرها أجاسي، وهي أنه نسي ذات مرة أن يضع بطاقة على جنين حيوان فقاري ما، فلم يتمكن بعد ذلك من معرفة ما إذا كان هذا الجنين لحيوان من الثدييات أم من الطيور أم من الزواحف. وتتشابه اليرقات الدودية الشكل، من العُث والذباب والخنافس وغيرها، تشابهًا شديدًا بدرجة أكبر من تشابه هذه الحشرات وهي بالغة، لكن الأجنة تكون نشطة في حالة اليرقات، وقد تكيفت لتناسب اتجاهات محددة في الحياة.

تشارلز داروين، «أصل الأنواع» (١٨٥٩)

قبل اختراع المجهر، كانت طبيعة التكاثر الحيواني لغزًا محيرًا. لم يكن بإمكان أحد أن يرى الحيوانات المنوية للإنسان أو البويضات، بدون التكبير الذي توفِّره العدسات القوية. كنا نعلم أن الجنس يؤدي إلى إنتاج ذرية، لكننا لم نكن نعلم كيفية حدوث ذلك. ولم يكن بوسعنا أن نشاهد نمو الأطفال بالعين المجردة، إلا بعد مرور مدةٍ زمنيةٍ طويلة

بعض الشيء على نموهم. كان الفيلسوف اليوناني القديم فيثاغورس (المشهور بنظرية فيثاغورس) من أوائل المفكرين الذين كتبوا عن هذا الموضوع. جاء فيثاغورس بفكرة «التخلُّق من النطفة»، التي كانت تُفيد أن جميع الخصائص الأساسية للإنسان تُحمَل في الحيوانات المنوية، بينما تقتصر مساهمة الأم على الدعم المادي للجنين النامي. وقد اشتهرت هذه الفكرة بفضل أرسطو، وقَبِلها معظم العلماء والأطباء لعدة قرون. ورسم ليوناردو دافنشي رسمًا تخطيطيًّا لجنين بشري مشرَّح، ورد في دفاتر ملاحظاته غير المنشورة، وهو من أوائل الجهود في هذا المجال في تاريخ العلم. لكن في عام ١٦٥١، ألَّف الطبيب البريطاني العظيم ويليام هارفي (الشهير بشرحه للدورة الدموية)، كتابه «عن توالد الحيوانات»، وزعم فيه أن جميع الحيوانات تأتي من البويضة. استمر هذا الجدال بين أنصار التخلُّق من النطفة وأنصار التخلق من البويضة حتى عام ١٨٧٦، عندما أثبت أوسكار هيرتويج أن الإخصاب البشري يحدث عندما يلتقي الحيوان المنوي بالبويضة.

أتاح المجهر لعلماء الطبيعة رؤية الحيوانات المنوية لأول مرة. ووصف أحد مؤسسي مجال الفحص المجهري، أنتوني فان ليفينهوك، حوالي ٣٠ نوعًا من الحيوانات المنوية عام ١٦٧٧. ونظرًا لأن معظم العلماء اعتقدوا أن الطبيعة يجب أن تتبع قوانين ميكانيكية بسيطة، فقد طوروا مدرسة فكرية سُميت بـ «التكون المسبق». تشير فكرة التكون المسبق إلى وجود نسخة صغيرة من الإنسان في رأس الحيوان المنوي (الشكل ٥-١). تُعرَف هذه النسخة باسم «الأُنَيْسيان»، وهو يحمل جميع سمات الإنسان البالغ، وكل ما يحتاج إليه هو أن ينمو أكثر مع مرور الوقت. وقد كتب فان ليفينهوك بنفسه أنه يستطيع أن يرى تحت المجهر «جميع أنواع الأوعية الكبيرة والصغيرة، وهي تتنوع وتتعدد لدرجة أنني لا أشك في أنها أعصاب وشرايين وأوردة ... وعندما رأيتها شعرت باقتناع بأنه لا يوجد في أي جسد مكتمل النمو أية أوعية لا يوجد مثلها في السائل المنوي». وذهب البعض إلى أبعد من ذلك، وافترضوا أن خلايا الحيوانات المنوية داخل خصيتَي الأُنَيْسيان تحمل الجيل التالي من الأُنَيْسيانات، وهكذا دوالَيك، حيث يصبح لدينا حُيَيوينات مجهرية أصغر وأصغر حجمًا بلا حدود.

لا شك أنَّ أي صورة مجهرية لائقة للحيوانات المنوية ستوضح أن هذا ليس صحيحًا، لكن قوة الإيحاء تجعلنا نرى أشياء غير موجودة، ثم إنَّ الجودة البصرية التي وفرتها تلك المجاهر المبكرة كانت بالغة السوء، لدرجة أنهم ربما شاهدوا صورًا مشوشة، أوحت للعلماء آنذاك أنهم يستطيعون حقًّا رؤية إنسان صغير عبر العدسة. وعلى مدار القرن

شكل ٥-١: شخص صغير الحجم داخل رأس خلية منوية (أُنَيْسيان)، كما رسمه نيكولاس هارتسويكر في عام ١٦٩٥. (إهداء من «ويكيميديا كومنز»)

الثامن عشر الميلادي، أصبحت نظرية التخلق من النطفة أكثر رسوخًا، حتى عندما أصبحت حجج أنصارها أكثر تعقيدًا (وغير مرتبطة فعليًّا بأي بيانات مجهرية).

شهد هذا العصر مدرسة فكرية أخرى؛ ألا وهي مدرسة «التخلق المتوالي»، وهي مدرسة تمتدُّ جذورها إلى الإغريق القدماء، وقد تبنَّاها العديد من المؤرخين الطبيعيين الأوائل، ومنهم دافنشي وجابرييل فالوبيو (الذي وصف قناتَي فالوب لأول مرة)، والعديد غيرهما. ذهب هؤلاء العلماء إلى أن الأجنة تبدأ كخلايا بسيطة جدًّا، يزيد تعقيدها تدريجيًّا بمرور الوقت عبر سلسلةٍ من المراحل.

ازدادت حدة الجدل بين أنصار التكوُّن المسبق وأنصار التخلُّق المتوالي في القرنَين الثامن عشر والتاسع عشر، بينما لم تُقبَل النظرية الحديثة للخلية إلا بعد تطوير مجاهر

أفضل، تسمح بالفحص المُفصَّل للبنى الموجودة داخل الخلايا، ولم يحدث ذلك حتى أوائل ثمانينيات القرن التاسع عشر. وبالتوازي مع نظرية الخلية، أصبح لدى العلماء إدراكٌ لما تتكون منه الخلايا، وكيفية نموها وتغيرها. وفي ستينيات القرن الثامن عشر وسبعينياته، قال الطبيب الألماني كاسبار فريدريش وولف إن العلماء بحاجةٍ إلى النظر في الطبيعة بموضوعية، وألَّا يخلطوا بين ما هو غامض وبين الاعتبارات النظرية أو الفلسفية. وفقًا لوولف، كان من الواضح أن الملاحظات المجهرية لا تدعم فكرة وجود أُنَيْسيان داخل كل حيوان منوي. وجاءت الضربة الأخيرة من تطوير جون دالتون للنظرية الذرية للمادة. صار جليًّا أنه لا يمكن أن يوجد أُنَيْسيان بداخل الحيوان المنوي لأُنَيْسيان أكبر، وتصبح هذه الأُنَيْسيانات أصغر فأصغر لتُشكِّل حييوينات مكدَّسة إلى ما لا نهاية؛ إذ يوجد حدٌّ أدنى لحجم الأنسجة والبنى البيولوجية، المُكوَّنة من ذرات أكثر ضآلة. وأخيرًا، تمكَّن عالم الأحياء هانز دريش في ثمانينيات القرن التاسع عشر من ملاحظة النمو الجنيني، من حيوان منوي وبويضة في قنفذ البحر، الذي يمتلك خلايا تناسلية وأجنة كبيرة، وكانت دراسته في المختبر أكثر سهولة. وقد حسمت هذه التجارب الجدل لصالح التخلق المتوالي إلى الأبد.

غير أنَّ الشخصية الأهم في التاريخ المبكر لعلم الأجنة هو كارل إرنست ريتر فون باير، إدلر فون هوثورن. وُلد فون باير لعائلة ألمانية أرستقراطية فيما يُعرَف الآن بإستونيا، ولم يتضمن اسمه الكامل لقبَي «فون» و«إدلر» الأرستقراطيَّين فحسب، بل تضمن أيضًا لقب «ريتر» (أي الفارس). تلقَّى باير تعليمه في مدارس وجامعات دون المستوى في إستونيا، ولم يدرك أوجُه القصور في تعليمه الطبي إلى أن ذهب إلى مدينة ريجا؛ لمساعدة المرضى والجرحى خلال حصار نابليون للمدينة في عام ١٨١٢. وفور تخرُّجه من جامعة دوربات في تارتو بإستونيا، ذهب إلى برلين وفيينا وفورتسبورج للدراسة مع كبار العلماء في عصره. كان إجناز دولينجر هو مَن عرَّفه بمجال علم الأجنة الحديث النشأة آنذاك. وبحلول عام ١٨١٧، كان فون باير أستاذًا في جامعة كونيجسبيرج في شرق بروسيا (حاليًّا كالينينجراد في روسيا)، وهي جامعةٌ متميزةٌ يعود تاريخها إلى عام ١٥٤٤، وقد أنجبت العديد من الباحثين والعلماء الألمان المهمين، ومنهم إيمانويل كانط وهيرمان فون هيلمهولتز. وفي تلك الجامعة، أجرى فون باير معظم أبحاثه الرائدة في علم الأجنة.

في عام ١٨٣٤، عانى فون باير من انهيارٍ عصبي وتدهورٍ صحي وهو في ذروة حياته المهنية وشهرته. قرَّر تغيير مجال عمله، فتخلَّى عن علم الأجنة وتولَّى وظيفةً جديدة في

سانت بطرسبرج. وفي مسيرته المهنية الثانية، أمضى الكثير من وقته في التدريس وإجراء الأبحاث الميدانية في علم الحيوان والجغرافيا، بما في ذلك استكشاف بحر قزوين وجزيرة نوفايا زيمليا الروسية في القطب الشمالي. ويُعتبَر باير مؤسِّس مجالَي الأنثروبولوجيا والإثنولوجيا في روسيا. وفي سنوات حياته الأخيرة، عاد فون باير إلى جامعة دوربات، ووجد أن أبحاثه قد ألهمت العديد من العلماء الآخرين، ومن بينهم داروين.

قبل أن يغير فون باير مهنته، كان قد قدَّم مساهمات هائلة في علم الأجنة. فاكتشف عبر دراسته للأجنة تحت مجهره الممتاز مرحلة الأريمة من النمو («بلاستولا»)، وهو من قام بتسميتها، وهي المرحلة التي تتميز بنمو مجموعة الخلايا إلى كرةٍ مجوَّفة. وفي عام ١٨٢٦ اكتشف بويضة الثدييات، وأَتبعَ ذلك بوصف البويضة البشرية في عام ١٨٢٧.

إضافةً إلى ذلك، تابع فون باير اكتشافات وولف بشأن علم التخلُّق والنمو، وأثبت (مع هانز كريستيان باندر) أن الجنين يحتوي على ثلاث «طبقات منتشة» هي: الأديم الباطن، والأديم المتوسط، والأديم الظاهر. توَّج هذه الاكتشافاتِ بكتابه التاريخي عام ١٨٧٨ والذي حمل عنوان «التاريخ النمائي للحيوانات»، والذي لا يتضمَّن تفاصيل اكتشافاته عن الخلايا والنمو فحسب، بل يوثِّق أيضًا سنوات من البحث المُضني في نمو أجنة الطيور والثدييات والحيوانات الأخرى. في هذا الكتاب، وصف فون باير أيضًا كيف أن المراحل الجنينية للحيوانات — سواء أكانت ثدييات أم طيورًا أم زواحف أم برمائيات — تبدو شبيهة بالأسماك.

كان فون باير قد وصف شيئًا بدأ يظهر بالفعل في أعمال علماء أجنةٍ آخرين في عصره. إذا تتبَّعت الكائنات الحية البالغة عائدًا إلى مرحلتها الجنينية، فإنها تبدأ في أن يصبح بعضها شبيهًا ببعض أكثر فأكثر، وغالبًا ما تبدو أجنة الثدييات والطيور أشبه بالأسماك إذا عدتَ إلى الوراء بما فيه الكفاية. وبعبارة أخرى، فإنَّ الحيوانات تكرر مراحل سابقة من ماضيها في أثناء نموها، أو يمكن القول إنها «تستعيد» هذه المراحل. راجت هذه الفكرة بين العديد من فلاسفة الطبيعة، في تسعينيات القرن الثامن عشر وحتى عشرينيات القرن التاسع عشر، وكان ممَّن أيَّدوا هذه الفكرة يوهان فريدريش ميكل (الذي وصف الغضروف الجنيني، وهو سلَف الفك العَظْمي في الفقاريات) وإتيان سيريس، وكارل فريدريش كيلماير. صاغ سيريس هذه الفكرة بين عامَي ١٨٢٤ و١٨٢٦، وعُرِفت باسم «قانون ميكل-سيريس». ورغم ذلك، لم يُعتبَر هذا القانون دليلًا على الماضي التطوري للحيوانات الجنينية، وإنما «نمط من التوحيد» وضعه الرب يعكس وحدة الطبيعة (مثلما كان يُنظَر إلى التناظر قبل عام ١٨٥٩؛ راجع الفصل الرابع).

كان فون باير محدِّدًا في كتابه عام ١٨٢٨ بأن ملاحظاته عن الأجنة لا تدعم فكرة ميكل-سيريس عن التكرار. فالعديد من خصائص الأجنة مثلًا (لا سيما الأعضاء الجنينية، مثل المشيمة أو الكيس المُحِّي) ليس من خصائص الكائنات البالغة؛ ومن ثمَّ فليس الجنين مكافئًا للفرد البالغ. إنَّ نمط الحياة الجنيني على وجه التحديد يختلف اختلافًا كبيرًا عن نمط حياة البالغين؛ فليس الجنين الثديي الشبيه بالأسماك بسمكةٍ حقيقية يمكنها البقاء على قيد الحياة كفردٍ بالغ. إضافة إلى ذلك، لا يوجد تطابق كامل أبدًا بين الجنين الثديي والسمكة البالغة. قد يكون لجنين الدجاج في مرحلة ما قلب ودورة دموية متطابقان مع ما يوجد لدى السمكة، لكنه يفتقر إلى معظم الأجزاء الأخرى الموجودة لدى الأسماك البالغة. ثم إن العديد من الخصائص الثابتة في الكائنات البالغة يكون مؤقتًا فقط في الأجنة. ففي بعض الأحيان، ثمة أجزاء من المفترض أن تأتي لاحقًا في النمو تظهر مبكرًا بشكل غير اعتيادي، مثل العمود الفقري في جنين الدجاج.

وبدلًا من ذلك، طرح فون باير ما يُعرَف الآن باسم قوانين فون باير لعلم الأجنة. ويمكن ذكرها باختصار على النحو التالي:

(١) **السمات العامة** لمجموعة كبيرة من الحيوانات تظهر في أجنَّتها **قبل** السمات الخاصة.

(٢) بالمثل، تتشكل العلاقات الهيكلية العامة **قبل** تشكُّل العلاقات الخاصة المحددة.

(٣) لا يتقارب الشكل الجنيني لأي حيوان معين مع أشكال أخرى محددة، بل ينفصل عنها.

(٤) لا يمكن أبدًا أن يكون **جنين** أي شكل حيواني أعلى شبيهًا بالفرد البالغ لشكل آخر أقل تطورًا، بل يكون شبيهًا بجنينه فحسب.

يتمثل جوهر قوانين فون باير في أن جميع أجنة الفقاريات تبدأ كفقاريات عامة غير متمايزة، ثم يُضاف إليها لاحقًا المزيد من السمات التي تميزها كأفراد بالغة. وعلى حد تعبير باير: «كلما عدنا إلى الوراء في نمو الفقاريات، وجدنا الأجنة أكثر تشابهًا في أجزائها العامة وفي أجزائها الفردية على حدٍّ سواء ... لذا فإن السمات الخاصة تبني نفسها من نموذج عام».

حظيَت الأفكار التي روَّج لها فون باير وغيره، منذ عشرينيات وثلاثينيات القرن التاسع عشر، بنقاشٍ واسعٍ ساهم فيه العديد من علماء الطبيعة، ومنهم أحد أساتذة

داروين المفضلين، روبرت جرانت، خلال دراسته المبكرة للطب في جامعة إدنبرة. وخلال صياغة داروين لأفكاره عن «مشكلة الأنواع» في عام ١٨٤٢، صادف ملخص يوهانس مولر للبحث الجنيني الذي أجراه فون باير. ومن خلال قراءته والأفكار التي تعلمها من جرانت، كان داروين يدرك جيدًا بالفعل أن أجنة الكائنات الحية (مثل البرنقيل الذي درسه) غالبًا ما يكون لها سمات تساعد في تمييز الكائنات البالغة التي كانت ستتطابق لولا ذلك. وإضافةً إلى ذلك، توضح هذه الأجنة أيضًا أصل بعض الأعضاء التي كانت تُعرَف بأنها متناظرة (انظر الفصل الرابع). حينها أدرك داروين أن أفكار ميكل وسيريس القديمة عن التكرار تتناسب تمامًا مع مفهومه عن وجود سلَف مشترك لجميع الحيوانات. وفي دفاتر داروين غير المنشورة حيث كتب أفكاره عن التطور، يمكننا أن نرى كيف أنَّ أفكار علماء الأجنة أثَّرت في تفكيره. ففي «الدفتر ب: عن التطفُّر»، اقتبس عن جوفري قوله: «التوالد عملية قصيرة ينتقل خلالها حيوان واحد من دودة إلى إنسان، أو تغيرات نموذجية يمكن تتبعها في العضو نفسه لدى حيوانات مختلفة وفقًا للمقياس التطوري.»

كان الاقتراح الجنيني لانحدارنا من سلف مشترك واحدًا من أقوى الأدلة التي أمكن لداروين جمعها في عام ١٨٥٩. وقد كتب داروين قسمًا موسعًا عن هذا الموضوع في «أصل الأنواع» (راجع الاقتباس الوارد في بداية هذا الفصل). كما كتب لصديقه عالم النبات الأمريكي آسا جراي، في عام ١٨٦٠، يقول: «إن علم الأجنة هو ما يمثِّل لي إلى حدٍّ بعيدٍ أقوى مجموعةٍ منفردة من الحقائق لصالح تغير الأنواع». وكتب داروين في سيرته الذاتية: «ما من مسألةٍ منحتني شعورًا كبيرًا بالارتياح في أثناء عملي على «أصل الأنواع»، بقدر ما منحني تفسيرُ الاختلاف الواسع بين المرحلة الجنينية ومرحلة البلوغ في العديد من الفئات، والتشابه الوثيق بين الأجنة في حيوانات نفس الفئة». وفي الطبعة الخامسة من كتاب «أصل الأنواع»، أضاف داروين «ملاحظات تاريخية» يقر فيها بفضل علماء الطبيعة الذين أثروا فيه. وفي هذا الموضع كَتب: «إن فون باير، الذي يُكنُّ له جميع علماء الحيوان بالغ الاحترام والتقدير، عبَّر في حوالي عام ١٨٥٩ ... عن اقتناعه، القائم أساسًا على قوانين التوزيع الجغرافي، بأن الأنواع المتمايزة تمامًا الآن قد انحدرت من شكل سلف واحد.»

ومن جانبه، لم يكن فون باير سعيدًا للغاية باستخدام داروين لاكتشافاته (كان قد تقاعد حينها، ولكنه كان لا يزال في جامعة دوربات، التي بقي فيها حتى عام ١٨٦٨ حين توفي عن عمر ناهز ٨٤ عامًا). لم يعترض على فكرة تطفر الأنواع، ووافق على فكرة

أن الأجنة توضح أن جميع الفقاريات لها أصل مشترك. والحق أنَّ بعض كتاباته تتضمن واحدة من أولى «أشجار العائلة» للحياة بناءً على الأجنة. غير أنَّ فون باير كان من مدرسة أقدم في الفلسفة الطبيعية وأكثر باطنية، ولم تعجبه الآثار الميكانيكية المحايدة للانتخاب الطبيعي. كان يعتقد، بدلًا من ذلك، أن الحيوانات تسعى جاهدة وأنها تتغير لتصل إلى هدف أسمى (ما يُسمَّى بالغائية)، وأن هناك قوًى داخلية غامضة في الطبيعة تقوم بتوجيه هذا النوع من التطور.

كان داروين وفون باير حذِرَين إلى حد ما في استخدامهما للتحولات الجنينية دعمًا لفكرة التطور. لكن لم يكن الأمر كذلك مع عالم الأحياء الألماني الشاب إرنست هيكل. وُلد هيكل في بوتسدام عام ١٨٣٤ لمحامٍ حكومي، وحصل على شهادته في الطب عام ١٨٥٨، لكنه اكتشف أنه لا يحب الوجود بالقرب من المرضى المتألمين. ولهذا صبَّ اهتمامه على الأبحاث البيولوجية والطبية. عمل هيكل في جامعة جينا لمدة ثلاث سنوات مع عالم الأجنة العظيم كارل جيجينباور، وحصل على درجة تدريس في علم التشريح وعلم الحيوان في عام ١٨٦١. انتهى به المطاف بالبقاء في جينا لبقية حياته المهنية التي استمرت ٤٧ عامًا، أرسى فيها سمعته من خلال العمل على الإسفنج والديدان وغيرهما من اللافقاريات. اشتهر بشدةٍ بدراسة وتسمية مئات الأنواع من الأميبات الصخرية الصغيرة المعروفة باسم الشعاعيات، والتي كانت وفيرة للغاية في العوالق المحيطية. أُرسِلت إليه بعض أنواع الشعاعيات، والقناديل البحرية، وكائنات بحرية أخرى من أول رحلة كبيرة لدراسة المحيط، قامت بها سفينة «إتش إم إس تشالنجر»، بين عامَي ١٨٧٤ و١٨٧٦ لكي يفحصها؛ إذ كان واحدًا من علماء قليلين للغاية ممَّن يمتلكون معرفة بالشعاعيات أو القناديل البحرية.

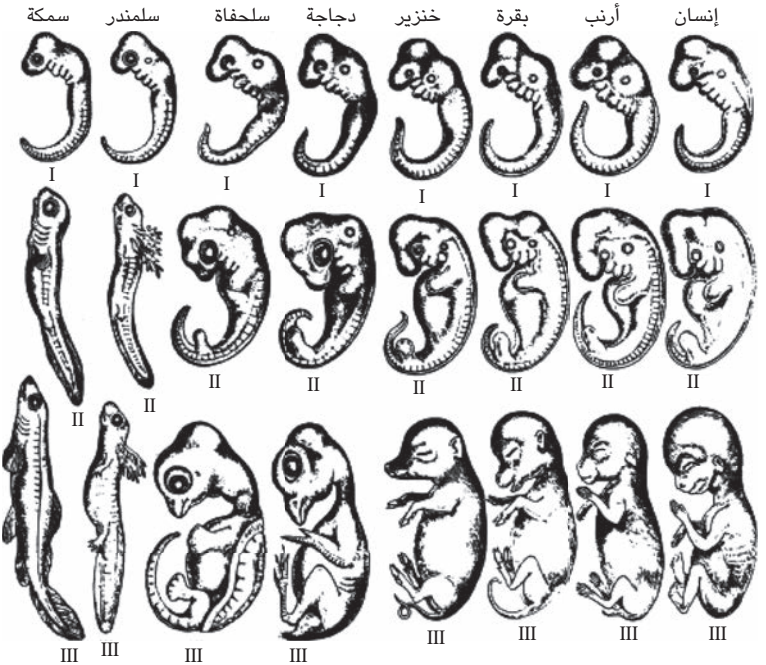
كان هيكل أيضًا شخصًا يميل إلى «الأفكار الكبيرة»، وغالبًا ما كان يُصدِر تعميمات وتوقعات شاملة. فقد تنبأ مثلًا أن أصل البشر يوجد في جنوب شرق آسيا، مما ألهم يوجين دوبوا بالذهاب إلى جزر الهند الشرقية الهولندية والعثور على «إنسان جاوة». وكان هيكل متيقنًا من تَنبُّئِه، حتى إنه أعطى اسمًا لهذه الحفرية التي لم تُكتشَف بعد؛ بيثكانثروبوس ألالوس (الإنسان القرد غير المتكلم)، وأطلق دوبوا على عيناته اسم بيثكانثروبوس إريكتوس بعد أن وُصِفت. (وهي تُسمَّى اليوم «هومو إريكتوس»، أي «الإنسان المنتصب».) كان هيكل مغرمًا أيضًا بابتكار كلمات جديدة، مثل ecology (علم البيئة)، وphylum (شعبة)، وphylogeny (علم تطور السلالات)، وontogeny (تكون الفرد)، وProtista (الطلائعيات)، وهو ما يعكس أفكاره الإبداعية الكبيرة بشأن علم

الأحياء. علاوةً على ذلك، كان هيكل أول من نشر رسمًا بيانيًّا لشجرة حياة محددة تجسد فكرة داروين بأن كل أشكال الحياة لها أصل مشترك.

وبصفته عالمًا يميل إلى الأفكار الكبيرة، فُتِن هيكل على الفور بكتاب داروين عندما قرأه أخيرًا في عام ١٨٦٤. وخلال رحلته الاستكشافية إلى جزر الكناري عام ١٨٦٦، قام برحلة جانبية إلى إنجلترا، وزار تشارلز داروين في ضَيعته في منزله الكائن ببلدة داون، وزار توماس هنري هكسلي وتشارلز لايل كذلك. وفور أن استقر هيكل في جينا، وترسخت سمعته فيها، أصبح كبير مناصري داروين في ألمانيا، وكان داعمًا قويًّا لتحديث تعليم العلوم، وإرساء نظرية التطور في جميع المراجع العلمية. وفي عام ١٨٦٨، كان كتاب هيكل «تاريخ الخلق الطبيعي» هو الأكثر مبيعًا بين المؤلَّفات التي تشرح التطور، خاصةً بعد ترجمته إلى الإنجليزية عام ١٨٧٦ تحت عنوان «تاريخ الخلق».

بالرغم من ذلك كله، جاءت أهم إسهامات هيكل في التطور في مجال علم الأجنة. ففي عام ١٨٦٦، وضع هيكل مرجعًا ضخمًا بعنوان «المورفولوجيا العامة» قام فيه بتجميع أفكار داروين مع أفكار ميكل وسيريس الأقدم عن التكرار. اندفع هيكل في هذه المسألة متجاهلًا النهج الحذِر الذي اتبعه فون باير، وأصر على أن النمو الجنيني يكرر التاريخ التطوري للكائنات الحية. وبحسب كلماته: «النمو الجنيني يلخص تطور السلالات»، أو «التاريخ الجنيني يكرر التاريخ التطوري». وذهب أيضًا إلى أن الأسلاف المشتركة التي لم تُكتشَف بعدُ للعديد من مجموعات «شجرة الحياة» التي وضعها؛ ستتشابه تمامًا مع الأجنة الأكثر بدائية للعديد من الكائنات الحية. والحق أنَّ هذه الحجة لم تكن متماسكة، والكثيرين يعتبرونها واحدةً من أكبر أخطاء هيكل. لكنه كان يسير على الطريق الصحيح مع شجرة الحياة الخاصة به، حتى وإن أفرط في الاعتماد على الأدلة الجنينية. والأهم من ذلك أنه تجاهل تحذيرات فون باير بشأن أن العديد من السمات الجنينية تقتصر على الأجنة، ولا يكون لها أي علاقة بالأشكال البالغة لأي حيوان.

وأخيرًا، نشر هيكل بعض الرسومات التي تؤكد على أوجُه التشابه الواضحة بين المراحل الجنينية المبكرة لمعظم الفقاريات، والتي تكون فيها شبيهة بالأسماك، مبيِّنًا كيف أنها تنمو إلى أنواع مختلفة من الكائنات البالغة. ربما أفرط هيكل في حماسه فيما يتعلق بهذه الرسومات (شكل ٥-٢). لم يكن بعضها دقيقًا تمامًا، وقد جعل الأجنة تبدو شبيهة بالأسماك بدرجة أكبر مما هي عليه في الحقيقة. ففي إحدى الحالات، استخدم نفس الرسم التوضيحي ليمثل جنين كلب، وجنين دجاجة، وجنين سلحفاة، مما جعلها تبدو متطابقة،



شكل ٥-٢: رسم توضيحي للنمو الجنيني للفقاريات، يوضح تشابه الأجنة المبكرة في وجود الصفات الشبيهة بالأسماك لديها، ثم تصبح أكثر تخصصًا بعد تمايزها إلى سمكة أو زاحف أو ثديي. هذا الرسم مُعدَّل من الرسم التوضيحي الذي أثار الجدل لهيكل، وهو صحيح بالأساس، على الرغم من أن هيكل ربما لم يكن دقيقًا في كل التفاصيل. (من كتاب جورج رومانيس، «داروين وما بعد داروين» [منشورات «أوبن كورت»، شيكاجو، ١٩١٠])

لكنه اضطُر لاحقًا إلى إصلاح هذا الخطأ، وقام بعرض الأجنة الحقيقية. والحقيقة هي أنَّ هذه الأجنة متشابهة للغاية بالفعل، لكننا حين نراجع الموقف نجد أنَّ رسومات هيكل غير الدقيقة جعلت الحُجة بأكملها تبدو سيئة. فقد أثار مناهضو التطور هذا النقد مرارًا وتكرارًا، بحجة أن علم الأجنة لا يدعم التطور. وبالرغم من ذلك، إذا نظرت إلى أي مجموعةٍ جيدةٍ من الصور التي توضح التطور الجنيني للفقاريات، فسترى الدليل جليًّا، أيًّا كانت الأخطاء التي قد يكون هيكل ارتكبها منذ أكثر من ١٥٠ عامًا.

شكل ٥-٣: هذا ما كنتَ تبدو عليه بعد خمسة أسابيع من الحمل. كان لا يزال لديك العديد من السمات الشبيهة بالأسماك، مثل الذيل النامي والسلائف الجنينية للشقوق الخيشومية، وكلاهما يُفقَد في معظم الأجنة البشرية أثناء نموها. (من مكتبة صور آي إم إس آي)

إن معظمنا لا يفكر كثيرًا فيما يخبرنا به علم الأجنة عن تاريخنا التطوري. لكن إذا صح أننا لم ننحدر من سلف مشترك مع الأسماك والزواحف والثدييات الأخرى، فلماذا نمتلك سماتها المميزة أثناء نمونا؟ يوضح الشكل ٥-٣ جنينًا بشريًّا بعد خمسة أسابيع من الإخصاب. نرى في الشكل أنَّ ذيلنا النامي لا يزال واضحًا، كما هو الحال مع السلائف الجنينية للشقوق الخيشومية. وكما أشار فون باير، فإن هذا الجنين لا يشبه السمكة البالغة، ولا يمكنه العيش ككائن بالغ يسبح، لكنه يشبه سمكة جنينية في نفس المرحلة من النمو. إذا لم يكن لدينا أسلاف مشتركة مع الأسماك (ومع الزواحف والثدييات الأخرى التي تبدو كل أجنَّتها مشابهة جدًّا لأجنَّتنا في المراحل الأولى)، فلماذا يكون لدينا مثل هذا التشابه الجنيني الشديد؟ ولا تزال هذه الحجة قوية اليوم بقدر ما كانت عليه حين استخدمها داروين عام ١٨٥٩.

قراءات إضافية

Gilbert, Scott F. and Michael J. F. Barresi, *Developmental Biology*, 11th ed. Sunderland, Mass.: Sinauer, 2016.

Gould, Stephen Jay, *Ontogeny and Phylogeny*, Cambridge, Mass.: Harvard University Press, 1977.

Hall, Brian K., *Evolutionary Developmental Biology*, Dordrecht, Germany: Springer, 1999.

الفصل السادس

غرق سفينة نوح

الجغرافيا الحيوية

> عند النظر إلى توزيع الكائنات الحية على الأرض، فإن أبرز حقيقة تذهلنا هي أننا لا نستطيع تفسير التشابه بين الكائنات المستوطنة لمختلف الأقاليم، ولا الاختلاف فيما بينها تفسيرًا كاملًا من خلال الظروف المناخية، أو غيرها من الظروف المادية.
>
> تشارلز داروين، «أصل الأنواع» (١٨٥٩)

قبل القرن الثامن عشر الميلادي، لم يكن علماء الطبيعة يعرفون سوى القليل للغاية عن الحيوانات التي تعيش خارج أوروبا. فلم تُدرِج التصنيفاتُ المبكِّرة لعلماء مثل لينيوس (انظر الفصل السابع) سوى ٤٢٠٠ نوع من الحيوانات، وجميعها تقريبًا من أوروبا أو الشرق الأوسط، لكنها تضمَّنت أحيانًا بعض الحيوانات الغريبة من آسيا أو أفريقيا أو العالم الجديد. وفقًا للإصحاح السادس من سفر التكوين، فإنَّ جميع الحيوانات هاجرت من جبل أرارات (في تركيا الآن) إلى مواقعها الحالية. ظهر هذا التفسير لأول مرة في الأساطير الشرق أوسطية القديمة، في وقت لم يكن الناس يعرفون فيه أكثر من مائة نوع من الكائنات التي كانت توجد في محيطهم المحدود. فإلى جانب ماشيتهم المستأنَسة والأغنام والماعز والخنازير والكلاب والقطط والخيول، لم يعرفوا سوى عددٍ قليلٍ جدًّا من الحيوانات البرية؛ لذا كان من المعقول الاعتقادُ بأنه يمكن إحضار بضع مئات منها على سفينة نوح.

تعود أسطورة الفيضان العالمي الذي دمر البشرية جمعاء إلى ملحمة جلجامش، التي يعود تاريخها إلى عام ٢٧٥٠ قبل الميلاد تقريبًا. حذَّرت إلهةُ الأرض آيا البطلَ السومري زيوسودرا (الذي أطلق عليه الأكاديون اسم أتراخاسيس، وأطلق عليه البابليون اسم أوتنابيشتيم) من أنَّ الإله إليل سئم من ضجيج البشرية ومشاكلها، وخطَّط لمحو البشر بفيضان، وأمرته ببناء قارب. وعندما انحسرت مياه الفيضان، رسا القارب على جبل نصير. بعد أن ظل القارب عالقًا لمدة سبعة أيام، أطلق أوتنابيشتيم حمامة، لكنها لم تجد مكانًا للراحة فعادت. أطلق بعدها سنونوًا وعاد هو أيضًا، لكن الغراب الذي أطلق سراحه في اليوم التالي لم يعُد. وقدَّم أوتنابيشتيم قربانًا إلى الإلهة آيا على قمة جبل نصير. تتطابق القصة برُمَّتها تقريبًا مع قصة طوفان نوح، وليس ذلك في حبكتها وبنيتها فحسب، بل في تفاصيل صياغتها أيضًا. كل ما تبدَّل هو أسماء الشخصيات والآلهة وبعض التفاصيل الأخرى، بما يتناسب مع الاختلافات بين الثقافة العبرية التوحيدية والثقافات السومرية والأكادية والبابلية التي كانت تؤمن بتعدد الآلهة.

أظهرت الدراسات الإنجيلية على مدى قرنين من الزمان أن التوراة العبرية (أي الكتب الخمسة الأولى من العهد القديم) تتألَّف من مجموعةٍ من المصادر المختلفة التي كتبتها مجموعات مختلفة من الناس في أزمنةٍ متباينة. ولهذا يوجد العديد من التناقضات، فنجد في الآية الثانية من الإصحاح السابع من سفر التكوين (وفقًا لمجموعة من الكهنة يُطلَق عليهم المصدر اليهوي) أن نوحًا أخذ في الفلك سبعة أزواج من كل حيوان طاهر، لكن الآيات من الثامنة إلى الخامسة عشرة في الإصحاح السابع من سفر التكوين (وفقًا لمجموعةٍ مختلفةٍ من الكهنة يُطلَق عليهم المصدر الكهنوتي) تقول إنه أخذ في الفلك زوجًا واحدًا فقط من كل حيوان. وفي الآية السابعة من الإصحاح السابع في سفر التكوين دخل نوح وعائلته أخيرًا إلى الفلك، لكننا نراهم في الآية الثالثة عشرة من الإصحاح السابع في سفر التكوين يدخلون الفلك مرة أخرى (الآية الأولى وفقًا للمصدر اليهوي، والآية الثانية وفقًا للمصدر الكهنوتي). إنَّ العبرانيين القدماء لم يفسروا التوراة حرفيًّا بالطبع. وبدلًا من ذلك استخدموها دليلًا لفهم علاقتهم بيهوه، ولم يروا مشكلة في قصة سفينة نوح. لقد كان عالمهم يقتصر على وادي دجلة والفرات وأجزاء من شرق البحر المتوسط، وهي منطقة لم يعش فيها سوى بضع مئات من أنواع الحيوانات. أما اليوم فنحن نعرف بوجود الملايين من الأنواع، وفكرة وجودها في قارب واحد سيسعها جميعًا هي فكرة عبثية بشكل هزلي.

وعلى الرغم من تمييز لينيوس لما يقرب من ٤٢٠٠ نوعٍ من الحيوانات (وهي مشكلة بالفعل لسفينة نوح)، فقد أدَّت مجموعة من الرحلات والبعثات العلمية في السنوات

التي أعقبت عام ١٧٠٠، إلى العديد من الاكتشافات التي دحضَت هذه النظرة المتمثِّلة في الجغرافيا الحيوية. ذلك أنَّ الأماكن النائية، مثل أمريكا الجنوبية وأفريقيا ومدغشقر وجنوب شرق آسيا وأستراليا وجزر المحيط الهادي قدمت أعدادًا هائلة من الأنواع الغريبة من الحيوانات والنباتات، مما أدى إلى انقلاب تام في النظرة المركزية الأوروبية إلى الطبيعة. فالمناطق الاستوائية، على وجه الخصوص، تحتوي على حيوانات ونباتات أكثر ثراءً وأكثر غرابةً من الحياة البرية المستنزَفة في شمال أوروبا، والتي تأثَّرت بشدة بسبب مجموعاتها السكانية البشرية الكبيرة، والزراعة الواسعة الانتشار، والتاريخ الطويل من إزالة الغابات. لقد دُفِع العديد من الأنواع الأوروبية الشائعة سابقًا إلى الانقراض بحلول عصر الهولوسين المبكر، بما في ذلك الماشية البرية (الأُرْخُص) والخيول البرية (منذ حوالي ١٠ آلاف عام). وعلى النقيض، كانت المناطق الاستوائية غنية ومتنوعة، حتى إن المؤرخين الطبيعيين كانوا مُثقَلين بمحاولة وصف كل هذه الأنواع الجديدة في هذه الأراضي الغريبة وتصنيفها.

والأهم من ذلك كله أنه صار جليًّا أن قصة سفينة نوح لا يمكن أن تفسِّر هذه التوزيعات الجغرافية. لماذا كانت قارة أستراليا بها مجموعة حيوانية تهيمن عليها ثدييات جرابية ولا توجد بها ثدييات مشيمية محلية؟ هل ركضت الجرابيات من جبل أرارات باتجاه أستراليا مباشرة، بينما لم تحاول المشيميات حتى الوصول إلى هناك؟ والأكثر إثارةً للدهشة أن العديد من الجرابيات لديها أجساد تحاكي المشيميات، التي تقطن موائل بيئية مشابهة في قارات أخرى (الشكل ٦-١). فكانت هناك جرابيات مكافئة للذئاب والغُرَير والقطط والسناجب الطائرة وجرذ الأرض وآكلات النمل والخُلْد والأرانب والفئران، لكنها كانت جميعًا من الجرابيات ولا علاقة لها بنظيراتها المشيمية في القارات الأخرى. إننا ننظر إلى هذه الحقائق الآن باعتبارها مثالًا بارزًا على التطور التقاربي، لكن هذه الاكتشافات الرئيسية حدثت قبل قرن من أن يتمكن التطور من تفسيرها.

كثيرًا ما يُقال إنَّ «السَّفر يوسِّع الآفاق»، ولا شك أنَّ ذلك كان من عوامل اكتشاف التوزيعات الجغرافية الحيوية للحيوانات والنباتات. فقد غيَّر السفر منظور كلٍّ من داروين وألفريد راسل والاس؛ شريكه في اكتشاف الانتخاب الطبيعي. فعندما انطلق داروين في رحلة البيجل عام ١٨٣١، كان قد تلقَّى تعليمًا جيدًا في التاريخ الطبيعي البريطاني بالنظر لكونه شابًّا تخرج للتو من كامبريدج، لكن السنوات الخمس التي أبحر فيها حول العالم وزار العديد من المواقع الغريبة، مثل الغابات المطيرة البرازيلية وجزر جالاباجوس إضافةً

شكل ٦-١: تتكون المجموعة الحيوانية الأصلية في أستراليا بشكل أساسي من الجرابيات، التي تُعَد مثالًا بارزًا على التطور التقاربي مع نظيراتها المشيمية الموجودة في قاراتٍ أخرى، على الرغم من أن المجموعتَين لا تجمعهما صلة قرابة وثيقة. في أستراليا، توجد جرابيات تبدو إلى حدٍّ ما مثل الذئاب والقطط والسناجب الطائرة وجرذ الأرض وآكلات النمل والخلدان والفئران، لكنها كلها ثدييات جرابية. (جورج جايلورد سيمبسون وويليام بيك، «الحياة: مقدمة في علم الأحياء» (بتصرف)، الطبعة الثانية. [نيويورك: «هاركورت، برِس، آند وورلد»، ١٩٦٥])

إلى أستراليا وأفريقيا، غيَّرت تمامًا من تصوره عن عالم الحيوانات والنباتات. لم يكن تجاوز الثانية والعشرين من عمره، عندما وصلت سفينة البيجل إلى أمريكا الجنوبية لأول مرة. وكأي إنجليزي، كان معتادًا على الطقس البارد المظلم والممطر في معظم الأوقات، وعلى عدد قليل فقط من الحيوانات البرية في الطبيعة الإنجليزية المستأنَسة بشكل كبير. وصل داروين إلى أمريكا الجنوبية في الثامن والعشرين من فبراير عام ١٨٣٢، وكانت محطته الأولى هي مدينة سلفادور في ولاية باهيا في البرازيل، عند حافة غابة الأمازون المطيرة. افتتن داروين على الفور، وغمره ثراء الحياة البرية وكثافة أوراق الشجر في الغابة الاستوائية والحرارة والرطوبة الخانقتان، والحشرات القارضة العديدة التي واجهها. ومثلما كتب هو لاحقًا، كان منتشيًا بسبب «أناقة الحشائش وحداثة النباتات الطفيلية وجمال الأزهار». كان يتجول وهو في حالة أشبه بالذهول، غير قادر على استيعاب جميع المشاهد والأصوات والروائح والأفكار الجديدة؛ «فلِشخصٍ مولَع بالتاريخ الطبيعي، كان مثل هذا اليوم يحمل متعة أعمق من أن يتمنى تجربتها مرة أخرى». كانت كل محطة في الغابة المطيرة البرازيلية مليئة بالنشوة لعالِم طبيعة، وجامِع شديد الحماسة مثل داروين. جمع في أحد الأيام ما لا يقل عن ٦٩ نوعًا مختلفًا من الخنافس، وكلها كانت جديدة على العلم. وعن ذلك كتب داروين يقول: «إن مجرد التفكير في الحجم المستقبلي لفهرس كامل سيكون كافيًا لإفساد هدوء أي عالِم حشرات.»

في الثالث من أبريل، وصلت سفينة البيجل إلى ريو دي جانيرو، حيث سافر داروين مع مجموعة من الإنجليز متجهين إلى مزرعة للبُن تبعد عن الساحل ١٠٠ ميل تقريبًا. كانت رحلة صعبة بسبب الحرارة الشديدة، وأماكن الإقامة السيئة، والخفافيش الماصَّة للدم التي هجمت على خيولهم في الليل، لكن داروين كان لا يزال مبتهجًا بدهشته. كانت الطيور الباهرة والفراشات في كل مكان، والطيور الطنَّانة تتنقل من زهرة إلى زهرة. وكان نخيل السبال يرتفع لمسافة ٥٠ قدمًا فوق رءوسهم، بينما تدلَّت منه النباتات العارشة. كان جليًّا أنَّ بعض الغابات تعود إلى عصور ما قبل التاريخ، نظرًا لما بها من أشجار السرخس الهائلة، وهي من بقايا عصر ما قبل الديناصورات. ذكَّره ظل الشجرة العملاقة الشاهقة فوق رأسه بكاتدرائيةٍ ضخمةٍ ذات سقف عالٍ، لا يدخلها الضوء إلا من فتحاتٍ صغيرةٍ للغاية تتخلَّل الغطاء السميك من الأوراق.

استمرت دهشة داروين من جمال الغابة البرازيلية ووفرتها. وعن ذلك كتب في «رحلة البيجل» (١٨٣٦) يقول:

لم يكن من الممكن أن أتمنى أي شيءٍ أكثر بهجةً من قضاء بضعة أسابيع في بلدٍ بمثل هذه الروعة. في إنجلترا، يحظى المولَع بالتاريخ الطبيعي بميزة كبيرة في جولاته، إن وجد ما يجذب انتباهه دائمًا، لكن في هذه المناخات الخصبة التي تعجُّ بالحياة، تتعدد عوامل الجذب، فيكاد المرء ألَّا يتمكن من التقدم في المشي على الإطلاق.

وكما ذكرنا في الفصل الثالث، كان التنوع البيولوجي الضخم في البرازيل متناقضًا مع العدد المحدود من الحيوانات الغريبة الموجود في جزر جالاباجوس. فعندما صنف داروين الطيور المحاكية، وما تلا ذلك من اكتشافه أن «الطيور الغليظة المنقار» و«طائر النمنمة» وغيرها من الطيور الأخرى كانت في الواقع شرشوريات معدَّلة، أدرك أن التفسير الوحيد لتنوعها لا يمكن أن يكون خَلْقها بشكلٍ مستقل على كل جزيرة، وإنما أنها تنوَّعت من سلفٍ من الشرشوريات انتقل من أمريكا الجنوبية وصولًا إلى هذه الجزر. والواقع أنَّ الدليل الجغرافي كان مهمًّا جدًّا لداروين، حتى إنه خصص له فصلَين كاملَين في «أصل الأنواع» الصادر عام ١٨٥٩، وسنورد منهما هذه الفقرة:

الحقيقة الأكثر لفتًا للنظر والأكثر أهمية بالنسبة لنا، فيما يتعلَّق بالكائنات القاطنة في الجزر، هي تقارُبها مع تلك الموجودة في أقرب برٍّ رئيسي، دون أن تنتمي في الواقع إلى النوع نفسه. [في] أرخبيل جالاباجوس … نجد أن كائنات اليابسة والماء جميعَها تقريبًا تحمل طابع القارة الأمريكية على نحوٍ لا لبس فيه. يوجد بالأرخبيل ستة وعشرون من طيور اليابسة، وقد صنَّف السيد جولد خمسة وعشرين منها بصفتها أنواعًا متمايزةً من المفترَض أن تكون قد خُلقَت هنا، لكن التقارب الوثيق بين معظم هذه الطيور والأنواع الأمريكية ظاهرٌ وواضحٌ من حيث صفاتها، وعاداتها، وإيماءاتها، ونغمات صوتها … إن عالِم الطبيعة الذي ينظر إلى الكائنات القاطنة لهذه الجزر البركانية في المحيط الهادي على بُعد مئات الأميال من القارة؛ يشعر أنه يقف على أرضٍ أمريكيةٍ رغم ذلك. فما السبب في هذا؟ ولماذا تكون الأنواع التي يُفترَض أنها خُلقتْ في أرخبيل جالاباجوس، وليس في أي مكان آخر، على هذا القدر من التقارب مع تلك التي يُفترَض أنها خُلقتْ في القارة الأمريكية؟ وليس في الظروف المتعلقة بالحياة، ولا في الطبيعة الجيولوجية للجزر، ولا في ارتفاعها أو مناخها، ولا

في نِسَب القرابة والارتباط بين طوائفها العديدة، ما يشبه عن قربٍ الظروفَ الموجودة على ساحل أمريكا الجنوبية، بل كبيرة هي الاختلافات في جميع هذه النواحي. ومن ناحية أخرى، نجد درجة كبيرة من التشابه في الطبيعة البركانية للتربة، وفي المناخ والارتفاع وحجم الجزر، بين جزر جالاباجوس وأرخبيل كاب فيردي، ويا له من فارق شاسع ومطلق بين الكائنات القاطنة في كلٍّ منهما! إن الكائنات القاطنة لجزر كاب فيردي تنتمي إلى الكائنات القاطنة في أفريقيا، مثلما تنتمي كائنات جزر جالاباجوس إلى كائنات القارة الأمريكية. أعتقد أن هذه الحقيقة الكبرى لا تجد أي تفسير في وجهة النظر التقليدية المتمثلة في الخلق المستقل، أما من خلال وجهة النظر التي نتبناها هنا، فمن الواضح أنه سيكون من المرجَّح أنَّ جزر جالاباجوس قد استقبلت كائنات من أمريكا، سواء أكان ذلك عن طريق وسائل النقل العرضية، أو عن طريق اتصال الأرض فيما سبق، وينطبق الأمر نفسه مع كاب فيردي وأفريقيا، وستكون هذه الكائنات المستعمرة عرضةً للتعديل، لكن مبدأ الوراثة سيظلُّ يكشف عن مَنشئها الأصلي.

يثير هذا الاقتباس أيضًا نقطة ثانية لاحظها داروين: غالبًا ما تكون المجموعات الحيوانية والنباتية في الجزر المحيطية غريبة وغير متوازنة. فمعظم الجزر الكبيرة توجد بها أنواع فريدة من الحيوانات والنباتات التي تختلف تمامًا عن تلك الموجودة في البر الرئيسي، تُعرَف هذه بالأنواع المتوطِّنة. ولا تقتصر هذه الأنواع على عصافير داروين في جزر جالاباجوس، والطيور المحاكية والسلاحف فحسب، بل تتضمن الأشكال الغريبة من الحياة الموجودة في كل جزيرة تقريبًا. تشتهر مدغشقر على سبيل المثال بمجموعتها الغريبة من الليمور، والفوسا المفترسة الشبيهة بالقطط، والمدال آكل الحشرات، ومجموعة كاملة من الطيور الفريدة (٦٠ بالمائة منها متوطنة في مدغشقر)، والزواحف (٩٠ بالمائة منها متوطنة)، والبرمائيات، وفصيلتَين كاملتَين من الأسماك متوطنتَين، بالإضافة إلى الكثير من الحشرات المتوطنة، ومائة بالمائة من أنواع حلزونات اليابسة الموجودة بها، والبالغ عددها ٦٥١ نوعًا. يوجد بها أيضًا ما يقرب من ١٥ ألف نوعٍ من النباتات، أكثر من ٨٠ بالمائة منها لا يوجد في أي مكانٍ آخر. وفي المجموع، ٩٠ بالمائة من الأنواع الموجودة في مدغشقر ينحصر وجودها فيها دون غيرها.

لنيوزيلندا أيضًا نصيبُها من التفرُّد؛ من حيث إنه لم تقطنها أيُّ ثدييات برية قطُّ (باستثناء الخفافيش)؛ ولهذا تؤدي الطيور والزواحف والحيوانات الأخرى دور الثدييات

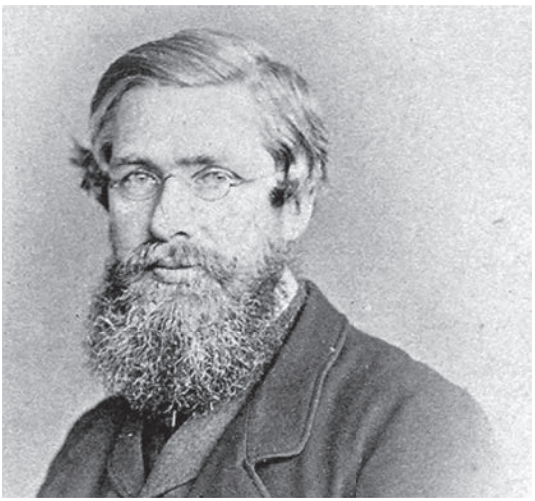
في أماكن أخرى. إضافةً إلى ذلك، لم يكن يوجد بها سوى عددٍ قليلٍ من المفترسات؛ ومن ثَم لم يتكيَّف العديد من حيوانات نيوزيلندا على تطوير سلوكيات مضادة للمفترسات (إلى أن وصل البشر وحيواناتهم قبل حوالَي ٩٠٠ عام). ليست نيوزيلندا موطن طائر الكيوي وحسب، بل هي أيضًا موطن ببغاء ليليٍّ ضخمٍ لا يطير، ويُعرَف باسم ببغاء كاكابو، والببغاء المفترس كيا، وببغاء الموا العملاق الذي لا يطير، والعديد من الأنواع الفريدة الأخرى التي لا توجد في أي مكانٍ آخر. إنَّ كل جزيرة حول العالم تقريبًا توجد بها قائمةٌ مماثلةٌ من الأنواع الفريدة والمتوطنة التي لا توجد إلا بها فحسب، لكن العديد من هذه الأنواع لها قرابة بعيدة بالحيوانات الموجودة في أقرب برٍّ رئيسي. وإذا كان الإله قد خلقها جميعًا في وقتٍ واحد، ثم انتقلَت إلى هذه الجزر بعد مغادرة جبل أرارات، فما السبب في تفرُّد الكائنات القاطنة لكل جزيرة؟ إذا كانت أسلافها هربت من البر الرئيسي ووصلت إلى الجزر منذ زمن بعيد، وعُزِلت عن المنافسة مع حيوانات البر الرئيسي، فمن المنطقي أنها قد تطورت لتسكن هذه الموائل الجديدة.

وكلما كانَت الجزيرة بعيدةً عن القارة، زادَت غرابة المجموعة الحيوانية. لم يدرس داروين الكائنات الموجودة في هاواي، لكن هذه الجزر بعيدةٌ جدًّا عن أي مساحة من اليابسة. ولا يمكن أن تكون هذه الكائنات قد وصلت إلى هذه الجزر إلا عن طريق التحليق إليها، أو أن الرياح حملَتها إلى هناك عبر مساحاتٍ شاسعةٍ من المحيط الهادي. ونتيجةً لهذا، لا يوجد في هاواي ثدييات بريةٌ أصليةٌ (باستثناء الخفافيش)، ولا زواحف ولا برمائيات، وكذلك لا يوجد فيها سوى عددٍ قليلٍ من أسماك المياه العذبة المحلية (وجميعها يستطيع السباحة أيضًا في المياه المالحة). إنَّ أحفادَ هذه الكائنات التي حملتها الرياح إلى هناك عرَضًا خلال الأعاصير؛ هي التي تسود الآن في هاواي، مجموعة فريدة تمامًا تتألَّف من ٧١ نوعًا من الطيور التي لا توجد في أي مكانٍ آخر، ويبدو أنَّ بعضها قد تنوَّع تطوريًّا بدرجةٍ كبيرة (مثل طائر هاواي الباحث عن العسل، وهو أحد طيور ذات مناقير طويلة تستخدمها لاحتساء الرحيق، بالإضافة إلى البط والشرشوريات وطيور الغُرَّة وطيور التفليقة والصقور، وغيرها من الطيور المتوطنة الفريدة)، والكثير من الحشرات المتوطنة (بما في ذلك العديد من الأنواع الفريدة من ذبابة الفاكهة التي لا توجد في أي مكان آخر)، ومئات الأنواع من النباتات المتوطنة. ليس من المنطقي على الإطلاق أن تكون هذه الكائنات قد سارت بطريقة ما من جبل أرارات، ولكن من الواضح أن هذا يتفق مع فكرة أن عددًا قليلًا فقط من الحيوانات المحظوظة التي نجت، قد انتقلَ إلى هذه الجزر

النائية في العالم، وتنوَّع إلى مجموعةٍ من الأنواع المتوطِّنة في غياب أي منافسةٍ من الأنواع الموجودة في البر الرئيسي.

اتخذ والاس، الذي شارك في اكتشاف الانتخاب الطبيعي، مسارًا مهنيًّا مختلفًا تمامًا عن المسار الذي اتخذه تشارلز داروين (الشكل ٦-٢). وُلد والاس عام ١٨٢٣ في لانبادوك، ويلز، لعائلة فقيرة مكوَّنة من تسعة أطفال، وكان أصغر من داروين بـ ١٤ عامًا، وكان ينظر إلى داروين على أنه مرشده الأكبر. كان فقر والاس يعني أن دراسته الرسمية قصيرة، وقد عمل لسنوات عديدة في مجال المسح ليكسب قوت يومه، إضافة إلى عمله في رسم الخرائط والتدريس. من خلال جولاته في مسح الريف ورسم خرائطه، أصبح عالمًا طبيعيًّا متحمسًا، لا سيما في جمع الحشرات. وتأثرًا بكتاب داروين عن رحلة البيجل وروايات ألكسندر فون هومبولت ومستكشفين آخرين، انطلق والاس البالغ من العمر ٢٥ عامًا في عام ١٨٤٨ برفقة صديقه ويليام هنري بيتس (الذي أصبح بعدها بقليل عالمًا طبيعيًّا مشهورًا) في رحلة خطرة إلى غابات الأمازون لجمع العينات. أمضى والاس وبيتس أربع سنوات هناك، جمعا خلالها أعدادًا كبيرة من الأنواع الجديدة من الحيوانات (خاصة الحشرات) لبيعها للسوق النَّهِم لهواة جمع غرائب التاريخ الطبيعي في إنجلترا. لكنْ ثمة حادث مأساوي وقع في طريق العودة إلى الوطن؛ إذ اشتعلت النيران في سفينة والاس وغرقت، مما أدى إلى تدمير مجموعاته القيمة بأكملها تقريبًا. اضطرت النيرانُ والاس وطاقمه إلى الطفو في قارب نجاة مكشوف لمدة عشرة أيام قبل أن تصلهم النجدة. وعندما عاد إلى لندن، أمضى ١٨ شهرًا وهو يعيش على مدفوعات التأمين لمجموعاته المفقودة، وبيع العينات التي كان قد شحنها في وقت سابق. وبين عامَي ١٨٥٤ و١٨٦٢، استكشف والاس أرخبيل الملايو (إندونيسيا وماليزيا حاليًّا) وجمع منه العينات، وأوشك على الموت عدة مرات بسبب إصابته بالملاريا أو تعرضه للحوادث. وبنهاية هذه الرحلة الاستكشافية، كان قد رأى ووثَّق من الحيوانات والنباتات الجديدة أكثر من أي إنسان على قيد الحياة في ذلك الوقت، وكانت لديه ثروة من الخبرة في اثنتَين من أكثر المناطق الاستوائية تنوعًا في العالم، مما جعله متمكنًا بشكلٍ كاملٍ من أنماط التوزيع الجغرافي الحيوي للحيوانات.

أثناء إقامته في تيرنايت بجزر مالاكو في عام ١٨٥٨، عانى والاس من نوبة شديدة من الملاريا، وكان على وشك الموت عدة مرات. وخلال لحظات من الصفاء الذهني، كتب نسخته الخاصة من الانتخاب الطبيعي، وأرسلها بالبريد إلى تشارلز داروين تحديدًا من بين جميع الناس! ومن المعروف أن داروين قد صُدم عندما تلقى نسخة والاس، وكان



شكل ٦-٢: صورة لألفريد راسل والاس عندما كان شابًّا. (إهداء من «ويكيميديا كومنز»)

قلقًا من أن يسبقه شخص آخر بعد أن أمضى ٢٠ عامًا من التردد والمماطلة في نشر أفكاره الأصلية عن الانتخاب الطبيعي، والتي كان قد دوَّنها في عام ١٨٣٨. استنجد داروين بأصدقائه؛ الجيولوجي تشارلز لايل وعالم النبات جوزيف هوكر، ليساعداه في التوصل إلى حل ملائم لمعضلته. نسَّق لايل وهوكر لقراءة كلٍّ من خطاب والاس واثنتَين من مذكرات داروين المبكرة عن الانتخاب الطبيعي في اجتماع الجمعية اللينية، كي يتشارك داروين ووالاس الفضل في هذه الفكرة. ويبدو أنَّ أحدًا لم يولِ تلك الفكرة حقها آنذاك. فقد علَّق توماس بيل، رئيس الجمعية في عام ١٨٥٨ حين عُقِدت تلك الجلسة التي عُرِضت فيها وثائق داروين ووالاس، قائلًا: «لم يشهد العام الماضي في حقيقة الأمر أيًّا من تلك الاكتشافات المذهلة التي يمكن القول إنها تُحدِث ثورةً في التخصص العلمي الذي تنتمي إليه.» ولكَم كان مخطئًا! يبدو أنَّ أحدًا لم يدرك في ذلك الوقت مدى أهمية أبحاث داروين ووالاس.

أثناء ذلك، أدرك داروين أن الفكرة حاضرة بالفعل وسيسبقه آخرون إليها إذا لم يتصرف بسرعة، ليثبت أنَّ ما أنجزه في هذه المسألة أكثر مما أنجزه أيُّ شخص آخر.

وبحماسة كتب نسخة «قصيرة» من كتابه الذي طالما أجَّله، وقد بِيعَت جميع نُسخه في اليوم الذي نُشرت فيه في نوفمبر ١٨٥٩.

عند عودته إلى لندن في عام ١٨٦٢، علم والاس بالحماسة الشديدة التي أحاطت بكتاب داروين في السنوات الثلاث السابقة، لكنه لم يحقد على داروين قط أنه اشتهر بفضل فكرةٍ توصَّل إليها كلاهما بشكلٍ مستقل. أصبح والاس أحد أقوى مناصري داروين دون أن يلفت الانتباه إلى اكتشافه للفكرة بنفسه. والحق أنَّ أحد كتبه الأخيرة عن هذه المسألة جاء بعنوان «الداروينية»، وقد صدر عام ١٨٨٩.

ساهم والاس في الجدل حول التطور، وجعلته تجربته العالمية الهائلة مع الحيوانات الغريبة رائدًا في الجغرافيا الحيوية. يُعَد والاس هو المؤسس الفعلي لهذا المجال بأكمله من خلال نشره لكتاب «التوزيع الجغرافي للحيوانات» في عام ١٨٧٦. جمع والاس في هذا المؤلَّف جميع المعلومات الجديدة عن مناطق وجود المجموعات الحيوانية، وأسَّس للعديد من مفاهيم الجغرافيا الحيوية التي لا تزال قائمةً حتى يومنا هذا. كانت إحدى مساهماته الأبرز هي اكتشاف الحدِّ في الأرخبيل الإندونيسي بين الجزر التي تحتوي في أغلبها على مجموعاتٍ حيوانيةٍ متأثرة بآسيا (مثل التابير، ووحيد القرن، والنمور، وحيوانات أخرى من الغابات الآسيوية) وتلك التي تهيمن عليها حيوانات أسترالية (مثل الولب وغيره من الجرابيات، و«آكل النمل الشوكي» أو القنافذ الشوكية، والطيور الكبيرة التي لا تطير مثل الشبنم). سُمي هذا الحدُّ باسم «خط والاس» (الشكل ٦-٣)، وهو مثالٌ صارخٌ على إمكانية اختلاط مجموعتَين حيوانيتَين مختلفتَين عند انجراف قارة (أستراليا) إلى حيِّز تأثير قارةٍ أخرى (آسيا).

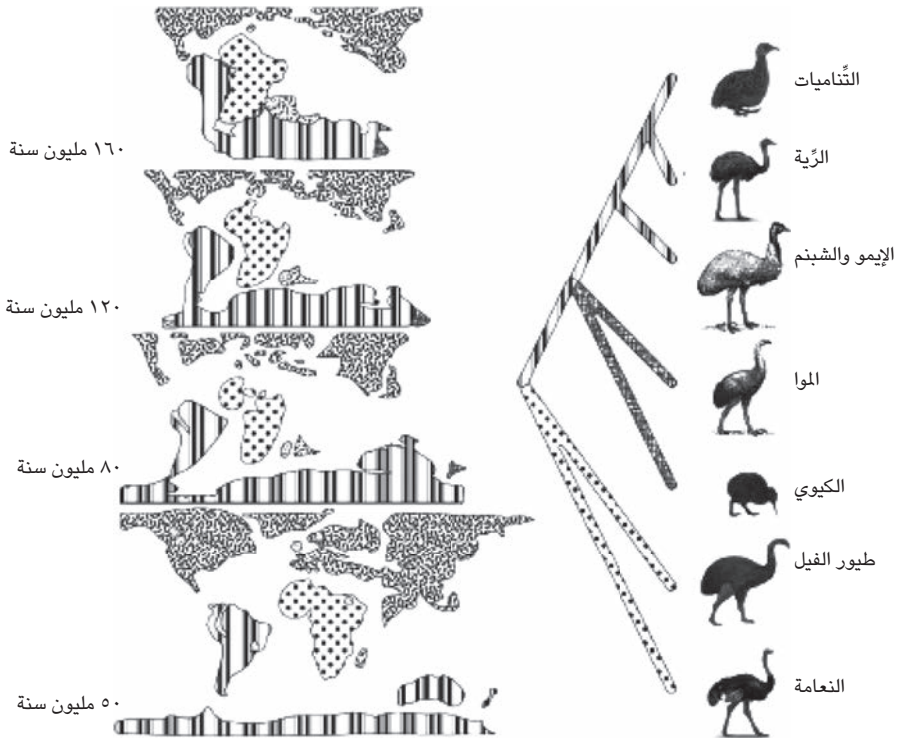
لقد ركَّزت أغلب المؤلَّفات في مجال الجغرافيا الحيوية قبل ستينيَّات القرن العشرين، على تفسير انفراد المنطقة الجغرافية الواحدة بما يوجد بها من حيواناتٍ ونباتات، وغياب هذه الكائنات عن أي منطقةٍ أخرى. إنَّ هذا النمط جعل قصة سفينة نوح غير قابلةٍ للتصديق؛ لأن نمط توزيع الحيوانات لم يكن ينبع من جبل أرارات في تركيا. ثم إنَّ الدليل الأكثر وضوحًا هو مدى تشابه بعض الحيوانات الآهلة لمناطق مختلفة وارتباطها ارتباطًا وثيقًا. ومن الأمثلة الصارخة على ذلك المجموعةُ البدائية من الطيور التي لا تطير، والتي تشمل النعامة في أفريقيا، والرِّيَة في أمريكا الجنوبية، والشبنم والإيمو في أستراليا ونيو غينيا، والكيوي في نيوزيلندا. لقد ظل توزيع هذه الطيور في جميع القارات الجنوبية لغزًا لزمن طويل، خاصةً لأنها لم تتمكن من الطيران عبر المحيطات التي تفصل بين تلك

شكل ٦-٣: قام ألفريد راسل والاس بجمع العينات في العديد من الأماكن في أرخبيل الملايو بجزر الهند الشرقية الهولندية (إندونيسيا وماليزيا حاليًّا)، وتَعرَّف جيدًا على الاختلافات بين المجموعات الحيوانية في كل جزيرة. أذهله التشابه بين حيوانات نيو غينيا والجزر الغربية وبين حيوانات أستراليا، وخاصة الجرابيات الأسترالية التقليدية (مثل الولب)، وقنفذ النمل الشوكي واضع البيض أو آكل النمل الشوكي، والطيور الكبيرة التي لا تطير مثل طائر الشبنم. في الطرف الغربي من سلسلة الجُزر، تتشابه معظم الثدييات مع تلك الموجودة في البر الرئيسي لجنوب شرق آسيا (مثل التابير ووحيد القرن والنمور وحيوانات الغابة الآسيوية الأخرى). رسم والاس خطًّا بين بورنيو وسولاويزي ممتدًّا إلى بالي ولومبوك، حيث كان التحول أكثر لفتًا للانتباه. يمثل هذا الخط أعمق جزء من المضايق (مثل مضيق لومبوك) الذي يفصل الجُزر (والجروف القارية) في آسيا عن تلك الموجودة في أستراليا. فحتى عندما انخفض مستوى سطح البحر بمقدار ٤٠٠ قدم خلال العصر الجليدي الأخير، دائمًا ما كان يوجد فصل في المياه العميقة بين هذه الجزر، مما جعل من الصعب على الحيوانات البرية (النمور ووحيد القرن جهة الشرق، والجرابيات وأحاديات المسلك جهة الغرب) عبور الحاجز. ومنذ ذلك الحين، اقترح الجيولوجيون وعلماء الأحياء خطوطًا أخرى لترسيم الحدود بين مقاطعات المجموعات الحيوانية. وبالمصطلحات الحديثة، تمثل هذه الخطوط المنطقة الانتقالية التي تقلَّصت تدريجيًّا منذ العصر الطباشيري بانجراف الصفيحة الأسترالية نحو الصفيحة الآسيوية، مما جعل مجموعاتهما الحيوانية أكثر تشابهًا. (إهداء من و«يكيميديا كومنز»)

القارات. وفي ستينيات القرن العشرين، عندما أثبتت الصفائح التكتونية أن جميع القارات الجنوبية كانت ذات يوم جزءًا من القارة العظمى التي تُدعى جندوانا، والتي تفكَّكت في أواخر العصر الطباشيري، أصبح هذا النمط منطقيًّا أخيرًا (الشكل ٦-٤). لقد نشأت هذه الطيور في جندوانا قبل أن تتفكك وظلَّت في أوطانها، وتطورت وتباعدت إلى أنواع مختلفة من مسطحات الصدور، مثل النعام والرِّيَة والإيمو. (لكن القصة تتعقد إلى حدٍّ ما؛ إذ توجد حفرية لطائر من مسطحات الصدورِ نعرف أنه كان يعيش في أوروبا قبل ٤٠ مليون سنة تقريبًا.)

وبالمثل أيضًا، فإن توزيع الثدييات الجرابية (انظر الشكل ٦-١) يعكس النطاق الأصلي الذي كانت تشغله من قارة جندوانا. من هذه الجرابيات؛ الكنغر، والولب، والبندقوط، والومبات، والكوالا، وشياطين تسمانيا في أستراليا، إضافةً إلى عدد من الجرابيات البدائية في أمريكا الجنوبية، وحفرية جرابية واحدة في أنتاركتيكا. علاوةً على ذلك، كانت الجرابيات تنتشر في أمريكا الجنوبية بدرجة أكبر كثيرًا مما هي عليه الآن، مع تشعُّب كبير لجرابيات مفترسة منقرضة تشبه الذئاب والضباع، وجرابيات سيفية الأنياب شديدة الشبه بالقطط السيفية الأنياب التي توجد في القارات الشمالية. حيوانات الأبسوم البدائية نسبيًّا هي فقط التي تمكنت من الفرار إلى الجزء الشمالي من العالم خلال العصر الطباشيري، لكنها لم تهيمن قط على القارات الشمالية كما فعلت الجرابيات في أستراليا وأمريكا الجنوبية، حيث لم تواجه من الثدييات المشيمية التي سادت في أماكن أخرى سوى قدر ضئيل من المنافسة، أو لم تواجه منافسة إطلاقًا.

ولنا مثال آخر على هذا النمط من التوزيع الجغرافي، يتمثل في السلاحف البدائية الجانبية الرقبة، التي تنحني أعناقها جانبًا، وتثني عنقها ورأسها تحت الحافة الأمامية من الصدفة للحماية (بدلًا من سحب رأسها داخل قوقعتها، مثل السلاحف المخفيَّة الرقبة الأكثر شهرة). فهذه السلاحف الجانبية الرقبة لا توجد اليوم إلا في أفريقيا ومدغشقر وأستراليا وأمريكا الجنوبية، إضافةً إلى العثور على حفريات لها في الهند أيضًا؛ ومن ثَم فقد كانت موجودة في جميع قارات جندوانا باستثناء القارة القطبية الجنوبية (التي يتَّسم سجلُّها الأحفوري بالفقر بسبب الغطاء الجليدي الذي يغطي معظم الصخور). كانت هذه السلاحف تتجه إلى أوراسيا وأمريكا الشمالية في بعض الأحيان، لكن الجزء الأكبر من تطورها قد حدث في جندوانا قبل تفكُّكها. ولنا أمثلة أخرى في فصيلتَين من الضفادع؛ الشقدعيات وناتاتانورا، وهما لا توجدان اليوم إلا على بقايا جندوانا. نظرًا لأن



شكل ٦-٤: تسلسل التفرُّع الذي يوضح تطور مسطحات الصدورِ الكبيرة التي لا تطير، وفقًا لتفسيره من خلال التسلسل الزمني لتفكُّك قارة جندوانا الكبرى إلى قارات، والذي ترك اليوم نوعًا واحدًا أو اثنين من مسطحات الصدور في كل قارة. (أُعيدَ رسمه من عدة مصادر)

البرمائيات لا تستطيع عبور حواجز المياه المالحة بسبب جلودها المسامية، فإن التفسير الوحيد لتوزيعها حول القارات الجنوبية هو تباعدها قبل تفكك جندوانا في أواخر العصر الطباشيري. وتوجد الأنواع الحية الثلاثة من الأسماك الرئوية في أفريقيا وأمريكا الجنوبية وأستراليا، على الرغم من أنها من بقايا توزيع عالمي سابق للسمك الرئوي خلال عصر الديناصورات. يمكننا العثور على أمثلة مشابهة في العديد من مجموعات الحيوانات الأخرى (خاصة الحشرات والعناكب) وفي النباتات. وخير مثال على ذلك هو شجر الزان الجنوبي

(نوثوفاجوس) الذي لا يوجد إلا في الأجزاء الأكثر برودة ورطوبة من جندوانا (نيوزيلندا وتسمانيا وباتاجونيا اليوم).

لقد قطعنا شوطًا طويلًا من الأسطورة القديمة لسفينة نوح إلى الجغرافيا الحيوية الحديثة، التي أسَّسها داروين ووالاس وغيرهما من العلماء. إننا لا نعلم حتى يومنا هذا جميع أنماط توزيع الحيوانات والنباتات بشكلٍ كامل. بالرغم من ذلك، فنحن لا نستطيع أن نفهم معظمها سوى في ضوء التطور، والثورة العلمية العظيمة الأخرى في هذا القرن؛ الصفائح التكتونية.

قراءات إضافية

Brown, James H. and Arthur C. Gibson, *Biogeography*, St. Louis, Mo.: Mosby, 1983.

Browne, Janet, *The Secular Ark: Studies in the History of Biogeography*, New Haven, Conn.: Yale University Press, 1983.

Cox, C. Barry and Peter D. Moore, *Biogeography: An Ecological and Evolutionary Approach*, 7th ed., Cambridge, Mass.: Blackwell, 2005.

Darlington, Peter J., *Zoogeography: The Geographical Distribution of Animals*, New York: Wiley, 1957.

Lomolino, Mark V., Brett R. Riddle, Robert J. Whittaker, and James H. Brown., *Biogeography*, 4th ed., Sunderland, Mass.: Sinauer, 2010.

McCarthy, Dennis, *Here Be Dragons: How the Study of Animal and Plant Distributions Revolutionized Our Views of Life and Earth*, New York: Oxford University Press, 2009.

Morrone, Juan J., *Evolutionary Biogeography: An Integrative Approach with Case Studies*, New York: Columbia University Press, 2008.

Parenti, Lynne R. and Malte C. Ebach, *Comparative Biogeography: Discovering and Classifying Biogeographical Patterns of a Dynamic Earth*, Berkeley: University of California Press, 2009.

Pielou, E. C., *Biogeography*, New York: Wiley–Interscience, 1979.

Simpson, George Gaylord, *Evolution and Geography: An Essay on Historical Biogeography with Special Reference to Mammals*, Eugene: Oregon State System of Higher Education, 1962.

الفصل السابع

شجرة الحياة المتفرعة

علم تطور السلالات

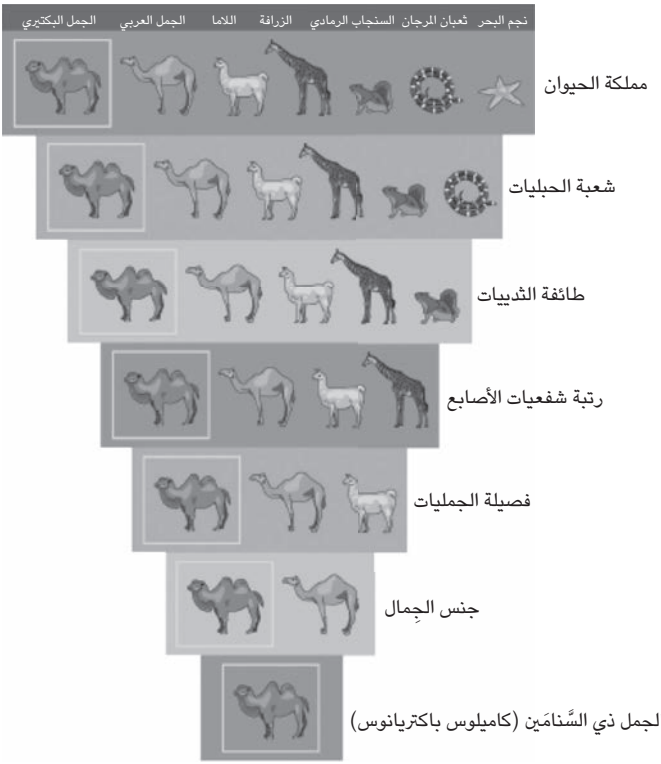
الرب خلق، لكن لينيوس صنَّف.

كارولوس لينيوس، ١٧٥٨

عرف الإغريق القدماء مثل أرسطو ما يقرب من ٥٥٠ نوعًا مختلفًا من الحيوانات. وقد حاولوا فَهْم طبيعة هذه الحيوانات، وصمَّموا مخططاتٍ لتجميع الكائنات المتشابهة معًا وتصنيفها. قام بعضهم بتجميع الكائنات الحية بناءً على خصائص يُفضِّلها البشر (جيدة للأكل، أو تؤكل فقط للضرورة القصوى، أو غير صالحة للأكل، أو سامة)، وقام بعضهم بتجميعها بناءً على خصائص بيئتها (فمعظم حيوانات المحيط، على سبيل المثال، كانَت تندرج تحت فئة «الأسماك»، بما في ذلك «نجم البحر» و«المحار» والحيتان). وبحلول أوائل القرن الثامن عشر الميلادي، وُضِعت الأنواع المعروفة من النباتات، والتي يزيد عددها عن ٦٠٠٠، وتلك المعروفة من الحيوانات، والتي كان يبلغ عددها ٤٢٠٠ نوع، في مخطَّطات تصنيفية مشوَّشة ومتضاربة كان قد اقترحها مؤرخو الطبيعة. معظم هذه التصنيفات كانت عشوائيةً وأبعد ما تكون عن واقع الطبيعة (على سبيل المثال، وُضِعت الأسماك الطائرة والطيور معًا لأن كليهما يطير، ووُضِعت السلاحف وحيوانات الأرماديللو معًا لأنَّ كِلا النوعين يمتلك دروعًا واقية)، وكان لكل شخص مخططه المفضل.

وفي نهاية المطاف، سادت طريقة التصنيف التي اقترحها عالم النبات السويدي كارل فون ليني، المعروف لنا باسمه اللاتيني كارولوس لينيوس (كان جميع العلماء في عصره يكتبون باللاتينية). بصفته عالم نبات، أدرك لينيوس أن معظم الخصائص الجوهرية والتشخيصية للنباتات توجد في تراكيبها التناسلية، ولا سيما في أزهارها. نُشر «نظامه الجنسي» لتصنيف النباتات عام ١٧٥٢ في كتاب عنوانه «أنواع النباتات»، وقد تسبَّب في فضيحةٍ آنذاك بسبب ما به من إشارات جنسية. غير أنَّ هذا النظام تفوق أخيرًا على جميع الأنظمة المنافسة؛ لأن الزهور مفيدة في تحديد العلاقات الحقيقية للنباتات المزهرة أكثر من الأوراق أو السيقان بالطبع. اتخذ لينيوس نهجًا مماثلًا مع الحيوانات باستخدامه البنى الأساسية (مثل الشعر والغدد الثديية في الثدييات) بدلًا من البنى السطحية (مثل الطيران أو الدروع). نُشرت الطبعة الأولى من كتابه «نظام الطبيعة: مملكة الحيوان» في عام ١٧٣٥، والآن تُعتبر طبعته العاشرة (١٧٥٨) نقطة الانطلاق للتصنيف الحديث.

أصبحت التصنيفات الأصلية التي وضعها لينيوس عتيقة عفا عليها الزمن؛ إذ وُصِفت آلاف الأنواع الجديدة من بعد عام ١٧٥٨، لكن نظامه الجوهري لا يزال قائمًا. وفقًا لهذا النظام يُعطَى كلُّ نوعٍ تسمية ثنائية (من جزأين)، يتكوَّن من اسم الجنس (ودائمًا ما يُكتَب بالحروف اللاتينية الكبيرة، وإما أن يكون مائلًا أو يوضع تحته خط)، والاسم الثانوي الذي يشير إلى النوع (دائمًا مائل أو تحته خط، لكنه لا يُكتَب أبدًا بالحروف الكبيرة). فالجنس الذي ننتمي إليه على سبيل المثال؛ اسم الجنس هو Homo («إنسان» باللاتينية)، والاسم الثانوي هو sapiens («عاقل» باللاتينية)؛ لذا فإن اسم جنسنا هو HOMO sapiens «هومو سابينس». بعد ذلك، تُجمَّع الأجناس في فئات أعلى؛ فصيلة، رتبة، طائفة، شعبة، مملكة. فنحن على سبيل المثال ننتمي إلى مملكة الحيوان (توجد أيضًا ممالك للنباتات، والفطريات، والكائنات الوحيدة الخلية)، وإلى شعبة الحبليات (بما في ذلك جميع الحيوانات ذات العمود الفقري)، وطائفة الثدييات، ورتبة الرئيسيات (بما في ذلك الليمور، والسعادين، والقردة، ونحن)، وفصيلة البشرانيات (بما في ذلك جنسنا، والقرد الجنوبي الأفريقي المنقرض «أسترالوبيثيكس»، وأناسي الساحل التشادي، والأورورين، وقرد الأرض «أرديبيكتوس»، و«بارانثروبوس»)، وإلى جنس الإنسان (بما في ذلك الأنواع المنقرضة الأخرى، مثل الإنسان الماهر «هومو هابيليس»، والإنسان المنتصب «هومو إريكتوس»)، ونوعنا هو الإنسان العاقل «هومو سابينس». وينبغي أن نلاحظ أن هذا المخطط هرمي (الشكل ٧-١). فكل مرتبةٍ تندرج تحت مراتب أكبر؛ ولذلك قد يوجد العديد من الأنواع في جنس واحد، وعدة أجناس في الفصيلة الواحدة، وهكذا.



شكل ٧-١: يوضح التسلسل الهرمي للتصنيف كيف أنَّ كل مرتبة أو مجموعة تندرج تحت أخرى أكبر منها. في هذه الحالة، فإن نوع الجمل البكتيري ذي السَّنامَين («كاميلوس باكتريانوس») هو أحد نوعين ضمن جنس الجِمال، الذي هو من عدة أجناس ضمن فصيلة الجمليات، وهي مجموعة ضمن رتبة شفعيات الأصابع، التي هي واحدة من عدة رُتَب داخل طائفة الثدييات، التي هي إحدى طوائف شعبة الحبليات، وهي شعبة واحدة ضمن العديد من شُعب مملكة الحيوان.

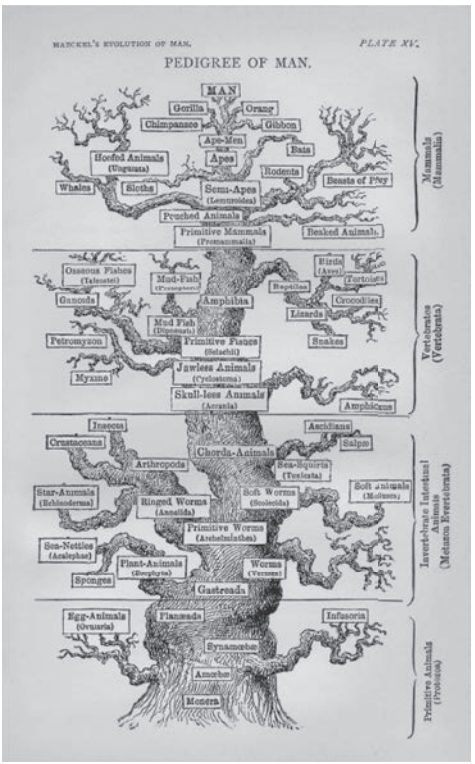
كان لينيوس ومعاصروه من المؤرخين الطبيعيين يرَون أن مهمتهم دينية. فقد اعتقدوا أن فكَّ شفرة «النظام الطبيعي» للحياة من شأنه أن يكشف عن حكمة الخالق الذي أسَّس هذا النظام الطبيعي. غير أنَّ تجمُّع الكائنات الحية في مجموعاتٍ داخل مجموعاتٍ أوحى بشيء آخر لتشارلز داروين. فلم يكن من الممكن أن يصبح هذا الهيكل

الهرمي المتداخل والمتفرِّع للحياة منطقيًّا، إلا إذا كانت الحياة قد انحدرت من أصلٍ مشتركٍ بطريقةٍ متفرعة (الشكل ٧-٢). فكما كتب داروين في كتاب «أصل الأنواع» عام ١٨٥٩:

> لقد عُرِف عن الكائنات العضوية — منذ أقدم عصور التاريخ — أنَّها تتشابه بعضها مع بعض بدرجات تنازلية، بحيث يمكن تصنيفها في مجموعات داخل مجموعات. وهذا التصنيف ليس اعتباطيًّا مثل مجموعات النجوم في الكوكبات. وربما كان لوجود هذه المجموعات دلالةٌ بسيطة لو أنَّ إحداها مثلًا كانت مهيَّأةً للعيش على اليابسة حصريًّا، وأخرى في المياه؛ وكانت إحداها مهيَّأةً لتتغذَّى على اللحوم، وأخرى على النباتات، وما إلى ذلك، لكن الواقع شديد الاختلاف؛ إذ نعلم جيدًا كيف أنَّ الكائنات المنتمية للمجموعة الفرعية نفسها تتبع عادات مختلفة في كثيرٍ من الأحيان. يسعى علماء الطبيعة إلى ترتيب الأنواع والأجناس والفصائل في كل طائفةٍ بناءً على ما يُسمى بالنظام الطبيعي. لكن ما المقصود بهذا النظام؟ يرى بعض الكُتاب أنه ليس سوى مخطط لترتيب تلك الكائنات الحية الأكثر تشابهًا معًا، وفصل تلك الأقل تشابهًا. يعتقد العديد من علماء الطبيعة أن المقصود بالنظام الطبيعي شيءٌ أبعد من ذلك، ألا وهو أنه يكشف عن مخطَّط الخالق. وأنا أعتقد أن الرابط الذي يتضح جزئيًّا من خلال تصنيفنا هو تشارُك جميع الكائنات العضوية في النَّسب، وهو أيضًا السبب الوحيد المعروف للتشابه الوثيق بينها.

على الرغم من أن لينيوس لم يكن ينوي تقديم أدلة على التطور، فقد صار مخططه التصنيفي بعد قرن من الزمان أحد أفضل حُجج داروين. فكما كتب ستيفن جاي جولد في عام ٢٠٠٠:

> يحدد مخطط لينيوس التصنيفي تسلسلًا هرميًّا للمجموعات متداخلًا بدقة، بدءًا من النوع باعتباره أصغر وحدة تندرج تحت مجموعات أكبر على نحو مُتتالٍ (الأنواع داخل الأجناس، داخل الفصائل، داخل الرُّتَب، وما إلى ذلك). إن مثل هذا التسلسل الهرمي المتداخل يشير إلى وجود شجرة متفرعة واحدة لها جذع مشترك، يتفرع إلى تقسيماتٍ أدقَّ وأدق من أغصان وأطراف وفروع وغُصينات. ويتصادف أنَّ هذا الشكل الشبيه بالشجرة يُعبِّر عن فرضية مفادها أن العلاقات المتبادلة بين الكائنات الحية توثِّق تسلسلًا هرميًّا للأنساب قد



شكل ٧-٢: الشجرة التطورية التي وضعها إرنست هيكل (١٨٧٤)، وهي إحدى أولى الرسوم التوضيحية لتطور السلالات التي تُنشَر على شكل «شجرة حياة». على الرغم من أن العديد من الفروع تُمثِّل حيوانات حقيقية، فقد أُعيدَ تشكيل المراحل الخمس الأولى (المونيرا والأميبا والسينياميبا والبلانيا والجاستريا) على أساس تكوُّن الأنواع الأعلى ونموها، وليس بناءً على الكائنات الحية التي كانت معروفة لهيكل آنذاك. (من كتاب «الأنثروبوجين»، إي هيكل [لايبزيج، ألمانيا: دبليو إنجلمان، ١٨٧٤])

تشكَّل عبر التفرع التطوري. وبهذا، فإنَّ نظام لينيوس يجسد السببية في عالم داروين. لقد تصادف فحسب — لحسن الحظ — أن تفسير لينيوس الخلقي كان يشير إلى بنية أمكن ترجمتها بسهولة إلى المصطلحات التطورية لبيولوجيا داروين الجديدة. (١٨)

وبهذا، غيَّر داروين من أهداف التصنيف. لم يعُد محض نظام اعتباطي لترتيب الكائنات وتنظيمها، حتى وإن كان جيدًا. أصبح للتصنيف آنذاك معنًى تطوريٌّ أيضًا، وكان علماء التصنيف يحاولون تشكيل مجموعات طبيعية تعكس التاريخ التطوري. وصحيح أن هذه الأهداف ليست متناقضة، لكنها لا تتفق على الدوام أيضًا. فبعض علماء التصنيف يرَون أنَّ الكائنات الحية التي تتشابه في أصلها وفي بيئاتها، مثل الأسماك، تشكِّل مجموعة رسمية؛ «السمكيات». لكن الأسماك لا تتساوى كلها من الناحية التطورية. فالأسماك الرئوية على سبيل المثال، تتشارك مع الفقاريات الأرضية ذات الأرجل الأربع (رباعيات الأرجل) في سلفٍ أكثر حداثةً مقارنة بسلفها المشترك مع سمك القرش أو التونة. وهو ما يعني بعبارةٍ أخرى أن السمكة الرئوية والبقرة أكثر قربًا من السمكة الرئوية والتونة. نرى في هذا المثال تضاربًا واضحًا بين التجميعات القائمة على البيئة، مثل «الأسماك»، والمجموعات التطورية، مثل مجموعة الأسماك الرئوية-رباعيات الأرجل (المعروفة باسم لحميات الزعانف). أيهما أفضل؟ لقد أدَّت الأولويات المختلفة والأهداف بخبراء التصنيف إلى الكثير من الجدل بشأن الطرق المناسبة للتصنيف. والحق أنَّ هذا الجدال لا يزال محتدمًا إلى اليوم. يزعم بعض علماء التصنيف بأن الأهم في التصنيف هو السهولة والملاءمة، وهم يفضلون استخدام مجموعة «السمكيات» لتشمل جميع الأسماك، على الرغم من أن الأسماك الرئوية لا ترتبط ارتباطًا وثيقًا بالأسماك العظمية الأخرى. ويصرُّ آخرون على أن التصنيف يجب أن يعكس تطور السلالات أو التاريخ التطوري. وبناءً على هذا النهج، توضع السمكة الرئوية في مجموعةٍ تشتمل أيضًا على البرمائيات، وليس مع الأسماك العظمية أو أسماك القرش الأخرى؛ لأن هذا التصنيف هو ما يعكس علاقة هذه الكائنات بعضها ببعض.

ربما تكون هذه التغييرات منفِّرةً لَمن اعتادوا على الأنظمة التقليدية القديمة. فغالبًا ما كان الناس ينظرون إلى الطيور على أنها مميزة، وليس ذلك لأننا نستمتع بمشاهدتها والاستماع إليها فحسب، بل لأنها أيضًا تشكِّل تشعُّبًا تطوريًّا متنوعًا هائلًا، ولها العديد من الخصائص الفريدة، بما في ذلك الطيران والريش. وقد أرادت هذه الفئة من العلماء أن تخصِّص طائفةً في التصنيف تُسمى «الطيور» Aves، على أن تتساوى في المرتبة مع طائفة الزواحف أو طائفة الثدييات. غير أنَّ الطيور تنحدر من الزواحف، وتحديدًا مجموعة الديناصورات المفترسة التي تضمُّ ديناصور فيلوسيرابتور؛ ولهذا يذهب العديد من علماء التصنيف إلى أن الطيور مجموعةٌ فرعيةٌ من الديناصورات فحسب.

وفي وقتٍ ما، كانت فصيلة البونجيدات تمثِّل المجموعة الرسمية للقردة العليا (الشمبانزي، والغوريلا، وإنسان الغاب، والجيبون)، وكانت هناك مجموعةٌ أخرى ذات رتبةٍ مساوية للإنسان (فصيلة البشرانيات). فبسبب غطرستنا واعتقادنا بمركزية الإنسان، أصررنا — نحن البشر — على أننا ننتمي إلى فصيلة خاصة بنا منفصلة عن أقاربنا من القردة. لكن البشر تطوروا من القردة، ولم يكن للبونجيدات أيُّ معنًى سوى أنها مجموعةٌ اعتباطيةٌ تضم القردة دون البشر. واليوم، اختفَت البونجيدات من التصنيفات، واتسعت فصيلة البشرانيات لتشمل جميع أقربائنا من القردة.

لكنَّ أيًّا من هذه الحُجج لا يغيِّر حقيقةَ أن جميع التصنيفات تجسِّد نمطًا متفرعًا ومتداخلًا وهرميًّا. كل ما هنالك أن الاختلاف يكمن فيما إذا كان من المفترض أن تجسِّد مخططات التصنيف هذا النمط بدقة، أم تكون مزيجًا من العوامل البيئية (مثل تسمية جميع الفقاريات التي تسبح «الأسماك»، أو تخصيص طائفة محددة («الطيور») للفقاريات من ذوات الريش) وتطوُّر السلالات. على مدار الأعوام الخمسين الماضية، كان التوجُّه العامُّ هو أن تكون التصنيفات انعكاسًا صارمًا للتاريخ التطوري؛ ومن ثم تلاشى العديد من المجموعات التقليدية (مثل السمكيات) تدريجيًّا.

إن مخططات التصنيف التي وضعها لينيوس وعلماء التصنيف اللاحقون، والتي استخدمها داروين وآخرون، كانت تستند إلى السمات التشريحية المرئية فحسب للحيوانات والنباتات. ولاحقًا، أُضيفَ التحليل المجهري للأنسجة والأعضاء إلى أدلة التصنيف؛ مما أدى إلى تنقيتها بدرجة أكبر. وقد ساعد اكتشاف الحفريات في تسليط الضوء على الماضي التطوري للحيوانات والنباتات المختلفة، وأَظهر كيفية تغيُّرها عبر الزمن. غير أنَّ لينيوس لم يدرك، ولا داروين ولا أي عالم تصنيف قبل ستينيات القرن العشرين، أن هناك مستوًى إضافيًّا من المعلومات في الكائنات الحية يمكن أن يختبر فرضياتهم عن العلاقات، ألا وهو علم الأحياء الجزيئي.

فكِّر في الأمر للحظة. يتنبَّأ التطور بأن السمات التشريحية (المرئية والمجهرية والجزيئية) تعكس نمطًا متداخلًا من التشابه، وتُنتِج نمطًا من العلاقات يشير إلى شجرة الحياة الكثيفة والمتفرعة. وثَّق لينيوس ذلك على المستوى العياني، واستخدم داروين أدلةً طبيعيةً قوية لإثبات أن الحياة قد تطورت. إذا كانت الحياة قد خُلِقت بشكلٍ مميزٍ ولم تتطور، فلن يكون هناك سببٌ لأن تعكس الأنظمة الجزيئية هذا النمط من التشابه المنظور في السمات العيانية. على سبيل المثال، يمكن أن تكون الأنظمة الجزيئية قد خُلِقت بحيث

يكون لجميع الحيوانات التي تعيش في موئل معين (على سبيل المثال) نفس الأنماط الجزيئية، لإنماء الأعضاء اللازمة في هذا الموطن. يمكن مثلًا أن تكون لجميع الفقاريات المائية من الأسماك إلى طيور البطريق إلى الحيتان والدلافين أنظمةٌ جزيئية متطابقة؛ لأنها تعيش في الماء وتحتاج إلى القيام بأشياء معينة، تمامًا كما أن شكل جسمها الخارجي انسيابيٌّ بغرض السباحة، ولديها جميعًا زعانف للسباحة كذلك.

لكن داروين نفسه لم يكن ليحلم بأن الشفرة الجينية لكل خلية في جسمك سوف تُظهِر الدليل على التطور. إن نمط التشابهات الجزيئية يضع الحيتان بالفعل مع الثدييات الأخرى (وتحديدًا فرس النهر)، والبطريق مع الطيور، والأسماك بعيدة كل البعد عن أيٍّ منهما، تمامًا مثلما كان تحليل أعضائها الداخلية، فيما لا يتعلق بالسباحة وتشريحها، يضعها على الدوام. اتضح هذا لأول مرة عندما طُوِّرت القدرة على الكشف عن جزيئاتٍ بعينها، مع اختراع تقنية الرحلان الكهربائي الهلامي في خمسينيات القرن الماضي. تُعَد هذه التقنية إحدى أبسط تقنيات علم الأحياء الجزيئي وأولها وأقلها تكلفة، وهي تُستخدم منذ فترة طويلة للكشف عن وجود بروتينات معينة. في هذه التقنية، يوضع تركيز من البروتينات في عددٍ من الآبار في نهاية رقاقةٍ مصنوعةٍ من الهلام، ثم يُمرَّر مجال كهربائي على الهلام. تتحرك الأحماض الأمينية المختلفة بمعدلات مختلفة في المجال الكهربائي (تتحرك الجزيئات الصغيرة أسرع من الجزيئات الأكبر)؛ لذلك فهي «تتسابق» بسرعات مختلفة عبر الهلام خلال سريان المجال الكهربائي. وفور إيقاف تشغيل المجال، يُصبَغ الهلام، ويظهر الموضع النهائي لكل حمض أميني في المسار الخاص به على شكل شريط معتم.

تعطي تقنية الرحلان الكهربائي للهلام فكرة تقريبية عن الأحماض الأمينية والبروتينات الموجودة في العينة، رغم أنها ليست دقيقة بما يكفي لتحديد التسلسل مثل بعض الطرق الأخرى التي سنذكرها لاحقًا. لكن الميزة الرئيسية للرحلان الكهربائي أنه رخيص نسبيًّا، وقد استُخدم على نطاق واسع في الستينيات والسبعينيات من القرن الماضي، حين كانت تلك هي التقنية الوحيدة المتاحة. واستُخدم على نطاقٍ واسعٍ أيضًا لتحديد كفاءة الإنزيمات، والتنوع الجيني للمجموعات الطبيعية، وتدفق الجينات وتهجينها، وللتعرف على حدود الأنواع، ولتحديد العلاقات بين السلالات.

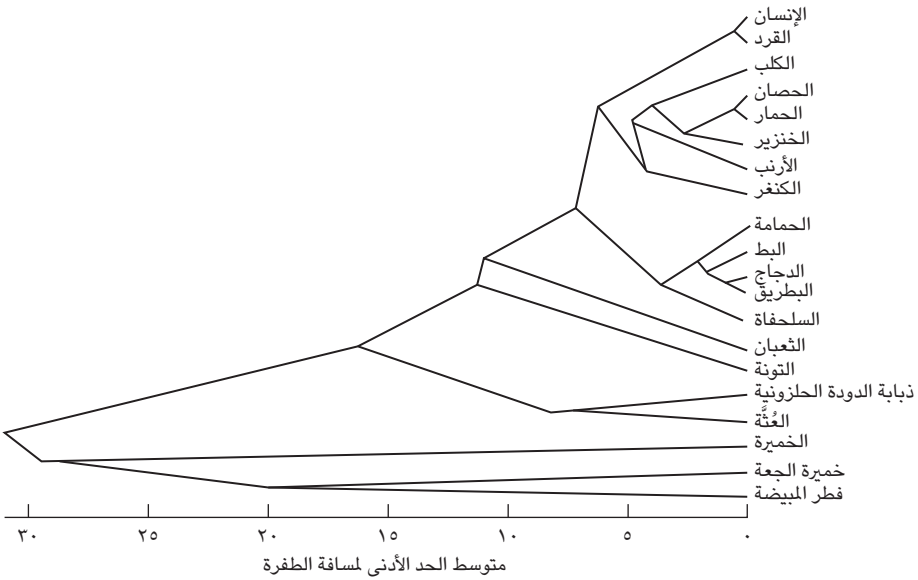
ومن الطرق الأخرى التي شاعت في الستينيات والسبعينيات من القرن العشرين؛ قياسُ المسافة المناعية. فمعظم الحيوانات تُنتِج أجسامًا مضادة تتفاعل مع المواد الغريبة (المستضدات)، وهي جزء من الحماية التي يوفرها جهاز المناعة ضد الأمراض والعدوى.

عندما تُخلَط الأجسام المضادة من كائنَين، فإنَّ قوة التفاعل المناعي الملاحَظ تزداد كلما زاد الشبه بين اثنين من البروتينات في تسلسلهما الجيني. من خلال تقنية تُسمى تثبيت المتممة الدقيقة، توضع كميات صغيرة من الأجسام المضادة للعديد من الحيوانات المختلفة في آبار في هلام. يمكن ملاحظة التفاعل بين الأجسام المضادة في رقاقتَين مختلفتَين من الهلام، وهذا التفاعل يعطي مقياسًا شبه كَمي لدرجة التشابه. توفر هذه الطريقة قيمة تقريبية للتشابه الجيني بين كائنَين أو أكثر، ولكنها كانت تُستخدم على نطاق واسع في الستينيات والسبعينيات من القرن الماضي، عندما لم تكن هناك طرقٌ أخرى متاحة. أما الآن، فقد استُبدِل بهذه التقنية أيضًا التحليل المباشر للحمض النووي.

في ستينيات القرن الماضي، توفرت لدينا تقنية أفضل هي سلسلة الأحماض الأمينية. استُخدمت هذه التقنية على نطاقٍ واسعٍ من ستينيات القرن العشرين حتى تسعينياته، لتحديد أوجُه التشابه الجزيئي بين العديد من الكائنات الحية (مثل الهيموجلوبين والميوجلوبين والسيتوكروم سي)، وهي أول تقنية تُستخدم لإنتاج سلاسل متفرعة للعلاقات بين الكائنات الحية (الشكل ٧-٣). ظلَّت هذه التقنية رائجةً طيلة الوقت الذي لم تكن لدينا فيه وسيلةٌ لتحديد التسلسل الفعلي للحمض النووي الذي أنتج تلك الأحماض الأمينية والبروتينات.

أما الطريقة التي أمكننا لأول مرة من خلالها قياس الاختلافات والتشابهات بين الحمض النووي، من صنفَين مختلفَين من الكائنات الحية بشكلٍ مباشر، فهي تهجين الحمض النووي. إذا قمتَ بغلي محلول من الحمض النووي في ماء أكثر سخونة من ١٠٠ درجة مئوية (٢١٢ درجة فهرنهايت)، فسوف ينفصل شريطا الجزيء. وعندما يبرد المحلول، تسعى الأشرطة الفردية إلى الاندماج مجددًا مع أشرطتها المتطابقة معها تمامًا. لكنك إذا صنعت مزيجًا من الحمض النووي من كائنَين مختلفَين، فستتَّحد بعض أشرطة الحمض النووي لأحد الكائنَين مع الأشرطة المكملة لها من الحمض النووي للكائن الآخر، لتشكيل الحمض النووي الهجين. يُعاد تسخين الخليط بعد ذلك، مما يؤدي إلى تفكك الحمض النووي مرة أخرى. وكلما زادت درجة التشابه بين الشريطين، كانا أكثر ارتباطًا أحدهما بالآخر، مما يستلزم درجة حرارة أعلى لتفكيكهما. أما أشرطة الحمض النووي التي تعود لكائنَين أبعد في الصلة، فهي أقل تشابهًا وأقل تماسكًا، وستتفكَّك عند درجات حرارة أكثر انخفاضًا.

استُخدِمت تقنية تهجين الحمض النووي على نطاقٍ واسعٍ للغاية، في السبعينيات والثمانينيات من القرن العشرين، لمعرفة نسبة تشابه الحمض النووي لدى كائنَين



شكل ٧-٣: مخطط متفرع لأوجُه التشابه في السيتوكروم سي بين الكائنات الحية المختلفة. جميع الأنظمة الحيوية تقريبًا تُنتِج نمطًا متفرعًا مشابهًا، وهو مطابق للنمط المتفرع للحياة أثناء تطورها. (من «بناء أشجار النشوء والتطور»، والتر إم فيتش وإيمانويل مارجولياش، ساينس ١٥٥، العدد ٣٧٦٠ [يناير ١٩٦٧]. حقوق النشر محفوظة ١٩٦٧، الرابطة الأمريكية لتقدُّم العلوم. أعيدَ طبعها بتصريح.)

مختلفَين. وقد كشفت هذه التقنية عن بعض الأشياء المذهلة، مثل أن البشر والشمبانزي يتشاركون في نسبةٍ تتراوح بين ٩٨ إلى ٩٩ بالمائة من حمضهم النووي (سنناقش ذلك في الفصل الثاني والعشرين). وفي عام ١٩٨٣، استُخدِمت تقنية تهجين الحمض النووي؛ لإعادة ترتيب سلالاتٍ للطيور وتصنيفها بالكامل. ومع ذلك، فإن هذه التقنية لا توفر من المعلومات بقدر ما توفر تقنية سلسلة الحمض النووي المباشر؛ لأنها لا تعطينا سوى تقديرٍ شبه كَمي للتشابه، لا التسلسل الفعلي للحمض النووي قاعدةً بقاعدة.

وفي نهاية المطاف، ستكون الطريقة الأفضل لتحديد التشابه الجزيئي هي تحديد التسلسل المباشر للحمض النووي نفسه. ولا تزال هذه الطريقة هي المفضَّلة منذ أواخر تسعينيات القرن الماضي، وهي في طليعة تقنيات علم الأحياء الجزيئي؛ لأنها تُتيح للباحثين

تحديد كل زوجٍ قاعديٍّ على طول شريط الحمض النووي (من التسلسل الجيني الكامل للنواة إلى الجينومات المستقلة للعُضَيات، مثل الميتوكوندريا والبلاستيدات الخضراء)، مما يتيح لهم مقارنة تسلسل الجينات بشكل مباشر. حتى تسعينيات القرن الماضي، كان الحصول على كمية كافية من الحمض النووي للقيام بهذا الإجراء صعبًا وبطيئًا وبالغ التكلفة. غير أنَّ اكتشاف طريقة الإكثار من الحمض النووي بواسطة تفاعل البوليميراز المتسلسل (بي سي آر) قد أحدث ثورة في علم الوراثة الجزيئية، مما أتاح توليد مئات النسخ من شريطٍ واحدٍ من الحمض النووي بتكلفةٍ رخيصةٍ وبسرعة. إن العديدَ من التطورات الجديدة التي تحدث في علم الوراثة ناتجٌ عن سلسلة الحمض النووي، وقد قام مشروع الجينوم البشري، الذي تُقدَّر تكلفته بملايين الدولارات، بتجميع الشفرة الكاملة لكل جين في جسم الإنسان في عام ٢٠٠٠ (بالتزامن مع مختبر كرايج فينتر ذي التمويل الخاص، شركة «سيليرا جينومكس»). خلال العقود الماضية، توصَّل العلماء إلى تسلسل الحمض النووي لمئات الكائنات الحية بالكامل، بدايةً من البكتيريا والديدان الخيطية (الربداء الرشيقة)، وحتى العديد من الثدييات المختلفة والعديد من الرئيسيات، بما في ذلك جميع القردة العليا، والعديد من البشر أيضًا.

سواء نظرتَ إلى التسلسل الجيني للحمض النووي للميتوكوندريا، أو الحمض النووي للنواة، أو السيتوكروم سي، أو بروتين الألفا كريستالين الموجود في عدسة العين، أو أي جزيء حيوي آخر؛ فستجد أن الدليل واضح، تتَّسم الجزيئات بنمط التشابه الهرمي المتداخل نفسه الذي يكشف عنه التشريح الخارجي. فجزيئاتنا شديدة الشبه مع تلك الموجودة لدى أقرب أقربائنا؛ القردة العليا، ويقل هذا التشابه تدريجيًّا مع تلك الكائنات الأقل قربًا لنا. لقد وجدنا الدليل على التطور في كل خلية في أجسادنا.

قراءات إضافية

Conniff, Richard, *The Species Seekers: Heroes, Fools, and the Mad Pursuit of Life on Earth*, New York: Norton, 2010.

Cracraft, Joel and Michael J. Donoghue, eds., *Assembling the Tree of Life*, New York: Oxford University Press, 2004.

Eldredge, Niles and Joel Cracraft, *Phylogenetic Patterns and the Evolutionary Process*, New York: Columbia University Press, 1980.

Felsenstein, Joseph, *Inferring Phylogenies*, Sunderland, Mass.: Sinauer, 2004.

Gould, Stephen Jay, "Linnaeus's Luck," *Natural History* 109, no. 7 (2000): 18–21.

Hillis, David M. and Craig Moritz, eds., *Molecular Systematics*, Sunderland, Mass.: Sinauer, 1990.

Lecointre, Guillaume and Hervé Le Guyader, *The Tree of Life: A Phylogenetic Classification*, Trans. Karen McCoy, Cambridge, Mass.: Belknap Press of Harvard University Press, 2006.

Mayr, Ernst, *Principles of Systematic Zoology*, New York: McGraw–Hill, 1966.

Nei, Masatoshi and Sudhir Kumar, *Molecular Evolution and Phylogenetics*, New York: Oxford University Press, 2000.

Page, Roderick D. M. and Edward C. Holmes, *Molecular Evolution: A Phylogenetic Approach*, Oxford: Blackwell Science, 1998.

Patterson, Colin, ed., *Molecules and Morphology in Evolution: Conflict or Compromise?* Cambridge: Cambridge University Press, 1987.

Simpson, George Gaylord, *Principles of Animal Taxonomy*, New York: Columbia University Press, 1961.

Yoon, Carol Kaesuk, *Naming Nature: The Clash Between Instinct and Science*, New York: Norton, 2010.

الفصل الثامن

دفاعًا عن الدبابير القاسية

الطبيعة ليست أخلاقية

> يا له من كتاب قد يكتبه قسيسٌ للشيطان عن الطبيعة الخرقاء، المسرفة، المتخبِّطة، الوضيعة، والقاسية بشكل مريع!
>
> تشارلز داروين،
> في رسالةٍ كتبها عام ١٨٥٦ لجوزيف هوكر

في أواخر القرن الثامن عشر وأوائل القرن التاسع عشر لم تكن دراسة الطبيعة علمًا على الإطلاق، بل كانت في معظمها مجموعة من الملاحظات العرَضية عن الجوانب الطريفة والغريبة للحياة. وغالبًا ما كانت تُسمى بـ «الفلسفة الطبيعية»؛ لأنها كانت تستند بالفعل إلى الفلسفة والدين، وليس العلم (الحق أنَّ مفهوم «العلم» لم يظهر حتى أوائل القرن التاسع عشر). فقد كان العامل المحفز للجزء الأكبر من المناقشات هم مَن كانوا يحاولون «فَهْم عقل الرب من خلال تدبر ما صنعه». سُمي هذا الفرع من الفلسفة الطبيعية بـ «اللاهوت الطبيعي»، وكان معظم رجاله البارزين من القساوسة الذين كان لديهم الكثير من الوقت لدراسة الطبيعة، حين لم يكونوا يخدمون رعيتهم. وقد حثَّهم على ذلك ما رأَوه في الطبيعة من أدلَّةٍ على عمل الرب. ولم يكن العلم مهنةً تُحترَف بعد.

كان القس ويليام بايلي أشهر من كتب عن هذه المسألة، وفي عام ١٨٠٢ ألَّف كتاب «اللاهوت الطبيعي»، الذي يُعَد المعالجة الأكثر اكتمالًا للموضوع. وفي هذا العمل، قدَّم

بايلي تشبيه «صانع الساعات» الشهير. طلب بايلي من القارئ أن يتخيَّل أنه عثر على ساعةٍ وصخرةٍ على شاطئ. وفقًا لبايلي، فأنت لن تعتبر الصخرة غير اعتياديةٍ لأنها جزءٌ من العالم الطبيعي، لكنك ستُدرك على الفور أن الساعة «صُنِعت بشكلٍ معقد»، وستستنتج أن ثمة صانع ساعات قد صنعها. بالنسبة لبايلي، كانت المصنوعات المعقدة في الطبيعة دليلًا على وجود صانع ساعات إلهي، وهو الرب.

كانت مدرسة اللاهوت الطبيعي الفكرية بالغةَ التأثير في زمانها، وكان داروين نفسه يكاد يحفظ كتاب بايلي عن ظهر قلب. غير أنَّ هذه المدرسة قد دُحِضت حتى من قبل زمن بايلي. ففي عام ١٧٧٩، نشر الفيلسوف الاسكتلندي ديفيد هيوم كتاب «محاورات في الدين الطبيعي»، والذي هدم حُجة التصميم بأكملها. وضع هيوم حُجج اللاهوت الطبيعي الأساسية على لسان شخصية تُدعى كلينذس، واستخدم الحوارات بينه وبين أحد المشككين المسمَّى فيلو، ليهدم حجة التصميم في الطبيعة. يشير فيلو إلى أن تشبيه التصميم في الطبيعة خاطئ؛ لأننا لا نمتلك معيارًا نقارن به عالمنا، لذلك من الممكن أن نتخيل عالمًا مصمَّمًا بشكل أفضل بكثير من ذلك الذي نعيش فيه. حتى لو سلَّمنا بأن العالم يبدو مصممًا، فهذا لا يعني بالضرورة أنَّ المصمِّم إله اليهودية والمسيحية. من الممكن أن يكون إله دين آخر أو ثقافة أخرى، أو ربما لجنة من الآلهة، أو إلهًا شابًّا يرتكب الأخطاء. لقد افترض اليهود والمسيحيون ببساطة أنه إذا كان هناك مصمم، فلا بد أن يكون هو إلههم، لكن ذلك يفتقر لدليلٍ قويٍّ يُثبت أن هذا المصمم ليس إلهًا آخر.

على أية حال، بدت فكرةُ أن الطبيعة مصممة بشكل جميل مقنعةً للغاية. كُتِب العديد من الكتب والقصائد عن عجائب الطبيعة، لكن من المهم للعالِم أن ينظر إلى الصورة بأكملها. ومثلما أشار داروين في الاقتباس الوارد في بداية هذا الفصل، يمكن للطبيعة أيضًا أن تكون «خرقاء، مسرفة، متخبطة، وضيعة، وقاسية بشكل مريع». فعلى مدار قرون من الزمان، كان الكُتاب والفنانون والمتدينون ينظرون إلى جمال العالم، ويغضُّون الطرْف عن جانبه المظلم. ومن أعظم الرؤى التي أتى بها داروين أن الجمال والألم جزآن متساويان من القصة، ولا يمكن تفسيرهما إلا من خلال عملية سمحت لكليهما بالوجود. فليست الطبيعة عرضًا إلهيًّا للأعمال الجميلة لإله خَيِّر فحسب؛ بل هي عملية تعمل خارج إطار حكمنا البشري لما هو جميل وما هو قبيح، وتقوم بوظيفة محددة تؤديها بأي وسيلة متاحة لها (بقاء الكائنات الحية كي تتمكن من ترك ذرية للجيل القادم). وفي نهاية المطاف، نحن نعلم الآن أن الحياة تقوم بذلك منذ أكثر من ٣,٥ مليارات سنة، وأنَّ البشر لم ينفقوا من وقتهم في التغزل في جمال الطبيعة إلا في بِضعة آلاف من السنين الماضية.

وسرعان ما تعلَّم علماء الأحياء أن يرَوا جانبَي هذه الصورة، وأن يدركوا أن الطبيعة ليست زهورًا جميلة أو أغنيات العصافير وحسب. فالحياة لم تُخلَق ببساطة للترفيه عنَّا، ولكل من الكائنات وظيفة محددة (لا تكون خيِّرة في بعض الأحيان). يُذهَل الشعراء والرسامون بالزهور الرائعة (ونحن أنفسنا نُفتَن بجاذبيتها)، لكن الزهرة لعالِم الأحياء هي عضو جنسي. تخدم بنيتُها ووظيفتها غرضًا رئيسيًّا واحدًا؛ نقل الحيوانات المنوية في حبوب اللقاح من زهرة ما للوصول إلى البويضات في زهرة أخرى؛ ومن ثَم الحفاظ على تجمُّعٍ جينيٍّ صحيٍّ به درجة أقل من التوالد الداخلي.

في كل صباحٍ قبل الفجر خلال فصلَي الربيع والصيف، أسمع الطيور المحاكية تغني باستمرارٍ لساعات بتنويعات لا تصدَّق من نداءات الطيور، بعضها أصيل لها، وبعضها منقول من طيور أخرى. للمستمع الساذج، سيبدو تغريد الطيور على الأشجار لحنًا غراميًّا جميلًا ليستمتع به البشر. لكن عالم الأحياء يدرك أن وظيفة تغريد الطائر لهذه العبارات مرارًا وتكرارًا، هي إصدار تحذيرٍ معادٍ للطيور الأخرى من نفس نوعه: «هذه منطقتي. ابقَوا بعيدًا!» فالهدف من هذا الترنيم هو إبعاد غيره من ذكور الطيور المحاكية، وجذب أنثى إلى منطقته للتزاوج معه. أخرجت منظاري وركَّزته على طائر مُحاكٍ يقف على قمة أطول شجرة، يُنفِق جُل طاقته طوال اليوم (ومعظم الليل أيضًا) في التغريد، فيكاد لا يتبقَّى له أي وقتٍ تقريبًا للبحث عن الطعام أو إراحة صوته. أمشي في الشارع لمسافة عدة بنايات، وأسمع ذكرًا مختلفًا على قمة شجرة طويلة أخرى، أو عمود هاتف يفعل نفس الشيء في منطقته. هذه الطيور التي تغنِّي عاليًا فوق رءوسنا لا تغني لنا، إنما هي تتحدَّى الجميع من فوق مَجثَمها المرتفع، محذِّرةً غيرها من ذكور الطيور المحاكية، أن تبتعد عن أرضها. إن هذه الأفكار وغيرها، من أول ما يُدرَّس الآن في علم الأحياء. أما في زمن داروين، فقد أدت هذه الاكتشافات إلى زعزعة نظرة البشر للعالم؛ إذ كانوا يعتقدون أن الزهور وغناء الطيور لم يُخلَقا إلا لإمتاعنا.

في عام ١٨٢٩، ترك إيرل بريدجووتر وصية قدرها ٨٠٠٠ جنيه إسترليني؛ لدعم سلسلة من الكتب تتحدَّث عن «قوة الرب وحكمته وخيريته، كما تتجلَّى لنا في الخليقة». وكان القس ويليام باكلاند في جامعة أكسفورد أول من قَبِل تفويضًا بكتابة إحدى أطروحات بريدجووتر. لم يكن باكلاند رجل دين أنجليكانيًّا فحسب (أصبح لاحقًا عميد وستمنستر)، لكنه كان أيضًا أول عالم جيولوجيا أكاديمي رسمي في إنجلترا. كان هو أول من نشر وصفًا لديناصور، وهو مَن قام بتسميته ميجالوصور. كان باكلاند يحب

الحيوانات كثيرًا، حتى إنه كان يفتخر هو وعائلته بأنهم يأكلون جميع أنواع الحيوانات التي يمكنهم الحصول عليها.

في كتابه «الجيولوجيا وعلم المعادن في إطار اللاهوت الطبيعي» الصادر عام ١٨٣٦، شرع باكلاند في محاولة تقديم تفسير لاهوتي «لمعضلة الألم» في الطبيعة. لماذا يترك الإله الخيِّر مخلوقاته تعاني الموت والهلاك؟ لمَ تحمل الطبيعة قدرًا كبيرًا من القسوة التي لا معنى لها، سواء أجاءت في صورة قطة تلهو بفأر قبل أن تأكله، أو آكل لحوم كبير يأكل فريسته بينما هي لا تزال على قيد الحياة وتعاني؟ كانت إجابة باكلاند عن هذه المعضلة هي أن الحيوانات آكلة اللحوم تزيد في الواقع من «المتعة الكلية للحيوانات»، و«تقلل من ألمها الكلي». إذا ماتت فريسة بسرعة حين يفترسها أسد، فإن هذه الفريسة لن تعاني من آلام الخَرَف والمرض والشيخوخة. كما أن المجموعات الحيوانية لن تزداد بأعداد كبيرة للغاية بحيث تستنفد إمداداتها الغذائية؛ ومن ثَم تعاني من آلام الجوع، والموت جوعًا في نهاية المطاف. وقد عبَّر باكلاند عن ذلك في كتابه على النحو التالي:

> يبدو إذن أنَّ الموت بفعل آكلات اللحوم باعتباره النهاية الاعتيادية لوجود الحيوان؛ شِرعةٌ من شِرَع الخير، إنه يقتطع الكثير من المجموع الكُلي للألم الشامل للموت، ومن خلال هذا الخُلق الوحشي، يختصر بؤس المرض والإصابات العرَضية والتدهور البطيء، بل يكاد يقضي على ذلك كله، مما يؤدي إلى فرض تقييد صحي على الزيادة المفرطة في الأعداد، بحيث تظل نسبة عرض الغذاء متوازنة دائمًا مع الطلب عليه. والنتيجة هي أنه، بما أن سطح الأرض وأعماق المياه مزدحمان على الدوام بعدد لا يُحصَى من الكائنات الحية، فإن ملذات حياتها تتماشى مع أمد بقائها، وتحيا طوال أمد بقائها الصغير بمسرَّة ورغد بالوظائف التي خُلقت من أجلها.

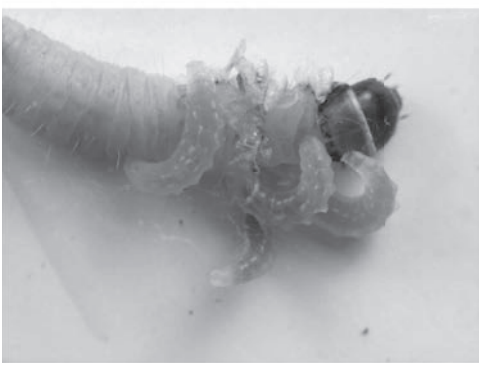
ربما برر هذا الرأي القائل بأن المفترسين هم مجرد جلَّادي الرب الرحماء، تفسير اللاهوت الطبيعي لمعضلة الألم، لكنه لم يسهم في معضلة الطفيليات بالتأكيد. إن البشر يشمئزون تلقائيًّا حين يدركون أننا جميعًا لدينا الآلاف من البكتيريا والعثِّ والديدان الصغيرة التي تعيش في أجزاء مختلفة من أجسادنا؛ بعضها يفيدنا، لكن الكثير منها لا يقدم أية فائدة. إننا نشعر بالتقزز حتى من فكرة وجود ديدان شريطية ضخمة في أمعائنا تستنزف قوتنا، أو العديد من الطفيليات الأخرى التي يمكن أن تشلنا أو تعمينا أو

حتى تقتلنا. وهذا الشعور بالتقزز من أسباب النجاح الكبير الذي حققه فيلم «آلين»؛ فقد كانت رؤية المخلوق الطفيلي الفضائي الغريب وهو يندفع خارجًا من معدة رائد فضاء (قام بدوره جون هيرت) كابوسيةً بحق، ورهيبة بالنسبة لمعظمنا. لقد حاول العديد من الباحثين في اللاهوت الطبيعي تبرير وجود الطفيليات، لكنهم لم ينجحوا في ذلك. وبالنسبة لباكلاند، فقد تجنب الموضوع تمامًا؛ لأنه كان يقوِّض حجته بأكملها بشأن كون الموت في الطبيعة أمرًا جيدًا.

ما من مثال حيَّر اللاهوتيين الطبيعيين وأعياهم أكثر من حالة «النمسيات» (وهي في الواقع فصيلة كاملة من حوالي ١٥٠ ألف نوع من الدبابير، وهو عدد أكثر من جميع الفقاريات مجتمعة). على غرار معظم الدبابير، تعيش النمسيات بحُرية وهي بالغة، ولكن لديها طريقة فريدة للتكاثر. عندما تكون أنثى دبُّور النمس جاهزة لوضع بيضها، فإنها تجد فريسة لها، كحشرة أخرى أو عنكبوت، لكنها تختار يسروعًا في الغالب. تنقضُّ الأنثى على الضحية البائسة، وتثقب جسدها بـ «إبرة اللدغ» الطويلة البارزة من ذيلها (وهي في الواقع مسرأ؛ أي عضو لوضع البيض)، وتحقنه بسم يشل الضحية، لكنه يتركها على قيد الحياة (الشكل ٨-١(أ)). تضع الأم بيضها داخل جسد الضحية، وعندما يفقس البيض، تبدأ اليرقات في أكل العائل من الداخل وهو لا يزال على قيد الحياة، بدءًا من الأعضاء الأقل أهمية مثل الجهاز الهضمي والأجسام الدهنية. وبعد ذلك، تلتهم يرقات الدبابير الجهاز العصبي والدورة الدموية في نهاية المطاف، مما يؤدي أخيرًا إلى قتل العائل. وبهذه الطريقة يظل طعامها حيًّا وطازجًا دائمًا حتى النهاية، بدلًا من أن يموت ويتحلل قبل أن تنتهي اليرقات منه. يتحول اليسروع إلى صَدَفة مجوَّفة، وكأنه محفظة واقية ليرقات الدبابير، إلى أن تندفع اليرقات خارجةً من جلد الضحية تحلِّق وهي مكتملة النمو. في بعض الأنواع، تضع الأنثى بيضها فوق الضحية (الشكل ٨-١(ب))، وعندما يفقس البيض، تحفر الدبابير الصغيرة داخل الجسد وتأكله حيًّا.

وضع عالم الحشرات الفرنسي جان هنري فابر مؤلَّفات كاملة عن هذا الموضوع، واصفًا فيها العديد من الأمثلة على تطفل يرقات الدبابير وحشرات أخرى على ضحاياها. في أحد الأنواع، قد لا يكون مضيفها مشلولًا تمامًا؛ لذلك ترتبط اليرقات بحبل حريري من سقف الجحر، ويمكنها أن تتقهقر إذا تخبَّطت ضحيتها كثيرًا. وكما كتب فابر عام ١٩١٦ في كتابه «دبابير الصيد»:

(أ)



(ب)

شكل ٨-١: دبابير النمس: (أ) أنثى دبور تشل حشرة المن وتضع بيضها داخلها. (ب) يرقات دبابير النمس تتطفل على الجزء الخارجي من اليسروعات. (إهداء من «ويكيميديا كومنز»)

اليرقة الآن تتناول العشاء؛ رأسها لأسفل، إنها تحفر في البطن الرخو لأحد اليساريع ... عند أدنى علامة على وجود خطر في كومة اليساريع، تتراجع اليرقة ... وتتسلق عائدة إلى السقف، حيث لا يمكن للحشد الهائج الوصول إليها. ولدى استعادة السِّلم، تنزلق اليرقة [على حبلها الحريري] وتعود إلى الطاولة، يتدلى رأسها فوق الطعام الشهي ومؤخرتها مقلوبة، جاهزةً للانسحاب إذا استلزم الأمر. (١٥)

ووصف فابر الدبابير التي تتطفل على الصراصير:

> يمكن للمرء أن يرى الصرصور قد لُدِغ سريعًا، وعبثًا يحرك قرونه الاستشعارية ومراود بطنه، وهو يفتح ويغلق فكَّيه الفارغين، بل ربما يحرك قدمًا، لكن اليرقة صارت آمنة، وتبحث عن عناصرها الحيوية وهي مُحصَّنة. يا له من كابوس مروِّع للصرصور المشلول! (١٦)

علاوةً على ذلك، أجرى فابر تجارب قدَّم فيها الماء المُحلَّى بالسكر إلى اليعسوب المستهلَك جزئيًّا، وقد حرك أجزاء فمه وحاول أن يأكل، مما دل على أنه كان لا يزال حيًّا، وأنه قد شلَّ جزئيًّا فقط؛ على الرغم من أن يرقات الدبابير كانت قد أكلت بالفعل معظم ما بداخله، بما في ذلك الجهاز الهضمي.

يوجد العديد أيضًا من أنماط التطفل الأخرى. في عام ١٩٨٢، وصف ستيفن جاي جولد مجموعة متنوعة من أنماط تطفل الدبابير على كائنات عائلة مختلفة قائلًا:

> إننا نعرف مهارات الدبابير في اصطياد كائناتٍ عائلةٍ غالبًا ما تكون أكبر حجمًا من الدبابير نفسها. ربما تكون اليساريع صيدًا سهلًا، لكن دبابير الساموكاريد تُفضِّل العناكب. ولا بد لها من إدخال مسرئها في مكان آمن ودقيق. وبعضها يترك عنكبوتًا مشلولًا في جحره. على سبيل المثال، تتطفل دبابير بلانيسبس هيرسوتوس على عنكبوت الباب المسحور الكاليفورني. فهي تبحث عن أنفاق العنكبوت على الكثبان الرملية، ثم تحفر في الرمال القريبة كي تخرب بيت العنكبوت لتدفعه خارجًا. عندما يظهر العنكبوت، يهاجمه الدبُّور، فيشل ضحيته، ويسحبه مرة أخرى إلى نفقه الخاص، ويغلق الباب المسحور ويثبته، ويضع بيضة واحدة على بطن العنكبوت. تقوم بعض الأنواع الأخرى من دبابير ساموكاريد بجرِّ عنكبوت ثقيل إلى مجموعة من الزنازين الطينية المُعَدة مسبقًا. وتقوم دبابير أخرى ببتر أرجل العنكبوت لتسهيل المرور. وتطير أخرى فوق الماء وهي تجرُّ عنكبوتًا طافيًا على طول السطح.
>
> يتعين على بعض الدبابير أن تتقاتل مع طفيليات أخرى على جسد العائل. يمكن لدبابير رايسيلا كرفايبس أن تكتشف وجود يرقات دبابير الخشب في أعماق خشب الآلدر، وأن تحفر إلى الأسفل باستخدام المسرأ الحاد المسنَّن لتجد الضحية المحتمَلة. أما دبابير سودوريسا ألبيسترس، وهي دبابير طفيلية قريبة

من دبابير رايسيلا، فلا تستطيع الحفر مباشرة في الخشب؛ نظرًا لأن مسرأها النحيف لا يحمل سوى أسنة قطع بدائية. ولهذا فهي تحدد الثقوب التي أحدثتها دبابير رايسيلا، وتُدخِل مسرأها الخاص بها، وتضع بيضة على العائل (الذي أصابته بالفعل دبابير رايسيلا بالشلل) بجوار البيضة التي وضعتها قريبتها. تفقس البيضتان في نفس الوقت تقريبًا، لكن يرقة دبور سودوريسا لها رأس أكبر به فكوك أكبر بكثير. تستولي يرقة سودوريسا على يرقات رايسيلا الأصغر وتدمرها؛ ومن ثَم تشرع في تناول وليمة على مأدبة مُعَدة جيدًا بالفعل.

إن مدح كفاءة الدبابير الأم يستدعي أيضًا ذكر خصائص التبكير، والسرعة، والكثرة. إن العديد من دبابير النمسيات لا تنتظر حتى ينمو عائلها إلى يرقات، بل تتطفل على البيضة مباشرة (قد تقوم يرقات الدبابير بعد ذلك إما بتصريف البيضة نفسها أو دخول يرقة العائل النامية). وتعتمد بعض الدبابير الأم الأخرى على السرعة. فيمكن لدبابير أبانتيليس أن تضع ما يصل إلى ٧٢ بيضة في الثانية الواحدة. وهناك دبابير أخرى تتسم بإصرار شديد. تنتج إناث دبابير أفيديوس جوميزي ما يصل إلى ١٥٠٠ بيضة، ويمكن أن تتطفل على ما يصل إلى ٦٠٠ حشرة منٍّ في يوم واحد من العمل. في تطور غريب لـ «الكثرة»، تنغمس بعض الدبابير في تعدد الأجنة، الذي هو نوع من التزاوج المفرط المتكرر. تنقسم البيضة الواحدة إلى خلايا تتجمع إلى ما يصل إلى ٥٠٠ فرد. ونظرًا لأن بعض الدبابير المتعددة الأجنة تتطفل على يساريع أكبر منها بكثير، وقد تضع ما يصل إلى ست بيضات في كلٍّ منها، فقد ينمو ما يصل إلى ٣٠٠٠ يرقة داخل العائل الواحد، وتتغذَّى جميعها عليه. هذه الدبابير طفيليات داخلية لا تشل ضحاياها. تتلوى اليساريع ذهابًا وإيابًا، ليس من الألم (وإن كنا لا نعرف على وجه اليقين)، بل استجابةً للاضطراب الناجم عن وجود الآلاف من يرقات الدبابير التي تتغذى في الداخل. (١٩–٢٠)

طَوال القرنين الثامن عشر والتاسع عشر، تصارع العلماء ورجال الدين مع الأفكار المروعة التي استحضرتها قصص التطفل الداخلي، وحاولوا إيجاد تفسير لها أو إنكارها؛ إذ كانت تتعارض بشدة مع مفهومهم بأن إلهًا خيِّرًا قد خلق الكون وهو مَن يدبِّر شئونه. بالرغم من ذلك، لم يتمكن معظمهم من إيجاد تفسير مناسب؛ إذ لم يخطر ببالهم قط أن الطبيعة غير ملزَمة بالأخلاق الإنسانية في المقام الأول. لقد ناقش الجيولوجي الرائد تشارلز

لايل دبابير النمس في كتابه البارز «مبادئ الجيولوجيا» (١٨٣٠–١٨٣٣). وصحيحٌ أن الدبابير موضوع بعيد تمامًا عن الجيولوجيا، لكنه استنتج أن الدبابير الطفيلية مفيدة للطبيعة؛ إذ كانت اليساريع ستدمر كل شيء لولاها، خاصة الزراعة البشرية. وفي عام ١٨٣٥، كتب عالم الحشرات القس ويليام كيربي أطروحة بريدجووتر السابعة. وكان هو أيضًا يرى أن اليساريع لا تستحق الإنقاذ، لكنه ركز على فضائل الحب الأمومي الذي تُظهِره الدبابير:

> إن هدف الأنثى الأعظم هو إيجاد عش مناسب لبيضها. وهي تظل في حركة مستمرة بحثًا عن هذا العش. أيكون يسروع فراشة ما أو عثَّة هو الغذاء المناسب لصغارها؟ تراها تترجَّل لتحط على النباتات التي تقابلها في المعتاد، وتركض عليها بسرعة، وتفحص كل ورقة بعناية، وبعد أن تكون قد عثرت على الكائن التعيس الحظ، تولج إبرتها اللادغة في لحمه، واضعةً بيضة هناك … إنَّ النمسيات النشطة تتحدى كل خطر، وهي لا تكفُّ حتى تؤمِّن بشجاعتها وبراعتها ما يكفي من الموارد لذرِّيتها المستقبلية.

وقد تعاطف كيربي أيضًا مع الدبابير الأم التي لا تتمكن أبدًا من رؤية أطفالها أحياء:

> إن نسبة كبيرة منها محكوم عليها بالموت قبل أن يولد صغارها. غير أنَّ شغفها لا يخمد … عندما ترى الرعاية المفرطة التي تقدمها الدبابير، من أجل أمن ذريتها المستقبلية وإعالتها، لا يمكنك إنكار حبها لأبناء ليس مقدَّرًا لها أن تراهم أبدًا.

ورأى كيربي في اليرقات نموذجًا للكفاءة والاستخدام الحكيم للموارد؛ إذ تأكل فرائسها بشكلٍ انتقائيٍّ حتى تظل طازجة:

> في هذه العملية التي تبدو غريبة وقاسية، ثمة حالة جديرة حقًّا بالملاحظة. إن يرقة النمسيات، على الرغم من أنها تلتهم الأعضاء الداخلية لليسروع كل يوم، وربما يستمر ذلك لعدة أشهر، وعلى الرغم من أنها تكون قد الْتهمت جميع أجزائه تقريبًا في النهاية، باستثناء الجلد والأمعاء، فإنها تتجنب إلحاق الضرر بالأعضاء الحيوية، وكأنها تُدرك أن وجودها يعتمد على وجود الحشرة التي تفترسها! … فأيُّ انطباعٍ قد يتركه لدينا مثال مماثل بين جنس من ذوات

الأربع؟ إذا وجدنا، على سبيل المثال، حيوانًا ... يتغذَّى على الأعضاء الداخلية لكلب، لكنه لا يلتهم سوى تلك الأجزاء غير الضرورية للحياة، بينما يحرص على ترك القلب والشرايين والرئتين والأمعاء سليمة دون إصابتها بأذًى؛ ألا يجب أن نعتبر ذلك آيةً مثالية بصفتها مثالًا على الصبر الغريزي الذي يكاد يكون إعجازيًّا؟

ربما نجد في هذه الفقرات التي تعود إلى أوائل القرن التاسع عشر غرابة صادمة، وليس ذلك بسبب ما تنطوي عليه من افتراضات دينية بشأن الإله الخيِّر، بل بسبب نبرتها أيضًا التي تتَّسم بالمبالغة في إضفاء الصفات البشرية، وفي مركزية الإنسان. فالأمر لا يقتصر على استخدام لغة الأفكار والمشاعر البشرية لوصف الحشرات التي تحرِّكها غريزة محضة، بل ثمة افتراض أيضًا بأن كل شيءٍ في الطبيعة قد وُجد لصالح الإنسان بطريقةٍ أو بأخرى. والحق أنَّ الجهاز التناسلي لدبابير النمس موجودٌ على الأرجح منذ ملايين السنين، ربما منذ العصر البرمي (منذ أكثر من ٢٥٠ مليون سنة) عندما تطورت الدبابير لأول مرة، وذلك قبل ظهور البشر بملايين السنين بالطبع. تُظهِر الأبحاث الحديثة عن شجرة عائلة الغشائيات الأجنحةِ (الدبابير والنحل والنمل) أن سلف الغشائيات الأجنحة كان كائنًا يشبه الدبور، وأن التطفل الداخلي هو سمة عامة للرُّتبة بأكملها. فمعظم مجموعات الدبابير التي تعيش اليوم أيضًا لها يرقات طفيلية. وبعض من أحفادها فقط، بما في ذلك الدبابير الزُّنبورية الأكثر شهرة، بالإضافة إلى النمل والنحل والنمل الأبيض؛ هي التي فقدت هذا الأسلوب في التكاثر.

والأهم من ذلك، أنَّ هذه الفقرات توضح المغالطة في استقراء معنًى أخلاقي من الطبيعة. الطبيعة هي ما هي عليه، وليست أمجادها وأهوالها بمرشد لقراراتنا الأخلاقية بأي شكل من الأشكال. لقد كان ذلك مصدر إزعاج لداروين نفسه، مثلما يتضح من رسالة كتبها إلى آسا جراي عام ١٨٦٠:

أعترف أنني لا أستطيع أن أرى، كما يرى الآخرون، وكما كنت أتمنى أن أرى أنا أيضًا؛ دليلًا على وجود التصميم والإحسان في جميع جوانب الحياة. إنما يبدو لي أن العالم مليء بقدر كبير من الشقاء. لا أستطيع أن أقنع نفسي بأن ربًّا خيِّرًا كليَّ القدرة كان سيتعمد تصميم دبابير النمس بأن يجعلها تتغذى على أجساد اليساريع الحية من الداخل، أو يَجبُل القط على اللعب بالفئران.

الطبيعة ليست جيدة ولا سيئة، بل هي ما نجده فحسب. لا يمكننا أن نتعلم دروسًا أخلاقية من عالم غير أخلاقي، ولا ينبغي لنا أن نفرض أخلاقياتنا عليه. إن محاولة تأطير معنى الطبيعة «بمصطلحاتنا» محاولةٌ في غير محلها؛ لأن الطبيعة لم تُصنَع لنا. فما يحكم الطبيعةَ ويسيِّرها قوانينُ موضوعية للفيزياء والكيمياء والأحياء، بما في ذلك الانتخاب الطبيعي. وهذه القوانين لا تهتم بالألم أو القسوة أو الفرح أو الجمال، بل هي موجَّهة نحو الكائنات الحية التي تترك أحفادها بنجاح في الجيل القادم.

في كتابه «التطور: التوليفة الحديثة»، الصادر عام ١٩٤٣، وصف عالم الأحياء جوليان هكسلي، حفيد أقوى مؤيدي داروين، توماس هنري هكسلي، هذه المسألة على النحو التالي:

> على الرغم من أن الانتخاب الطبيعي يشبه في الواقع طواحين الرب وهي تطحن ببطء لتنتج فُتاتًا صغيرًا، فليس للانتخاب الطبيعي سوى القليل من الصفات الأخرى التي يمكن أن يصفها دين متحضر بأنها إلهية ... فقد تكون منتَجات الانتخاب الطبيعي مقزِّزة لنا جماليًّا أو أخلاقيًّا أو فكريًّا بقدر ما قد تكون جذابة. وسوف تدرك ذلك إذا تذكرت قبح الساكولينا أو دودة المثانة، أو بلاهة وحيد القرن أو الستيجوصور، أو هول أنثى السرعوف وهي تلتهم زوجها، أو فقس بيض دبابير النمس وهو يتغذى ببطء على يسروع. (٤٨٥)

ومثلما كتب ستيفن جاي جولد عام ١٩٨٢ في كتاب «طبيعة لا أخلاقية»:

> إن العالَم الطبيعي لم يُصنَع لنا ولا نحن من نحكمه. ذلك هو ما يحدث فحسب. إنها استراتيجية ناجحة لدبابير النمس، وقد حفرها الانتخاب الطبيعي في ذخيرتها السلوكية. واليساريع لا تعاني لتعلِّمنا شيئًا، كل ما في الأمر أنها هُزِمت في الوقت الحالي في اللعبة التطورية. ربما ستُطوِّر دفاعًا مناسبًا في وقت ما في المستقبل لتقضي بذلك على دبابير النمس. وربما لا تفعل ذلك، وهو الأرجح. (٢١)

قراءات إضافية

Branstetter, Michael G., Bryan N. Danforth, James P. Pitts, Brant C. Faircloth, Philip S. Ward, Matthew L. Buffington, Michael W. Gates, Robert

R. Kula, and Seán G. Brady, “Phylogenomic Insights into the Evolution of Stinging Wasps and the Origins of Ants and Bees,” *Current Biology* 27, no. 7 (2017): 1019–1025.

Fabre, Jean-Henri, *The Hunting Wasps*, London: Hodder and Stoughton, 1916.

Gould, Stephen Jay, “Nonmoral Nature,” *Natural History* 91 (1982): 19–26.

Kirby, William, *On the Power Wisdom and Goodness of God As Manifested in the Creation of Animals and in their History, Habits and Instincts*, London: W. Pickering, 1835.

Peters, Ralph S., Lars Krogmann, Christoph Mayer, Alexander Donath, Simon Gunkel, Karen Meusemann, Alexey Kozlov, Lars Podsiadlowski, Malte Petersen, Robert Lanfear, Patricia A. Diez, John Heraty, Karl M. Kjer, Seraina Klopfstein, Rudolf Meier, Carlo Polidori, Thomas Schmitt, Shanlin Liu, Xin Zhou, Torsten Wappler, Jes Rust, Bernhard Misof, and Oliver Niehuis, “Evolutionary History of the Hymenoptera,” *Current Biology* 27, no. 7 (2017): 1013–1018.

الفصل التاسع

أدوات ارتجالية

الطبيعة ليست مثالية التصميم

فقط من خلال هذا العرض للأدوات، يتجلَّى وجود الرب وفعاليته وحكمته بالبرهان لمخلوقاته العقلانية. هذه هي الوسيلة التي نصل من خلالها إلى جميع ما نمتلكه من معارف عن خالقنا — بحسب ما تستند إلى ظواهر الطبيعة — أو ما يتجلى فيها من أعمال ... ففي بنية الأدوات واختيار الوسائل وتكييفها يتجلى لنا وجود ذكاء إبداعي. وهذا هو ما يشكِّل نظام الكون وجماله.

ويليام بايلي، «اللاهوت الطبيعي» (١٨٠٢)

لا أعتقد أنَّ عملًا أثار إعجابي أكثر من كتاب «اللاهوت الطبيعي» لبايلي. كان بإمكاني تقريبًا أن أسرده عن ظهر قلب.

تشارلز داروين،
في رسالة كتبها لجاره جون لوبوك في عام ١٨٥٦

منذ كتاب روبرت بويل «بحث في العِلل الغائية للأشياء الطبيعية» عام ١٦٨٨، وكتاب «تجليات حكمة الرب في خلقه» لجون راي عام ١٦٩١، شَهدَت المناطقُ المتدينة من أوروبا تقليدًا امتدَّ على مدار قرن من الزمان، يتمثَّل في الإشارة إلى ما يتسم به «تصميم» الطبيعة

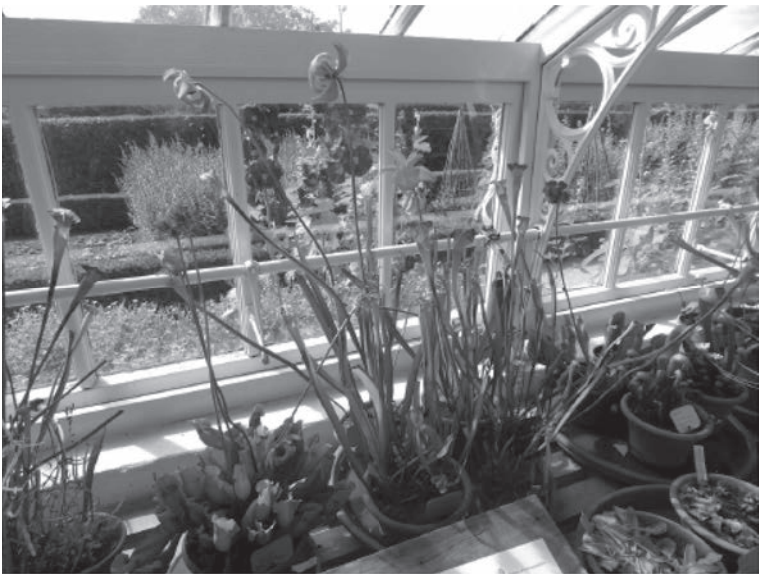
من جمالٍ وتناغمٍ وتعقيد، بصفتها أدلة على صنع الرب. لقد كان العديد من المؤرخين الطبيعيين من رجال الدين أيضًا بالفعل، وكانوا يرَون أنَّ دراسة التاريخ الطبيعي وسيلةٌ لفَهْم عقل الخالق بشكل أفضل. ومثلما رأينا في الفصل الثامن، كان أشهر مؤيدي اللاهوت الطبيعي هو القس ويليام بايلي الذي كتب كتاب «اللاهوت الطبيعي» عام ١٨٠٢، وهو الكتاب الذي يُنظَر إليه على أنه المعالجة الكلاسيكية لهذه المسألة.

وفي أثناء تطور أفكار داروين لدى عودته من رحلته حول العالم على متن سفينة البيجل، تذكر قراءته لبايلي تلقائيًّا. بالرغم من ذلك، كانت دراسته الدقيقة للتاريخ الطبيعي (خاصة البرنقيل، الذي درسه حتى أصبح الخبير العالمي فيه) توضح له الحجة المضادة المثالية لبايلي. صحيح أنَّ كلًّا من جمال الطبيعة وتعقيدها كان جليًّا في مواضع عِدَّة، لكن ما كان جليًّا أيضًا هو أدلة على «أدوات» لم تكن مثاليةً أو على أكمل وجه، بل «ارتجالية» لتُفيد الكائن بما يكفي فقط لأن يعيش ويترك ذريةً في الجيل القادم. فالطبيعة لا تستلزم الكمال، وهو ما أدركه داروين وعلماء الأحياء اللاحقون. إنَّ ما يلزم هو التكيف مع الظروف المحلية، ولا يلزم حتى أن يكون تصميم الكائن الحي مثاليًّا لضمان بقائه على قيد الحياة. علاوةً على ذلك، بمجرد أن يتكاثر الكائن الحي بنجاح، لا يعود هناك أي ضغط انتخابي عليه (ما دام لا يتعين على الوالدين تربية الذرية حتى الجيل التالي). فأنواعٌ عديدةٌ (معظم اللافقاريات والأسماك) تتزاوج وتضع بيضها ثم تموت على الفور، وهذا هو كل ما يتطلبه الانتخاب الطبيعي. فالحلول الارتجالية غير المثالية لمشاكل الحياة تُعتبَر جيدةً بما يكفي ما دام الكائن الحي قادرًا على التكاثر بنجاح.

ركَّز داروين على هذه الأدوات الارتجالية غير المثالية الموجودة في الطبيعة، والتي بدا أنها تشير إلى وجود مصمِّم أخرق أو مهمل، لكنها تتَّسق مع فكرة أن الطبيعة لا تتطلَّب الكمال. الحل الفعال بما يكفي للبقاء والتكاثر كافٍ. كان داروين نفسه يدرك مدى أهمية توضيح حجته؛ ولهذا لم يكن كتابه التالي بعد كتاب «أصل الأنواع» في عام ١٨٥٩ عن مسألة تطور البشر المثيرة للجدل (الحق أنه لم يتطرق إلى هذا الموضوع حتى عام ١٨٧١)، بل كان عن الإخصاب المتبادل بين أزهار الأوركيد.

فلماذا أَتبَع أهمَّ كتاب وفكرة في تاريخ علم الأحياء بكتاب عن أزهار الأوركيد؟ عندما قام داروين بزراعة الأوركيد ودراسته في الدفيئة بفنائه الخلفي (الشكل ٩-١)، وجد أن أزهارها مليئةٌ بالأدوات الارتجالية غير المثالية، لكنها جيدة بما يكفي لجذب الحشرات وتعزيز الإخصاب المتبادل. كما أنه تواصل مع العديد من مُربِّي الأوركيد

الآخرين في جميع أنحاء العالم، وتَعرَّف عليهم جيدًا. في عام ١٨٦٢، كتب داروين في كتابه «عن الاستراتيجيات المختلفة التي تُخصِّب بها الحشرات نباتات الأوركيد البريطانية والأجنبية» يقول:



شكل ٩-١: ألَّف داروين كتابًا كاملًا عن الأدوات الارتجالية التي تستخدمها أزهار الأوركيد لضمان الإخصاب كلما زارها ناقل ما، كنحلةٍ. استند هذا الكتاب إلى ملاحظاته المستقاة من زراعة العديد من أزهار الأوركيد في دفيئة الفناء الخلفي في منزله في داون. هذه الصورة من داخل دفيئة داروين الخاصة، وهي لبعض أزهار الأوركيد التي لا تزال تُزرَع هناك. (تصوير المؤلف)

صحيحٌ أن عضوًا ما من الممكن ألَّا يكون قد تشكَّل بالأساس لغرضٍ محدد، لكنه إذا كان يخدم هذا الغرض الآن، فلدينا ما يبرِّر القول بأنه مصمَّم خصوصًا لهذه الغاية. ووفقًا للمبدأ نفسه، إذا صنع شخصٌ ما آلةً لغرض معين، لكنه استخدم عجلاتٍ ونوابض وروافع قديمة، مع تعديلٍ طفيف فقط، يمكن القول إن الآلة بأكملها، بجميع أجزائها، قد ابتُكِرت خصوصًا من أجل ذلك الهدف.

وفي جميع أنحاء الطبيعة أيضًا، الأرجح أنَّ الغالبية العظمى من أجزاء جميع الكائنات قد أدَّت أغراضًا متنوعة، في حالة معدَّلة قليلًا، وكان لها دورٌ في تسيير حياة العديد من الأنواع القديمة والمحددة.

وقد كتب ستيفن جاي جولد في نوفمبر ١٩٧٨ في مقال بمجلة «نيو ساينتست» تحت عنوان «إبهام الباندا ومصيدة الأوركيد» يقول:

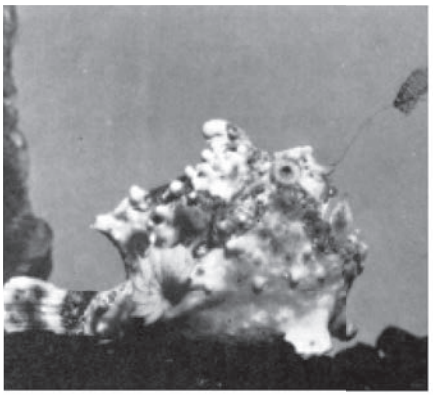
> شكلت زهور الأوركيد تحالفًا مع الحشرات. لقد طوَّرت مجموعةً مذهلة من «الأدوات» لجذب الحشرات، ولضمان أن حبوب اللقاح اللزجة تلتصق بالزائر، وأنَّ حبوب اللقاح المرفقة ستلامس الأجزاء الأنثوية من زهرة الأوركيد التالية التي تزورها الحشرة.
>
> إن كتاب داروين هو خلاصة وافية لهذه الأدوات، وهو المكافئ النباتي للكتب الرمزية التي استخدمت الحيوانات موضوعًا لها. وعلى غرار هذه الكتب الرمزية التي راجت في العصور الوسطى، وُضِع كتاب داروين ليكون مرشدًا. وصحيحٌ أنَّ الرسالة التي يقدِّمها متناقضة، لكنها عميقة. إن زهرة الأوركيد تصنع أدواتها المعقَّدة من المكونات المعتادة للزهور، وعادة ما تكون أجزاء ملائمة لوظائف متباينة للغاية. إذا كان الرب قد صمَّم آلةً جميلةً لتعكس حكمته وقوته، فمن المؤكد أنه لم يكن ليستخدم مجموعة من أجزاء مصممة بشكل عام لأغراض أخرى. ليست أزهار الأوركيد من صنع مهندسٍ مثالي، بل ارتُجِلت من مجموعةٍ محدودةٍ من المكونات المتاحة. وبناءً على هذا، فلا بد أنها تطورت من زهور عادية.
>
> المفارقة إذن هي أنَّ مراجعنا العلمية تفضِّل عَرْض التطور من خلال أمثلةٍ على التصميم الأمثل؛ تنكُّر فراشة في هيئة ورقة شجر ميتة، أو تنكُّر نوعٍ سام على هيئة نوعٍ قريب مستساغ. لكن التصميم المثالي حجةٌ رديئةٌ للتطور؛ إذ إنها تحاكي الفعل المفترض لخالق كليِّ القدرة. إن الترتيبات العجيبة والحلول الغريبة هي الدليل على التطور، تلك الطرق لا يمكن لإله عاقل أن يسلكها أبدًا، لكن عملية طبيعية مقيدة بالتاريخ تتبعها بحكم الضرورة. وما من أحدٍ قد فهم ذلك أفضل من داروين. (٧٠٠)

لقد شكَّل كتاب كامل عن أزهار الأوركيد أفضل مثال قدَّمه داروين عن الكائنات الارتجالية، التي عدَّلت البنية التشريحية التي كانت متاحةً لديها لاستخدامها في أغراضٍ جديدةٍ تمامًا. وعلى الرغم من ذلك، يمكن مضاعفة مثل هذه الأمثلة إلى ما لا نهاية. ثمة ثلاثة أمثلة معروفة جيدًا لأنها نُوقِشت كثيرًا، وقد ناقشها ستيفن جاي جولد تحديدًا عدة مرات.

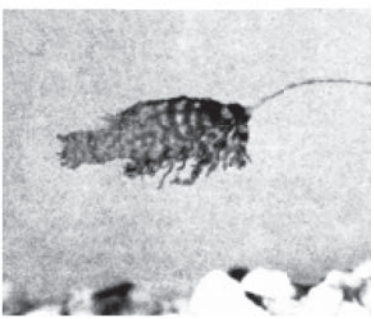
أحد أغرب الأمثلة هو محار المياه العذبة المسمَّى لامبسيليس (الشكل ٩-٢(أ)). فمثل معظم محار المياه العذبة، يقضي هذا المحار معظم حياته مدفونًا في رمال جدول أو بحيرة أو نهر، وهو يُصفِّي الطعام من المياه التي تمرُّ فوق خياشيمه. ومثل أنواع محددة من المحار والقواقع التي تعيش في المياه العذبة، ينشر محار لامبسيليس يرقاته إلى أماكن أخرى من خلال لصقها بخياشيم الأسماك حيث تُكمِل نموها. ينشر محار لامبسيليس يرقاته بهذه الطريقة المرعبة بأسلوب بدائي، لكنه فعال. فالكيس الحاضن المليء بالبيض يبرز من الجزء الخلفي للمحار الشبيه بعض الشيء بسمكة. توجد به «بقعة على شكل عين» بالإضافة إلى طرَف يتموج في التيار كزعنفة سمكة. فور أن تقترب سمكة فضولية بما يكفي لقضم المحار، يقوم المحار بإخراج اليرقات التي تبتلعها السمكة، لكنها تعلق بخياشيمها حتى تُكمِل نموها. إنَّ هذا «الطُّعم» لا يُعَد محاكاة جيدة للأسماك، لكنه لا ينبغي أن يكون كذلك؛ لأن الأسماك لا تتمتع بحاسة بصر جيدة، وغالبًا ما تكون الحركة أكثر أهمية. وأي شخص قام بصنع طُعوم الصيد يعرف هذا، فليس عليه أن يقلِّد حيوانًا حقيقيًّا لدرجة التطابق. فما دام الطُّعم يشبه فريسة ما بدرجة مناسبة ويتحرك على النحو الصحيح، فإنه سيجذب السمك.

ثمة مثال آخر غريب، لكنه فعال، على طعم صيد بدائي تستخدمه سمكة أبو الشص (الشكل ٩-٢(ب)؛ الشكل ٩-٢(ج)). يبدو هذا الوحش القبيح وكأنه صخرة وعرة في قاع البحر، ونادرًا ما يتحرك بعيدًا. بدلًا من ذلك، فإن سمكة أبو الشص تنصب كمينًا لفرائسها عن طريق جذبها لتقترب منها حتى تتمكن من ابتلاعها دفعة واحدة. كيف تغري فرائسها بأن تقترب منها بما يكفي لنصب كمين لها؟ توجد أعلى فمها شوكةٌ طويلة عُدِّلت تعديلًا كبيرًا للغاية، وهي تحركها في الماء ذهابًا وإيابًا. وعلى رأس هذه الشوكة، يوجد طرف هُدْبي شبيه بسمكة بعض الشيء. وهو ليس شبيهًا في الواقع بأي سمكة حقيقية، بل شكلٌ مغزلي به بِضعة خطوط داكنة، غير أنه يتحرك ذهابًا وإيابًا كالسمكة، وهذا كل ما يتطلَّبه الأمر لأن تقترب سمكةٌ فضوليةٌ تسبح بالقرب بما يكفي لأن تُبتلَع.

(أ)



(ب)



(جـ)

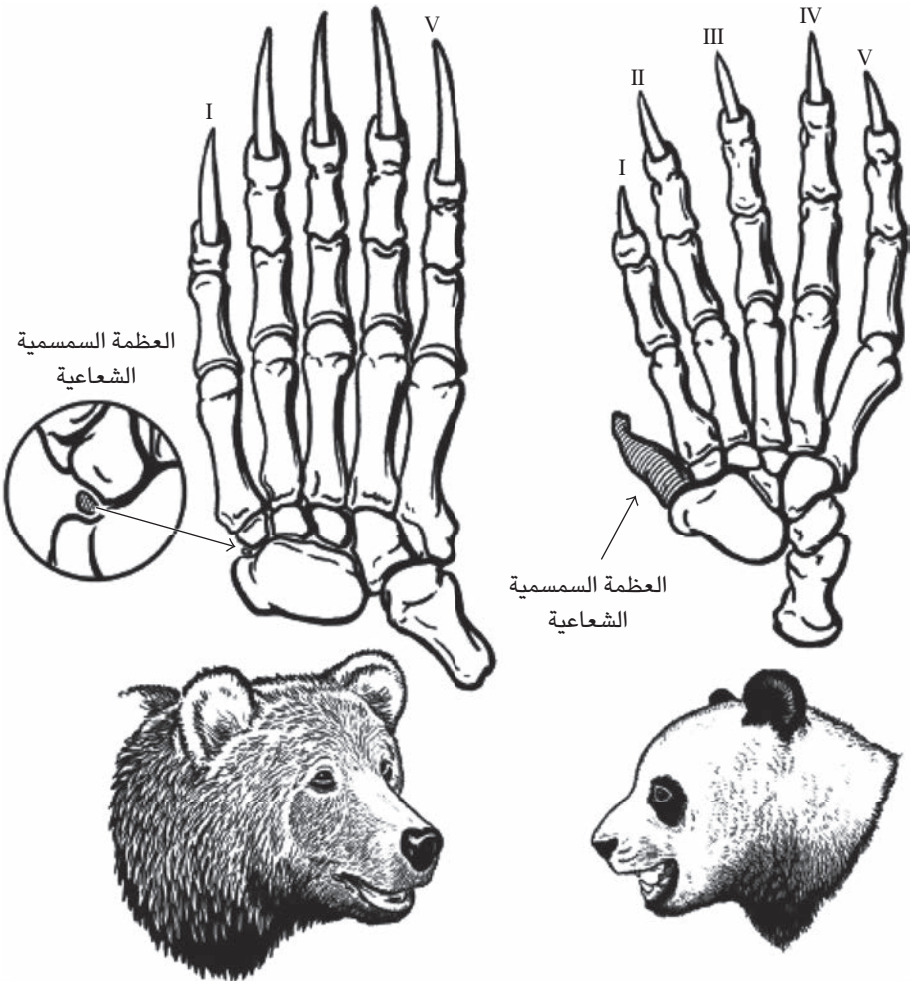
شكل ٩-٢: تمتلئ الطبيعة بأمثلة على أساليب التكيُّف الارتجالية الجيدة بما يكفي لخدمة غرض ما، لكنها ليست مثالية التصميم. (أ) لدى محار المياه العذبة لامبسيليس حاضنة على هيئة سمكة تغوي الأسماك بقضمها. عندما تفعل إحدى الأسماك ذلك، تلتصق يرقات المحار بخياشيمها وتُكمِل دورة حياتها. (ب) لسمكة أبو الشص شوكة فوق فمها بها طرف مُهدَّب، مما يجعلها شبيهةً بسمكةٍ إلى حد ما. (جـ) عندما تقترب الفريسة لقضم الطُّعم، تبتلع سمكة أبو الشص ضحيتها داخل فمها. ([أ] تصوير جيه إتش ويلش، من غلاف «ساينس» ١٣٤، رقم ٣٤٧٢ [١٩٦٩]. حقوق النشر محفوظة للرابطة الأمريكية لتقدُّم العلوم ١٩٦٩. أعيدَ طبعها بتصريح؛ الصورتان [ب] و[جـ] من ثيودور دبليو بيتش وديفيد بي جروبيكر، «ساينس» ٢٠١، رقم ٤٣٥٣ [١٩٧٨]: ٣٧٠-٣٦٩. حقوق النشر محفوظة للرابطة الأمريكية لتقدم العلوم ١٩٧٨. أعيدَ طبعها بتصريح.)

ومن أشهر الأمثلة على «التصميمات» الارتجالية غير المتقنة حالة ستيفن جاي جولد المفضلة؛ إبهام الباندا (الشكل ٩-٣). فحيوان الباندا العملاق، الذي ينتمي إلى رتبة اللواحم، تجمعه صلة قرابة بعيدة بجميع آكلات اللحوم الأخرى (الكلاب، القطط، بنات العرس، الظَّرِبان، الضباع، الراكون، وأقاربها)، وهو أقرب صلةً بالدببة. وغالبًا ما كان يُسمى بالفعل «دب الباندا». وعلى غرار جميع آكلات اللحوم الأخرى، فإن إبهامه الحقيقية جزء من كفِّه، ومضغوطة بشدة إلى جانب الكف؛ ولهذا ليس لها سوى استخداماتٍ قليلةٍ (مثل «الزمعة» في كف القط أو الكلب). ولكن على عكس باقي اللواحم، فحيوان الباندا يأكل النباتات (الخيزران) وليس اللحوم؛ لذا فإن أسلوب حياته مختلف تمامًا.

يعيش حيوان الباندا معظم الوقت في جبال الصين العالية. إنه أكبر من أن يهدده معظم الحيوانات المفترسة، وهو يأكل مئات الأرطال من سيقان الخيزران كل يوم، من ١٢ إلى ١٤ ساعة في اليوم. يمسك سيقان الخيزران في كفوفه وينزع الأوراق عن طريق تحريك الساق بين كفوفه وبين ما يبدو أنه إبهام. إن إبهامه الحقيقية صغيرة ومدمَجة في الكف؛ ولهذا طُوِّرت عظمة في الرُّسْغ تُعرَف باسم العظمة السمسمية الشعاعية، لتكون بمثابة «إصبع سادسة» له. إنها «إبهام» ارتجالية تفيد بالدرجة الكافية في تجريد الأوراق من سيقان الخيزران. لا شك أنها لا تضاهي الإبهام المقابلة التي توجد لدى الرئيسيات في المرونة والقوة والفائدة، لكن ذلك ليس ضروريًّا؛ فكل ما تحتاج إليه الباندا هو أداةٌ لتجريد الأوراق. توضح هذه الأمثلة أن مفتاح فَهْم الطبيعة ليس في كمالها، بل في الحلول المؤقتة والأدوات الارتجالية التي تبين لنا أن الكائنات الحية لا تحتاج إلى أن تكون مثالية التصميم، بل تحتاج فقط إلى أن تكون جيدةً بما يكفي للبقاء على قيد الحياة، ولتَرْك ذُرية.

في مقال صدر عام ١٩٧٨ بعنوان «إبهام الباندا ومصيدة الأوركيد»، كتب جولد عما وجده عالم التشريح دي دوايت ديفيس عندما درس حيوان الباندا العملاق، يقول:

> كما هو الحال مع العظمة السمسمية الشعاعية، فإن هذه العضلات لم تنشأ من لا شيء، بل هي — على غرار أوركيد داروين — أجزاء مألوفة تشريحيًّا أعيدَ تشكيلها لوظيفة جديدة. تحمل العضلةُ المُبعِدة للعظمة السمسمية الشعاعية (العضلة التي تسحبها بعيدًا عن الأصابع الحقيقية) الاسمَ الهائل إم أبداكتور بوليسيس لونجس (العضلة الطويلة المُبعِدة للإبهام). وهو اسم يدل على



شكل ٩-٣: مثل جميع اللواحم، يمتلك حيوان الباندا خمس أصابع تشكِّل كفًّا، لكنه يأكل الخيزران، على عكس اللواحم الأخرى. ونتيجةً لذلك، قام بتعديل عظمة من الرُّسْغ، هي السمسمية الشعاعية، إلى «إبهام» بدائية، تمكِّنه من تجريد أوراق الخيزران. إنها تعمل جيدًا بما يكفي لإطعام الباندا، وهي لا تتسم بجمال التصميم، بل هي بدائية وعشوائية وارتجالية. (رسم كارل بويل)

وظيفتها. في آكلات اللحوم الأخرى، تكون العضلة متصلة بالإصبع الأولى، أو الإبهام الحقيقية ...

هل يعطينا تشريح آكلات اللحوم الأخرى أي دليل على أصل هذا الترتيب الغريب في الباندا؟ يشير ديفيس إلى أن حيوانات الدببة العادية والراكون — وهي أقرب أقرباء الباندا العملاقة — تتفوق على جميع آكلات اللحوم الأخرى في استخدام أرجلها الأمامية للتحكم في الأشياء وهي تتغذى عليها. اعذروني على تقديم التشبيه عكسيًّا، لكن الباندا قد حصَلت — بفضل أسلافها — على بعض الدعم بالفعل لتطوير درجة أكبر من البراعة في تناول الغذاء. علاوةً على ذلك، فللدببة العادية بالفعل عظمة سمسمية شعاعية متضخمة قليلًا. وفي معظم آكلات اللحوم، نجد أنَّ العضلات نفسها التي تحرك العظمة السمسمية الشعاعية في الباندا تتصل بقاعدة الإبهام الحقيقية حصريًّا. ولكن في الدببة العادية، تنتهي العضلة المُبعِدة الطويلة إلى وترَين؛ أحدهما يدخل في قاعدة الإبهام، كما هو الحال في معظم آكلات اللحوم، بينما يتصل الآخر بالعظمة السمسمية الشعاعية. وتوجد عضلتان أقصر ... ترتبطان هما أيضًا جزئيًّا بالعظمة السمسمية الشعاعية في الدببة. «وبناءً على هذا»، يستنتج ديفيس أنَّ «الجهاز العضلي الذي يشغل هذه الآلية الجديدة الرائعة — التي هي وظيفيًّا إصبع جديدة — لم يتطلب تغييرًا جوهريًّا عن الظروف الموجودة بالفعل في أقرب أقرباء الباندا؛ الدببة. ويبدو أن التسلسل الكامل للأحداث في الجهاز العضلي يَنتُج تلقائيًّا من تضخم بسيط في العظمة السمسمية الشعاعية». (٧٠٠-٧٠١)

ظلَّت إبهام الباندا مثالًا شائعًا لفترة طويلة، لكن الأبحاث الحديثة أعطَت القصة تطورًا آخر. فبجانب الباندا العملاقة، هناك آكلة لحوم أخرى في شرق آسيا تأكل الخيزران؛ «الباندا الصغرى» أو «الباندا الحمراء». يتسم هذا النوع بلون بني ضارب إلى الحمرة، وهو شبيه بقطة ذات ذيل كثيف وفي حجمها تقريبًا، وله خطوط حمراء وبيضاء على ذيله وجسمه (شكل ٩-٤). الوجه قناع من خطوط سوداء يحتوي على خَطْم أبيض، والأذنان باللونين الأسود والأبيض. يعيش هذا النوع أيضًا في أعالي جبال الصين والتبت ونيبال، حيث يتأقلم مع فصول الشتاء الثلجية، ويأكل أنواعًا أخرى من الفرائس الصغيرة عندما يندر الخيزران.

(أ)

(ب)

شكل ٩-٤: صور للباندا الصغرى، أو «الحمراء»، تُظهِر كفوفها الأمامية العريضة على نحو فريد، وما بها من «إبهام» تسمح لها بإمساك لحاء الشجر أو الإمساك بالأوراق والسيقان. (إهداء من «ويكيميديا كومنز»)

لسنوات عديدة، كان يُعتقد أن الباندا الحمراء قريبة جدًّا من الباندا العملاقة؛ لأنها هي أيضًا تمتلك نفس «الإبهام» المرتجلة من العظمة السمسمية الشعاعية الموجودة في رُسغها، وهي تستخدمه في تجريد أوراق الخيزران التي هي مصدرها الرئيسي للغذاء. غير أنه في عام ٢٠٠٠، أُجرِيت دراسة جزيئية للحمض النووي الخاص بالباندا الحمراء، واتضح أنه لا علاقة لها بالباندا العملاقة على الإطلاق، وإنما تنتمي إلى مجموعة العرسيات آكلات اللحوم جنبًا إلى جنب مع الظَّرِبان وبنات العرس والراكون. ويأتي هذا الاكتشاف متسقًا مع الكثير من الأبحاث السابقة عنها، فيما يتعلَّق بعلم النواة الخلوية وعلم الأمصال والسلوك والتشريح والتكاثر، ومع سجلها الأحفوري، الذي يضعها بجانب حيوانات الراكون والعرس بشكل وثيق، وليس الدببة والباندا.

إذا كان هذا صحيحًا (والأدلة على ذلك هائلة الآن)، فمعنى هذا أن إبهامَ الباندا الغريبةَ المرتجلةَ قد تطوَّرت مرتين بشكل مستقل في مجموعتين غير مرتبطتين من آكلات اللحوم. ربما لم يكن من الممكن للعلماء في وقت سابق أن يتخيلوا أنَّ بنية الكف المتخصصة هذه لها ميزة فريدة حقًّا، ولم يكن بإمكانهم تصور أنها يمكن أن تتطور بشكل متوازٍ. لكننا لا نستطيع إنكار البيانات الأحفورية والجزيئية والسلوكية؛ لذلك نحن مجبرون على الاعتراف بأن ذلك هو ما حدث. بالرغم من ذلك، يجب أن نراعي أن كِلا الكائنين قد انحدرا من أسلاف مشتركة (مثل الدببة والراكون) كانت تمتلك بالفعل كفوفًا أمامية مرنة للغاية تُستخدَم للإمساك، ولديها عظمة سمسمية صغيرة قد تطورت جزئيًّا. كلاهما كان يحتاج إلى حل لتجريد الأوراق من سيقان الخيزران، وكلاهما يمتلكان نفس مجموعة الأدوات الأساسية، المتمثِّلة في كفٍّ بها إبهام «زمعة» صغيرة لا يمكن أن تصبح إبهامًا مقابلة. لقد بدأ كلاهما بنفس البنية التشريحية الأساسية، وقاما بتعديلها لوظيفة مماثلة، مما أدى إلى حل مُشابِه.

توجد أمثلة على الصفات الارتجالية وغير المثالية التصميم في جميع أنحاء الطبيعة، ولا سيما لدى البشر (انظر الفصل ٢١)، ولكن هذه الأمثلة القليلة التي أوردناها توضح النقطة الرئيسية. إذا كانت الطبيعة من صنع مصمم إلهي مثالي استخدم أفضل الحلول وأكثرها أناقة، وقام بهندسة كل شيء للعمل على نحو مثالي وفعال، فما كنا لنرى الكثير من الأمثلة على الكائنات الحية التي تستخدم بنية تشريحية خرقاء، ودون المستوى الأمثل، وعشوائية، للبقاء على قيد الحياة لفترة طويلة بما يكفي للتناسل.

قراءات إضافية

Davis, D. Dwight, *The Giant Panda: A Morphological Study of an Evolutionary Mechanism*, Chicago: Chicago Natural History Museum, 1964.

Flynn, John J., Michael A. Nedbal, Jerry W. Dragoo, and Rodney L. Honeycutt, “Whence the Red Panda?” *Molecular Phylogenetics and Evolution* 17, no. 2 (2000): 190–199.

Gould, Stephen Jay, *The Panda’s Thumb*, New York: Norton, 1980.

Glatston, Angela R., *Red Panda: Biology and Conservation of the First Panda*, Amsterdam: Elsevier, 2011.

Pietsch, Theodore W. and David B. Groebecker, "The Compleat Angler: Aggressive Mimicry in the Antenariid Anglerfish," *Science* 201, no. 4353 (1978): 369–370.

Slattery, J. Pecon and S. J. O'Brien, "Molecular Phylogeny of the Red Panda *(Ailurus fulgens)," Journal of Heredity* 86, no. 6 (1995): 413–422.

الجزء الثالث

تحولات كبرى في تاريخ الحياة

الفصل العاشر

حكاية هائلة عن الحيتان

أعضاء أثرية، وحيتان تسير على أقدام

الأعضاء الأثرية أو الضامرة أو المُجهَضة؛ الأعضاء أو الأجزاء التي نجدها في هذه الحالة الغريبة وقد حملت طابع عدم الاستخدام، شائعة جدًّا في الطبيعة. منها على سبيل المثال الحلمات الثديية الأثرية التي نجدها شائعة إلى حد كبير لدى ذكور الثدييات، وأنا أفترض أيضًا أن «الجُنيح» في الطيور يمكن اعتباره بثقةٍ تامةٍ بمثابة إصبع أثرية، وفي كثيرٍ من الثعابين يكون أحد فصَّي الرئتين بدائيًّا، وفي ثعابين أخرى توجد بقايا أثرية في الحوض وفي الأطراف الخلفية. إن بعض حالات الأعضاء الأثرية مثيرةٌ جدًّا للفضول، كأن تنمو لأجنة الحيتان أسنان، في حين أنها عندما تكبر لا تكون لديها سنٌّ واحدة، ووجود أسنان لا يُقدَّر لها أن تخترق اللثة أبدًا في الفك العلوي للعجول التي لم تولد بعد. الأغرب من ذلك أنه قد وردَنا عن مصادر موثوقة أنه يمكن رؤية آثار أسنان في مناقير بعض أجنة الطيور. وما من دليل أوضح على ذلك من أنَّ الأجنحة شُكِّلت للطيران، وليس نادرًا أن نرى حشرات قد تقلصت أجنحتها لأحجام صغيرة للغاية؛ بحيث أصبحت عاجزة عن الطيران، وكثيرًا ما تكون قابعة أسفل أغطية الأجنحة ملتحمة بعضها ببعض على نحو محكَم!

تشارلز داروين، «أصل الأنواع» (١٨٥٩)

من أقوى الأدلة التي قدَّمها داروين على صحة التطور النماذجُ المتعددة لأعضاء متضائلة، أو عديمة الفائدة، أو لم تعد تعمل بشكل كامل في مختلف الحيوانات (على حد تعبير داروين «أثرية أو ضامرة أو مجهَضة»). وحتى قبل داروين، رصد بعض علماء الطبيعة مثل هذه الأمثلة، وواجهوا صعوبةً في إيجاد سببٍ لقيام مصمم إلهي بتضمين مثل هذه البنى العديمة الفائدة في كائناتٍ كان من الجلي أنها لا تستخدمها. وضع علماء الطبيعة اللاهوتيون العديد من التفسيرات غير الملائمة، مثل أن هذه الأعضاء موجودة للحفاظ على تناسق التصميم، أو أن وجودها يوضح لنا أن المصمم يمكنه أن يفعل ما يشاء، أو أن عيوب التصميم بسبب عدم طاعة آدم للرب في الجنة، لكن معظم هذه التفسيرات كان سببًا للإحراج ودون أهمية تُذكَر.

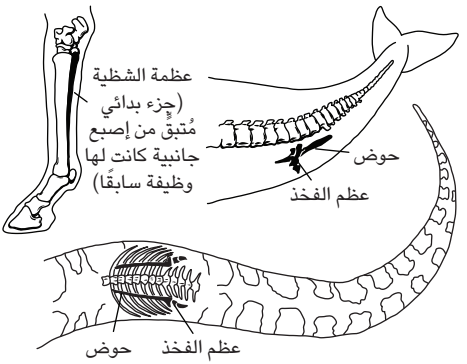
أما بالنسبة لداروين، فقد كانت الإجابة واضحة؛ هذه الأعضاء شهودٌ صامتة على حقيقةِ أن هذه الحيوانات لم تعُد بحاجةٍ إلى هذه الأعضاء التي كانت تعمل سابقًا. لقد تقلصت هذه الأعضاء وأصبحت عديمة الفائدة، لكنها لم تندثر. إذا كانت الحيوانات قد خُلِقت خلقًا مستقلًّا وصُمِّمت من نقطة الصفر، فلماذا تمتلك أعضاءً عديمة الفائدة أو غير فعالة؟ لمَ لا يُصمَّم الكائن الحي في هذه الحالة بما يضمن تحقيق أقصى قدرٍ من الكفاءة مع عدم وجود أجزاءٍ مُهدَرة؟ فلا معنى لوجود هذه الأعضاء بالطبع إذا كان الكائن الحي مصممًا على يد الإله. بدا أنَّ هذا يعني أن المصمم كان كسولًا أو مهملًا أو غير كفء؛ لأنه أبقى على أعضاء ليس لها أيُّ استخدام. فعلى غرار المناقشة المذكورة في الفصل التاسع يمكننا القول: لو كان ثمة مصمم إلهي، لكان قد أدى عملًا أفضل بالتأكيد!

إن قائمة الصفات الغريبة والعديمة الفائدة لافتة للنظر (الشكل ١٠-١):

(١) للخيول عظام شظيات صغيرة على الأصابع الجانبية لأقدامها، وهي باقية منذ أن كانت جميع الخيول لديها ثلاث أصابع تعمل (الفصل الرابع عشر).

(٢) تحتوي ثعابين البواء والأصلات، وبعض الثعابين الأخرى على بقايا من عظام الورك وعظام الفخذ مغروسة بعمق في أجسادها، وهي لا تؤدي أي وظيفة (الفصل الثاني عشر).

(٣) يعيش العديد من الأسماك والسلمندر والجنادب والحيوانات الأخرى في كهوف في ظلام دامس طوال حياتها وهي عمياء، ورغم ذلك لديها عيون تنمو مثل العيون الطبيعية. إذا كانت هذه الكائنات قد خلقها الإله لتعيش في ظلام دامس، فلماذا يكلِّف



(أ)

(ب)

شكل ١٠-١: أدلة من الأعضاء الأثرية. (أ) تحتفظ كلٌّ من الحيتان والثعابين ببقايا صغيرة من عظام أرجلها الخلفية وعظام الورك، على الرغم من أنها لا تكون مرئية من الخارج في المعتاد، وليس لها أي وظيفة. ولا معنى لوجود هذه الأعضاء إلا إذا كانت الحيتان والأفاعي ذات يوم كائنات رباعية الأرجل. تحتفظ الخيول أيضًا بآثار الأصابع الجانبية لأسلافها، والمعروفة باسم عظام الشظية. (ب) في عام ١٩٢١، أعلن روي تشابمان أندروز عن اكتشافه لحوت أحدب كانت له أطراف خلفية متأسلة ممتدة بالفعل من جسده. وهذه هي عظام تلك الأطراف الخلفية. ([أ]: دونالد بروثيرو، «التطور: ما تخبرنا به الحفريات وأهميته»، الطبعة الثانية. [نيويورك: كولومبيا يونيفرستي برس، ٢٠١٧]؛ [ب]: روي تشابمان أندروز، «حالة مذهلة للأطراف الخلفية الخارجية في حوت أحدب»، مجلة «أمريكان ميوزيوم نوفيتايتس»، رقم ٩ [١٩٢١]، http://hdl.handle.net/2246/4849)

نفسه عناء تطوير عيون عديمة الفائدة؟ تُظهِر التجارب أنه إذا نشأت سلالة الأسماك نفسها في مكان جيد الإضاءة لبضعة أجيال، فإنها تستعيد القدرة على الإبصار.

(٤) لا معنى لوجود أجنحة للطيور التي لا تطير، إلا إذا كان أسلافها في يوم من الأيام طيورًا تتمتع بالقدرة على الطيران. ثم إن معظم هذه الطيور أكبر من أن تطير، مما يزيد من عبثية وجود الجناح. إنها لا تستخدم الأجنحة على الإطلاق، لكنها تتكبد عناء نموها. لا يحدث هذا في مسطحات الصدور وحسب (النعام والإيمو والكاسواري والرية والكيوي)، بل في العديد من المجموعات الأخرى أيضًا (مثل طائر الدودو). يُعَد انعدام الطيران شائعًا بشدة في الجزر التي لم تعد الطيور تحتاج فيها إلى الطيران للهروب من المفترسات. لقد علَّق داروين نفسه على أن طيور الغاق في جزر جالاباجوس لم تكن تطير، وليس لها سوى أجنحة صغيرة واهنة (الشكل ١٠-٢). لقد كانت قادرة على الغطس في المياه من على المنحدرات واصطياد الأسماك كما تفعل طيور الغاق الأخرى، لكنها لم تكن بحاجة للطيران للوصول إلى الماء أو للهروب من المفترسات.

(٥) البشر أنفسهم لم يفلتوا من هذا التوجه؛ فالجسد البشريُّ يضمُّ مئات الأمثلة على الصفات العديمة الفائدة (الفصل الحادي والعشرين).

إضافةً إلى ذلك، توجد العشرات من الأمثلة على التركيبات الجزيئية غير الضرورية، أو التي تتسم بعدم فعالية التركيب أو سوء التصميم. فمثلما أشار بيرمان ومارزلوف وبنتلي: «عند تدريس المسارات الأيضية، يؤكد كل مدرس على المنطق الكيميائي للتحولات حيثما أمكن ذلك. أما في حالات كتلك الواردة هنا، لا يملك المُحاضِر سوى أن يلوح بيده عجزًا».

(١) التحول غير الضروري لذرة الكربون من كيرالية «يسرى» (S) إلى كيرالية «يمنى» (R) في مسار succinyl CoA ← propionyl CoA.

(٢) تبدأ مسارات العديد من المركبات بتحويل (S)-reticuline إلى (R)-reticuline. سيكون من الأسهل استخدام (S)-reticuline فقط.

(٣) في أثناء التخليق الحيوي للحمض الأميني تربتوفان، يُزال جزء مكوَّن من ثلاث ذرات كربون (جليسيرالدهيد ٣-فوسفات)، وفي الخطوة التالية، يُضاف جزء مكون من ثلاث ذرات كربون (سيرين) مرة أخرى (في الواقع، يبدو في هذا المثال أن إضافة السيرين قد تكون طريقة مباشرة بدرجة أكبر للحصول على «العمود الفقري» للحمض الأميني)، سيتطلب الأمر ثلاث خطوات لتحويل سلسلة جليسيرالدهيد ٣-فوسفات (-CHOH-CHOH-CHOPO3) إلى سلسلة الكربون المُكوَّنة من الأحماض الأمينية (-CHH-CHNH3-COO).

شكل ١٠-٢: وصف تشارلز داروين طيور الغاق من جزر جالاباجوس التي لديها أجنحة واهنة قصيرة ولا تستطيع الطيران؛ نظرًا لعدم وجود حيوانات مفترسة تعيش في تلك الجزر تدفع طيور الغاق إلى الفرار منها. لم يكن صِغَر حجم أجنحتها عائقًا أمام قدرتها على الغوص والسباحة تحت الماء. (إهداء من «ويكيميديا كومنز»)

(٤) عندما ينفصل شريطا الحمضِ النووي في عملية النسخ، يُنسَخ «الشريط الرئيسي» بشكل مستمر بواسطة بوليميراز الحمض النووي في الاتجاه من ٥′ إلى ٣′. يتفكك «الشريط المتأخر» في الاتجاه من ٣′ إلى ٥′، ولكن نظرًا لأن النسخ يستمر في الاتجاه من ٥′ إلى ٣′ على شريط الحمض النووي، فيجب تصنيع الشريط المتأخر على هيئة قِطَع قصيرة تُجمَّع معًا بعد ذلك. من الجدير بالذكر أنه سيكون من الأسهل والأكثر منطقيةً استخدامُ بوليميراز الحمض النووي في الاتجاه من ٣′ إلى ٥′ على الخيط المتأخر، لكن هذا لا يحدث في الطبيعة.

(٥) ما يحدث من تعديل غير ضروري للحمض النووي الريبوزي. يحتوي النَّسخ الأوَّلي للحمض النووي الريبوزي المُشفِّر لبروتين القناة الأيونية على كودون خاص، CAG، يرمِّز الجلوتامين. بالرغم من ذلك، إذا كان البروتين الذي ينتجه الحمض النووي الريبوزي يحتوي على ذلك الجلوتامين، يموت الفأر. في الفئران السليمة، يقوم بروتين آخر بتعديل النسخ الأولي للحمض النووي الريبوزي، ويغير الكودون CAG إلى الكودون CIG، وهو ما يعادل الكودون CGG وينتج الأرجينين، وهو الحمض الأميني الصحيح. سيكون من الأسهل كثيرًا أن يرمِّز النسخ الأولي للحمض النووي الريبوزي الكودون CGG من البداية، والاستغناء عن خطوة التعديل. وقد أجرى العلماء هذا التغيير في المختبر بالفعل، وكانت الفئران الناتجة طبيعية دونما حاجة إلى خطوة التعديل الأولى.[1]

يمكن لهذه القائمة التي تضم الصفات غير الضرورية أن تطول وتطول؛ إذ توجد مئات الأمثلة بالفعل. لكننا سنركز على مجموعة واحدة تحديدًا، وهي الحيتان. لدى الحيتان العديد من التركيبات التي هي أثرية أو سيئة التصميم؛ عظام الورك الصغيرة للغاية، وعظام الفخذ الأثرية المتأصلة بعمق في أجساد الحيتان بدون أن يكون لها وظيفة حقيقية (الشكل ١٠-١(أ)؛ الشكل ١٠-٣)، الأسنان الأثرية للحيتان البالينية العديمة الأسنان، والعديد من الصفات الأخرى.

تأملْ طيش هذه العملية. لجنين الحوت فتحات خيشومية لتنفس الماء، لكنه يفقدها في مراحل لاحقة من نموه الجنيني، وتنمو له بدلًا منها رئتان. بعد ولادة الحوت، سيكون عليه التعويض وإنماء العديد من البنى غير العادية، لتمكينه من تنفس الهواء مع الحفاظ على طبيعته المائية بالكامل. إذا كانت الحيتان قد صُمِّمت كي تحيا في الماء، فلماذا تسمح لأجنتها بفقدان خياشيمها الصالحة تمامًا واستبدال نظامٍ ارتجالي بها يتألف من رئتين، وتكيفات أخرى غريبة بهدف تمكين رئةٍ تتنفس الهواء من العمل في ثديي بحري؟ تمتلك الحيتان الكثير للغاية من التعديلات الجسدية لتسهيل التنفس في المحيط، مثل تحريك فتحة الأنف من طرَف الخَطْم إلى الجزء العلوي من الجمجمة، حيث تعمل بمثابة فتحةٍ للنَّفْث. غير أنَّ الحياة المائية تمثل تحديًا من نواحٍ كثيرة لغير الأسماك. فعلاوةً على مشكلة التنفس بالرئتين، تلد الحيتان تحت الماء، ويجب على الحوت الوليد أن يجد طريقًا إلى السطح ليحصل على أنفاسه الأولى. وأظهرت الملاحظات الميدانية أن هذه المرحلة خطيرة للغاية، وإن لم ينجح الحوت الوليد في القيام بذلك بسرعة، فسوف يغرق.

شكل ١٠-٣: لقطة مقرَّبة لمنطقة الورك في هيكل عظمي للحوت الأزرق، تُظهِر عظام الورك الأثرية الصغيرة متدلية من الحامل المثلث أسفل العمود الفقري. (تصوير المؤلف)

لماذا توجد لدى الحيتان هذه التكيفات الغريبة؟ الجواب بالطبع هو أن الحيتان تنحدر من ثدييات برية رباعية الأرجل، كانت تتنفس الهواء على اليابسة ذات يوم ولم تكن مائية. حتى في خمسينيات القرن الثامن عشر، أدرك كارولوس لينيوس — أبو التصنيف الحديث — أن الحيتان ليست أسماكًا، بل ثدييات (صنَّفها معظم معاصريه في فئة الأسماك). فمثلما أشار لينيوس، تتنفس الحيتان الهواء من خلال الرئتين وليس الخياشيم، وهي من ذوات الدم الحار، إضافة إلى العديد من الاختلافات التشريحية الأخرى التي تميِّزها عن الأسماك. في الطبعة الأولى من كتاب «أصل الأنواع» في عام ١٨٥٩، أدلى داروين بدلوه أيضًا في هذا الموضوع. كتب يقول: «في أمريكا الشمالية، رصد هيرن الدب الأسود وهو يسبح لساعات بفمٍ مفتوح على مصراعيه، ويصطاد الحشرات في الماء مثل الحوت. حتى في حالة متطرفة كهذه، إذا كان وجود الحشرات ثابتًا، وإذا لم يوجد بالفعل

منافسون أفضل تكيُّفًا في البيئة، لا أرى صعوبة في إعداد الانتخاب الطبيعي لِعِرقٍ من الدببة التي تكون لها طبيعة أكثر مائية بالنسبة لبنيتها وعاداتها، ولها أفواه أكبر حجمًا، حتى يُنتج كائنًا ضخمًا بحجم الحوت.» ومع الأسف لم يستحسن نقاد داروين هذه الفكرة، وقد حذف هذه التكهنات من بعض الطبعات اللاحقة من كتابه.

وعند تلك النقطة، ظل السؤال مطروحًا دون إجابة لمدة قرن تقريبًا. كان هناك عدد قليل من الهياكل العظمية لحيتان بدائية للغاية تُسمَّى الحيتان القديمة، قد وُجِدت في الطبقات التي تعود إلى العصر الإيوسيني في جنوب شرق الولايات المتحدة، لكن أيًّا منها لم يكن يوضح كيفية تطور الحيتان من ثدييات أرضية، ولا يقدم أية دلالة على ما قد يكون أقرب أقربائها من بين الثدييات. وفي عام ١٩٦٦، أعاد عالم الحفريات لي فان فايلن طرح السؤال، مشيرًا إلى أن مجموعة منقرضة من الثدييات اللاحمة الشبيهة بالدببة ومن ذوات الحوافر، تُعرَف باسم الميزنيقيات، كان لها أسنان مثلثة كبيرة وكليلة، إضافة إلى صفات أخرى تتشابه فيها إلى حد كبير مع الحيتان القديمة. علاوةً على ذلك، كان للحيتان جماجم ضخمة ذات أخطام طويلة، وفي ذلك تشابهٌ شديد مع بعض الميزنيقيات. وشيئًا فشيئًا، أصبحت فكرة أن الحيتان تطورت من الميزنيقيات أكثر قبولًا.

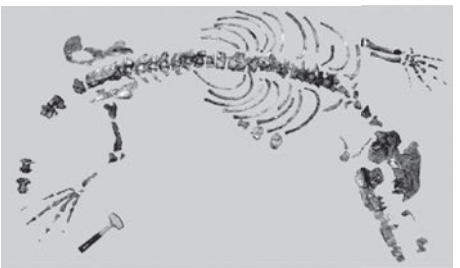
في غضون ذلك، كانت هناك مجموعات أخرى من العلماء تفتش صخور عصر الإيوسين في باكستان، بحثًا عن حفريات من أوائل العصر الإيوسيني الأوسط، التي هي أقدم بقليل من الحيتان القديمة في ولاية ألاباما وفي مصر. ومثلما كان متوقعًا تمامًا، بدأ العلماء في العثور على المزيد والمزيد من الحفريات التي اتضح أنها انتقالية بين الحيوانات البرية والحيتان.

كانت أقدم حفرية انتقالية للحيتان قريبة للغاية من فصيلة أنثركوثريدا؛ وهي حفرية إندوهياس، وهي حفرية بحجم كلب كولي من أوائل العصر الإيوسيني في كشمير. على الرغم من أن هذه الحفرية كانت أكبر بقليل فقط من أرنب، ولها أرجل خلفية طويلة للقفز، وجسم غزال صغير، فقد كانت تمتلك سمات تشريحية مميزة تجعلها بمثابة الرابط بين الحيتان وشفعيات الأصابع. فيوجد في منطقة الأذنين العديدُ من الصفات التي لا توجد إلا لدى الحيتان. ولديها أيضًا أطراف تتكون من عظام شديدة الكثافة (تمامًا مثل الحيتان وأفراس النهر والعديد من المجموعات المائية الأخرى) التي تمد الكائن بالثبات، وتساعده على الغوص تحت الماء دون أن يطفو بلا تحكم. أظهرت التحليلات الكيميائية للعظام أن حفرية إندوهياس كانت مائية، لكن كيمياء أسنانها أثبتت أنها كانت تتغذى على نباتات برية.

في عام ١٩٨٣، وجد فيليب جينجيرش وزملاؤه حفرية أطلقوا عليها اسم باكسيتوس، على اسم الدولة التي اكتُشِفت فيها. كان باكسيتوس حيوانًا يعيش على اليابسة في معظم الأحيان، وله هيكل عظمي يشبه الذئب، بأربع أرجل للمشي، لكن جمجمته كانت تشبه جمجمة الحوت القديم، وبدا في منطقة الأذن بعض الصفات التي قد تساعد على السمع تحت الماء. لقد جاءت هذه الحفرية من رواسب الأنهار التي يعود تاريخها إلى حوالي ٥٠ مليون سنة، أي إنها أقدم من أي حوت قديم. وعلى الرغم من أن أطراف باكسيتوس كانت شبيهة بأطراف الذئب التي يستخدمها للجري، فإنها كانت تتكون من عظام كثيفة للغاية شائعة في الحيوانات المائية، مما أشار إلى أنه كان يقضي الكثير من الوقت في السباحة.

في عام ١٩٩٤، أعلن هانز ثيويسن وزملاؤه عن اكتشافهم لحفرية انتقالية حقيقية (الشكل ١٠-٤) من طبقات في باكستان عمرها حوالي ٤٧ مليون سنة، أي أصغر عمرًا بقليل من باكسيتوس. كانت هذه الحفرية تنتمي إلى تكوين كولدانا الذي لا يحتوي على طبقات رسوبية بحرية قريبة من الشاطئ وحسب، بل يتضمن أيضًا رواسب من بحيرات وأنهار. أطلق ثيويسن وزملاؤه عليها اسم «أمبيولوسيتوس ناتانس»، وترجمته «الحوت السابح السائر». كانت الحفرية هيكلًا عظميًّا شبه مكتمل، طوله حوالي ٣ أمتار (١٠ أقدام)، تقريبًا بحجم أسد بحر كبير. كان خَطْمه الطويل ذو الأسنان المثلثة شبيهًا إلى حد كبير بخطم الحيتان الميزينقية والحيتان القديمة، لكنه كان يمتلك أذرعًا وأرجلًا كاملة النمو بأصابع طويلة، وربما أقدام وتراء، وكان قادرًا على المشي على الأرض والسباحة في الماء. كان عموده الفقري مرنًا؛ لذلك كان بإمكانه السباحةُ بأسلوب التموُّج صعودًا وهبوطًا كما تفعل ثعالب الماء، فهو لم يكن يمتلك جسدًا صلبًا ليستخدم ذيله الدافع في السباحة مثل الحوت الحديث. لكن من الواضح أنه لم يكن سبَّاحًا سريعًا. كان خطمه الطويل وجسده وأقدامه الكبيرة ذات الأصابع الوتراء أشبه بجسد التمساح، مما يشير إلى أنه كان أشبه بصائد مباغت يختبئ وهو شبه مغمور في المياه الضحلة، وينطلق من الماء لانتزاع الفريسة حين تقترب لتشرب الماء (الشكل ١٠-٤(ب)). أظهرَ التحليل الكيميائي للعظام أنه كان مائيًّا في المقام الأول، ولكنه كان يحيا في كلٍّ من المياه العذبة والمالحة. وقد كتب ستيفن جاي جولد عندما اكتُشِفت هذه الحفرية الانتقالية المدهشة التي مثَّلت تحديًا لنُقاد التطور:

> إن هؤلاء الدوجمائيين الذين يتحايلون ويتلاعبون بالكلمات فيجعلون الأبيض أسود والأسود أبيض لن يقتنعوا أبدًا بأي شيء. لكن أمبيولوسيتوس هو نفسه



(أ)

(ب)

شكل ١٠-٤: «أمبيولوسيتوس ناتانس»، الحوت البدائي الذي يعود إلى العصر الإيوسيني الباكستاني الذي لا يزال يحتفظ برأس يشبه الميزنيقيات، ويدين ورجلين كبيرتين وفعَّالتين ومكفَّفتين، ونمط حياة شبه مائي. (أ) هيكل عظمي شبه مكتمل، موضوع في وضع تشريحي. (ب) تصوُّر لأمبيولوسيتوس وهو يندفع من الماء لالتقاط ثديي إيوسيني آخر. ([أ] بتصريح من جيه جي إم ثيويسن؛ [ب] تصميم التصور: كارل بيويل)

> الحيوان الذي ادعَوا أنَّ وجوده محال نظريًّا ... وأنا لا أستطيع أن أتخيل حكاية لتقديم العلوم للعامة، ولا أن أتخيل انتصارًا سياسيًّا يستند إلى أساس فكري أكثر إشباعًا من الانتصار على المعارضة المستمرة من الخَلقيين. (١٠)

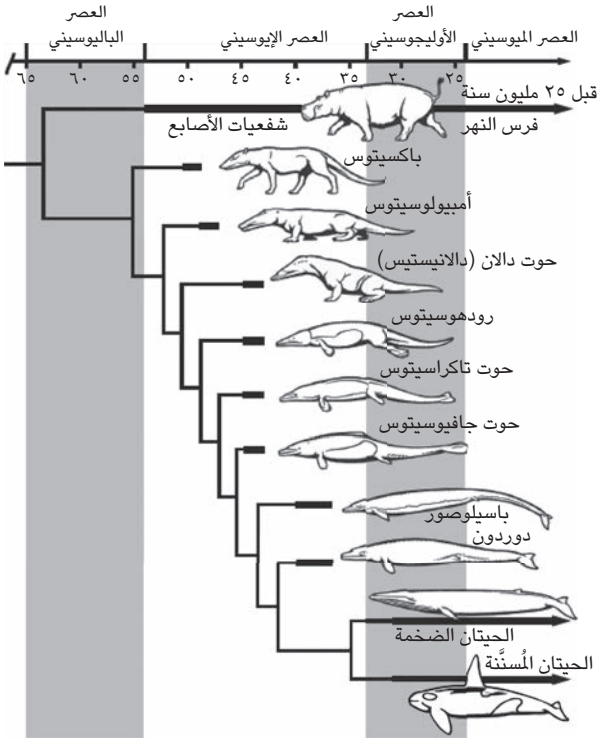
في نفس العام الذي عُثِر فيه على أمبيولوسيتوس في أحد أقاليم باكستان، أعلن جينجيرش وزملاؤه عن اكتشافهم لحفرية أخرى من طبقات رسوبية مختلفة في منطقة بلوشستان في باكستان، وأطلقوا على هذه الحفرية اسم رودهوسيتوس (الشكل ١٠-٥).

كانت جمجمة رودهوسيتوس أطول من أمبيولوسيتوس، وأشبه منها بالحيتان، كان الجسد شبيهًا بجسد الدولفين إلى حد كبير؛ إذ اتسم بالشكل الانسيابي مع عدم وجود رقبة تفصل الجسد عن الرأس. والأهم من ذلك أن أطراف رودهوسيتوس كانت قصيرة للغاية وصغيرة، وأقدامه وتراء ليست فعالة في سحب جسده على الأرض؛ ومن ثَم كان مائيًّا بالأساس. وبالرغم من ذلك، فقد كانت عظام وركه وفقراته مدمجة معًا، مما يعني أنه كان قادرًا على التنقل على اليابسة بشكل محدود. غير أن بنية الأطراف والذيل تُشير إلى أنه كان يضرب بقدمَيه الخلفيتَين للدفع في معظم الأحيان، وأنه استخدم ذيله كدَفَّة، فلم يكن لديه حتى ذلك الوقت زعانف أو ذيل يُستخدَم للدفع مثل الحيتان الحديثة.

في السنة التي أعقبت العثور على أمبيولوسيتوس ورودهوسيتوس، وجد العلماء في باكستان حفرية حوت دالان. وقد وجدوا أنه أَشبهُ بالحيتان الحديثة من أمبيولوسيتوس؛ أرجلُه الأمامية والخلفية لا تزال عاملة وإن كانت أصغر، لكن خطمه أكبر كثيرًا فهو أشبه بالحوت القديم. وقد جعله هذا وسيطًا مثاليًّا بين أمبيولوسيتوس ورودهوسيتوس. ورودهوسيتوس بدوره حفرية انتقالية جميلة تربط الحيتان البدائية بالحيتان القديمة.

في السنوات التي تلت التسعينيات، اكتشف العلماء المزيد والمزيد من الحفريات الانتقالية للحيتان. منها على سبيل المثال حوت تاكراسيتوس وحوت جافيوسيتوس، اللذان تصاغرت أياديهما وأقدامهما تدريجيًّا إلى أن تطورت إلى زعانف تشبه زعانف الحيتان (انظر الشكل ١٠-٥). كما أن أجسادهما أكثر شبهًا بالدلافين، وأصبح الذيل لديهما أكثر تطورًا للدفع (كما هو الحال في الحيتان الحية الآن)، مما يعني أنهما كانا يمتلكان زعانف ذيلية أفقية أيضًا على الأرجح. لقد اكتشف العلماء حتى الآن العديد من حفريات الحيتان الانتقالية؛ بحيث أصبح من المستحيل تحديد نقطةٍ واضحةٍ حيث تنتهي حيوانات اليابسة وتبدأ الحيتان الحقيقية. في عام ١٩٨٠، كانت الحيتان لغزًا محيرًا بسبب غياب حفريات انتقالية جيدة، ولكن اليوم يُعتبر نَسَب الحيتان للحيوانات البرية هو أحد أفضل التحولات التطورية الموثَّقة في السجل الأحفوري.

أخيرًا، كانت الحيتان القديمة الضخمة التي تعود إلى العصر الإيوسيني الأوسط، والتي وُجدت أولًا في ألاباما شائعة في طبقات الرواسب البحرية في مصر في غرب الأهرامات. في عام ١٩٩٠، كان جينجيرش وزملاؤه يجمعون هذه الحفريات عندما وجدوا هياكل عظمية مفصلية كاملة، وليس محض ركام من العظام كالذي وُجِد في ألاباما. لدى معاينتهم للجزء الخلفي من الهيكل العظمي، وجدوا أنه كان لا يزال لديه أطراف خلفية وظيفية تبرز من



شكل ١٠-٥: تطور الحيتان من كائنات برية، مع توضيح للحفريات الانتقالية العديدة الموثقة حاليًّا من طبقات الإيوسين في أفريقيا وباكستان. (رسم كارل بويل)

جسده. لكن حجم هذه الأرجل الخلفية لم يكن يزيد عن ذراع إنسان، وهي صغيرة جدًّا لحوت يبلغ طوله ٥٠ قدمًا، ولم تكن لها فائدة للمشي بالنسبة لحيوان مائي بهذا الحجم. كانت هذه الأرجل بقايا أثرية لأطراف قاربت على الاختفاء، ولكنها لم تختفِ تمامًا. إذا نظرت إلى هيكل عظمي معروض لحوت حي (انظر الشكل ١٠-٣)، وكانت جميع العظام في المكان المناسب؛ فستجد عظام ورك وعظام فخذ صغيرة في المنطقة المحيطة بالعمود الفقري حيث كانت توجد الوركان. إن هذه العظام تطفو في أنسجة الحوت ولم تعُد تؤدي أي وظيفة؛ فهي شواهد صامتةٌ على زمن كانت لجميع الحيتان فيه وركان وأرجُل خلفية، ويمكنها المشي.

بعد ذلك، تطورت الحيتان القديمة التي كانت تسود محيطات الإيوسين الأوسط والمتأخر إلى فرعين من الحيتان لا يزالان باقيين حتى اليوم. تتكون المجموعة الأولى من الحيتان ذات الأسنان أو الحيتان المُسنَّنة (أودونتوسيتيس)، ومنها الدلافين وخنازير البحر وحيتان العنبر. ولدى الحيتان المُسنَّنة العديد من وسائل التكيف المتخصصة التي لا توجد في الحيتان القديمة، لكنها لا يزال لديها أسنان على الأقل. إن الحيتان الحية الأكثر تخصصًا هي الحيتان البالينية، والحوت الأحدب، والحوت الرمادي، والحوت الزعنفي، والعديد من الحيتان الأخرى، بما في ذلك أكبر حيوان يعيش على الإطلاق؛ الحوت الأزرق العظيم. لقد فقدت هذه الحيتان أسنانها بالكامل، وصارت فكوكها العلوية مبطَّنة بجهاز ترشيح ليفيٍّ يشبه الشاشة، يُسمَّى بَلِّين، وهو مصنوع من نفس الكيراتين الموجود في شعرك وأظافرك. ورغم أنها أكبر الحيوانات على هذا الكوكب، فهي تتغذى على بعضٍ من أصغرها، لا سيما القشريات العوالق المعروفة باسم الكريليات. تتغذى الحيتان عن طريق فتح أفواهها على مصراعيها، وابتلاع كميةٍ كبيرةٍ من مياه البحر المحملة بالكريليات في تجويف فمها، ثم تدفع مياه البحر خارجًا من خلال جهاز ترشيح البَلِّين، مستخدمةً ألسنتها الضخمة وعضلات حلقها الكبيرة لضغط الماء خارجًا. تَعلَق الكريليات في البَلِّين، جاهزةً لأن تُبتلَع.

إن هذه الحيتان لَمخلوقات رائعة حقًّا، لكن من الصعب تخيلها تتطور من حيتان ذات أسنان. بالرغم من ذلك، فقد عثرنا على الحفريات التي توضح هذه النقلة أيضًا. فقد عثرنا في حفريات حوت لانوسيتوس، الذي ينتمي إلى أواخر العصر الإيوسيني في القارة القطبية الجنوبية، على أسنان الحيتان القديمة المثلثة، وعلى البَلِّين في آنٍ واحد. وبحلول أواخر عصر الأوليجوسين، كانت توجد حيتان بالينية ذات أسنان أكثر تطورًا، مثل جانجوسيتوس وماماالودون، وكلاهما كان يعيش في أستراليا. وفي أوائل عصر الأوليجوسين، ظهرت في أستراليا فصيلة قديمة من الحيتان البالينية ذات الأسنان تُدعى إيتيوسيتس، لكنها أصبحت حيتانًا شائعة في منطقة شمال المحيط الهادي (اليابان وأمريكا الشمالية) خلال أواخر عصر الأوليجوسين إلى عصر البليستوسين (العصر الجليدي). في هذه الأثناء، ظهرت أولى حفريات الحيتان البالينية العديمة الأسنان (إيوميستيسيتس) في أواخر العصر الأوليجوسيني، وقد وُجدت هذه الحفريات في ولاية ساوث كارولينا. هذا هو السبب في أن الحيتان البالينية لا تزال حتى اليوم تنمو لها أسنان صغيرة خلال مرحلة مبكرة من التكوين الجنيني، لكنها تفقدها عندما تصبح مكتملة البلوغ. فهذا مثال آخر على عضوٍ أثريٍّ في الحيتان يتماشى مع مثال الأطراف الخلفية الصغيرة والوركين.

جاءت القطعة الأخيرة من هذه الأحجية من علم الأحياء الجزيئي. فحتى منذ أوائل أيام التحليل بالأساليب القديمة، كالمسافة المناعية أو تهجين الحمض النووي، كان يظهر لنا على الدوام أن الحيتان قريبةٌ للثدييات ذات الحوافر الزوجية الأصابع، أو شفعيات الأصابع. عندما قام العلماء بتحليل تسلسل البروتينات، ثم تسلسل الحمض النووي في التسعينيات، صار من الجليِّ أن الحيتان تنتمي إلى شفعيات الأصابع، وليست رتبةً منفصلةً مستقلةً عن الثدييات الأخرى مثلما كانت تُصنَّف لفترةٍ طويلة. فقد أشارت البيانات الجزيئية مرارًا وتكرارًا إلى انتمائها لمجموعةٍ واحدةٍ من شفعيات الأصابع؛ فرس النهر (انظر الشكل ١٠-٥). كان هذا متَّسقًا مع الحفريات التي أظهرت أن الحيتان تجمعها قرابة وثيقة بمجموعة منقرضة من الثدييات الأرضية الشبيهة بالخنازير تُسمى أنثراكوثيريس، والتي كانت أيضًا سلفًا لأفراس النهر.

وقدَّم لنا علم الحفريات الدليل الأخير الذي أثبت أن الحيتان تنتمي إلى شفعيات الأصابع. ففي عام ٢٠٠١، أعلنت مجموعتان مستقلَّتان من علماء الحفريات (مجموعة ثيويسن ومجموعة جينجيريش) عن اكتشافهما حفريات حيتان قديمة في باكستان، وكانت كواحلها محفوظة جيدًا (الشكل ١٠-٦). وفي كلتا الحالتَين، كانت عظام الكاحل لهذه الحيتان الأولى تتضمَّن بنية «البكرة المزدوجة» المميزة لعظمة الكعب (العظمة المفصلية في مفصل الكاحل لدى الثدييات)، والتي لم يكن يُعرَف وجودها إلا لدى شفعيات الأصابع فقط. فعلى عكس أي مجموعة أخرى من الثدييات، فإنَّ شفعيات الأصابع فقط هي التي توجد لديها عظم الكاحل المفصلي ذو البكرة المزدوجة، ويمكننا بالفعل تمييز معظم شفعيات الأصابع من خلال هذه العظمة الفريدة فحسب. وبالنظر إلى كلتا الحفريتين، كان من الواضح أن الحيتان أيضًا لديها البنية التشريحية للكواحل التي تتفرد بها شفعيات الأصابع.

وهكذا توصلنا إلى هذا الاستنتاج. فقد أصبح لدينا الآن من هذه الثدييات، التي ظنها العلماء خطأً من الأسماك، وفرةٌ من الحفريات الانتقالية التي تُظهِر تطور الحيتان من الحيتان القديمة إلى إندوهياس، ثم إلى باكسيتوس وأمبيولوسيتوس، والعديد من الأشكال الانتقالية الأخرى. إننا نمتلك أدلةً من الحفريات، وأدلةً جزيئية تُظهِر أن الحيتان تنحدر من شفعيات الأصابع، وهي المجموعة التي كان ينتمي إليها أنثراكوثيريس. ولدينا أدلة داروين التي تشير إلى أعضاء أثرية، مثل الوركَين وعظام الفخذ الصغيرة التي كانت تشير في الأصل إلى أن الحيتان قد انحدرت من حيواناتٍ بريةٍ لها أرجلٌ خلفيةٌ تعمل بالكامل

شكل ١٠-٦: عظام الكاحل لأحفورتَي حوتين اكتُشفتا في باكستان تنتميان إلى عصر الإيوسين الأوسط؛ حوت رودهوسيتوس بالوشيستانينسي (على اليسار)، وحوت أرتيوسيتوس كلافيس (على اليمين)، مقارنة بعظام الظبي الأمريكي الشائك القرون (في الوسط). لاحظ أن الحيتان لديها عظم الكاحل المفصلي ذو البكرة المزدوجة الخاص بالثدييات من طائفة شفعيات الأصابع. (إهداء من فيليب جينجيرش)

للمشي، وليس السباحة. إن الأعضاء الأثرية هي بالفعل شواهد الماضي الصامتة، تمامًا كما قال داروين.

قراءات إضافية

Berta, Annalisa, *The Rise of Marine Mammals: 50 Million Years of Evolution*, Baltimore, Md.: Johns Hopkins University Press, 2017.

Berta, Annalisa, James L. Sumich, and Kit M. Kovacs, *Marine Mammals: Evolutionary Biology*, 3rd ed., Amsterdam: Academic Press, 2015.

Gould, Stephen Jay, “Hooking Leviathan by Its Past,” *Dinosaurs in a Haystack: Reflections in Natural History*, New York: Norton, 1997.

Prothero, Donald R., *The Princeton Field Guide to Prehistoric Mammals*, Princeton, NJ: Princeton University Press, 2016.

Prothero, Donald R. and Scott E. Foss, eds., *The Evolution of Artiodactyls*, Baltimore, Md.: Johns Hopkins University Press, 2007.

Prothero, Donald R. and Robert M. Schoch, *Horns, Tusks, and Flippers: The Evolution of Hoofed Mammals*, Baltimore, Md.: Johns Hopkins University Press, 2002.

Pyenson, Nick D., *Spying on Whales: The Past, Present, and Future of the World’s Most Awesome Creatures*, New York: Viking, 2018.

Savage, R. J. G. and M. R. Long, *Mammal Evolution: An Illustrated Guide*, New York: Facts–on–File, 1986.

Thewissen, J. G. M., ed., *The Emergence of Whales: Evolutionary Patterns in the Origin of Cetacea*, New York: Plenum Press, 1998.

_____, *The Walking Whales: From Land to Water in Eight Million Years*, Berkeley: University of California Press, 2014.

Zimmer, Carl, *At the Water’s Edge: Macroevolution and the Transformation of Life*, New York: Free Press, 1998.

هوامش

(1) Edward J. Behrman, George A. Marzluf, and Ronald Bentley, “Evidence from Biochemical Pathways in Favor of Unfinished Evolution Rather Than Intelligent Design,” *Journal of Chemical Education* 81, no. 7 (2004): 1051–1052.

الفصل الحادي عشر

اجتياح البر

البرمائيات تزحف خارج المياه

عادةً ما أُمضي فصول الصيف بين الثلج والصقيع أشُق الصخور على المنحدرات شمال الدائرة القطبية الشمالية. وفي معظم الوقت، أتجمد وأُصاب بالبثور ولا أجد شيئًا على الإطلاق. ربما أجد عظام سمكة قديمة إن حالفني الحظ. لن يبدو هذا لمعظم الناس كنزًا مدفونًا، لكنه بالنسبة لي أثمن من الذهب. فعظام الأسماك القديمة يمكن أن تكون وسيلة نعرف بها مَن نكون، وكيفية وصولنا إلى ما وصلنا إليه. إننا نتعلم عن أجسادنا في أماكن تبدو غريبة، بدايةً من حفريات الديدان والأسماك المستخرَجة من الصخور في مختلف أنحاء العالم، وحتى الحمض النووي في كل حيوان على قيد الحياة اليوم.

نيل شوبين، «السمكة داخلك:
رحلة في تاريخ الجسد البشري» (٢٠٠٨)

جثَم عالِمان في البرد القطبي القارس وهما يفحصان الأرض بإمعان بحثًا عن علامات على وجود عظام أحفورية. وعلى الرغم من أن الوقت حينها كان منتصف الظهيرة، فلم تزد درجة الحرارة خلال الجزء الأكثر دفئًا من اليوم، في هذا الجزء النائي من القطب الشمالي الكندي، عن درجة التجمد إلا قليلًا، ولم تتوقف الرياح عن الهبوب قطُّ عبر إقليم التندرا بطبيعته القاحلة. كانا يرتديان ستراتٍ قطبية برتقالية زاهية وأقنعة ونظارات تزلُّج واقية

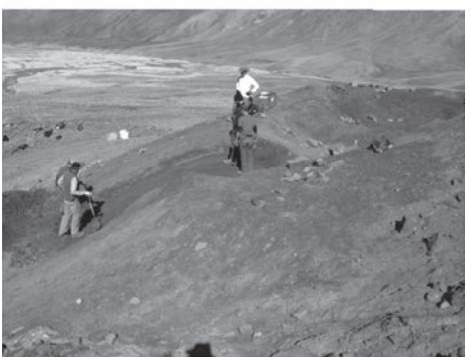
للحماية من العمى الثلجي، ولفح الرياح، وقضمة الصقيع، وعلاوةً على ذلك، كانا يحملان البنادق تحسبًا لمصادفتهم دبًّا قطبيًّا جائعًا. كان ذلك بعد اليوم الأول من فصل الصيف مباشرة، وكانت «شمس منتصف الليل» تدور في دائرةٍ منخفضةٍ في الأفق طوال اليوم ولا تغرب أبدًا. ولكي يتمكنا من النوم، كان عليهما إجبار أنفسهما على الذهاب إلى الفراش عندما تشير الساعة أن وقت الليل قد حان، وإن كان ضوء النهار لا يزال ساطعًا بالخارج.

هذان العالمان هما صديقاي نيل شوبين من جامعة شيكاجو، وتيد دايشلر من أكاديمية فيلادلفيا للعلوم الطبيعية، وقد كانا هناك لأن هذه النتوءات من الحجر الرملي الضارب إلى الحمرة كانت تَعِد باكتشاف محتمَل مهم. كانا يبحثان عن حفريةٍ وسيطةٍ في العمر بين أقدم حفرية وُجِدت للبرمائيات، لكنها أقل تطورًا من أحدث الحفريات البرمائية المعروفة. كانا يعلمان أن الاكتشافاتِ السابقةَ للحفريات التي تنتمي إلى تلك الفترة الزمنية، قد عُثِر عليها في صخورٍ من العصر الديفوني الأعلى. ولهذا بحثا في الخرائط الجيولوجية عن الصخور التي تغطي فترة زمنية معينة (قبل فترةٍ تتراوح من ٣٦٥ إلى ٣٨٥ مليون سنة) خلال العصر الديفوني المتأخر. كان قد عُثِر سابقًا بالفعل على حفرياتٍ جيدةٍ لأسماك شبيهة بالبرمائيات بدائية جدًّا ترجع إلى ٣٨٥ مليون عام، كما عُثِر على حفريات لبرمائيات أكثر تقدمًا يرجع تاريخها إلى ٣٦٥ مليون عام. وبعد تفتيش الخرائط الجيولوجية للعالم، لم يجدا سوى ثلاث مناطق تتسم بالعمر المناسب، والبيئة الرسوبية المناسبة (الحجر الرملي البحري الضحل، والطَّفْل الصفحي المتكون في أنهار أو دلتا). ثمة اثنتان من هذه المناطق كانتا قد خضعتا للاستكشاف بالفعل؛ إحداهما في ولاية بنسلفانيا، حيث عثروا على بعض الأسماك المتقدمة للغاية، والثانية في سبيتسبيرجن وجرينلاند في القطب الشمالي، والتي أنتجت البرمائيات المعروفة أكانثوستيجا وإكثيوستيجا. أما المنطقة الثالثة، فتقع في القطب الشمالي الكندي، ولم تُدرَس المنطقة الثالثة قط، ويرجع تاريخها إلى ما بين ٣٨٥ و٣٦٥ مليون سنة.

قام شوبين ودايشلر بجمع منحةٍ ماليةٍ للقيام بزيارةٍ سريعةٍ إلى المنطقة في عام ١٩٩٩، ووجدا بعض بقايا عظام مُبشِّرة. ثم اضطُرا إلى جمع ملايين الدولارات للقيام برحلةٍ استكشافيةٍ واسعة النطاق في القطب الشمالي، وهو ما قاما به لعدة فصول صيف متتالية (الشكل ١١-١(أ)؛ الشكل ١١-١(ب)). وقد وصف شوبين ذلك في كتابه «السمكة داخلك»، كما يلي:

> رأيت إحدى أسماكنا الداخلية للمرة الأولى في ظهيرةٍ ثلجيةٍ من شهر يوليو، بينما كنت أدرس صخورًا عمرها ٣٧٥ مليون عام في جزيرة إليسمير على خط

(أ)



(ب)

شكل ١١-١: نيل شوبين وتيد دايشلر وطاقمهما يجمعون الصخور الديفونية في القطب الشمالي الكندي. (أ) تطلبت هذه المهمة حصولهما على خيام قطبية يمكنها تحمُّل الرياح العاصفة والعواصف الثلجية، بالإضافة إلى الكثير من المعدات غير المطلوبة عادةً خارج المناطق القطبية. (ب) محجر تيكتاليك بعد موسمٍ من التنقيب. (إهداء من نيل شوبين)

عرض حوالي ٨٠ درجة شمالًا. لقد سافرت أنا وزملائي إلى هذا الجزء الموحِش من العالم لمحاولة اكتشاف إحدى المراحل الرئيسية في التحول من الأسماك إلى الحيوانات التي تعيش على اليابسة. برز لنا من بين الصخور خطم سمكة. وهي ليست أي سمكة، بل سمكة برأس مسطح. وحالما رأينا الرأس المسطح،

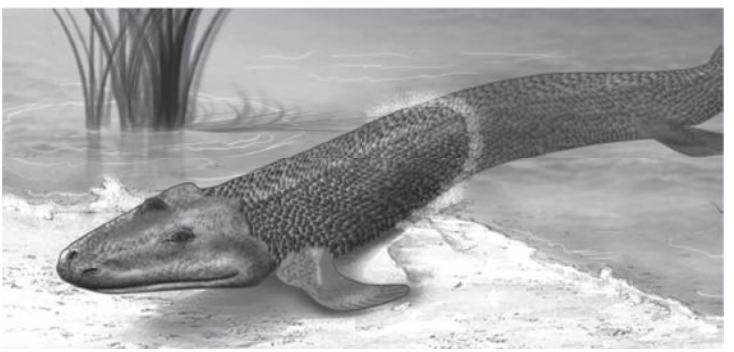
علمنا أننا سنكتشف شيئًا مهمًّا. إذا عثرنا على المزيد من هذا الهيكل العظمي داخل الجرف، فسيكشف لنا عن المراحل المبكرة في تاريخ جمجمتنا، وعنقنا، وأطرافنا. (٩–٨)

وبعد ثلاثة أعوام من العمل الشاق والمكلف والخطير من التعامل مع الطقس القاسي والدببة القطبية المُغِيرة، عثرا على حفريات تيكتاليك، وهي حفرية انتقالية مهمة بين الأسماك والبرمائيات (الشكل ١١-٢(أ)؛ الشكل ١١-٢(ب)). تيكتاليك هي الكلمة التي يطلقها شعب الإنويت على سمكة المياه العذبة المحلية، التي يصطادها سكان المنطقة. كما قال تيد دايشلر الذي شارك في الاكتشاف: «كان ما وجدناه بمثابة مساومةٍ جيدةٍ للغاية.» وكتبت خبيرة الأسماك والبرمائيات جيني كلاك عن اكتشافهما: «إنه أحد تلك الاكتشافات التي يمكنك أن تشير إليها وتقول: «لقد أخبرتك أنه موجود»، وها نحن قد وجدناه.»

كانت زعانف تيكتاليك الفصية تحتوي على جميع العناصر السالفة للطرَف البرمائي، لكنها كانت لا تزال تمتلك زعانف شعاعية بدلًا من أصابع القدم (الشكل ١١-٣). كان لتيكتاليك قشور كالأسماك، ومزيج من خياشيم (كما يتضح من عظام القوس الخيشومي)، ورئتان (كما يتضح من الفتحات التنفسية في رأسه)، إضافةً إلى فك سفلي وحَنَك كالأسماك. وعلى عكس أي سمكة، كان لتيكتاليك سمات برمائية أيضًا؛ جمجمة قصيرة مسطحة ذات رقبة متحركة، وثلمات لطبلة الأذن على الحافة الخلفية للجمجمة، وأضلاع وأطراف قوية، وعظام في الكتف والورك. وبالرغم من ذلك، فعلى غرار أكانثوستيجا، لم تكن زعانف تيكتاليك تتمتع من القوة والمرونة بما يكفي للسماح لها بالزحف على الأرض، بل كانت الزعانف تُستخدم على الأرجح للتجديف في المياه الضحلة والضغط لأعلى لرؤية ما فوق السطح. ومثل الحفريات الانتقالية الأخرى للأسماك والبرمائيات (والعديد من البرمائيات الحديثة، خاصة النيوط والسلمندر)، قضت تيكتاليك معظم وقتها في الماء على الأرجح، مستخدمة أطرافها للدفع والتجديف. كان بإمكانها أن تصطاد على أطراف الجداول التي تعيش فيها، لكنها لم تكن قادرة على جر نفسها عبر الأرض بعيدًا جدًّا، أو المشي بدون أن يلمس بطنها الأرض.

بعد هذا الاكتشاف المذهل، عاد شوبين ودايشلر وطاقمهما إلى القطب الشمالي عدة مرات أخرى، ووجدوا العديد من عينات تيكتاليك مع عددٍ من الأسماك والحيوانات الأخرى، التي عاشت في دلتا هذا النهر القديمة قبل حوالي ٣٧٥ مليون سنة. يُظهِر اكتشاف تيكتاليك القدرة التنبُّئيَّة للجيولوجيا والتطور. فقد كان شوبين وزملاؤه يعرفون

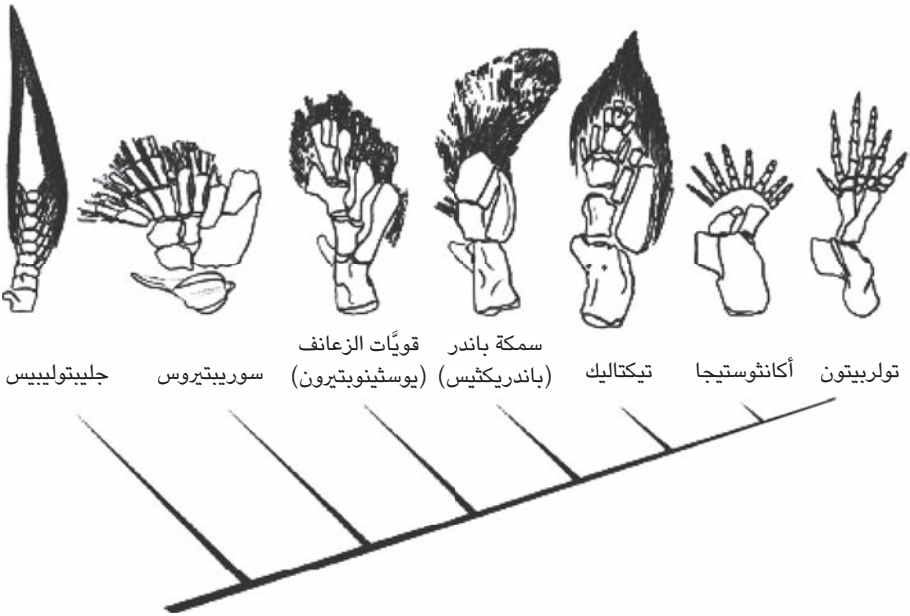
(أ)



(ب)

شكل ١١-٢: (أ) الهيكل العظمي لتيكتاليك؛ (ب) إعادة بناء بالحجم الطبيعي لتيكتاليك. (إهداء من نيل شوبين)

بالفعل الفترة الزمنية التي يجب عليهم البحث فيها (قبل ٣٧٥ مليون سنة)، وذلك استنادًا إلى عمر الحفريات التي اكتُشِفت بالفعل من الحفريات الانتقالية الشبيهة بالأسماك الأكثر تقدمًا، وأكثر البرمائيات بدائية. لقد استعانوا بالخرائط الجيولوجية للعثور على صخور من العمر والنوع المناسبين، واستبعدوا تلك المناطق التي استُكشِفت بالفعل، وحددوا مواقع تسلسلات الصخور المكشوفة في القطب الشمالي الكندي؛ حيث اكتُشِفت الحفريات المهمة، مما قدَّم لنا «الحلقة المفقودة» في السلسلة التطورية.



شكل ١١-٣: تحوُّل الزعنفة الصدرية لدى لحميات الزعانف إلى اليد والطرف الأمامي لرباعيات الأرجل البدائية. كل عظمة من عظام الزعنفة الفصية تناظر أحد عظام الأطراف في رباعيات الأرجل. وتتمثل الاختلافات الرئيسية في التعديلات في الشكل، وفي المتانة، وفي الاستعاضة عن الزعانف الشعاعية بالأصابع. (من نيل إتش شوبين، وإدوارد بي دايشلر، وفاريش إيه جنكينز جونيور، «الزعنفة الصدرية للتيكتاليك وأصول أطراف رباعيات الأرجل»، مجلة «نيتشر» ٤٤٠ [٢٠٠٦]: شكل ٤، مستخدَم بتصريح من «نيتشر بابليشينج جروب»)

ولم تكن مغامرة نيل وتيد الرائعة سوى أحدث اكتشاف في تاريخ طويل من البحث عن الحفريات التي ربطت الأسماك بالفقاريات البرية. فحتى علماء الطبيعة الأوائل لاحظوا أن الأسماك الرئوية تحمل أوجُه تشابهٍ مع البرمائيات، لكنها كانت لا تزال أسماكًا تمتلك زعانف. لم تكن «زعانفها الفصية» تتكون من صفائح زعنفية طويلة شبيهة بالعصا مماثلة لتلك الموجودة في معظم الأسماك الحية. بدلًا من ذلك، كانت الزعانف الفصية مكوَّنة من سلسلة من العظام التي تتطابق إلى حد كبير مع عظام الذراع والساق لدى الفقاريات. في الواقع، عندما اكتُشِفتْ أول سمكة رئوية في أمريكا الجنوبية عام ١٨٣٧ ووُصِفتْ، وردَ أنها كانت تحمل زعانف شبيهة الأنشوطة عديمة الفائدة تجرُّها وراءها

وهي تسبح مثل الأنكَلَيْس. اعتقد بعض علماء الطبيعة أنها كانت برمائيات منتكسة لأنها كانت تمتلك رئتين. ولكن عندما اكتشف العلماء سمكة الرئة الأفريقية ووصفوها، كانت زعانفها الفصية لها نفس عظام البرمائيات البرية. وفي نهاية المطاف، عثر العلماء على حفريات لأسماك رئوية تمتلك هذا النوع من الزعانف العظمية المتينة، وليس الزعانف المعدَّلة بشكل غريب التي تتمتع بها الأسماك الرئوية من أمريكا الجنوبية.

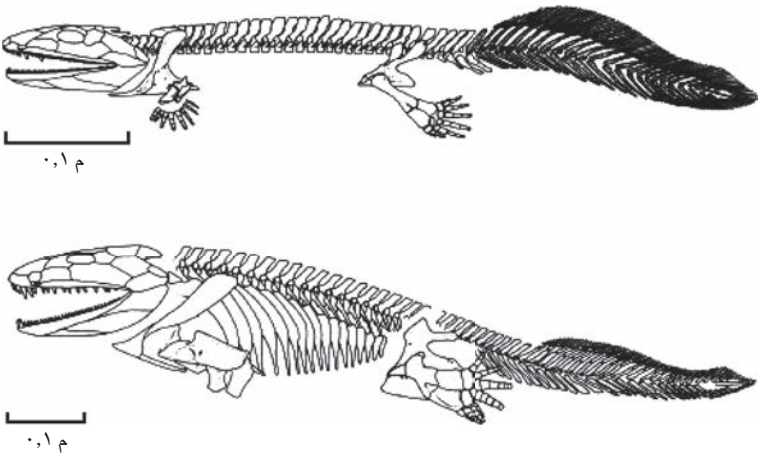
وشيئًا فشيئًا، اكتُشِف المزيد والمزيد من الحفريات التي سَدَّت الفجوة بين الأسماك والبرمائيات، والتي كانت كبيرة فيما سبق. في عام ١٨٨٢، نشر جوزيف بي وايتيفز وصفًا مكوَّنًا من فقرتين لقوية الزعانف «يوستينوبتيرون»، لم يذكر فيه تقريبًا أيًّا من سماتها الشبيهة بالبرمائيات ولم يُلحِق بهذا الوصف رسومًا توضيحية. كانت سمكة كبيرة (يصل طولها إلى ١,٨ متر [٦,٥ أقدام]) فصِّية الزعانف تشبه البرمائيات أكثر مما تشبهها أي سمكة رئوية حية أو شوكيات الجوف. تُعرَف هذه السمكة الآن ضمن العديد من العينات الرائعة من منطقة أحفورية شهيرة تُسمَّى ميجواشا على خليج سكاومیناك في كيبيك. كانت لديها كل العظام الصحيحة التي يمكن من خلالها بناء ذراع البرمائيات وساقها، ولديها جميع العظام الصحيحة في الجمجمة لأن تكون سلفًا للبرمائيات.

في أوائل القرن العشرين، اكتشف العلماء المزيد من حفريات الأسماك ذات الزعانف الفصية التي تعود إلى العصر الديفوني المتأخر، وتبع ذلك اكتشافُ الكثير من الحفريات البرمائية من العصر الفحمي المبكر، لكن تلك الفترة لم تكن قد شهدت بعدُ العثورَ على حفريات تُمثِّل انتقال البرمائيات إلى أسماك. وفي عام ١٩٢٠، أدَّت قوًى سياسية غير ذات صلة إلى اكتشاف حفريات رئيسية بالصدفة. فخلال عشرينيات القرن الماضي، كانت الدنمارك والنرويج تتنازعان على ملكية شرق جرينلاند، التي زارها أسلافهم من الفايكنج قبل أكثر من ألف عام. غير أنَّ أيًّا من البلدين لم يكن قد استكشف المنطقة بدرجة كبيرة؛ ومن ثَم كان من الضروري إجراء بعض الأبحاث بشأن المنطقة لإثبات مطالبهما. ونتيجةً لذلك، رتَّب الدنماركيون رحلة استكشافية لمدة ثلاث سنوات في فصول صيف أعوام ١٩٣١ إلى ١٩٣٣، بتمويل من مصنع كارلسبيرج للجِعَة والحكومة الدنماركية. قاد المستكشف والجيولوجي الدنماركي الشهير لاوج كوخ هذه الرحلة، التي ضمَّت العديد من العلماء السويديين والدنماركيين البارزين في مجالات مختلفة، كعلم النبات وعلم الحيوان والجيولوجيا والجغرافيا وعلم الآثار، إضافةً إلى عالم الحفريات السويدي جونار سافي-سودربيرج، الذي لم يكن يبلغ من العمر سوى ٢١ عامًا فقط عندما انضم إلى

البعثة. وجد سافي-سودربيرج حفريات للعديد من الكائنات الرائعة، مثل إكثيوستيجا وأكانثوستيجا والعديد من الأسماك الرئوية وأوستيوليبيس، وهي سمكة فصية الزعانف شبيهة إلى حد كبير بقويَّات الزعانف. وخلال العشرينيات والثلاثينيات من القرن العشرين، كتب سافي-سودربيرج أوصافًا قصيرة لحفرياته، وقام بتسميتها، لكنه تُوفي في عام ١٩٤٨ عن عمر ٣٨ عامًا بمرض السُّل قبل أن يُكمِل التحليل المُفصَّل لعيناته. وفي نهاية المطاف، درس عيناتِه عالمُ الحفريات السويدي إريك جارفيك الذي كان مرافقًا لسافي-سودربيرج في بعض الرحلات الاستكشافية اللاحقة. أجرى جارفيك، المعروف بدقته الشديدة رغم بطئه، تحليلاتٍ تفصيليةً للحفريات، لكنه استغرق ٥٠ عامًا قبل أن ينشر وصفه لجميع حفريات إكثيوستيجا في عام ١٩٩٦، حين كان يبلغ من العمر ٨٩ عامًا!

على مدار سنوات عديدة، ظل الرسم المنفرد الذي أعده سافي-سودربيرج لإكثيوستيجا هو الوصف الوحيد للحفرية الوحيدة الانتقالية بين الأسماك والبرمائيات الذي كان منشورًا ومتاحًا للمقارنة، إلى أن نشر جارفيك التفاصيل أخيرًا. كانت حفرية انتقالية رائعة تتمتع بمزيج مثير للاهتمام من صفات الأسماك وصفات البرمائيات (الشكل ١١-٤). فعلى غرار الأسماك، كان لا يزال لديها زعنفة ذيلية كبيرة للدفع تحت الماء، وشقوق خيشومية كبيرة على جانب الرأس، ولديها شبكة القنوات المغلقة على الوجه المسماة بجهاز الخط الجانبي، والذي تستخدمه معظم الأسماك لاستشعار التغيرات في التيارات المائية حولها. وعلى الرغم من ذلك، من الواضح أنها كانت تمتلك أذرعًا وأرجلًا متطورة بأصابع تقوى على دفعها عبر سطح صلب، شأنها شأن البرمائيات. (أظهرت الأبحاث اللاحقة أن الأطراف الأمامية لم تكن قوية بما يكفي للقيام بالكثير من المشي؛ ومن ثَم كانت تتحرَّك بقفزات قصيرة بينما تسحب أطرافها الخلفية الشبيهة بالزعنفة.) مثل النيوط والسلمندر الحديثَين، كانت أطرافها تُستخدم في الغالب لدفع العوائق في الماء، وليس لرفع أجسادها فوق الأرض في المشي السريع. كانت ضلوع إكثيوستيجا تحتوي على حواف قوية تدعم تجويفها الصدري؛ لتمكِّنها من التنفس وهي خارج الماء، لكنها منعتها من التنفس عن طريق دفع الأضلاع، وهي الوسيلة التي يتنفَّس بها العديد من البرمائيات. كان لديها أيضًا خَطْم مسطح طويل، وعينان تتجهان إلى الأعلى، وجمجمة قصيرة، على عكس الجمجمة الأسطوانية العميقة لقويَّات الزعانف والعديد من الأسماك الأخرى ذات الزعانف الفصية التي كان لها خَطْم قصير، وجمجمة كبيرة، وعينان موجَّهتان جانبيًّا.

وفي الثمانينيات والتسعينيات من القرن الماضي، انتقل البحث عن الحفريات الانتقالية بين الأسماك والبرمائيات من السويد إلى جامعة كامبريدج، مع جيني كلاك وبير ألبيرج



شكل ١١-٤: رسم تخطيطي للهيكل العظمي لأكانثوستيجا: (أعلى) وإكثيوستيجا: (أسفل)، يوضح مزيجًا من الصفات الشبيهة بالأسماك (الزعانف الذيلية وجهاز الخط الجانبي والشقوق الخيشومية)، وخصائص رباعيات الأرجل (الأطراف القوية وعظام الكتف والورك، وصِغَر حجم الجزء الخلفي من الجمجمة، واتساع الخطم). (رسم مايكل كوتس)

ومايكل كوتس وطلابهم. لقد أدركوا أن جرينلاند تحتوي، ولا بد، على حفرياتٍ أكثر بكثير من ذلك العدد المحدود الذي جمعه الدنماركيون في عشرينيات القرن الماضي. وكما كتبت كلاك في عام ٢٠٠٢:

> في عام ١٩٨٥، بدأتُ أفكر في إمكانية القيام برحلة استكشافية إلى شرق جرينلاند، بتشجيعٍ من زوجي روب. وفي أثناء ذلك، قابلت بيتر فريند من قسم علوم الأرض على الجهة الأخرى مني في كامبريدج، والذي قاد عدة بعثات استكشافية إلى جزء من جرينلاند كان مثار اهتمامي. اتضح أنه كان لديه طالب يُدعى جون نيكلسون، كان قد جمع بعض الحفريات بصفتها جزءًا من أطروحته عن رواسب العصر الديفوني الأعلى، في شرق جرينلاند بين عامَي ١٩٦٨ و١٩٧٠. جلب بيتر هذه العينات من درج في الطابق السفلي، وأراني أيضًا دفتر الملاحظات الذي كان جون يدوِّن فيه، في أثناء البعثة الاستكشافية من عام ١٩٧٠. وقد كتب جون في هذا الدفتر أنه في ستينسيو بيْيرج على ارتفاع

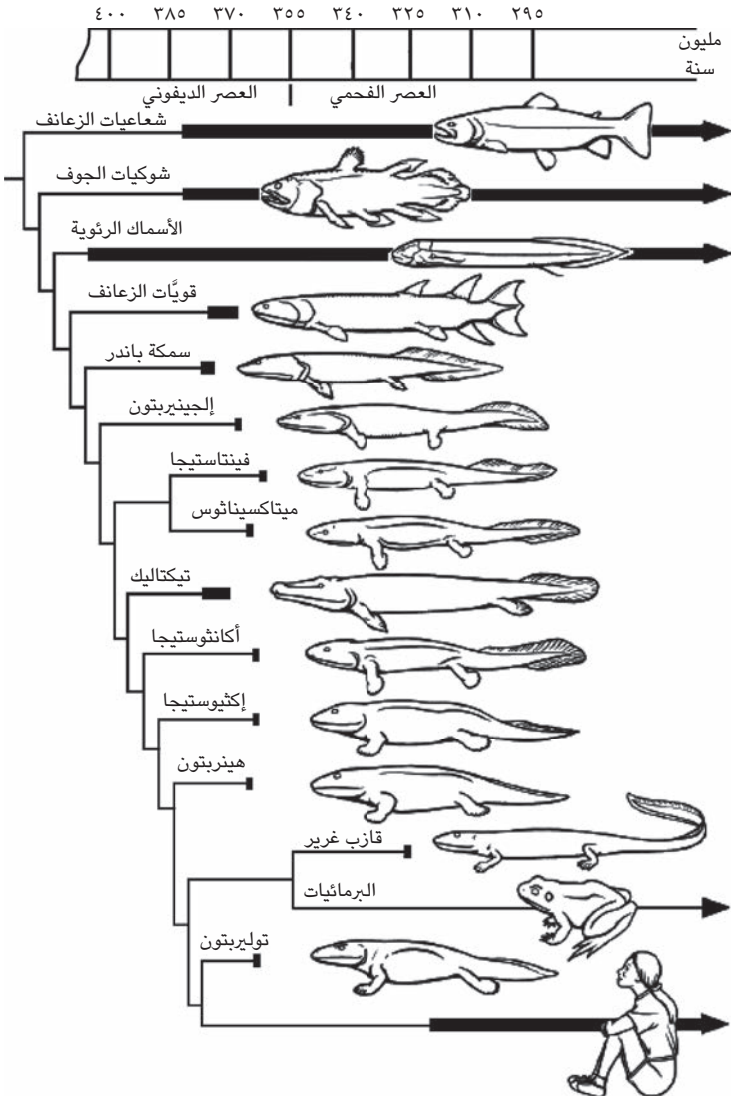
٨٠٠ متر، كانت عظام جمجمة إكثيوستيجا شائعةً ومدهشةً ومُبشِّرة. وكانت الحفريات التي جمعها جون تكوِّن معًا عند تركيبها كتلة صغيرة واحدة من ثلاث جماجم جزئية، وأجزاء من حزام كتف، لكنها لم تكن لنوع إكثيوستيجا، بل لنوعها المعاصر الأقل شهرة في ذلك الوقت، أكانثوستيجا. اقترح بيتر أن أتواصل مع سفيند بيندیكس-ألمجرين، أمين الحفريات الفقارية في المتحف الجيولوجي في كوبنهاجن. كان الدنماركيون لا يزالون يشرفون على رحلات استكشافية يقوم بها جيولوجيون إلى الحديقة الوطنية في شرق جرينلاند، حيث توجد المواقع الديفونية؛ ومن ثَم فهو الشخص الذي كان ينبغي أن أبدأ به في محاولاتي للقيام برحلةٍ استكشافيةٍ هناك. اقترح بيتر أيضًا أن أتواصل مع نيلز هينريكسون من هيئة المسح الجيولوجي في جرينلاند. وبمحض الصدفة والحظ السعيد، كان لدى هيئة المسح الجيولوجي في جرينلاند مشروع في نفس المكان الذي كنت بحاجة للذهاب إليه، وكان موسمهم الأخير هناك هو صيف عام ١٩٨٧. بأموال من متحف جامعة كامبريدج لعلم الحيوان، وصندوق هانز جادو، ومؤسسة كارلسبرج في كوبنهاجن؛ رتبتُ أنا وزوجي روب، وتلميذي — في ذلك الوقت — بير ألبرج، وسفيند بيندیكس-ألمجرين وتلميذه بيرجر جورجينسون، رحلةً ميدانية لمدة ستة أسابيع تحت رعاية هيئة المسح الجيولوجي في جرينلاند، لشهرَيْ يوليو وأغسطس من عام ١٩٨٧. وباستخدام الملاحظات الميدانية لجون نيكلسون، حدَّدنا في النهاية المنطقة التي أتَت منها عينات أكانثوستيجا؛ ومن ثَم الموضع الدقيق الذي وُجدت فيه. كان في الواقع «مَقْلعًا» صغيرًا للغاية لحفريات أكانثوستيجا، لكنه غني جدًّا.

عثرت مجموعة كلاك على العديد من الحفريات نفسها التي وجدها سافي-سودربيرج، لكنهم عثروا أيضًا على عينات أفضل بكثير لحفرية غير معروفة أطلق عليها جارفيك في عام ١٩٥٢ اسم أكانثوستيجا (انظر الشكل ١١-٤). كانت أكانثوستيجا أشبه بالسمك من إكثيوستيجا، وكانت أطرافها أكثر شبهًا بأطراف الأسماك، مما يشير إلى أنه لم يكن من الممكن أن تكون قد زحفت على الأرض، إضافةً إلى افتقارها إلى أَرسُغ أو مرافق أو رُكَب. ورغم أنها كانت لا تزال تمتلك ذراعَين ورجلَين وليس زعانف، فقد كانت تستخدمها لسحب نفسها عبر الماء، ولم تستطع هذه الأذرع والأرجل دفعها عبر الأرض كثيرًا. تمثلت الصدمة الأكبر في اليدَين والقدمَين الأكثر اكتمالًا، وهو ما لم نكن نفهمه جيدًا

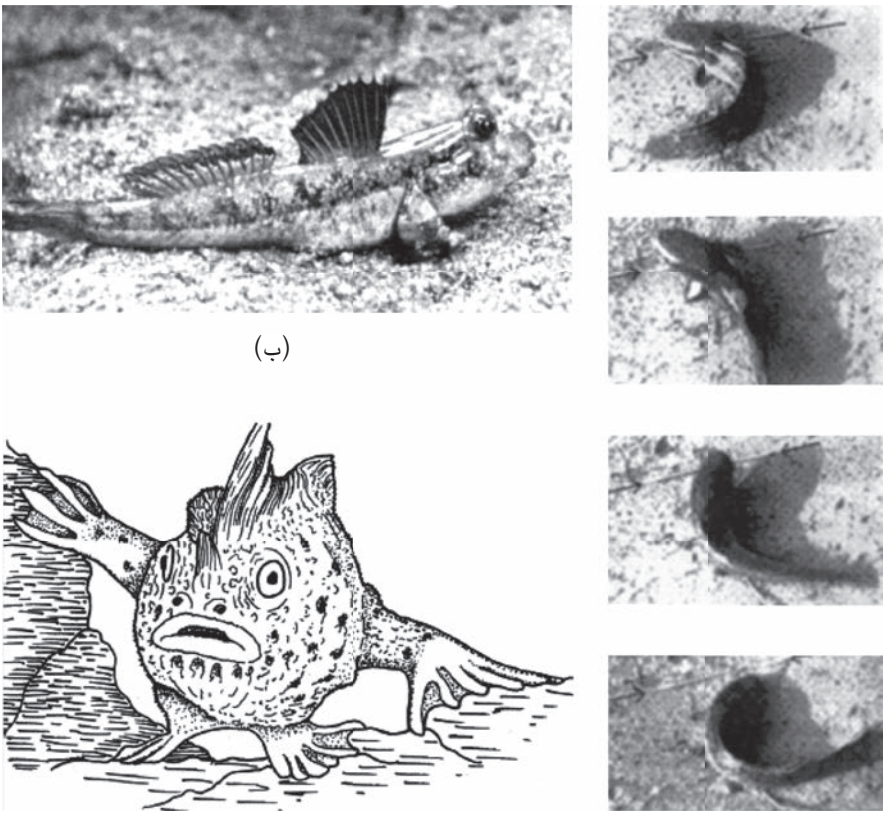
في إكثيوستيجا. كان لديها ما يصل إلى سبع أصابع أو ثمانٍ في اليدين، وليس الأصابع الخمس التي تمتلكها معظم الفقاريات، لكنها لم تكن تمتلك سوى أربع أصابع في القدم. كانت تشبه الأسماك أيضًا من حيث امتلاكها زعنفة ذيلية كبيرة جدًّا، وأضلاعًا قصيرة تمنعها من التنفس على البر. وبالرغم من ذلك، كانت لا تزال كالعديد من البرمائيات، من حيث امتلاك آذان تسمع في الماء وعلى اليابسة، وعظام قوية في الوركَين والكتفَين، ومفصل في الرقبة يسمح لها بإمالة رأسها جانبًا بسرعة والانقضاض على الفريسة، وهو ما لم يكن له مثيل في أي سمكة.

توالت الاكتشافات، واليوم صارت شجرة عائلة تحوُّل الأسماك إلى البرمائيات مكتملةً على نحو رائع (الشكل ١١-٥). فصعودًا من لحميات الزعانف، مثل الأسماك الرئوية وشوكيات الجوف، لدينا قويَّات الزعانف الشبيهة للغاية بالأسماك اللحمية الزعانف، وحفريات أكثر تقدمًا قليلًا تُسمَّى سمكة باندر (باندير يكثس) وإلجينيربتون وفينتاستيجا وميتاكسيناثوس. ونأتي بعد ذلك إلى تيكتاليك التي تشبه البرمائيات قليلًا، ولكنها لا تزال لا تمتلك يدَين ولا قدمَين مثل أكانثوستيجا. وأخيرًا نصل إلى أكثر الحفريات شبهًا بالبرمائيات؛ إكثيوستيجا. وبدايةً منها، لدينا حفرية يصنِّفها الجميع على أنها برمائيات. لا يمكن للمرء أن يطلب تسلسلًا انتقاليًّا بين مجموعتين رئيسيتين من الحيوانات أكثر اكتمالًا من هذا، وإن كنا نعرف الآن العديد من مثل هذه التسلسلات الانتقالية.

إن السجل الأحفوري صار يوضح الآن الزمن الذي زحفت فيه البرمائيات خارجةً لأول مرة إلى اليابسة، والمكان الذي قامت فيه بذلك، إضافةً إلى الكيفية. لكن لماذا فعلت ذلك؟ ما الذي دفع الأسماك إلى القيام بهذا الانتقال الصعب إلى اليابسة، حيث احتاجت إلى أعضاء حسية جديدة، وطُرق جديدة للتنفس (الرئتين بدلًا من الخياشيم)، وأطراف وأقفاص صدرية أقوى، وكذلك عظام أقوى للكتف والورك مندمجة في العمود الفقري لدعم وزنها للخروج من الماء؟ ظل العلماء يناقشون هذه المسألة على مدار عقود باعتبارها معجزة غير قابلة للتصديق. غير أنَّنا نستطيع بالفعل رؤية العديد من الحيوانات التي قامت بهذا الانتقال جزئيًّا فيما حولنا. فالأسماك ذات الزعانف الشعاعية (٩٩ بالمائة من الأسماك الحية، بما في ذلك معظم الأسماك التي تأكلها، أو تلك الموجودة في حوض السمك الخاص بك) قامت بذلك عدة مرات بشكل مستقل في العديد من المجموعات المختلفة. فيمكن لقرموط الكلاريس على سبيل المثال (الشكل ١١-٦(أ)) أن يتلوى على الأرض، منتقلًا من حوضٍ مائيٍّ إلى آخر عندما يبدأ موئله بالجفاف، أو عندما تفسد



شكل ١١-٥: تطور السلالات للسلسلة الانتقالية من «الأسماك الرئوية الرباعية الأطراف» عبر رباعيات الأطراف البدائية. (رسم كارل بويل)



(أ) (ب) (جـ)

شكل ١١-٦: طوَّر العديدُ من الأسماك ذات الزعانف الشعاعية القدرة على الحياة على البر والزحف عليه، أو قامَ بتعديل زعانفه الشعاعية إلى زوائد للمشي لاستخدامها في الزحف في قاع البحر. (أ) يتلوى سمك قرموط الكلاريس على الأرض بين البِرَك المائية عندما يجف موئله، أو يصبح شديد الازدحام. (ب) تقضي أسماك نطاط الطين معظم حياتها خارج الماء قابعةً على السهول الطينية أو جذور المانجروف. (جـ) عدَّلت سمكة الضفدع زعانفها الشعاعية إلى «أصابع» تمكِّنها من الزحف في القاع. ([أ] ألفريد شيروود رومر، «قصة الفقاريات» [شيكاجو: شيكاجو يونيفرستي برس، ١٩٥٩]؛ [ب] إهداء من «ويكيميديا كومنز»؛ [جـ] جينيفر إيه كلاك، «اكتساب الأرض: أصل رباعيات الأرجل وتطورها المبكر» [بلومنجتون: إنديانا يونيفرستي برس، ٢٠٠٢]، شكل ٤-١٥، مستخدَم بتصريح.)

المياه، أو للعثور على حوض مائي جديد به موارد غذائية جديدة، عندما يصبح الحوض القديم شديد الزحام. وتتلوَّى أسماك نطاط الطين وتزحف عبر الأراضي الجافة للعثور على أحواض أفضل، ويمكنها حتى الزحف أعلى الأشجار، ومن هنا جاء اسمها. تعيش أسماك نطاط الطين (الشكل ١١-٦(ب)) بشكلٍ دائمٍ على حدود اليابسة والمياه. ترعى على الطحالب وتثبِّت نفسها في مستنقعات المانجروف والمسطحات الطينية بواسطة زعانفها الشعاعية، وتستخدم أعينها المترصِّدة للرؤية خارج الماء عندما تكون مغمورةً بالمياه. يمكنها الفرار إلى المياه حين تُهدِّدها الحيوانات المفترسة في اليابسة، وأن تفرَّ إلى اليابسة عندما تظهر الحيوانات المفترسة في المياه. ويوجد العديد من أسماك أحواض المد والجزر، مثل أسماك الفصيلة القوبيونية والإسقلبينينات، التي تقضي جزءًا كبيرًا من أوقات الجَزر في الزحف على الصخور بزعانفها الشبيهة باليدَين، لتفترس الحيوانات التي احتجزها الجَزر. وتتلوى الشيقات المرقَّطة خارجةً من الماء خلال الجَزر لتفترس السرطانات التي تبحث عن طعام أصغر تتناوله. وقام العديد من الأسماك الأخرى بتعديل الزعانف الشعاعية من زعانفها الأمامية إلى «أصابع» غير متقَنة، لكنها تمكِّنها من الزحف على الأسطح (الشكل ١١-٦(جـ)).

كل هذه أسماك من شعاعيات الزعانف لا ترتبط ارتباطًا وثيقًا بالأسماك الرئوية، أو شوكيات الجوف، أو لحميات الزعانف الأخرى التي أدت إلى ظهور البرمائيات. كل هذه أمثلة على أسماك ذات أنماط حياة شبه برية تطورت بشكل مستقل، وبوسائل مختلفة، وفي مجموعات مختلفة، من الواضح أن هناك ضغوطًا قوية على الأسماك لاستغلال اليابسة (وإن كان ذلك لفترات قصيرة من الوقت على الأقل) للعثور على طعام جديد أو للهروب من الحيوانات المفترسة أو ازدحام المياه. من الواضح أيضًا أن القيام بذلك ليس بالأمر الصعب؛ إذ تطورت بالفعل مجموعاتٌ من الأسماك غير المرتبط بعضها ببعض إطلاقًا، وكان ذلك عدة مرات، وبدرجات مختلفة. وعلى عكس الصعوبات التي كان يتصورها العلماء قبل بضعة عقود فقط، يبدو الآن أنها مهمةٌ عادية؛ إذ نفَّذها الكثيرُ من مجموعات الأسماك دون أن يكون بينها صلةُ قرابة، وفعلت ذلك مراتٍ كثيرة. وكما كتب شوبين في «السمكة داخلك»:

> ما الذي دفع بالأسماك لتخرج من المياه أو لأنْ تعيش على الحواف؟ تخيل ما يلي: جميع الأسماك تقريبًا التي تسبح في هذه الجداول التي يبلغ عمرها ٣٧٥ مليون عام كانت مفترسةً من نوع ما. بعضها كان يصل طوله إلى ست

عشرة قدمًا، أي ضِعْف حجم أكبر تيكتاليك تقريبًا. أكثر أنواع الأسماك شيوعًا التي نجدها إلى جانب تيكتاليك يبلغ طوله سبع أقدام، وله رأس في عرض كرة السلة. والأسنان هي أشواك بحجم مسامير السكك الحديدية. فهل كنت سترغب في السباحة في هذه الجداول القديمة؟ (٤١)

أخيرًا، أظهرَت دراسةٌ حديثة أجراها مجموعة من العلماء بقيادة إميلي ستاندين، مدى سهولة أن تُعدَّل الأسماك لتناسب نمطًا ما على الأقل من الحياة على اليابسة. فسمكة بشير الموجودة في أفريقيا (جنس كثيرات الزعانف)، والتي ترتبط ارتباطًا وثيقًا بسمك الحفش وسمك المجداف، هي سمكةٌ بدائيةٌ للغاية ذات زعانف شعاعية تجتمع في بعض أوجه التشابه مع أقدم حفريات لحميات الزعانف. في هذه الدراسة، نشأت هذه البشيرات على اليابسة بدلًا من المياه (فهي تستطيع تنفس الهواء جيدًا بالفعل). وفي غضون أجيال قليلة فقط من التكاثر، أصبحت زعانفها أكثر قوة وأفضل للزحف على الأرض من زعانف أسلافها. من الواضح أنه يسهل تحفيز الجينات الخاصة بتعديل الزعانف إلى شيء آخر. والعديدُ من الأسماك الشعاعية الزعانف التي تعيش على اليابسة التي ناقشناها، قد استخدم هذه الآلية.

إذا قال أي شخص إنه لا يستطيع تخيل الأسماك وهي تزحف خارجةً إلى اليابسة وتتحول إلى برمائيات، يمكنك إخباره أنه لا يحتاج إلا إلى إلقاء نظرةٍ على سجل الحفريات، وعلى سلوك العديد من الأسماك الحية الشعاعية الزعانف للتوصُّل إلى الإجابة.

قراءات إضافية

Clack, Jennifer A., *Gaining Ground: The Origin and Early Evolution of Tetrapods*, Bloomington: Indiana University Press, 2002.

Daeschler, Edward B., Neil H. Shubin, and Farish A. Jenkins Jr., "A Devonian Tetrapod-Like Fish and the Evolution of the Tetrapod Body Plan," *Nature* 440 (2006): 757–763.

Long, John A., *The Rise of Fishes*, Baltimore, Md.: Johns Hopkins University Press, 1995.

Maisey, John G., *Discovering Fossil Fishes*, New York: Henry Holt, 1996.

Shubin, Neil, *Your Inner Fish: A Journey Into the 3.5–Billion–Year History of the Human Body*, New York: Pantheon Books, 2008.

Shubin, Neil H., Edward B. Daeschler, and Farish A. Jenkins Jr., "The Pectoral Fin of *Tiktaalik roseae* and the Origins of the Tetrapod Limb," *Nature* 440 (2006): 764–771.

Zimmer, Carl, *At the Water's Edge: Macroevolution and the Transformation of Life*, New York: Free Press, 1998.

الفصل الثاني عشر

اكتشاف الحلقات المفقودة

التطور الكبروي والحفريات الانتقالية

> إنَّ الانتخاب الطبيعي يَفحص على مدار اليوم والساعة وفي جميع أنحاء العالم؛ التنويعاتِ كلها، حتى أدقها، نابذًا منها ما هو رديء ومبقيًا على ما هو جيد وجامعًا له، يعمل بصمت دون أن يشعر به أحد ... ونحن لا نرى شيئًا من هذه التغيرات البطيئة بينما تحدث حتى تنقضي فترات طويلة من الزمن ... فلماذا إذن لا يمتلئ كل تكوين جيولوجي وكل طبقة بهذه الحلقات الوسيطة؟ من المؤكد أن الجيولوجيا لا تكشف عن أي سلسلة عضوية متدرجة بدقة، وربما يكون هذا هو أخطر اعتراض يمكن أن يوجَّه ضد نظريتي.
>
> تشارلز داروين، «أصل الأنواع» (١٨٥٩)

من بين الاتهامات الرئيسية التي يوجهها نقاد التطور للعلماء هو هذا السؤال: «أين الحلقات المفقودة؟ أرِني حفرية توضح انتقال مجموعة رئيسية إلى أخرى». غالبًا ما يُقِر هؤلاء النقاد بأن التطور الصغروي يحدث بالفعل، من التغيرات الصغيرة في ذبابة الفاكهة، إلى مقاومة مبيدات الآفات في الحشرات، إلى التغيرات السريعة في الفيروسات والبكتيريا. هذه التغيرات تحدث في التجارب المختبرية آنيًّا؛ ومن ثَم لا يمكن إنكارها. لكن هذا لا يكفي في نظر نقاد التطور. فهم يرفضون فكرة أن المجموعات الرئيسية المتمايزة مرتبطة ارتباطًا وثيقًا (مثل الطيور والزواحف)، ويدَّعون عدم وجود حلقات مفقودة

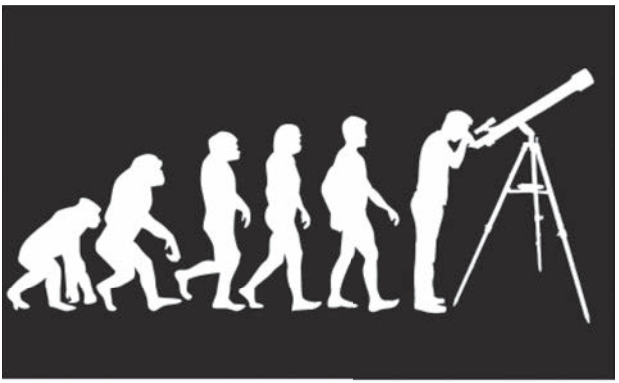
توضح كيف يمكن أن يحدث هذا الانتقال. وعلى الرغم من اعترافهم بحدوث تغيرات على مستوى ذباب الفاكهة والميكروبات، فإنهم ينظرون إليها على أنها تطور صغروي فحسب. وهم يواصلون التأكيد على أن التغيرات الكبيرة بين المجموعات الرئيسية — أي التطور الكبروي — مستحيلة.

اسمحوا لي أولًا أن أوضح بعض المفاهيم الخاطئة. لا وجود لما يُدعى «الحلقات المفقودة»؛ لأن المفهوم بأكمله غير صحيح، وقد عفا عليه الزمن منذ ١٦٠ سنة. تعود فكرة الحلقات المفقودة إلى تفكير أرسطو منذ أكثر من ٢٠٠٠ عام، حينما كان يُنظَر إلى الحياة على أنها «سلسلة الوجود العظمى»، أو «السُّلَّم الطبيعي». وُضِع كل صنف من الكائنات الحية على درجة منفصلة من السُّلم، حيث وُضِعت النباتات والإسفنج والشعاب المرجانية في الأسفل، والحشرات والأسماك بالقرب من المنتصف، والثدييات بالقرب من القمة، ووُضِع البشر بالطبع على القمة (الشكل ١٢-١). وفي بعض النسخ الدينية التي تُمثِّل هذا النمط من التفكير، كان الشيروبيم والسارافيم والملائكة الأدنى في الدرجة الأعلى من البشر، يليهم رؤساء الملائكة، ثم الإله في القمة. وهذا هو أصل مصطلحات قديمة مثل «الكائنات الدُّنيا» و«الكائنات العُليا». وبالمثل أيضًا، اعتقد بعض علماء الطبيعة أن الإسفنج والنباتات في أحد طرفَي سلسلة الوجود، بينما البشر على الطرف الآخر، ومتى جهلنا إذن الكائنات التي تكمل السلسلة أصبح لدينا حلقة مفقودة.

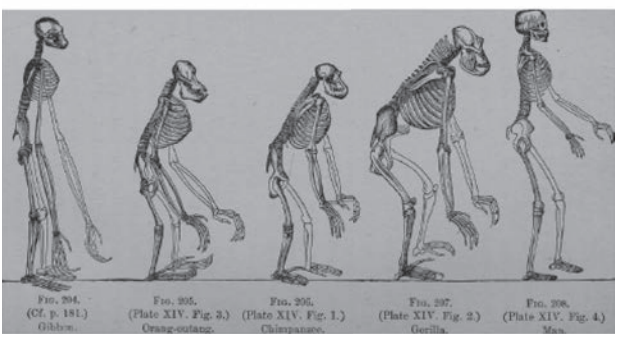
لكن هذا المفهوم عن الحياة قد اندثر بأكمله في عام ١٨٥٩، عندما أظهر داروين أن تاريخ الحياة متفرعٌ وغزير، ولا يمثل اتجاهًا خطيًّا واحدًا عبر الزمن. فمعظم الكائنات الحية أجزاء من «شجرة عائلة» لها العديد من الفروع المختلفة، التي يتداخل بعضها مع الآخر في الزمان والمكان. ينطبق هذا تحديدًا على التفكير الخطي القديم فيما يتعلق بتطور الحصان (الفصل الرابع عشر)، وتطور البشر (الفصل الرابع والعشرين). ففي كلتا الحالتين، نجد أنَّ المخطط المألوف الذي يُظهِر «مسيرة التقدم» من الحصان البدائي إلى الخيل الحديث، أو من الشمبانزي إلى إنسان «الإنسان العاقل» الحديث، يُعطي الانطباع بوجود سلالةٍ واحدةٍ بدون تفرع. وقد كان مفهوم «سُلَّم الحياة» ممكنًا بالنسبة للخيول أو للبشر؛ إذ لم يتبقَّ على قيد الحياة اليوم من كلٍّ منهما سوى جنسٍ واحد من الخيول، ونوع واحد فقط من البشر؛ لذا يمكنك رسم خط مستقيم بين نقطتَي النهاية المعزولتين عبر أي عدد من الكائنات الوسيطة. وشكَّل هذا النموذج الخطي لتطور الحصان والإنسان

شكل ١٢-١: لا يتعلق التطور بتسلق الحياة لـ «سُلَّم الطبيعة»، أو إيجاد «الحلقات المفقودة» في «سلسلة الوجود العظمى»، بدايةً من الكائنات «الدنيا» إلى «العليا». وبدلًا من ذلك، التطور هو «شُجيرة» تتفرع فيها سلالات عديدة بعضها من بعض، ويعيش فيها الأسلاف جنبًا إلى جنب مع النسل. (رسم كارل بويل)

صورًا أيقونية تكررت كثيرًا في المراجع العلمية ووسائل الإعلام (الشكل ١٢-٢(أ)؛ شكل ١٢-٢(ب)). وفي المقابل، يمكننا العثور على أنواعٍ كثيرةٍ من الحيوانات الحية في معظم المجموعات الحية اليوم، مما يجعل من المستحيل ضمَّ جميعِ هذه الأنواع الوسيطة في نموذجٍ خطيٍّ بسيطٍ يؤدي إلى سليل حي واحد. عندما يطلب مني شخصٌ ما أن أوضح له حلقةً مفقودة ما، أجيبه بأن هذا المفهوم عفا عليه الزمن، وأنه مضلِّل ولا معنى له، لكن



(أ)



(ب)

شكل ١٢-٢: (أ) إحدى النسخ العديدة لـ «مسيرة التقدم» الأيقونية من القرد إلى الإنسان، هذا الرسم من «أسترونومي إيفولوشن» لجيوسيبي دوناتيْيلو. (ب) الرسم التخطيطي الشهير من عام ١٨٦٣ لتوماس هنري هكسلي، والذي يُظهِر أوجُه التشابه في الهيكل العظمي بين البشر والقردة، والذي كان الأساس للصورة الأيقونية الخاطئة: «من القرد للإنسان». ([أ] إهداء من «ويكيميديا كومنز»؛ [ب] توماس هنري هكسلي، «أدلة فيما يتعلق بموضع الإنسان في الطبيعة» [لندن: ويليامز آند نورجيت، ١٨٦٣])

أُخبِره أيضًا أنني سأسعد بأن أريه العديد من الحفريات الانتقالية التي تربط المجموعات الحية الرئيسية من الحيوانات بعضها ببعض.

ماذا إذن عن الحفريات الانتقالية؟ ألا توجد حفريات تثبت أصل مجموعة من أخرى كما يزعم كثيرٌ من منكري العلم؟ بل على النقيض من ذلك، فإن السجل الأحفوري مليءٌ بمثل هذه الأمثلة، وقد أوردتُ العديد منها في كتابي الصادر عام ٢٠١٧؛ «التطور». وناقشتُ أيضًا بعض هذه الأمثلة بإسهاب في فصول أخرى من هذا الكتاب، مثل الحيتان (الفصل العاشر)، والانتقال للبرمائيات من الأسماك (الفصل الحادي عشر)، والانتقال للديناصورات من الطيور (الفصل الثالث عشر)، والخيول (الفصل الرابع عشر)، والزرافات (الفصل الخامس عشر)، والفيلة (الفصل السادس عشر). يمكن تقديم العديد من الأمثلة الإضافية، لكني سأقتصر في هذه المناقشة على عددٍ قليلٍ من الأمثلة اللافتة للنظر؛ لكي أوضِّح أنه لا يوجد أيُّ نقصٍ في الحفريات التي توضِّح كيفية تطور مجموعةٍ رئيسيةٍ من مجموعةٍ أخرى.

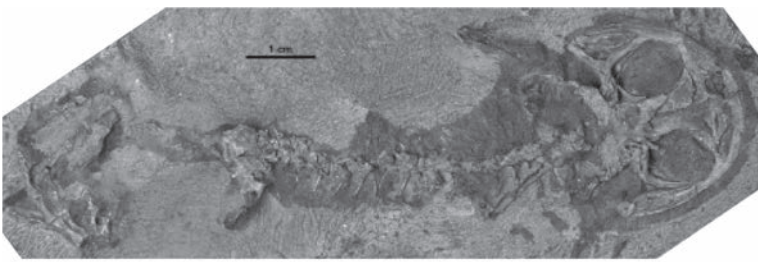
لنتناول الضفادع على سبيل المثال أولًا. جميعنا نعرف الضفادع من وسائل الإعلام، والأرجح أنَّ معظمنا رأى ضفدعًا ما في البرية، وربما قام البعض بتشريح ضفدع في صف علم الأحياء في وقت ما. يبدو الضفدع كائنًا متخصصًا بدرجة عالية نظرًا لفمه الواسع الضخم، ولسانه اللزج الطويل الناتئ، وعينَيه الكبيرتَين، وجذعه القصير، وأضلاعه الصغيرة، وعظام فخذه البالغة الطول، وساقَيه الخلفيتَين الطويلتَين للغاية، وعدم امتلاكه لذيل. لا تستطيع الضفادع استخدام أضلاعها للتنفس، وبدلًا من ذلك، يقوم الكيس القابل للنفخ الموجود في حلق الضفدع بضخ الهواء للداخل والخارج (يستخدم هذا الكيس أيضًا لإصدار مجموعة متنوعة من الأصوات). وتتنوع الضفادع تنوعًا كبيرًا في الحجم، من الضفدع الصغير في غينيا الجديدة (الذي يبلغ طوله ٧٫٧ ملِّيمترات فقط [٠٫٣ بوصة])، إلى الضفدع الجبار، الذي يزيد طوله عن ٣٠٠ ملِّيمتر (١٢ بوصة)، ويزن ٣ كيلوجرامات (٧ أرطال). إنه كبير جدًّا لدرجة أنه يأكل الطيور والثدييات الصغيرة وكذلك الحشرات.

من الصعب تخيُّل حفرية وسيطة بين الضفدع وبين البرمائيات الأكثر شيوعًا، مثل السلمندر. وعلى الرغم من ذلك، يمكننا أن نرى هذا الانتقال بطريقتَين. أولًا: نحن نعلم أن الضفادع تقوم بهذا الانتقال خلال تكوُّنها أثناء نموها من مرحلة الشُّرْغوف إلى الضفدع البالغ. فعندما يحتفظ الشُّرْغوف بالذيل وينمي أطرافه في البداية، تكون أرجله متساوية نسبيًّا في الطول، ولا تكون النِّسَب المتفاوتة التي تظهر في الضفادع البالغة قد ظهرت بعد. قبل أن يمتص الشرغوف ذيله من جديد، يمر بمرحلة يكون فيها شبيهًا بالسلمندر.

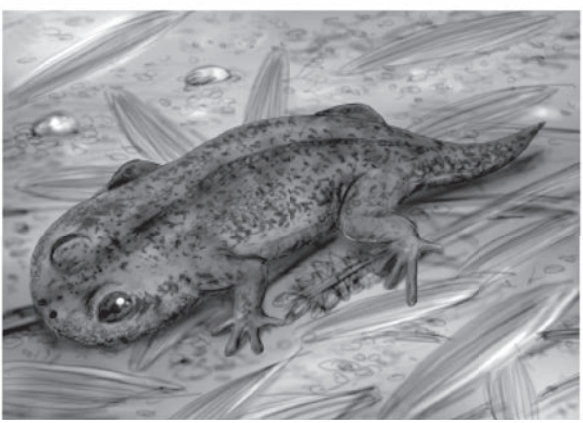
والأكثر إثارة للدهشة هو السجل الأحفوري لهذا التحول. فمنذ عشرات السنين وعلماء الحفريات يعرفون سجلًّا أحفوريًّا ممتازًا للبرمائيات التي تشبه السلمندر، على الرغم من أن بعضها كان ضخمًا. كان أكبرها من الطبقات الحمراء التي تعود إلى العصر البرمي السفلي، وتوجد في شمال تكساس وجنوب أوكلاهوما، وخاصة حول بلدة سيمور الصغيرة في تكساس. أحد هذه البرمائيات الضخمة هو إريوبس؛ كائن أحفوري شبيه بالتمساح عُرِف من خلال العديد من الهياكل العظمية الكاملة. كان له جسد كبير يزيد طوله عن مترين (٦٫٥ أقدام)، وذيل وأطراف كلها قوي، وجمجمة يزيد طولها عن ٦٠ سنتيمترًا (٢ قدم) في بعض الأفراد! كان إريوبس أحد أكبر الحيوانات الأرضية التي كانت قادرة على صيد الفرائس في المياه وعلى اليابسة في العصر البرمي المبكر. والأكثر بدائية قليلًا من إريوبس هو إيدوبس المكتشَف من الطبقات الحمراء في تكساس، والتي تنتمي إلى العصر البرمي المبكر، وهو يمتلك جمجمة أطول، وكان سيتضح أنه أكبر من إريوبس إذا عُرِف هيكله العظمي الكامل. إن هذه الحفريات توجد بكثرة في الطبقات الحمراء للعصر البرمي المبكر، هي والعديد من المجموعات الغريبة الأخرى من البرمائيات، إضافةً إلى الزواحف الأولى، وأولى الكائنات المنتمية لسلالة الثدييات (مثل ديميترودون ذي الزعانف الظهرية، الذي يوجد في جميع مجموعات الألعاب وكتب الديناصورات الخاصة بالأطفال، لكنه قريب الصلة بنا وليس بالديناصورات). إن علماء الحفريات الذين يدرسون الزواحف المبكرة والبرمائيات يقضون وقتًا في تجميع العينات من الطبقات الحمراء للعصر البرمي في تكساس، مكتشفين في الغالب المزيد والمزيد من حفريات ديميترودون، وإريوبس، وحيوانات أخرى مألوفة.

كان أحد هؤلاء الجامعين صديقي الراحل نيك هوتون، الذي قضى معظم حياته المهنية في معهد سميثسونيان. في عام ١٩٩٤، كان أحد أفراد طاقمه يقوم بالتجميع في منطقة تُسمى «دونز دامب فيش كواري». كان هناك العديد من حفريات الأسماك والبرمائيات، لكن وقت الباحثين آنذاك لم يكن يتسع إلا لجمع الحفريات بسرعة، ولم يُجروا دراسة ميدانية مفصلة. أدرك نيك هوتون أهمية حفرية معينة (اكتشفها بيتر كروهلر، مساعد أمين المتحف في معهد سميثسونيان). وضعها في جيبه مع قصاصة من الورق كتب عليها «فروجي» (بالإنجليزية: Froggie، من Frog، أي: ضفدع). وعندما تُوفي عام ١٩٩٩، لم تكن قد أُتيحت له الفرصة بعدُ لدراسة هذه الحفرية. لذلك ظلت هذه العينة غير مدروسة لمدة ١٤ عامًا، إلى أن أخذها جيل أصغر من علماء الحفريات بقيادة

جيسون أندرسون من جامعة كالجاري، وروبرت ريش من جامعة تورنتو، وآخرين، وانتهَوا من تنظيف النسيج من عليها حتى أصبحت مكشوفةً بالكامل، ونشروا بحثًا عنها أخيرًا. أطلقوا عليها اسم جيروباتراكس هوتوني (ضفدع هوتون القديم)، وبعد أن ذاع خبر اكتشافها أطلقت الصحافة عليها اسم «فروجاماندر» (الشكل ١٢-٣(أ)؛ الشكل ١٢-٣(ب)).



(أ)



(ب)

شكل ١٢-٣: (أ) العينة الوحيدة من جيروباتراكس هوتوني. (ب) تصور لجيروباتراكس هوتوني في حياتها. ([أ] بتصريح من ديان سكوت وجيسون أندرسون؛ [ب] بتصريح من نوبوميتشي تامورا)

للوهلة الأولى، تبدو العينة غير مثيرة للإعجاب؛ هي تقريبًا مكتملة، ولكن طولها حوالي ١١ سنتيمترًا (٤٫٣ بوصات) فقط. وهي على ظهرها، ولم يُفقَد منها سوى جزء فقط من عظام الفخذ وعظام الكتف والذيل. وأكثر ما يثير الدهشة في هذه الحفرية هو أنها تجمع بين جسد السلمندر الطويل الذيل مع خَطْم الضفدع القصير والعريض والمستدير، مما يوضح إمكانية أن تكون الضفادع قد بدأت تتطور من أشكال تشبه السلمندر. وتتسم هذه الحفرية أيضًا ببعض صفات الضفادع الأخرى؛ طبلة الأذن الكبيرة، والأسنان المستقرة على دعائم صغيرة لها قاعدة منفصلة، وهي بنية تشريحية لا توجد إلا في البرمائيات الحية وأقرب أقربائها من الحفريات. وبخلاف ذلك، تتسم بجسد بدائي يشبه جسد السلمندر؛ لذلك فهو انتقال مثالي بين المجموعتين.

وبعد حفرية جيروباتراكس التي تنتمي إلى العصر البرمي المبكر، فإن الحفرية الجيدة التالية لضفدع ما هي تريادوباتراكوس، التي تعود إلى أوائل العصر الترياسي (٢٤٠ مليون سنة) في مدغشقر. لدى تريادوباتراكوس خطم ضفدعي نموذجي عريض، وأقدام طويلة وتراء، لكن منطقة الجذع لديه طويلة على عكس أي ضفدع حي؛ إذ توجد لديه ١٤ فقرة في عموده الفقري، أما الضفادع الحية الآن فيتراوح عدد فقراتها من أربع إلى تسع. إضافةً إلى ذلك، يحتفظ هذا الضفدع بذيل قصير لا يفقده عندما ينمو الشرغوف إلى مرحلة البلوغ. كان لديه أرجل خلفية أطول من الأرجل الخلفية لدى أي سلمندر، لكنها ليست بالأرجل الضخمة القوية العضلات الموجودة في الضفادع الحية الآن؛ ومن ثَم كان يستطيع السباحة، لكنه لم يكن يستطيع القفز. وفي أوائل العصر الجوراسي (منذ حوالي ٢٠٠ مليون سنة)، نجد حفرية أول ضفدع حقيقي؛ فيرايلا من الأرجنتين. إنه كائن صغير لا يزيد طوله عن ٥ سنتيمترات فقط (٢ بوصة)، كانت جمجمته شبيهة بالضفدع تمامًا، وكان قادرًا على القفز بأطرافه الخلفية، لكنه يفتقر إلى الجذع القصير أو الوركين المعدَّلتَين للغاية، وهما صفتان تتسم بهما الضفادع الحديثة. في العصر الطباشيري، بدت البنية التشريحية للضفادع حديثةً تمامًا، وتفرَّعت إلى العديد من المجموعات التي لا تزال على قيد الحياة اليوم، والتي توجد بها عشرات العائلات التي تضم أكثر من ٥٧٠٠ نوع حي.

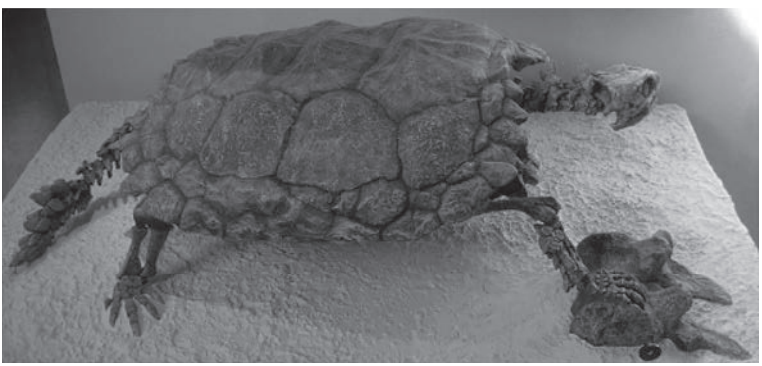
وماذا عن السلاحف كمثال ثانٍ؟ لقد سمعتُ مناهضي التطور يسخرون من فكرة إمكانية وجود حفرية وسيطة بين السلحفاة وأي زاحف آخر. يسألون بتهكم: ما فائدة سلحفاة لها نصف صدفة؟ هم ينظرون إلى صور جميع حفريات السلاحف التي كانت

معروفة حتى وقتٍ قريب، ويقولون: «ليس هذا سوى صنفٍ آخر من السلاحف.» يبدو من الصعب بالفعل تخيل سلحفاةٍ بدون كلتا صدفتَيها. كيف ستقوم بوظائفها أصلًا؟ وهل سنسميها سلحفاة؟

يبدو أنَّ السلاحف وصدفات السلاحف توضع في صورة نمطية للغاية. ففور ظهور السلاحف ذات الأصداف الكاملة في السجل الأحفوري، كانت خطة جسد ناجحة للغاية؛ لذلك تطورت وتنوعت، لكنها دائمًا ما كانت تتضمن قُبة في الأعلى (الذَّبْل)، ودرعًا بطنيًّا. يوجد أكثر من ١٢٠٠ نوع من السلاحف على قيد الحياة اليوم، ويمكن تتبُّع جذور المجموعات الحديثة إلى العصر الجوراسي. تُقسَّم معظمها بسهولة إلى فئتين؛ مخفيَّات الرقبة، وجانبيات الرقبة. تُعَد مخفيات الرقبة هي المجموعة الأكثر شيوعًا والأكثر تنوعًا من السلاحف على هذا الكوكب، وتشكِّل جميعَ أنواع السلاحف الحية باستثناء ٨٠ نوعًا تقريبًا. يشير اسم مخفيات الرقبة إلى «المفصل الخفي»، ويشير إلى حقيقة أن الرقبة تنثني على نفسها رأسيًّا على شكل حرف S داخل مقدمة الصدفة، عندما تسحب السلحفاة رأسها داخل صدفتها. وتقوم السلاحف الجانبيات الرقبة (المفصل الجانبي)، أو السلاحف ذات العنق الجانبي، وهي الأكثر ندرة والأقل تنوعًا، بطَيِّ رقبتها جانبًا، في حركة شبيهة بإغلاق سكين الجيب، وسحب رأسها جانبًا تحت الحافة المتدلية من الجزء الأمامي من الصدفة. ليست هذه السلاحف نادرة ومهدَّدة بالانقراض فحسب، بل إنها لا توجد اليوم إلا في القارات المتبقية من جندوانا في أستراليا وأمريكا الجنوبية وأفريقيا.

للوهلة الأولى، تبدو السلاحف وكأنها نوعٌ مميز من الحيوانات، محبوس في شكل نمطي للجسد لا يمكن أن يتطوَّر أبدًا من أي شيء آخر. غير أنَّ الحفريات الانتقالية تخبرنا بكيفية تطور السلاحف من زواحف لا تمتلك أصدافًا. كان أول ما اكتشفه العلماء حفرية غريبة تُعرَف باسم السلحفاة المبكرة Proganochelys، وقد اكتُشِفت من طبقات العصر الترياسي الأعلى (منذ ٢١٠ ملايين سنة) في ألمانيا وجرينلاند وتايلاند (الشكل ١٢-٤). للوهلة الأولى، تبدو تمامًا كأي سلحفاة أخرى لها ذَبْل ودرع بطني. لكن نظرة فاحصة تُظهِر أنها أكثر بدائية، وأنها ليست عضوًا في أي مجموعة حية. فالذَّبْل مختلف تمامًا، وبه العديد من الصفائح الإضافية غير الموجودة في أي سلحفاة حية، خاصة حول حافة الصدفة ويحمي الساقين. إضافةً إلى ذلك، فإن ذيلها مغطًّى بغِمْد عَظمي شائك، مع ذيل شائك على شكل هِراوة. والأكثر بدائية هي الجمجمة التي تشبه جمجمة أحد زواحف العصر البرمي البدائية، أكثر مما تشبه جمجمة سلحفاة بتنظيمها المميز لعضلات الفك

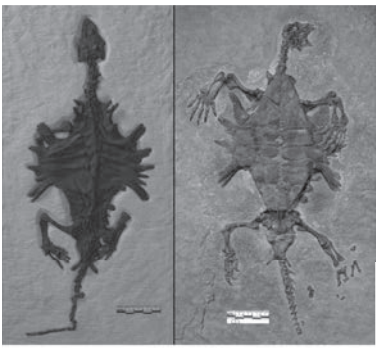
ولثقوب الجمجمة. على الرغم من أنها كانت تمتلك منقار سلحفاة فقد كان الحنك العلوي ما يزال به أسنان، فهي آخر السلاحف التي احتفظت بأسنانها. والأهم من ذلك كله أنها لم تستطع سحب رأسها الكبير داخل صدفتها، كما تفعل جميع السلاحف الحية الآن؛ لذا فإن الدروع والأشواك فوق رأسها كانت تحميها بدلًا من ذلك. إنها «سلحفاة فحسب» لغير المتخصص، لكنها تختلف تمامًا عن أي سلحفاة حية؛ لأن عنقها ورأسها غير قابلَين للسحب ولديها أسنان في فمها.



شكل ١٢-٤: السلحفاة المبكرة، وهي سلحفاة من العصر الترياسي، كان لها درع مكتمل التكوين وذَبْل يكوِّنان صدفة، لكنها لم تستطع سحب رأسها للداخل، وكان لا يزال لديها بعض أسنان الزواحف على حنكها. (تصوير المؤلف)

في عام ٢٠٠٨، أُعلنَ عن اكتشاف مجموعة مذهلة من حفريات السلاحف في الصين تعود إلى أواخر العصر الترياسي (٢١٠ ملايين سنة)، (الشكل ١٢-٥(أ)؛ الشكل ١٢-٥(ب)). ومن خلال عشرات العينات المكتملة، أُطلقَ على هذه الحفرية الاسم العلمي الرسمي «أودونتوكيليس سيميتيستاشيا» (السلحفاة المسنَّنة ذات النصف صدفة). قدَّم هذا الاكتشاف حلًّا للُغز كيفيةِ حصول السلاحف على أصدافها. فليس للسلحفاة المسنَّنة صدفة أو ذَبْل على ظهرها (ضلوع سميكة وحسب)، لكن لديها درع بطني. إنها حرفيًّا «سلحفاة على نصف صدفة»، وهي شكل انتقالي بين السلاحف الحديثة ذات الصدفتين وأسلافها التي لا تمتلك قوقعة كاملة. ثمة صفة أخرى للسلحفاة المسنَّنة لا تتميز بها

السلاحف، لكنها توجد لدى الزواحف، وهي امتلاكها لمجموعة كاملة من الأسنان على غرار أسلافها، ولكنها تختلف عن مناقير السلاحف الحديثة العديمة الأسنان.



(أ)

(ب)

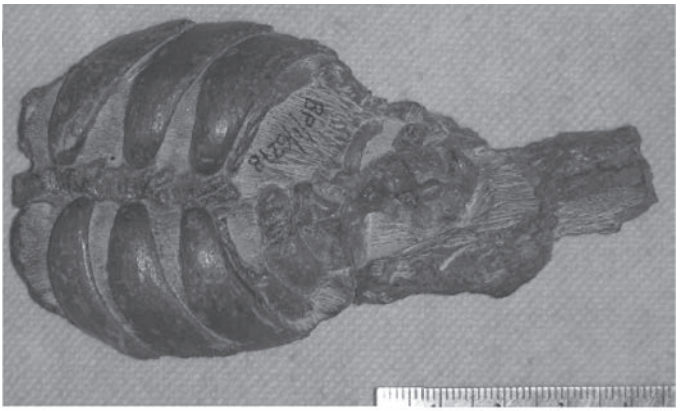
شكل ١٢-٥: السلحفاة المسنَّنة (أ) أفضل العينات المعروفة من هذا الجنس، والتي تُظهِر ذَبلًا غير مكتمل على ظهرها (يسارًا)، ودرع بطني كامل على بطنها (يمينًا)؛ (ب) تصوُّر لمظهرها في أثناء حياتها. ([أ] بتصريح من لي تشون؛ [ب] بتصريح من نوبوميتشي تامورا)

إضافةً إلى ذلك، حسمت السلاحف المسنَّنة خلافًا آخر ظل قائمًا لفترة طويلة. فعلى مدار عقود من الزمان، زعم بعض علماء الحفريات أن ذَبْل السلاحف يأتي من صفائح عظمية صغيرة تنمو من جلدها (الجلد العظمي) وتندمج معًا، وزعم آخرون أن الذَّبْل نما في الغالب من امتدادات في أضلاعها الخلفية. وقد اتضح من السلاحف المسنَّنة أن

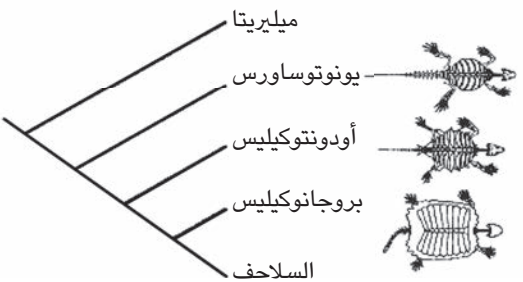
الرأي الأخير هو الصحيح. فقد كان لها أضلاع خلفية ممتدة على وشك أن تبدأ في النمو والاتصال معًا لتكوين الصَّدَفة، ولا توجد جلود عظمية في الأعلى أو مدمَجة بين الضلوع. وتأكدتْ هذه المعلومات بالدراسات الجنينية التي تتبع نمو ذَبْل السلحفاة من تغيرات النمو التي تحدث في الأضلاع الخلفية، والنتيجة هي أنَّ الجلد العظمي لا يدخل في العملية على الإطلاق.

ومن خلال السلحفاة التي على نصف صَدَفة، يمكننا تتبُّع أسلاف السلاحف إلى أن نصل إلى الزواحف التي لا تحتوي إلا على عدد قليل من الصفات الشبيهة بالسلاحف. إحدى هذه السلاحف هي يونوتوساورس، التي تنتمي إلى طبقات العصر البرمي الأوسط (منذ ٢٧٠ مليون سنة تقريبًا) في جنوب أفريقيا (الشكل ١٢-٦(أ)). كانت تبدو بشكلٍ عام سحلية كبيرة الحجم وسمينة، باستثناء بعض الصفات الرئيسية للهيكل العظمي. وأكثر ما يلفت الانتباه فيها هي الأضلاع الخلفية المسطحة الواسعة الممتدة، التي تكاد أن يتصل بعضها ببعض لتشكيل صَدفةٍ كاملةٍ على الظهر. وفي عام ٢٠١٥، أعلن صديقي هانز ديتر سوس من معهد سميثسونيان عن حفريةٍ بدائيةٍ أخرى. سُميت هذه الحفرية بابوكيليس (السلحفاة الجد)؛ فهي لا تمتلك على ظهرها أضلاعًا عريضةً مثل يونوتوساورس فحسب، بل تمتلك أيضًا أضلاع بطن عريض مُفلطَح (جاستراليا)، والتي ستندمج في نهاية المطاف لتكوِّن الدرع البطني أو لوحة البطن في السلاحف الأكثر تقدمًا. وبهذا، يصبح لدينا انتقال أنيق للغاية من يونوتوساورس المنتمي إلى الزواحف بأضلاعه الخلفية المسطحة فقط، إلى بابوكيليس الذي يتسم بظهره وأضلاع بطنه المفلطحَين، إلى أودونتوكيليس الذي يمتلك درعًا بطنيًّا، لكن أضلاعه الموجودة على الظهر مسطحة فقط، إلى بروجانوكيليس الذي يتميز بالصَّدفة السلحفية الكاملة (وإن كانت بدائية)، لكنه لا يزال محتفظًا ببعض الأسنان، وهو على نقيض السلاحف الحديثة في كونه لم يطور بعدُ القدرة على سحب رأسه داخلًا (الشكل ١٢-٦(ب)). الحق أنَّ المرء لم يكن ليتمنى مثالًا على انتقال نوع معين من الحيوانات إلى نوع آخر أفضل من ذلك المثال، الذي قدمَتْه لنا الحفريات التي لم يكن معظمنا يتوقع أن تؤدي إلى السلاحف.

ولنتناولْ مثالًا أخيرًا من الزواحف، وهو الثعابين. الثعابين مجموعة مميزة للغاية من الحيوانات، فأجسامها متخصصة إلى حد كبير وعديمة الأرجل، وتتكيف مع مختلف الوظائف بدايةً من الحفر إلى تسلُّق الأشجار. يحيط بالثعابين أيضًا قدر كبير من الرمزية، من أسطورة أفعى جنة عدن الواردة في الكتاب المقدس، إلى استخدامها الرمزي في العديد



(أ)



(ب)

شكل ١٢-٦: يونوتوساورس من زواحف العصر البرمي البدائية ذات الأضلاع المُفلَّجة، التي تُمثِّل المراحل الأولى من تطور صَدفة السلحفاة. (أ) عينة جزئية تُظهِر الأضلاع المميزة على شكل شفرات، والتي تُكوِّن صدفة جزئيًّا. (ب) علاقات يونوتوساورس والسلاحف البدائية الأخرى، والتي تُظهِر الانتقال من الزواحف البدائية إلى السلاحف. ([أ] بتصريح من بي روبيدج؛ [ب] أعيدَ رسمه من عدة مصادر)

من الثقافات. في مصر القديمة كانت الكوبرا تُزيِّن تاج الفرعون، وفي الأساطير اليونانية كان لميدوسا في رأسها ثعابين بدلًا من الشعر. كان على هيراكليس (هرقل) أن يقتل الحية العدار بقطع رءوسها الثعبانية التسعة، وقد نما كلٌّ منها مجددًا فور قطعه. كان الإغريق

أيضًا يبجلون الأفاعي في الطب؛ لذلك كان رمز الشفاء (عصا هيرميز) قضيبًا مع ثعبان متشابك حوله. وتُعبَد الثعابين في الديانتَين الهندوسية والبوذية؛ فعُنق الإله الهندوسي شيفا ملفوف بأفاعي الكوبرا، وقد صُوِّر فيشنو نائمًا على ثعبان ذي سبعة رءوس أو داخل لفائف ثعبان. كانت الثعابين أيضًا جزءًا مهمًّا من الأساطير والدين في أمريكا الوسطى. ولطالما عظَّم الصينيون من شأن الثعابين وتناولوها في مطبخهم كطعامٍ فاخر. علاوةً على ذلك، فأحد الأبراج الصينية الاثني عشر هو برج «الأفعى».

تثير الثعابين أيضًا مشاعر قوية لدى البشر، على الرغم من أن معظمها ليس أكثرَ خطورةً من أرنب أو سحلية. فالعديد من الأشخاص يجدون أنَّ تحديق الثعابين البارد بجفونها التي لا ترمش، وألسنتها المنتفضة، أو الطريقة المثيرة للأعصاب التي تسعى بها وتتحرَّك بدون أرجل، كلُّها أمور تبعث على القلق. إنَّ الجزء الأكبر من الخوف من الثعابين يعود إلى حقيقةِ أن بعضها سامٌّ. وعلى الرغم من ذلك، ففي بعض أجزاء من العالم، مثل الولايات المتحدة، لا يوجد سوى عددٍ قليلٍ من الثعابين السامة (الأفاعي الجرسية في الأساس)، لكن السكان يقتلون أي ثعبان فور رؤيته، على الرغم من أن الثعابين مفيدة للغاية في الحد من مشاكل الجرذان أو الفئران وآفات أخرى. أما في أستراليا، فأنواع الثعابين الأكثر شيوعًا، وعددها عشرة، شديدة السُّميَّة، والعديد من الثعابين الموجودة في أفريقيا سامٌّ أيضًا. ومن ثَمَّ فإن الخوف البدائي من الأفاعي (رُهاب الأفاعي) متجذِّر بعمق في طبقة دماغ الرئيسيات، وفي كثيرٍ من الأحيان لا يمكن التغلب عليه مهما كان ثعبان الثور النموذجي آمنًا أو ثعبان الجوفر.

توجد أنواع عديدة من الثعابين، منها ٢٩٠٠ نوع على قيد الحياة اليوم، تتوزع على ٢٩ فصيلة، وعشرات الأجناس. تعيش الثعابين في جميع القارات وفي كل الموائل ما عدا المناطق الشديدة البرودة، مثل القطب الشمالي أو القطب الجنوبي، أو في الجزر المنعزلة للغاية لدرجة أنها لا تستقبل ثعابين من البر الرئيسي أبدًا (نيوزيلندا، أيرلندا، آيسلندا، هاواي، ومعظم جنوب المحيط الهادي). فأيرلندا تفتقر إلى الثعابين ليس لأن القديس باتريك طردها، ولكن لأنها كانت تحت الجليد خلال العصر الجليدي الأخير. وعندما تراجع الجليد وارتفع مستوى سطح البحر أصبحت أيرلندا جزيرة؛ لذلك لم تُتح الفرصة للثعابين للوصول إليها.

تتسم الثعابين بهذه الدرجة من التنوع؛ لأنها تستطيع التكيف مع مجموعةٍ متنوعةٍ من الموائل، من الأشجار إلى الأرض إلى الجحور التي حفرَتها فرائسها تحت الأرض. ولما كانت الثعابين عديمة الأطراف، فإنها تنتقل إلى مناطق (مثل الجحور) عن طريق الانزلاق،

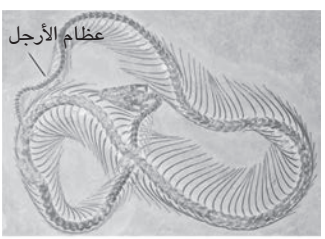
ويمكنها لفُّ أجسادها حول أطرافها (كما هو الحال في الثعابين المتسلقة للأشجار)، أو حتى السير عبر رمال الصحراء الساخنة باستخدام أسلوبها الفريد في الترحال المعروف باسم التموُّج الجانبي. ولا شك أنَّ عدم امتلاك أطرافٍ يفرض عليها قيودًا معينة؛ فهي لا تستطيع الإمساك بالفريسة؛ ولهذا يجب أن تلتفَّ حولها لكبح جماحها، فثَمة مجموعةٌ من الثعابين تُسمى العاصرة، تضغط على الفريسة إلى أن تتوقَّف عن التنفس وتموت. وبدون أطراف أو فكوك قوية كتلك التي تمتلكها التماسيح، لا تستطيع الثعابين تمزيق الفريسة، بل يجب عليها ابتلاعها بالكامل. وتتمتع الثعابين بجماجم عالية المرونة والقابلية للتمدد؛ إذ تقتصر معظم العظام على كونها شظايا صغيرة تتصل ببقية الجمجمة، وتُثبَّت معًا بأربطة مرنة حتى تتمكن الثعابين من التمدد ولف رأسها بالكامل حول فريسة أكبر منها؛ ومن ثم تبتلعها ببطء.

ويترتب على البنية التشريحية الفريدة للثعابين أن حفرياتها نادرة للغاية. فعظام جمجمتها الرقيقة تتحلل بسهولة، ولا يتبقى سوى فقرات متفرقة وأضلاع رقيقة من العمود الفقري لا يتحفر أي منها بسهولة. إن أغلب حفريات الثعابين تُعرَف من فقرات مميزة ولا شيء سوى ذلك. وربما يدفعك هذا إلى الاعتقاد أنه لا يمكن العثور على سجل أحفوري لكيفية تطور الثعابين من شيء آخر، فضلًا عن حفريةٍ انتقاليةٍ من امتلاك أطرافٍ وظيفيةٍ إلى فقدان هذه الأطراف. وعلى الرغم من هذه التحديات، لدينا سجل جيد لذلك الانتقال.

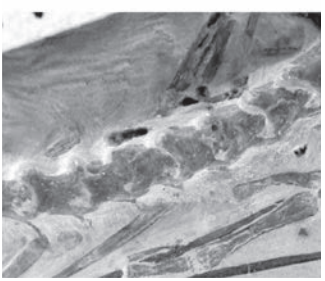
لدينا بالفعل عددٌ من مجموعات السحالي الوثيقة الصلة، خاصةً الورليات أو سحالي الورل (مثل تنين كومودو، والجوانا في أستراليا، والكثير غيرها)، وهي تتشابه مع الثعابين في العديد من الصفات من حيث جماجمها وهياكلها العظمية، لكن لديها أربعة أطراف قوية. وفي العشرين عامًا الماضية، ظهرت مجموعةٌ كاملةٌ من حفريات الثعابين التي تُظهِر كيف تقلَّصت تلك الأطراف تدريجيًّا حتى اختفَت تمامًا. أقل هذه الحفريات شبهًا بالثعبان هي أدريوساورس مايكروبراكيس، التي اكتُشِفت في سلوفينيا، وهي تعود إلى العصر الكريتاسي الأوسط (عمرها ٩٥ مليون سنة) (الشكل ١٢-٧(هـ)، الشكل ١٢-٧(و)). كانت حفرية بحرية تشبه السحلية، وجسدها طويل للغاية ونحيل مثل جسد الثعبان، لكن كان لديها أطراف صغيرة فقط في الأمام والخلف، ولم تكن تساعد في الدفع إلا بدرجة طفيفة. ولدينا حفرية ناجاش ريونيجرينا من العصر الكريتاسي الأوسط في الأرجنتين (يبلغ عمرها ٩٠ مليون سنة تقريبًا)، وهي لا تزال تحتفظ بعظام الأوراك،

وأطراف خلفية أثرية مرتبطة بالأوراك تحتفظ بمعظم العناصر (عظم الفخذ، وعظم قصبة الساق، وبعض عناصر القدم)، ولكن لا توجد أطراف أمامية.

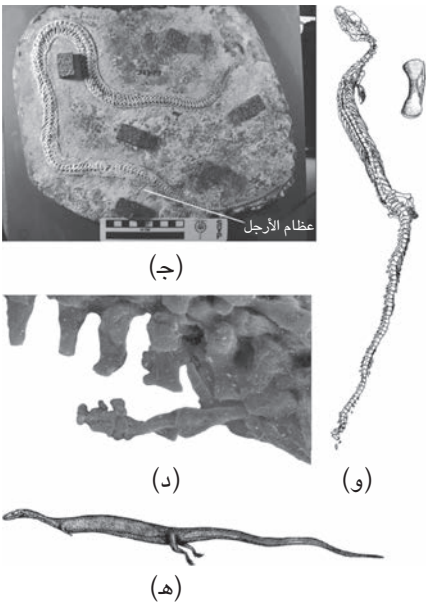
قدَّمت لنا الصخور البحرية من العصر الكريتاسي الأعلى في الشرق الأوسط (خاصة لبنان وإسرائيل) ثروة من الهياكل العظمية الكاملة لحفريات الثعابين الانتقالية. منها على سبيل المثال، هاسيوفيس تيراسانكتوس، الذي يبلغ عمره حوالي ٩٤ مليون سنة، ويمتلك جمجمة وفقرات شبيهة بما لدى الثعابين البدائية الأخرى، لكنه لم يكن يمتلك أي أطراف أمامية، وكانت عظام الورك لديه صغيرة للغاية، وعظام الفخذين لا تتصل إحداهما بالأخرى؛ لذا فهي أثرية حقًّا، ولم يكن من الممكن أن تعمل (الشكل ١٢-٧(جـ)؛ الشكل ١٢-٧(د)). من هذه الحفريات أيضًا، باكيراكيس، الذي كان يمتلك أطرافًا خلفية أثرية صغيرة بدون أطراف أمامية، ولديه عظام كثيفة سميكة في أضلاعه وفقراته من شأنها أن تساعد في الغوص. ولدينا حفرية يوبودوفيس ديسكوينسي، التي عثر عليها العلماء في صخور عمرها حوالي ٩٢ مليون سنة في لبنان، وهي لنوع كان يمتلك أطرافًا خلفية أثرية أصغر (الشكل ١٢-٧(أ)؛ الشكل ١٢-٧(ب)).



(أ)



(ب)



شكل ١٢-٧: عدد من حفريات الثعابين الانتقالية لها أرجل أثرية وعظام ورك، وهي معروفة من العصر الكريتاسي. (أ) يوبودوفيس ديسكونيسي، بأرجل خلفية أثرية صغيرة. (ب) تفاصيل عظام الساق في نفس العينة. (جـ) الهيكل العظمي المفصلي الكامل لثعبان العصر الكريتاسي ذي الأرجل، المعروف باسم هاسيوفيس. المكعبات البرتقالية الكبيرة هي فواصل من الفِلِّين لتمنع تلف الحفرية عند قلْبها رأسًا على عَقِب. (د) تفاصيل منطقة الورك، وتظهر فيها الأطراف الخلفية الأثرية. (هـ-و) الحفرية الانتقالية أدريوساورس، التي كان لها أطراف خلفية وظيفية، لكن أطرافها الأمامية أثرية، وجسمها طويل مثل جسم الثعبان. ([أ-ب] بتصريح من مايكل دبليو كالدويل؛ [جـ-د] بتصريح من مايكل جيه بولسين؛ [هـ-و] «الأطراف الأمامية الأثرية، والاستطالة المحورية في حرشفي غير ثعباني من ٩٥ مليون عام»، لأليساندرو بالشي ومايكل دبليو كالدويل، مجلة فيرتيبرايت بالينتولوجي ٢٧، رقم ١ [٢٠٠٧]: ٧-١)

ثعابين بأرجل؟ إن سجل الحفريات يمدنا بوفرة منها، من أدريوساورس، آخِر قريب للثعابين كان يمتلك كلًّا من الأطراف الأمامية والخلفية الصغيرة؛ إلى ناجاش الذي لا يمتلك أطرافًا أمامية لكن أطرافه الخلفية كانت ما تزال تؤدي بعض الوظائف؛ إلى هاسيوفيس وباكيراكيس ويوبودوفيس، وكلٌّ منها كان يمتلك أطرافًا خلفيةً صغيرةً أثرية بالفعل وغير

وظيفية على الإطلاق، بل هي محض شواهد صامتة على زمن كان لجميع الثعابين فيه أرجل.

إن امتلاك هذا السجل الأحفوري يقدم حقيقة مدهشة عن الثعابين الحية، وهي أنَّ بعضها (معظمها من البواء وأقاربها) لا يزال لديها بقايا صغيرة غير وظيفية من عظام الورك وعظام الفخذ مدفونة في أعماق أجسادها (انظر الشكل ١٠-١(أ)). في عدد قليل من الأنواع، تبرز عظام الفخذ الصغيرة هذه على هيئة «نتوء» قشري على جانب الجسد، لكن هذه العظام لم يعد لها أيُّ وظيفةٍ حقيقيةٍ الآن، بخلاف كونها دليلًا على أن الثعابين قد تطورت من أسلاف لها أرجل.

وأخيرًا، إن فقدان الساقَين ليس على هذا القدر من الأهمية. لقد حدث ذلك في العديد من المجموعات المختلفة من الحيوانات الرباعية الأرجل، وجميعها تطورت بشكل مستقل. إنَّ أمثلة فقدان الأطراف في رباعيات الأرجل لا تقتصر على الثعابين فحسب، بل تشمل أيضًا مجموعةً كاملة من الزواحف الحية تُسمى السحالي الدودية، إضافة إلى عدة مجموعاتٍ مختلفةٍ من السحالي العديمة الأرجل، بما في ذلك بعض السقنقوريات، والسحالي الأسترالية المسطحة القدم، و«الديدان البطيئة»، و«السحالي الزجاجية» وغيرها. ومن بين البرمائيات، طورت مجموعة كاملة (الضفادع الثعبانية أو الأبودان) أجسادًا شبيهةً بالديدان، وتمتلك مجموعة تُسمى الصفاريات أطرافًا أمامية متقزمة، وليس لديها أطراف خلفية. علاوةً على ذلك، ثمة مجموعتان على الأقل من البرمائيات المنقرضة، وهما أيستوبودس ولايسوروفيدس، بلا أطراف أيضًا. جميع هذه الأمثلة تقريبًا من حيوانات الجحور، ويبدو أن فقدان الأطراف يساعد على الحفر في الأرض أو في الطين الناعم. ثمة سببٌ بسيط يجعل فقدان جميع الأطراف أمرًا سهلًا للغاية. إنَّ كلًّا من نمو براعم الأطراف واكتمال نمو الأطراف في النهاية، يخضع لتحكُّم مجموعةٍ محددةٍ من جينات Hox وجينات Tbx، فكل ما يتطلبه الأمر هو أن تقوم تلك الجينات بإيقاف الأوامر لنمو الأطراف وسوف تختفي الأطراف.

في المرة القادمة التي ترى فيها سلحفاة أو ثعبانًا أو ضفدعًا، تأمَّل كيف أن أيًّا من هؤلاء لم يعد مجموعة معزولة وغير مترابطة في مملكة الحيوان. لقد عثرنا على السجل الأحفوري لنشأتها من أسلاف مختلفة تمامًا، وجميع الحفريات الانتقالية التي نحتاج إليها صارت في حوزتنا. فلم تعد هذه الكائنات جزءًا من «سلسلة ذات حلقات مفقودة».

قراءات إضافية

Anderson, Jason S., Robert R. Reisz, Diane Scott, Nadia B. Fröbisch, and Stuart S. Sumida, "A Stem Batrachian from the Early Permian of Texas and the Origin of Frogs and Salamanders," *Nature* 453, no. 7194 (2008): 515–518.

Caldwell, Michael W. and Michael S. Y. Lee, "A Snake with Legs from the Marine Cretaceous of the Middle East," *Nature* 386 (1997): 705–709.

Li, Chun, Xiao-Chun Wu, Olivier Rieppel, Li-Ting Wang, and Li-Jun Zhao, "An Ancestral Turtle from the Late Triassic of Southwestern China," *Nature* 456 (2008): 497–501.

Gauther, J. A., A. G. Kluge, and T. Rowe, "The Early Evolution of the Amniota," In *The Phylogeny and Classification of the Tetrapods*, vol. 1, *Amphibians, Reptiles, Birds*, ed. Michael J. Benton, 103–155, Oxford: Clarendon Press, 1988.

Held, Lewis I., Jr., *How the Snake Lost Its Legs: Curious Tales from the Frontiers of Evo-Devo*, Cambridge: Cambridge University Press, 2014.

Joyce, Walter G., "Phylogenetic Relationships of Mesozoic Turtles," *Bulletin of the Peabody Museum of Natural History* 48, no. 1 (2007): 3–102.

Lyson, Tyler R., Gabe S. Bever, Bhart-Anjan S. Bhullar, Walter G. Joyce, and Jacques A. Gauthier, "Transitional Fossils and the Origin of Turtles," *Biology Letters* 6, no. 6 (2010): 830–833.

Prothero, Donald, *Evolution: What the Fossils Say and Why It Matters*, 2nd ed., New York: Columbia University Press, 2017.

Rieppel, Olivier, "A Review of the Origin of Snakes," *Evolutionary Biology* 25 (1988): 37–130.

Rieppel, Olivier, Hussam Zaher, Eltan Tchernov, and Michael J. Polcyn, "The Anatomy and Relationships of *Haasiophis terrasanctus*, a Fossil Snake with Well-Developed Hind Limbs from the Mid-Cretaceous of the Middle East," *Journal of Paleontology* 77, no. 3 (2003): 536–558.

Rieppel, Olivier, and Michael deBraga, “Turtles as Diapsid Reptiles,” *Nature* 384 no. 6608 (1996): 453–455.

Schoch, Rainer R. and Hans-Dieter Sues, “A Middle Triassic Stem-Turtle and the Evolution of the Turtle Body Plan,” *Nature* 523, no. 7562 (2015): 584–587.

الفصل الثالث عشر

طيور لها أسنان

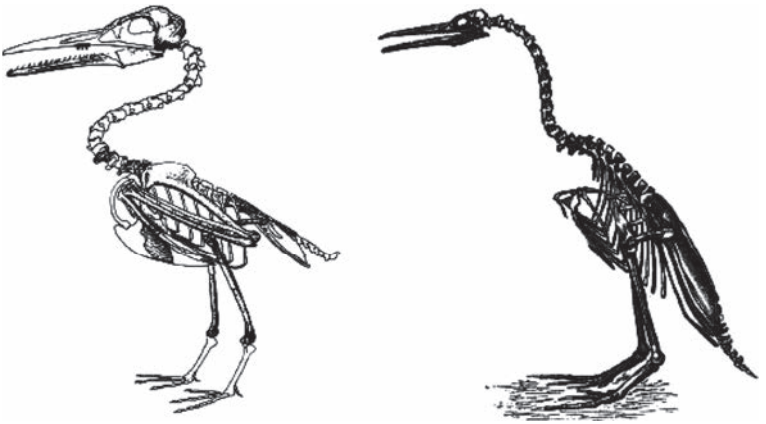
الديناصورات التي تعيش بيننا

> إذا كان من الممكن أن تصبح مؤخرة فرخ دجاج لم يكتمل فقسه بعدُ متضخمةً فجأة — من الحَرْقَفة إلى أصابع القدم — ثم تتصلَّب وتتحفر، فإنها ستكون مثالًا على الخطوة الأخيرة للانتقال بين الطيور والزواحف؛ لأنه لن يكون هناك شيء من صفاتها يمنعنا من إلحاقها بالديناصورات.
>
> توماس هنري هكسلي، «مزيد من الأدلة على الصلة بين الزواحف الديناصورية والطيور» (١٨٧٠)

في عام ١٨٩٢، ضرب جفاف شديد غرب الولايات المتحدة. وحدثت أيضًا مشكلات في توزيع المياه، وكان المستوطنون يحثون الكونجرس على التدخل. كانوا حانقين خصوصًا على هيئة المسح الجيولوجي الأمريكية. والسبب في ذلك أنَّ جون ويسلي باول، المحارب المخضرم في الحرب الأهلية، والذي اشتهر بقيادة أول رحلة استكشافية لنهر كولورادو عبر جراند كانيون في عام ١٨٦٩، تولى رئاسة هذه الهيئة منذ عام ١٨٨١. في عام ١٨٧٨، أصدر باول «تقريرًا عن أراضي المناطق القاحلة بالولايات المتحدة»، حذَّر فيه من أن المياه ستُمثِّل مشكلة على الدوام في الغرب القاحل، وأن المنطقة ليس لديها ما يكفي من المياه للزراعة والاستيطان على نطاق واسع. وفي مؤتمر عام ١٨٨٣ عن حقوق المياه، حذَّر باول على نحوٍ تنبُّئِي: «إنكم، أيها السادة، تشيِّدون تراثًا من الصراع والدعاوى القضائية

بشأن حقوق المياه؛ لأنه لا توجد مياه كافية لإمداد الأرض.» غير أنَّ شركات السكك الحديدية القوية كانت تحقق أرباحًا طائلة من بيع أراضيها الزائدة للمستوطنين (كانت هذه الشركات قد مُنِحت أكثر من ١٨٣ مليون فدان، عندما قامت ببناء أول خط سكة حديد عابر للقارات). وأرادت هذه الشركات الاستمرار في تشجيع الاستيطان، فقدموا الرِّشا لأعضاء الكونجرس لتعزيز مصالحهم. واستجاب الكونجرس لضغوط الجفاف بإلقاء اللوم على حامل الرسالة بدلًا من الاستماع إلى تحذيراته، والتي ثبتت صحتها خلال سنوات قصعة الغبار في ثلاثينيات القرن الماضي.

فحَص محققو الكونجرس كل جزء من أجزاء هيئة المسح الجيولوجي الأمريكية بدقة شديدة، لا سيما فيما يتعلق بإنفاقها للأموال، محاولين العثور على دليل على الفساد أو الإهدار (وهو ما كان شائعًا في العديد من المنظمات السياسية والحكومية آنذاك). كان من بين ما اكتشفوه أن البروفيسور أوثنيْل تشارلز مارش من جامعة ييل، الذي كان يشغل أيضًا منصب كبير علماء الحفريات في هذه الهيئة، قد نشر أُفرودة بارزة ضخمة في عام ١٨٨٠، عن بعض الهياكل العظمية الكاملة الرائعة لحفريات طيورٍ من الطبقات الطباشيرية البحرية في غرب كانساس. كان من بين هذه الهياكل طائران من العصر الكريتاسي القديم، وهما طائر الغرب الشبيه بطائر الغوَّاص (شكل ١٣-١(أ)) وطائر الإكْثُور المشابه للخرشناوات (شكل ١٣-١(ب))، واللذان يشبهان نظراءهما الأحياء — باستثناء أنهما امتلكا أسنانًا. أطلق مارش على مجموعة من هذه الطيور الأسلاف ذات الأسنان اسم أودونتورنيثيس («الطيور المسننة» في اليونانية). عَلم هيلاري هربرت، عضو الكونجرس الأصولي في ولاية ألاباما، بهذا النبأ واستشاط غيظًا. فبالنسبة له، كانت فكرة أن تقوم هيئة المسح بنشر كتب عن مستحيلات توراتية كتلك الطيور ذات الأسنان، تثير حنقه أكثر من الفساد الاعتيادي وإساءة استخدام أموال الضرائب. وفي قاعة الكونجرس، انفجر قائلًا: «طيور لها أسنان! هذا مآل أموالكم التي كسبتموها بشق الأنفس أيها الناس؛ إلى طيور سخيفة يقول بها بروفيسور؛ طيور سخيفة ولها أسنان.» بعد ذلك بوقت قصير، خفَّض الكونجرس ميزانية هيئة المسح بشدة، ولا سيما أبحاثهم في علم الحفريات. أرسل باول إلى مارش برقية فظَّة قائلًا: «انقطعت الاعتمادات المالية. قدم استقالتك فورًا.» وبعد مرور عام، أُجبرَ باول نفسه على الاستقالة. ومن المفارقات أنه استُبدِل به عالم الحفريات الثلاثية الفصوص الشهير تشارلز دوليتل والكوت، الذي كان مؤيدًا للتطور أكثر من باول.



(ب) (أ)

شكل ١٣-١: الهياكل العظمية لـ (أ) طائر الغرب الشبيه بطائر الغوَّاص، و(ب) طائر الإكْثُور الشبيه بالخرشناوات، وكلاهما من الطيور المسننة، عُثِر عليهما في الطبقات الطباشيرية البحرية من العصر الكريتاسي في غرب كانساس. (من أوثنيْل تشارلز مارش، «أودونتورنيثيس: أُفرودة عن الطيور المُسنَّنة المنقرضة في أمريكا الشمالية؛ مع أربع وثلاثين لوحة وأربعين نقشًا خشبيًّا» [واشنطن العاصمة: مكتب الطباعة الحكومي، ١٨٨٠])

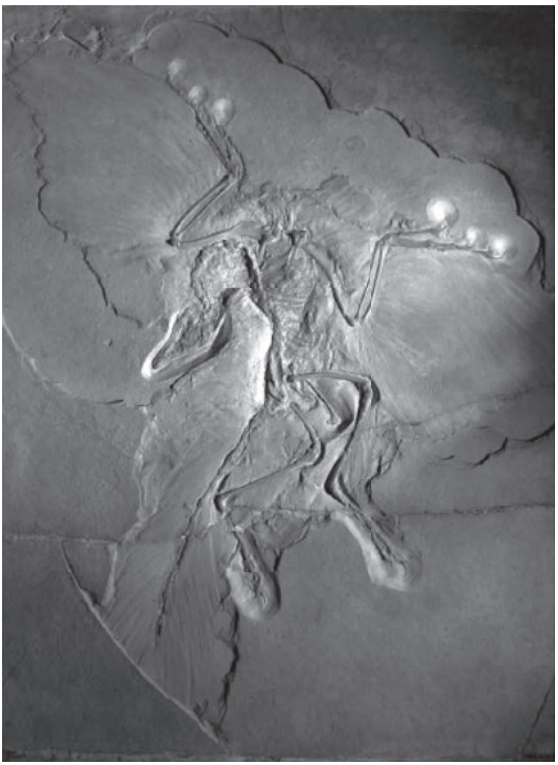
غير أنَّ اكتشاف الطيور المسننة لم يكن شيئًا جديدًا. الحق أنَّ أول مثال عليها كان هو الحفرية الانتقالية الشهيرة أركيوبتركس، التي وُصِفت لأول مرة وسُمِّيت في عام ١٨٦١، أي بعد عامين فقط من نشر كتاب داروين. وصف ريتشارد أوين أول هيكلٍ عظميٍّ لهذه الحفرية الأسطورية في عام ١٨٦٣، عندما اشتراها المتحف البريطاني وجلبها من ألمانيا. وعلى الرغم من أن أوين كان من أشد المنتقدين لداروين وأفكاره، وبذل قصارى جهده للتقليل من الصفات الديناصورية لدى أركيوبتركس، فقد كانت أهميتها واضحة لداروين ونصيره توماس هنري هكسلي. وبحلول الوقت الذي أعدَّ فيه داروين الطبعة الرابعة من كتاب «أصل الأنواع»، كان يتفاخر بأنه في وقت ما كان بعض العلماء يرَون أن:

> طائفة الطيور بأكملها قد ظهرت فجأة إلى الوجود خلال عصر الإيوسين [قبل ٥٤–٣٤ مليون سنة، كما نؤرخ له حاليًّا]، لكن بناءً على ما قدَّمه البروفيسور

أوين، صرنا نعلم الآن أن طائرًا كان يعيش بالتأكيد في أثناء ترسيب تكوين «جرينساند الأعلى» [أواخر العصر الكريتاسي المبكر بالمصطلحات الحديثة، منذ حوالي ١٠٠ مليون سنة، تبين أن هذه العينة لتيروصور]، وفي الآونة الأخيرة، اكتشف العلماء هذا الطائر الغريب؛ أركيوبتركس، ذا الذيل الطويل الذي يشبه ذيل السحلية، والذي يحمل زوجًا من الريش على كل مفصل، وأجنحته مُزوَّدة بمخلبَين طليقَين. عُثِر عليه في صخور الأردواز الكلسية الرملية في سولنهوفن. وما من اكتشافٍ حديثٍ آخر أوضح من هذا، في تبيان مدى ضآلة ما نعرفه حتى الآن عن الكائنات التي كانت تقطن العالم في السابق.

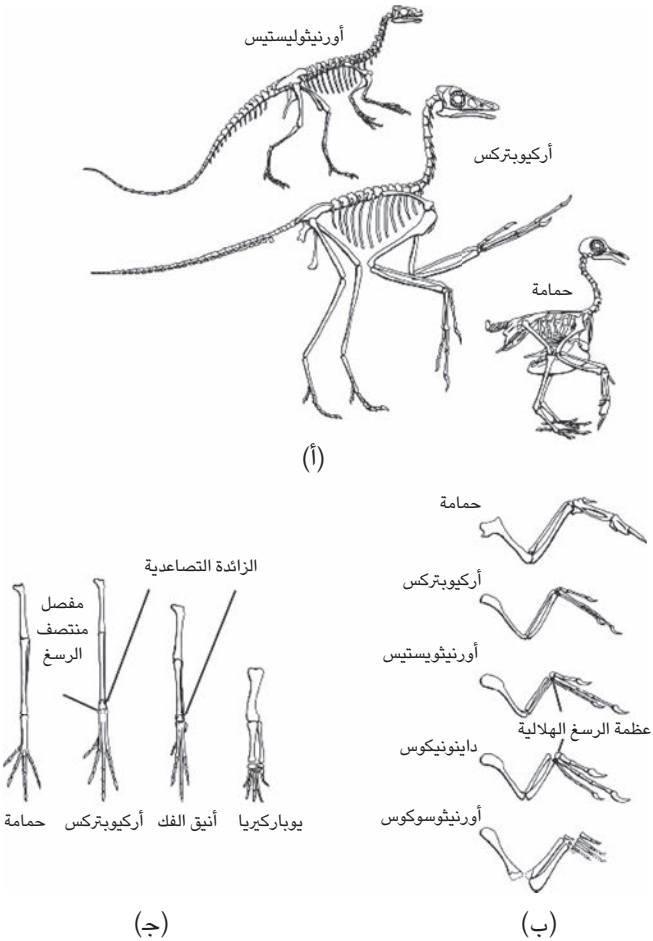
ومنذ ذلك الوقت، عُثِر على ما لا يقل عن ١١ أو ١٢ عينة أخرى من أركيوبتركس. أفضل العينات وأشهرها (الشكل ١٣-٢) — الموجودة الآن في متحف التاريخ الطبيعي في برلين — هي عينة للهيكل العظمي الكامل في وضعية طبيعية للموت، وكلٌّ من الجمجمة والأسنان محفوظ بشكل أفضل بكثير من عينة لندن. عند النظر إلى أركيوبتركس، أدرك هكسلي قوة الدليل الذي تقدمه هذه الحفرية على أن الطيور ببساطةٍ ديناصورات معدَّلة. فمن ناحية، كان هكسلي قد وصف منذ وقتٍ قريبٍ الهيكل العظمي للديناصور الصغير الأنيق الفك كومبسوناثوس، وكان قد عُثِر عليه في محاجر الحجر الجيري التي تعود إلى العصر الجوراسي، والموجودة في سولنهوفن حيث اكتُشِفت حفرية أركيوبتركس (اشتهر هذا الديناصور باسم «كومبيز» في أفلام وكتب جوراسيك بارك وجوراسيك وورلد). كان هكسلي شديد الاندهاش من أوجُه التشابه بين هياكلهما العظمية، على الرغم من أن الريش كان محفوظًا في أحدهما وعُرِّف على أنه طائر، بينما لم يوجد في الآخر أي ريش وعُرِّف على أنه ديناصور. والحق أنَّ عينةً أخرى من أركيوبتركس قد عُرِّفت خطأً على أنها أنيق الفك كومبسوناثوس، ولم يُصنَّف على النحو الصحيح إلا لاحقًا، حين أدرك جون أوستروم من جامعة ييل أنه كان في الواقع أركيوبتركس.

غير أنَّ قائمة الصفات الديناصورية لدى أركيوبتركس لا تقتصر على الأسنان فحسب، بل هي أكثر من ذلك بكثير (الشكل ١٣-٣(أ)). لأركيوبتركس ذيل عظمي طويل، وهذا من صفات الديناصورات التي لا توجد في أيٍّ من الطيور الحية، إذ تلتحم عظام الذيل لديها في جزءٍ صغيرٍ من العظام يُطلَق عليه الشاخص الذيلي، أو «أنف بارسون». وتتسم جمجمة أركيوبتركس بنمط الثقوب نفسه الذي يوجد في جانب الجمجمة لدى الديناصورات، ولا سيما ذلك النمط الموجود لدى الديناصورات المفترسة، مثل فيلوسيرابتور؛ فجمجمة



شكل ١٣-٢: أشهر هيكل عظمي لأركيوبتركس، وُجِد في طبقات الحجر الجيري التي تعود إلى العصر الجوراسي العلوي في سولنهوفن في بافاريا عام ١٨٧٧، وهو موجود الآن في متحف التاريخ الطبيعي في برلين. هذه العينة هي الأكثر اكتمالًا من بين ١٢ أو ١٣ عينة. (إهداء من «ويكيميديا كومنز»)

أركيوبتركس تختلف اختلافًا كبيرًا عن جماجم الطيور الحديثة المعدَّلة للغاية. ونجد أيضًا أنَّ فقراته تشبه الديناصورات، ولا تتسم بالترتيب المرن الذي نراه في الطيور الحديثة. أما عظمة الورك فمتوسطةٌ بين عظمة الورك لدى الديناصورات ونظيرتها لدى الطيور، وينطبق الأمر نفسه على عظمة الكتف الشبيهة بالطَّوق. لأركيوبتركس أيضًا أضلاع البطن التي توجد في العديد من الديناصورات المفترسة، لكنها غير موجودة في الطيور الحديثة.



شكل ١٣-٣: (أ) مقارنة الصفات التشريحية لأركيوبتركس بطائر أكثر تقدمًا وبديناصور صغير من وحشيات الأرجل مثل أورنيثوليستيس. (ب) البنية التشريحية للطرف الأمامي للطيور والديناصورات، مع توضيح لعظم الرُّسْغ. (جـ) البنية التشريحية للساق الخلفية للطيور والديناصورات، مع توضيح لمفصل منتصف الرسغ، وزائدة عظم الكاحل التصاعدية. (رسم كارل بويل؛ من دونالد بروثيرو، «التطور: ما تخبرنا به الحفريات وأهميته»، الطبعة الثانية. [نيويورك: كولومبيا يونيفرستي برس، ٢٠١٧])

السمة الأكثر لفتًا للنظر هي بنية اليد والرسغ. فقد كان لأركيوبتركس مخالب طويلة مثل مخالب الديناصورات المفترسة وليس كمخالب الطيور، وكانت له يدان تعملان بالكامل، بكلٍّ منهما ثلاث أصابع (الإبهام، والسبابة، والإصبع الوسطى) مثل جميع الديناصورات الوحشيات الأرجل، على عكس عظام اليد المدمَجة التي نراها في أجنحة الطيور، والتي تُسمى المشط الرسغي والجُنيْح. تُشكِّل هذه العظام الجزء الصغير المدبَّب من العظم الموجود في طرف أجنحة الدجاج، والذي لا تأكله أبدًا بسبب عدم وجود لحم (عضلات) عليه. بدلًا من دعم الأصابع لأجنحتها (كما في حالة الخفافيش)، فإن الطيور ليس لها أصابع على الإطلاق، وهي تدعم أجنحتها بقوائم من الريش. تمتلك كلٌّ من الطيور وديناصور فيلوسيرابتور في الرسغ تكوينًا فريدًا؛ إذ تلتحم العظام على شكل هلال، ويُطلَق عليها اسم عظمة الرسغ الهلالية (الشكل ١٣-٣(ب)). وفي ظل هذا التكوين للمعصم، يمكن لفيلوسيرابتور وأقاربه أن تضرب بأيديها إلى الأسفل وإلى الأمام بسرعة، لكنها لا تستطيع تدوير راحة اليد للداخل (وهو ما يُشاهَد عادةً في عمليات إعادة التصور غير الصحيحة للديناصورات). وبعبارةٍ أخرى، لم يكن بمقدورها الإمساك بكرة سلة بين أيديها، لكنها كانت تستطيع إدارة راحة اليد إلى الأسفل لجعل الكرة تقفز على الأرض. تلك الحركة السريعة للمعصم نحو الأسفل والأمام هي الحركة نفسها التي تراها في الضربة السفلية لجناح الطائر في أثناء الطيران، وكلتا الحركتَين ممكنة بسبب عظمة الرسغ الهلالية.

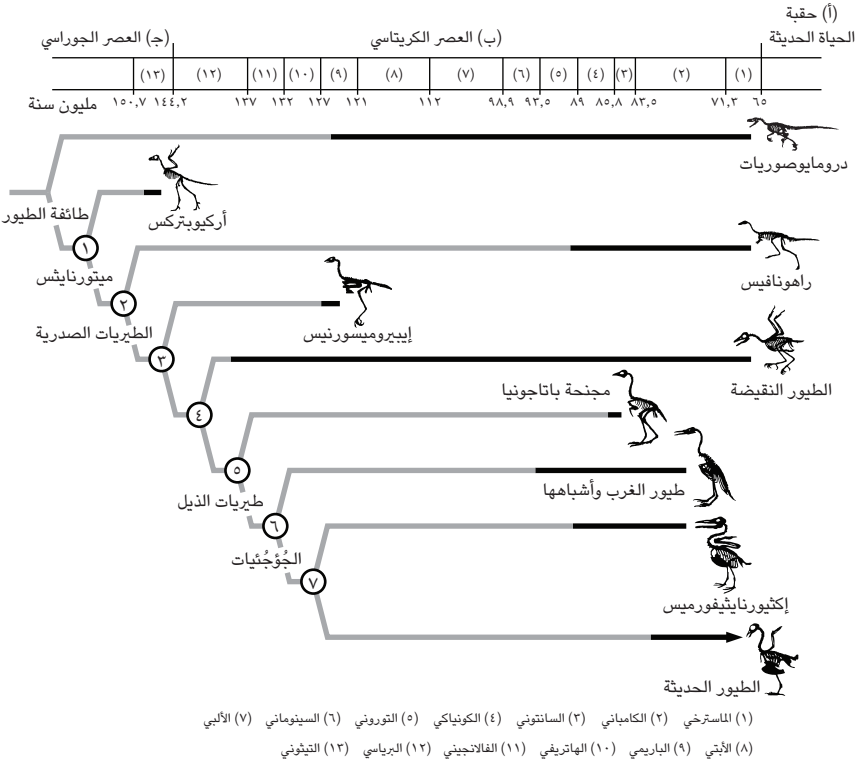
أرجل أركيوبتركس الخلفية هي التي حسمت الأمر. لدى أركيوبتركس تكوين كاحلي فريد يُسمى مفصل منتصف الرسغ، وهو لا يوجد إلا لدى الديناصورات والطيور، وأقرب أقاربها؛ التيروصورات (الشكل ١٣-٣(ج)). تتكون معظم كواحل الفقاريات (بما في ذلك كاحلك) من سلسلة من صفوف عظام الكاحل، وبها مفصل بين عظم الظنبوب (قصبة الساق) والصف الأول من عظام الكاحل (عظم العَقِب وعظمة الكاحل). أما في الطيور والديناصورات والتيروصورات، فيقع مفصل الكاحل بين الصفَّين الأول والثاني من عظام الكاحل؛ لذلك يندمج كلٌّ من عظمة الكاحل وعظمة العَقِب في نهاية قصبة الساق. في المرة القادمة التي تأكل فيها أوراك الدجاج أو الديك الرومي، لاحظ الغطاء الغضروفي الصغير على طرف «مقبض» دبُّوس الدجاج. هذا هو الصف الأول من عظام الكاحل، وهي سمة ديناصورية موجودة في كل طائر معروف. إضافةً إلى ذلك، تمتلك جميع الطيور والديناصورات نتوءًا عظميًّا يبرز من عظمة الكاحل بمحاذاة مقدمة قصبة الساق، وهي

سمة ديناصورية أخرى فريدة من نوعها. إن أصابع قدم أركيوبتركس وأقدامه تشبه أصابع الديناصورات وأقدامها، أكثر مما تُشبه نظيراتها لدى معظم الطيور، كما أن إصبع قدمه الكبيرةَ لم تكن على الجانب المقابل ولم تكن قادرةً على إمساك الأغصان، على عكس معظم الطيور الجاثمة اليوم. علاوةً على ذلك، كان لأركيوبتركس مخلب إصبع متضخم مشابه لمخالب القطع التي كان يمتلكها فيلوسيرابتور وأقاربه.

ليس أركيوبتركس سوى ديناصور له ريش من معظم النواحي. وكل ما يميزه عن باقي الديناصورات مثل فيلوسيرابتور، هو انعكاس اتجاه إصبع القدم الكبيرة للإشارة خلفًا، وعدم وجود السطح المنشاري الشبيه بسكين تقطيع اللحم على حواف أسنانه، وامتلاكه ريش طيران غير متناسق، وأذرعًا كبيرة نسبيًّا. وفي العقود القليلة الماضية، أسفرت المئات من الاكتشافات المذهلة (خاصة من طبقات العصر الكريتاسي السفلي في مقاطعة لياونينج في الصين) عن مختلف أنواع الطيور البدائية ذات الأسنان، المحفوظة جيدًا مع الحفاظ على سلامة ريشها، وبعضها كان لا يزال يحتفظ بألوان ريشها الأصلية، إضافةً إلى بعض العينات النادرة التي كانت تضم محتويات المعدة أو الأعضاء الداخلية محفوظةً. علاوةً على ذلك، تكشف هذه الطبقات نفسها عن مجموعة من الديناصورات ليست من الطيور، مما يشير إلى أن الريش موجود في جميع مجموعات الديناصورات (ومنذ عام ٢٠١٨ وجدنا عينات من التيروصورات توضح امتلاكها هي أيضًا للريش). معظم هذه الديناصورات التي ليست من الطيور ليس لديها ريش للطيران، وإنما تمتلك الريش لغرضه الأصلي، وهو العزل الحراري. هذا هو الحال تمامًا بالنسبة للطيور الحديثة التي تستخدم نسبة صغيرة فقط من ريش أجنحتها وريش الذيل للطيران. فمعظم ريشها هو ريش جسدي مثل الريش السفلي الذي يحتفظ بحرارة أجسادها.

لقد كان أركيوبتركس هو أول «حلقة مفقودة» تثبت تطور الطيور من الديناصورات، لكننا توصلنا الآن إلى سرب ضخم من الطيور الوسيطة الأكثر تقدمًا من أركيوبتركس، التي تُعَد بمثابة خطوات على طريق الانتقال والتحول إلى الطيور الحية (الشكل ١٣-٤). منها على سبيل المثال راهونافيس، الذي ينتمي إلى العصر الكريتاسي في مدغشقر، والذي كان يمتلك مخلبًا يشبه المنجل على كلتا قدمَيه الخلفيتَين، وذيلًا عظميًّا طويلًا، وأسنانًا، والعديد من الصفات الديناصورية الأخرى. بالرغم من ذلك، فعلى غرار الطيور الأكثر تقدمًا، نجد أنَّ وركَيه تندمجان في فقرات الظهر السفلية لتشكيل تركيب العَجُز المركب، ولديه ثقوب في فقراته بدلًا من الأكياس الهوائية الموجودة في الطيور الحية. وعلاوةً على ذلك، فإنه يمتلك مقابض ريش (نتوءات يلتصق فيها الريش بالعظم) على ذراعيه وأصابعه، مما

يدل على أنه امتلك ريشًا قويًّا للطيران، وربما كان طائرًا أفضل من أركيوبتركس. وإحدى أكثر صفاته الشبيهة بالطيور هي عظمة الشظية؛ إذ لم تَعُد هذه العظمة الصغيرة — التي تمتدُّ موازيةً لقصبة الساق — تصل إلى الكاحل كما هو الحال لدى أركيوبتركس، بل صارت مدبَّبة في نهايتها، ولا تتصل بشيء. عندما تأكل دبُّوس دجاج أو ديك رومي، فستجد هذا العظم — الشبيه بعود أسنان صغير — لا يتصل بالكاحل، ولكنه مغروس في عضلات الساق.



شكل ١٣-٤: شجرة عائلة طيور حقبة الحياة الوسطى، مع التركيز على بعض الاكتشافات الحفرية الحديثة. (إهداء من لويس إم تشيابي)

على بعد خطوة واحدة من راهونافيس، نجد طائر كونفوشيوسورنيس الصيني، الذي يعود إلى العصر الكريتاسي المبكر. إنه طائر متقدم بدرجة طفيفة؛ إذ اختُزِلت عظام الذيل العديدة المنفصلة التي كانت توجد لدى أركيوبتركس والطيور والديناصورات البدائية إلى عظام الشاخص الذيلي، التي هي في مثل صِغَر نظيرتها لدى الطيور الحديثة. وعند الخطوة التالية صعودًا نجد مجموعة كاملة من الطيور السائدة في العصر الكريتاسي؛ الطيور النقيضة. وهي أكثر تقدمًا من أركيوبتركس أو راهونافيس أو طائر كونفوشيوسورنيس؛ إذ تمتلك عددًا أقل من فقرات الجذع، وتمتلك عظمة ترقوة مرنة، وتندمج عظام يدها لتشكيل العظم المشطي الرسغي والجُنيْح، ولديها مفصل كتف أفضل بكثير للطيران (انظر الشكل ١٣-٤).

نأتي بعد ذلك إلى الطيور الأكثر تقدمًا من العصر الكريتاسي، مثل فورونا من مدغشقر، ومجنحة باتاجونيا من الأرجنتين، والطيور المائية المعروفة، مثل طائر الغرب وطائر الإكثور من الطبقات الطباشيرية في كانساس (انظر الشكل ١٣-١). يقل تشابه هذه الطيور مع الديناصورات، ولديها العديد من الصفات التي تتشابه فيها مع الطيور، بما في ذلك فقدان ضلوع البطن، وإعادة توجيه عظم العانة للخلف بالتوازي مع عظم الإسك لتشكيل «ورك الطائر» الكلاسيكية، ووجود فقرات أقل في الجذع، وخصائص إضافية لليد والكتف. وفوق هذا كله، كان لطائر الإكثور عظمة قص قوية على عظمة الصدر لدعم عضلات الطيران القوية، وكان لا يزال يمتلك أسنانًا!

وأخيرًا، نصل إلى أول أفراد طائفة الطيور، أو الطيور الحديثة. إن الكثير من صفات الطيور التشريحية لا يوجد في أسلافها، ومن ذلك فقدان الأسنان (أخيرًا)، والاندماج الكامل لعظام الساق والصف الأول من عظام الكاحل لتشكيل ما يُسمى بالعظم الرسغي المشطي. إنَّ التسلسل الانتقالي من الطيور إلى الديناصورات أحد أكثر التسلسلات التي وُثِّقت بشكلٍ كاملٍ في السجل الأحفوري، لكن تحديد الخط الفاصل بين الطيور والديناصورات يُعَد مهمة شبه مستحيلة؛ لأننا نرى الطيور الآن على أنها مجموعةٌ فرعيةٌ من الديناصورات؛ ومن ثَم فإن الديناصورات لم تنقرض.

هل فقدت الطيور أسنانها بالكامل؟ قد يظن المرء ذلك لأننا لا نرى أي أسنان على الإطلاق في الطيور الحية الآن، وهي تمتلك منقارًا قرنيًّا بدلًا من ذلك. تنعكس هذه الفكرة في مقولة «نادر مثل أسنان الدجاجة» (أي نادر جدًّا حتى إنه لا يوجد أبدًا). بالرغم من

ذلك، فقد أجرى إي جيه كولر وسي فيشر تجربة رائدة في علم الأجنة وعلم الوراثة في عام ١٩٨٠، وكانت النتيجة مفاجئة. قام كولر وفيشر بزرع غشاء فم فأر مختبر في منقار فرخ كان ما يزال ينمو. تركا الفرخ ينمو، وأصابهما الذهول لدى اكتشافهما أنه بطريقة ما نمت أسنان الفرخ مرة أخرى! ولم تكن هذه الأسنان بأسنان فأر على الإطلاق، بل كانت تلك الأسنان المخروطية البسيطة للديناصورات المفترسة، وطيور العصر الكريتاسي التي كانت لا يزال لديها أسنان. يبدو أنَّ الطيور لا تزال تمتلك في جيناتها المعلومات اللازمة لصنع الأسنان الديناصورية، لكن جيناتها التنظيمية كبحت هذه المعلومات فلا يمكن التعبير عنها أبدًا، إلا عندما يتلاعب بها العلماء في التجارب العلمية.

لا يزال الكثير من الجينات القديمة موجودًا في الحيوانات، مثل جينات الذيل لدينا (الفصل الخامس)، أو جينات أصابع القدم الجانبية للحصان (الفصل الرابع عشر). تظهر هذه الجينات على أنها «ارتدادات تطورية» أو تأسلات، مما يوضِّح أنه حتى إذا لم تَعُد التعليمات الخاصة لعمل صفةٍ ما ضرورية، فلا يزال من الممكن ألَّا يتخلص منها الكائن الحي خلال تطوره. فربما يكتفي بدلًا من ذلك بإسكات الجينات الخاصة بها. منذ تجربة كولر وفيشر الشهيرة، وجد العلماء الكثير من جينات الديناصورات الأخرى التي كُبِحت في الطيور، ولكن يمكن التعبير عنها إذا تخلصنا من أمر الإغلاق. تمكنت إحدى الدراسات من التلاعب بجينوم الفرخ، كي يُنمِّي الطائر ذيلًا عظميًّا ديناصوريًّا طويلًا، مثل ذيل أركيوبتركس، وليس الشاخص الذيلي القصير الذي يوجد لدى الطيور الحديثة. وعدَّل الباحثون في تجربة أخرى من جينات الأفرخ؛ بحيث بدت أقدامها ديناصورية على عكس أقدام الطيور. والأكثر إثارة للدهشة هو التلاعب الجيني بالجينات الخاصة بفم الطائر، والذي أدى إلى فم ديناصوري بأسنان بدلًا من المنقار غير المُسنَّن للطيور الحديثة.

الخلاصة أننا نمتلك سجلًّا أحفوريًّا ممتازًا يوضح الانتقال من فيلوسيرابتور إلى أركيوبتركس إلى الطيور الحديثة. إنها لحقيقة ثابتة أن الطيور تنحدر من ديناصورات صغيرة مفترسة، ويمكننا أيضًا أن نقول إن «الطيور ديناصورات حية». علاوةً على ذلك، فنحن نعرف المفاتيح الجينية التي استُخدِمت لتحويل الهيكل العظمي للطيور خلال هذا التاريخ التطوري. ففي المرة القادمة التي تنظر فيها إلى أعلى وتسمع تغريدًا، أو ترى كائنًا ذا ريش يطير بالقرب منك، استمتع بالديناصورات التي لا تزال تزدهر على كوكبنا.

قراءات إضافية

Chiappe, Luis M., “The First 85 Million Years of Avian Evolution,” *Nature* 378 (1995): 349–355.

Chiappe, Luis M. and Gareth J. Dyke, “The Mesozoic Radiation of Birds,” *Annual Review of Ecology and Systematics* 33 (2002): 91–124.

Chiappe, Luis M. and Lawrence M. Witmer, eds., *Mesozoic Birds: Above the Heads ofDinosaurs*, Berkeley: University of California Press, 2002.

Currie, Philip J., Eva B. Koppelhus, Martin A. Shugar, and Joanna L. Wright, eds., *Feathered Dragons: Studies on the Transition from Dinosaurs to Birds*, Bloomington: Indiana University Press, 2004.

Dingus, Lowell and Timothy Rowe, *The Mistaken Extinction*, New York: W. H. Freeman, 1997.

Gauthier, Jacques A., “Saurischian Monophyly and the Origin of Birds,” In *The Origin of Birdsand the Evolution of Flight*, ed., Kevin Padian, 1–56, San Francisco: California Academy of Sciences, 1986.

Gauthier, Jacques A. and Lawrence F. Gall, eds., *New Perspectives on the Origin and Early Evolution of Birds*, New Haven, Conn.: Yale University Press, 2001.

Kollar, E. J. and C. Fisher, “Tooth Induction in Chick Epithelium: Expres–sion of Quiescent Genes for Enamel Synthesis,” *Science* 207, no. 4434 (1980): 993–995.

Norell, Mark A., *Unearthing Dragons: The Great Feathered Dinosaur Discoveries*, New York: Pi Press, 2005.

Ostrom, John H., “*Archaeopteryx* and the Origin of Birds,” *Biological Journal of the Linnaean Society* 8, no. 2 (1976): 91–182.

_____, “*Archaeopteryx* and the Origin of Flight,” *Quarterly Review of Biology* 49, no. 1 (1974): 27–47.

Padian, Kevin and Luis M. Chiappe, “The Origin of Birds and their Flight,” *Scientific American* 278, no. 2 (February 1998): 28–37.

Prum, Richard O. and Alan H. Brush, “Which Came First, the Feather or the Bird?” *Scientific American* 288 (March 2004): 84–93.

Shipman, Pat, *Taking Wing:* Archaeopteryx *and the Evolution of Bird Flight*, New York: Simon & Schuster, 1988.

الفصل الرابع عشر

حصان! حصان! مملكتي مقابل حصان!

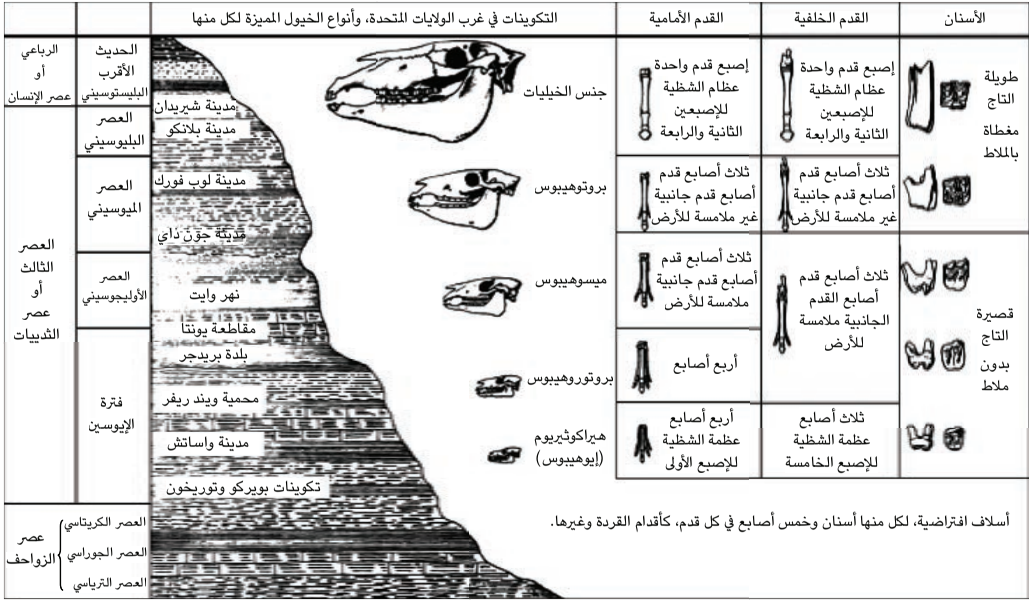
تطور الخيول

يُعَد السجل الجيولوجي لأصل الحصان أحد الأمثلة الكلاسيكية على التطور.

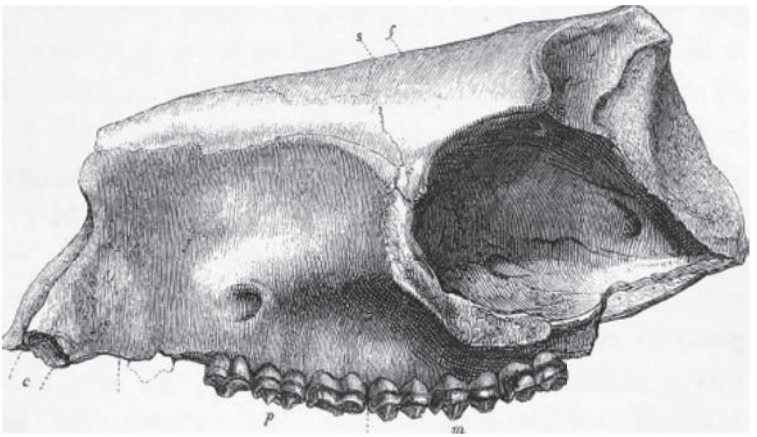
ويليام ديلر ماثيو، ١٩٢٦

كان التسلسل التطوري للخيول من أول التسلسلات التطورية التي اكتُشِفت، وبحلول عشرينيات القرن الماضي، أصبح الرسم البياني الكلاسيكي لتطور الخيول (الشكل ١٤-١) رائجًا، وصار ركنًا أساسيًّا في جميع الأمثلة التي يُستدَل بها على التطور. ومن المفارقات أن تلك الصورة الأيقونية المألوفة قد عفا عليها الزمن تمامًا. فقد اكتُشِفت الآلاف من حفريات الخيول في آخر ٩٥ عامًا، وهذه الحفريات تقدم عن تطور الخيول صورة أفضل بكثير وأكثر تفصيلًا، وهي أيضًا غاية في الاختلاف. لكن، دعونا نؤجل ذلك حتى نهاية هذه الحكاية.

تبدأ القصة في إنجلترا عام ١٨٣٩ خلال ذروة الهوس الإنجليزي بتجميع ما يتعلق بالتاريخ الطبيعي. كان المحترم، زميل الجمعية الجيولوجية، المركيز ويليام ريتشاردسون، وهو جامع من النبلاء، يُنقِّب في ساحل مقاطعة كِنت في الطبقات السفلية من عصر الإيوسين، وتحديدًا في تكوينات لندن كلاي الشهيرة. كان يتوقع «وجود أدلة قوية تشير إلى شكل من أشكال الحياة الحيوانية، سواء كان حيوانًا أو طائرًا قُدِّر له أن يُحفَظ جيدًا، بفضل ظروف تأمين وفيرة تُتاح له». كان محظوظًا هذه المرة لأنه وجد النصف الأمامي من جمجمة صغيرة (الشكل ١٤-٢)، بالإضافة إلى أجزاء من طائر أحفوري.



شكل ١٤-١: الرسم التخطيطي لتطور الحصان، الذي أعدَّه ويليام ديلر ماثيو عام ١٩٢٥، والذي يوضح الخصائص العامة، كزيادة حجم الجسد، وزيادة طول الخَطْم، ووجود أسنان خدية ذات تاج أعلى، وسيقان أطول، واختزال لأصابع القدم الجانبية. تلك هي الخصائص التي كشفت عنها الحفريات القليلة المعروفة آنذاك. في ذلك الوقت، أشارت الحفريات القليلة المتاحة إلى وجود سلالة واحدة واتجاه خطِّي واحد من التغيير. (من ويليام ديلر ماثيو، «تطور الحصان: سجلٌّ وتفسيره»، «كوارترلي ريفيو أوف بيولوجي» ١، رقم ٢ [أبريل ١٩٢٦]: ١٣٩–١٨٥)



شكل ١٤-٢: جمجمة ريتشارد أوين الأصلية من نوع هايراكوثيريوم ليبورينوم، من مجموعات متحف التاريخ الطبيعي في لندن. (من ريتشارد أوين، «وصف البقايا الأحفورية لحيوان ثديي (هايراكوثيريوم ليبورينوم)، وطائر (ليثورنيس فالتشرينيس)، من تكوينات لندن كلاي»، «ترانزأكشنز أوف ذا جيولوجيكال سوسايتي أوف لندن»، السلسلة ٢، ٦ [١٨٤١]: ٢٠٣–٢٠٨)

قُدِّمتْ هذه الجمجمة الصغيرة لريتشارد أوين في المتحف البريطاني، الذي كان أبرز عالم حيوان وعالم حفريات في إنجلترا آنذاك. اشتهر أوين بوصفه لأول الديناصورات، بل إنه هو من صاغ كلمة «ديناصور». كان قد عمل على العديد من الحفريات الشهيرة، بما في ذلك حفريات كسلان الأرض العملاق المنقرض، وحفريات داروين الغريبة التي عاد بها من أمريكا الجنوبية حينما كان في رحلة البيجل. بدت الجمجمة الصغيرة بعينَيها الكبيرتَين وخَطْمها القصير أشبهَ «بجمجمة أرنب بري، أو جمجمة نوع آخر من القوارض الصغيرة». وبالرغم من ذلك، كان من الواضح أن الأسنان المستطيلة المنخفضة ذات الشرفات الصغيرة تنتمي لأحد الثدييات البدائية ذات الحوافر، ومن بين حفنة حفريات الثدييات المعروفة آنذاك، كانت هذه الجمجمة أقرب في الشبه إلى جمجمة كيروبوتاموس (حيوان ثديي ذو حوافر وأصابع قدم زوجية). أدرك أوين على نحو صحيح أن الترتيب الغريب للشرفات والنتوءات أكثر تشابهًا مع الوَبَريات الحية؛ لذلك أطلق أوين على الجمجمة الصغيرة اسم هايراكوثيريوم ليبورينوم، أي: «حيوان وبري شبيه بالأرنب».

بعد سنوات قليلة، كان أوين يصف بعض الثدييات الأخرى من عصر الإيوسين، لكنها كانت من جزيرة وايت الواقعة على الساحل الجنوبي لإنجلترا هذه المرة. وبعد أن وصف الحفريات، ناقش بعض الأفكار التي كان قد اقترحها قبله كوفيير في عام ١٨١٧ وإتش إم دي دي بلاينفيل في عام ١٨١٦. كان كِلا عالِمَي الحيوان الفرنسيين يقولان إن الثدييات ذات الحوافر يمكن تصنيفها من خلال عدد أصابع قدمها. فبعضها يمتلك عددًا زوجيًّا من أصابع القدم (اثنتان أو أربع)، وينتمي إلى مجموعةٍ واحدة، وهي شفعيات الأصابع؛ والبعض الآخر يمتلك عددًا فرديًّا (ثلاث أو واحدة)، وينتمي إلى مجموعة مختلفة. في عام ١٨٤٨، تبنَّى أوين تجميع دي بلاينفيل للخيول ووحيد القرن والسناديَّات والوبريات في مجموعةٍ واحدة، وصاغ لها اسم مفردات الأصابع. غير أنه لم يضع صغيره هايراكوثيريوم في هذه المجموعة؛ لأنه لم يكن لديه سوى الجمجمة، ولم يكن يمتلك عظام القدم حتى ذلك الوقت.

العجيب في الأمر أنَّ هايراكوثيريوم كان هو أقدم حفريةٍ لمفردات الأصابع المعروفة آنذاك وأكثرها بدائية، لكن ذلك لم يُعرَف حتى سبعينيات القرن التاسع عشر. بدلًا من ذلك، تركز اهتمام العلماء في موضع آخر. ففي عام ١٨٥٩، نشر تشارلز داروين كتاب «أصل الأنواع»، وانقلب علم الأحياء رأسًا على عَقِب. ومع ازدياد حدَّة النقاشات في الأوساط العلمية، أشار النقاد إلى نقص الأمثلة الجيدة على تسلسلات الحفريات التي تؤدي إلى الحيوانات الحية. كانت هناك أمثلةٌ مذهلةٌ للحفريات الانتقالية، مثل أركيوبتركس، الذي هو نصف طائر ونصف ديناصور، لكن سِجلَّ تطوُّر الثدييات الأحفورية في أوروبا كان غير مكتملٍ على الإطلاق. بالرغم من ذلك، بدأت بعض الأنماط في الظهور. ففي عام ١٨٧٢، أوضح توماس هنري هكسلي، أشد المدافعين عن داروين، أنه توجد ثلاث حفريات للثدييات من أوروبا، إذا رُتِّبتْ وفقًا لأعمارها فإنها تُشكِّل تسلسلًا يؤدي إلى الحصان الحديث؛ جنس الخيليات. إحدى هذه الحفريات تعود إلى جنس باليوثيريوم، الذي يشبه حيوان التابير، وينتمي إلى عصر الإيوسين، وقد اكتُشِف في الطبقات الجبسية الوسطى لعصر الإيوسين في مونتمارت في شمال باريس في فرنسا، ووصفه كوفيير؛ إضافةً إلى حفرية الحصان أنكيثيريوم من عصر الميوسين المبكر، وحفرية الحصان الراعي هيباريون من العصر الميوسيني المتأخر. في العام التالي، درس عالم الحفريات الروسي فلاديمير كوفاليسكي هذه الحفريات نفسها، وكان أكثر ثقة في أنها تمثل التسلسل السلفي للحصان الحديث. كان كلٌّ من هكسلي وكوفاليسكي يدرك أن التسلسل مُرقَّع وغير مكتمل. فلم يكن هناك

سوى أربع من حفريات الخيول، وكانت توجد بينها فجوات كبيرة. لكنهما استنتجا على نحو صحيح أن الخيول نشأت من حيوان أكثر شبهًا بالتابير له ثلاث أصابع، وأسنان منخفضة التاج للغاية.

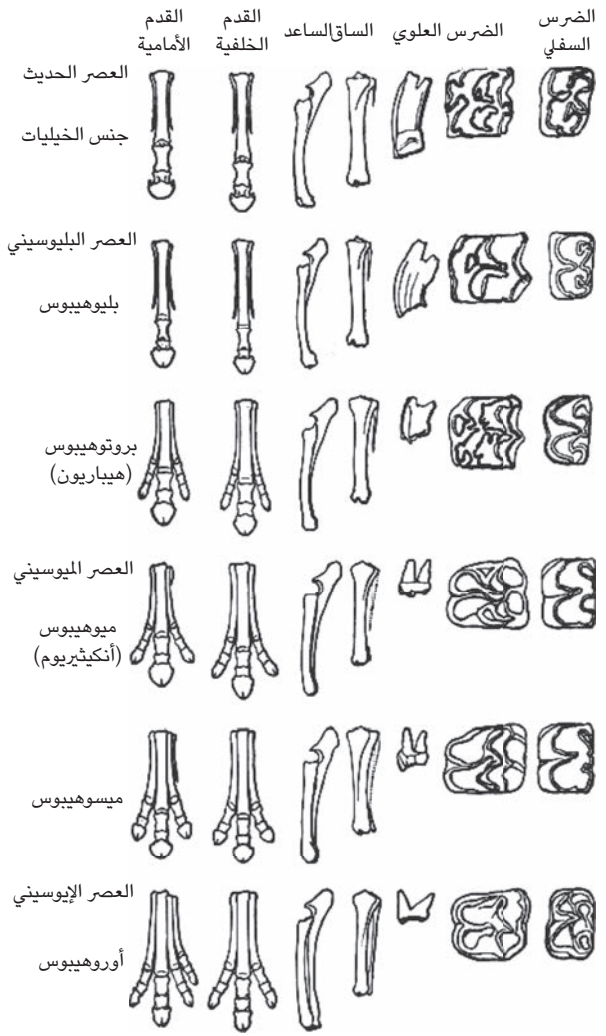
ومن سوء حظ هؤلاء العلماء الأوروبيين أنَّ التسلسل الذي توصلوا إليه لم يكن يمثل الخط الرئيسي لتطور الخيول؛ إذ وقع ذلك في مكان آخر. فأقارب تلك الخيول الأوروبية فروع جانبية مهاجرة من أمريكا الشمالية حيث وقع معظم تاريخ الخيول. كان جوزيف لايدي أول من وصف حفريات الخيول من موقع «بيج بادلاندز» في ساوث داكوتا في عام ١٨٥٠. كان قد أشار إلى هذه الحفريات في البداية على أنها من جنس باليوثيريوم من أوروبا، ثم ألحَقَها بجنس أنكيثيريوم، دون أن يدرك أنها كانت أشكالًا جديدة غير معروفة في أوروبا. وبحلول عام ١٨٦٩، كان لايدي قد وصف بضعًا من حفريات الخيول التي عُثِر عليها في جميع أنحاء غرب أمريكا الشمالية.

وقام بالخطوة التالية عالمُ الحفريات في جامعة ييل أوثنيْيل تشارلز مارش. ففي عامَي ١٨٧١ و١٨٧٢، بدأ مارش في العثور على خيول من عصر الإيوسين في جبال روكي. ووجد بعد ذلك خيولًا أخرى ملأت بعض الفجوات، وبدأ في استنتاج التغييرات التي طرأت على أسنانها وأطرافها وأقدامها (الشكل ١٤-٣(أ)) من خلال الهياكل العظمية الأكثر اكتمالًا التي حصل عليها، والتي لم يرَها لايدي ولا أي عالم حفريات أوروبي. وبحلول عام ١٨٧٤، كان مارش يفخر بأن «خط النَّسَب يبدو مستقيمًا، وأن البقايا المعروفة الآن تزوِّدنا بجميع الأنواع المهمة». في عام ١٨٧٣، وصف منافسُه اللدود إدوارد درينكر كوب العيناتِ التي تلقاها من طبقات عصر الإيوسين المبكر في وايومينج، على أنها تنتمي إلى جنس إيوهيبوس (حصان الفجر). وبعد بضع سنوات، أدرك كوب أنه المكافئ الأمريكي لهايراكوثيريوم، وقام بوضع إيوهيبوس في قاعدة تطور الحصان.

أبحر توماس هنري هكسلي إلى أمريكا خلال عيدها المئوي عام ١٨٧٦ لإلقاء محاضرات عن موضوعات في التاريخ الطبيعي. كان قد أعَد لإلقاء محاضرات تعليمية عن تطور الحصان في أوروبا، بناءً على الدراسات التي أجراها هو وكوفالسكي. غير أنه قضى يومَين مع مارش متفحصًا ما جُمِع في جامعة ييل، ووجد أن أدلة مارش كانت مقنعة. وإليك ما وثَّقه ابنه وكاتب سيرته، ليونارد هكسلي، في الفقرة التالية:

> عند كل سؤال عما إذا كانت لديه عينة توضح نقطة ما، أو تجسد الانتقال من أشكالٍ سابقة وأقل تخصصًا إلى أشكالٍ لاحقة وأكثر تخصصًا، كان البروفيسور

مارش يلجأ ببساطةٍ إلى مساعده ويطلب منه جَلْب صندوق رقم كذا، إلى أن استدار هكسلي ناحيته وقال: «أعتقد أنك ساحر؛ فكل ما أبتغيه، تستحضره أنت في الحال.»



(أ)

(ب)

شكل ١٤-٣: (أ) الرسم التخطيطي الشهير الذي وضعه مارش للتغيرات التي طرأت على أطراف الخيول الأحفورية في أمريكا الشمالية وأسنانها، و(ب) الرسم الكاريكاتيري الشهير لهكسلي «إيوهومو يمتطي إيوهيبوس». (من أوثنيْيل تشارلز مارش، «الخيول الكثيرة الأصابع الحديثة والمنقرضة»، «أمريكان جورنال أوف ساينس» ١٧ [١٨٧٩]: ٤٩٩–٥٠٥)

وتحدَّث مارش نفسه عن هذا اللقاء فيما بعد قائلًا:

> ثم أخبرني أن هذه المعلومات جديدة عليه، وأن حقائقي أثبتت تطوُّر الحصان بشكلٍ لا يرقى إليه الشك، وأشارت للمرة الأولى هذه الحقائق إلى خط مباشر لحيوان موجود. وبفضل تواضعه النابع عن عظَمةٍ حقيقية، تخلَّى عن آرائه عندما عرف الحقائق الجديدة، وتبنَّى نتائجي.

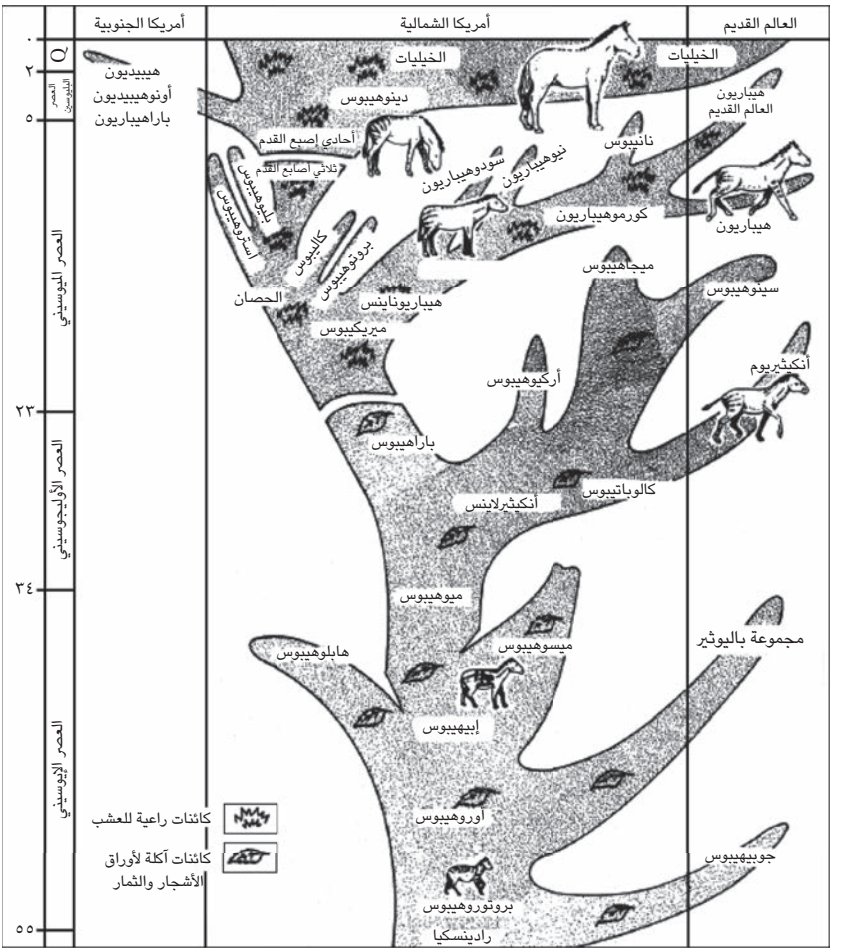
كتب هكسلي لاحقًا إلى مارش يقول: «كلما تأملت الأمر، ازداد لي جلاءً أن عملك العظيم يحسم مسألة نَسَب الحصان.»

وأعاد هكسلي بعد ذلك كتابة محاضرته مستخدمًا الرسومات التي قدمها مارش؛ كي يتراجع عن أفكاره القديمة ويقدم الأدلة الجديدة. لقد تطوَّرت الخيول في أمريكا، وكانت نماذجه الأوروبية عبارةً عن خيولٍ هاجرت عرَضًا من العالم الجديد. شعَر هكسلي

بسعادةٍ غامرةٍ بأدلة مارش لأنها لم تُظهِر التغيرات في الأسنان فحسب، بل في الجمجمة والأطراف أيضًا وحتى أصابع القدم. أصبح نسَب الحصان أحد أمثلته المفضَّلة للسلاسل التطورية، وقد استُخدِم بشكلٍ حصريٍّ تقريبًا في معظم المؤلَّفات التي كُتِبت عن التطور، أو عن الحفريات منذ ذلك الحين.

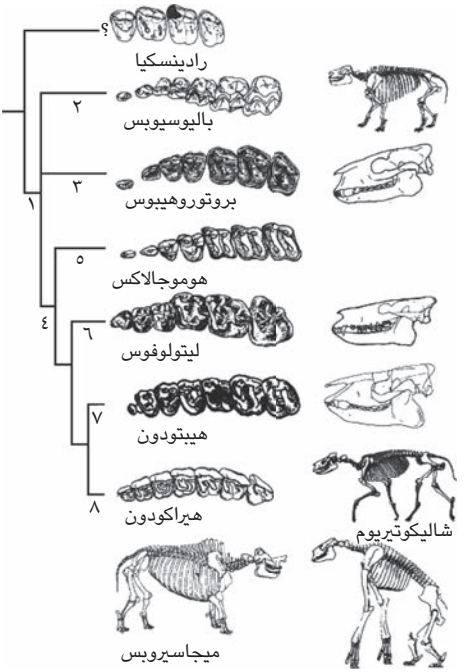
وعلى الرغم من ذلك، لم تخلُ هذه السلسلة التطورية من العوائق. ففي الفترة منذ سبعينيات القرن التاسع عشر حتى عشرينيات القرن العشرين، كان التسلسل الأوروبي المكوَّن من: هايراكوثيريوم–أنكيثيريوم–هيباريون–الخيليات، والتسلسل الأمريكي المكوَّن من: إيوهيبوس–أوروهيبوس–ميسوهيبوس–بليوهيبوس– الخيليات؛ بمثابة تقديراتٍ أوليةٍ جيدةٍ لتطور الخيول، لكنهما كانا مبنيَّين على عيناتٍ غير مكتملةٍ على الإطلاق. يتلاءم هذان التسلسلان مع المفهوم السائد للتطوُّر الخطي؛ فهو يتجسَّد في سلالةٍ واحدةٍ تسير عبر الزمن من إيوهيبوس إلى الخيليات. ولا بأس بهذا المثال إن أردنا التعبير عن الاتجاهات التي اتخذتها كلٌّ من الأسنان والجمجمة والأطراف وأصابع القدم عبر الزمن بطريقةٍ بسيطة. لكن عشرات الأنواع الإضافية من حفريات الخيول التي جُمِعت في القرن الماضي، والتي تُعدُّ بعشرات الآلاف من الحفريات، أثبتَت أن تطوُّر الحصان ليس خطًّا بسيطًا من إيوهيبوس إلى الخيليات، بل شجرة عائلة كثيفة ومعقدة يوجد فيها العديدُ من السلالات المختلفة التي تعيش متزامنةً (الشكل ١٤-٤). إن نمط شجرة العائلة الكثيفة المتفرعة هذا ينطبق على جميع السلالات المعروفة ولها سجل أحفوري جيد؛ وحيد القرن والجِمال والزرافات (الفصل الخامس عشر)، والفيلة (الفصل السادس عشر)، والعديد من السلالات الأخرى، بما في ذلك البشر (الفصل الرابع والعشرين). غير أنَّ تلك النظرة العتيقة الخطية المبسطة لتطور الخيول لا تزال قائمة (انظر الشكل ١٤-١)، حتى في المراجع العلمية ووسائل الإعلام عبر الإنترنت، مهما تعددت محاولات علماء الحفريات لتصحيحها. لا شك أن الرسم التخطيطي الخطي البسيط يسهل فهمه وتذكره، لكنه يمثل أيضًا فكرة ملائمة لمفهوم ما قبل الداروينية عن «سلسلة الوجود» أو «سُلَّم التطور». يبدو أنَّ المفاهيم القديمة والعتيقة التي لا تزال منتشرة (مثل اسم برنتوصور، والذي ثبت عدم صحته في عام ١٩٠٣) لا تختفي أبدًا من العقل الشعبي، بغضِّ النظر عن مقدار الأدلة الجديدة التي تُكتشَف ويُعلَن عنها على نطاق واسع.

لقد زادت معرفتنا كثيرًا عن أولى خيول العصر الإيوسيني منذ عشرينيات القرن الماضي. عندما ظهرت الخيول لأول مرة، كانت شديدة الشبه بأقرب أقربائها؛ التابير



شكل ١٤-٤: رؤية حديثة لتطور الخيول توضح الطبيعة المتفرعة والكثيفة لتاريخها، وهي النظرة التي تبيَّنت بعد العثور على العديد من الحفريات، وتسمية أنواع جديدة. غير أن الاتجاهات العامة لوجود أسنان ذات تيجان أعلى (المُوضَّحة من خلال رموز التغذي على أوراق الشجر أو الرعي على الأعشاب)، وحجم أكبر، وأطراف أطول، وأصابع قدم متقلصة، لا تزال صحيحة. (رسم سي آر بروثيرو)

ووحيد القرن، حتى إنَّ تمييزها كان يستلزم مهارة كبيرة (الشكل ١٤-٥). إنني لا أزال أتذكر بوضوح مشروعي الأخير في صف علم الحفريات الفقارية في جامعة كاليفورنيا في



شكل ١٤-٥: التشعب التطوري لمفردات الأصابع، موضحًا الفروع الرئيسية للخيول، ووحيد القرن، والتابير، ووحشيات الحصباء، البرونتوثيريات (ميجاسيروبس)، والمجموعات المنقرضة الأخرى. كما يتضح من تيجان أسنان الخد الأيسر العلوية، فإن تفاصيل القمم والشرفات متشابهة للغاية بين رادينسكيا، وباليوسيوبس الذي ينتمي إلى البرونتوثيريات المبكرة، والحصان البدائي بروتوروهيبوس (الذي سُمي لفترة طويلة هيراكوثيريوم)، والموروبومورف البدائي هوموجالاكس، وليتولوفوس من وحشيات الحصباء، والهيبتودون من التابيريات، ووحيد القرن البدائي هيراكودون. وبجانب أسنان الخد العلوية، تظهر جماجم نموذجية للخيول والتابير ووحيد القرن، مما يؤكد على مدى تشابهها جميعًا في المراحل المبكرة من تطور مفردات الأصابع. نقاط التفرع المرقمة كما يلي: (١) مفردات الأصابع (٢) تيتانوثيريومورفا (٣) هيبومورفا (٤) موروبوفورما (٥) إيسيكتلوفيديا (٦) شاليكوثيريوديا (٧) تابيروديا (٨) الكركدنيات. (أعيدَ رسمه من عدة مصادر بواسطة كارل بويل)

ريفرسايد عام ١٩٧٥. أعطى أستاذي، مايك وودبرن، لكل فرد في الصف مزيجًا عشوائيًّا من فكوك وأسنان تنتمي إلى ثدييات عصر الإيوسين المبكر من هضبة بيجهورن بايزين في بلدة إمبلم الكائنة بولاية وايومينج، على سبيل المحاكاة لِمَا كنا سنجمعه لو أننا قمنا برحلة

هناك. وكانت إحدى أصعب المهام بالنسبة لي هي تمييز أسنان الخيول الأولى عن أسنان أقرب أقربائها؛ هوموجالاكس، وهو سلف لكلٍّ من التابير ووحيد القرن. ولا تقل المهمة عن ذلك صعوبةً إذا كان لديك إحدى الجماجم أو الفكوك النادرة لهذه الحيوانات. يمكن لأي طفلٍ اليومَ أن يُميِّز بين الحصان ووحيد القرن (وربما قد يتعرف على التابير في حديقة الحيوانات)، لكن قبل ٥٦ مليون عام كانا سيبدوان متطابقَين تقريبًا أمام أعيننا. إلى ذلك الحد تباعدَت هذه المجموعات الثلاث ذات الصلة الوثيقة على مدار الزمن، بينما كانت تتكيَّف مع بيئاتٍ مختلفة. وينطبق الشيء ذاته على مجموعاتِ مفردات الأصابع المبكرة الأخرى، مثل البرونتوثيريات. فقد كان آخر أفراد سلالتها حيواناتٍ ضخمةً شبيهة بالفيلة، ذات قرنَين عظميَّين ضخمين غير مدبَّبين على الأنف، لكن الأشكال الأولى (مثل لامبدوثيريوم) كانت كائنات بحجم الكلاب، لا يمكن تمييزها عن الحصان أو التابير أو وحيد القرن إلا بصعوبة شديدة. يمكننا الآن تتبع جميع مفردات الأصابع من العصر الإيوسيني المبكر إلى طبقات الباليوسين في منغوليا، حيث يبدو أن لها سلفًا مشتركًا ممثَّلًا في حفرية رادينسكيا (سُمِّيت على اسم الراحل ليونارد رادينسكي من جامعة شيكاجو، الذي كان رائدًا في أبحاث مفردات الأصابع المبكرة والتابير). ومن هناك، يبدو أن مفردات الأصابع ورادينسكيا ترتبطان ارتباطًا وثيقًا بمجموعةٍ من الثدييات القديمة ذات الحوافر تُسمَّى فيناكودونتس، ويمكن اقتفاء أثرها إلى أقدم الثدييات ذات الحوافر في العصر البليوسيني المبكر.

عندما ننتقل من الجذور إلى فروع شجرة العائلة، سرعان ما يواجهنا النَّسَب المشوَّش المحيط بحصانَي عصر الإيوسين المبكر؛ هيراكوثيريوم وإيوهيبوس. لقد كان يُنظَر إليهما على أنهما منفصلان، وأُعطيَ كلٌّ منهما اسمًا مختلفًا، واستمرَّ ذلك حتى عام ١٩٣٢، عندما قرَّر عالم الحفريات البريطاني السير كلايف فورستر كوبر أنهما الحيوان نفسه. ونظرًا لأن هيراكوثيريوم قد سُمِّي أولًا، فقد استُخدِم اسمه لوصف جميع خيول عصر الإيوسين المبكر في أمريكا الشمالية، وبقيَت هذه التسمية لعقود. (لا يزال عدد قليل من علماء الحفريات الأمريكيين يستخدمون هذا الاسم اليوم.) وبرغم ذلك، ففي عام ١٩٨٩، أعاد عالم الحفريات بالمتحف البريطاني جيري هوكر دراسة جميع حفريات هيراكوثيريوم البريطانية التي جُمِعت منذ تقرير أوين الأصلي. وتوصَّل من هذه الدراسة إلى أن هيراكوثيريوم لم يكن حصانًا حقيقيًّا على الإطلاق، وإنما كان مرتبطًا بمجموعةٍ شبيهةٍ بالحصان تسمَّى باليوثيريس، وهي معروفة جيدًا من أوائل ووسط عصر الإيوسين في أوروبا. فالخيول الحقيقية لم تظهر إلا في أمريكا الشمالية خلال معظم تاريخها، حتى هربت حيوانات مثل

أنكيثيريوم وهيباريون إلى أوراسيا في عصر الميوسين. بعد ذلك، نشر ديفيد فروهليش في عام ٢٠٠٢ تحليلًا مفصَّلًا لجميع أنواع الخيول الأمريكية من عصر الإيوسين المبكر، وخَلَص إلى أنَّ نوعًا واحدًا أو نوعَين فقط منها يمكن أن يوصَفا بالانتماء إلى الجنس إيوهيبوس، والذي لم يَعُد يُستخدَم بعد عام ١٩٣٢. تنتمي بقية خيول عصر الإيوسين المبكر إلى مجموعةٍ متنوعةٍ من الأجناس، بما في ذلك الأسماء القديمة، مثل بروتوروهيبوس وبليولوفوس، إضافةً إلى بعض الأجناس الجديدة، من بينها سيفرهيبوس وأريناهيبوس ومينيبوس. إن الإشارة إلى أولى خيول عصر الإيوسين أمر معقَّد. فلا يمكن تسميتها هيراكوثيريوم، ومعظمها ليست إيوهيبوس، بل هي في الحقيقة أجناس متعددة. غير أنَّ معظم الناس يكرهون التعقيد ويفضِّلون الحلول البسيطة؛ لذا فهم يعودون إلى الأسماء القديمة غير الصالحة؛ إما لأنهم نسخوا رسومًا قديمة، أو لأنهم لا يعرفون ما هو أفضل منها.

خلال ما تبقى من عصر الإيوسين، ازداد حجم الخيول قليلًا، كما هو الحال في كائنات مثل أوروهيبوس وإبيهيبوس، يليها ميسوهيبوس (انظر الشكل ١٤-٤). وتُعَد حفريات ميسوهيبوس شائعة، بالأخص في طبقات عصر الإيوسين العليا وطبقات عصر الأوليجوسين السفلى في بيج بادلاندز في ساوث داكوتا، وفي الطبقات الرسوبية ذات الصلة في نيبراسكا ووايومينج ومونتانا وكولورادو ونورث داكوتا. لقد قضيتُ أنا ونيل شوبين الكثير من الوقت في مشاهدة المئات من هذه الخيول المتحفرة في المتحف الأمريكي للتاريخ الطبيعي، عندما كنا طلابًا هناك. ووجدنا أن الصورة المبسطة القديمة للتطور الخطي من ميسوهيبوس إلى ميوهيبوس كانت خاطئة. وبدلًا منها، توجد خمسة أنواع مختلفة على الأقل من ميسوهيبوس، وأربعة من ميوهيبوس، وفي مستوًى واحد في الصخور بالقرب من بلدة لاسك في وايومينج، وجدنا ثلاثة أنواعٍ من ميسوهيبوس، ونوعَين من ميوهيبوس كانت تعيش معًا في نفس المكان والزمان. لقد بدا تطوُّر الخيول بسيطًا وخطِّيًّا عندما لم نكن نعرف إلا عددًا قليلًا من الحفريات، ولكن مع جَمْع مجموعاتٍ كبيرةٍ من العينات والتحليلات التفصيلية، شكَّلت الأنواع شجرة عائلة كثيفة متفرعة تتميز بتداخُل زمني للعديد من السلالات. كان ميسوهيبوس بحجم كلب الرعي الألماني، وكان ميوهيبوس بحجم الكلب الدنماركي الضخم، ولديه خَطْم أطول من أوروهيبوس، والعينان أكبر قليلًا وأكثر تراجعًا على الوجه، والدماغ أكبر. في ميسوهيبوس، كانت الأضراس أكثر تطورًا بالفعل، مع وجود قمم متقاطعة متطورة لتقطيع الأوراق. وكان لدى كِلا الحصانين أرجل أطول وأكثر نحافة من الأسلاف الأوائل، مع ثلاث أصابع فقط في كل يد وقدم، وكانت

أصابع القدم الجانبية أصغر بكثيرٍ من إصبع القدم الوسطى الحاملة للثُّقَل. تصبح هذه الإصبع الوسطى عريضةً في ميوهيبوس، لدرجة أن نهايتها العلوية تلامس عظم الرسغ المعروف باسم العظم النردي، وهو علامة مميزة تفرِّق بين الجنسين.

عاشت أنواع متعددة من ميوهيبوس على مدار الجزء الأكبر من عصر الأوليجوسين، إلى أن حلَّ محلها العديد من الأجناس، بما في ذلك باراهيبوس وكالوباتيبوس. وشهد العصر الميوسيني المبكر والمتوسط تشعبًا للخيول بدرجة كبيرة للغاية (انظر الشكل ١٤-٤). كانت إحدى السلالات الناتجة هي أنكيثيريوم، الذي احتفظ بأسنان الخد المنخفضة التاج كأسلافه، ويعود ذلك على الأرجح إلى أنه عاش في غاباتٍ كثيفة، وكان يقتات الأوراق اللينة وغيرها من المراعي. وعلى الرغم من أن أسنان الأنكثيرينيات ظلَّت بدائية، فإن تشعبها — مثل أنكيثيريوم وأركيوهيبوس وميجاهيبوس وهايبوهيبوس — تطوَّر إلى نطاقٍ متنوعٍ من أحجام الجسد. أكبر هذه الأنكثيرينيات هما ميجاهيبوس وهايبوهيبوس، اللذان وصلا إلى حجم الحصان الحديث، لكن أسنانهما الضخمة احتفظَت بالشرفات ذات التاج المنخفض للخيول الأولى.

وعلى الرغم من ذلك، فقد اتخذ التشعُّب الرئيسي للخيول اتجاهًا آخر، وهو تطوير أسنان خدية ذات جذور عميقة؛ كي تظل لديها على الدوام مساحة للمضغ حتى مع تآكل أسنانها. فالعُشب يحتوي على حبيبات من السيليكا تسمَّى سيليكا النبات، تُتلِف الأسنان بسرعة، وقد افترض العلماء أن هذا التآكل الشديد للأسنان؛ بسبب الاعتماد على العشب في الغذاء. لكن هذه القصة تغيَّرت في السنوات الأخيرة؛ إذ إنَّ المساحات الشاسعة من الأراضي العشبية الحديثة لم تظهر إلا في وقتٍ لاحقٍ من العصر الميوسيني. لكن يوجد مصدرٌ آخر لتآكل الأسنان، وهو الرمال الحُبَيبية والطَّمي اللذان يلتصقان بسيقان الحشائش، وهو ما يمكن أن يفسر تطوير الخيول (والجمال ووحيدي القرن والعديد من مجموعات الميوسين الأخرى) للأسنان العالية التاج قبل التوسع الهائل للمراعي الحديثة.

لقد تداخلت سلالات متعددة للخيول في نفس الوقت في العصر الميوسيني؛ تشعُّب الخيول المختلفة التي كانت تُجمَع في جنس ميريكيبوس (وهو مقسَّم الآن إلى العديد من الأجناس)؛ التشعب الهائل للخيول الهيباريونية التي انتشرت إلى أوراسيا وحققت نجاحًا كبيرًا؛ إضافةً إلى الخيول القزمة، مثل كاليبوس ونانيبوس، والكثير غيرها أيضًا. ففي محجر «رايلواي كواري إيه»، استخرج العلماء ١٢ نوعًا مختلفًا من الخيول من نفس الحفرة في الأرض في تكوين فالانتاين في شمال وسط نبراسكا، مما يشير إلى أن العديدَ من

الأنواع كان يعيش متزامنًا في نفس المكان (أنكيثيرين واحد، وعدة هيباريونيات، والكثير غيرها). كان معظم هذه الخيول لا يزال يحتفظ بثلاث أصابع في القدم، على الرغم من أن أصابع القدم الجانبية كانت صغيرة لا تلامس الأرض في معظم الأحيان، بينما كانت إصبع القدم الوسطى قويةً وتتحمَّل معظم الوزن. كانت أطرافها أيضًا أطول وأكثر نحافة، وكانت جماجمها تشبه جمجمة الحصان الحديث إلى حد كبير، وإن لم تكن كبيرة مثلها.

وأخيرًا، في أواخر العصر الميوسيني، اختفت الغالبية العظمى من سلالات الخيول ذات أصابع القدم الثلاث، ولم تبقَ إلا السلالة ذات إصبع القدم الواحدة، والتي تنحدر من دينوهيبوس (وليس بليوهيبوس، كما تشير الرسوم القديمة)، وصولًا إلى جنس الخيليات في عصر البليوسين. وخلال العصور الجليدية، تعرَّض جنس الخيليات لتشعب ضخم آخر، لكن خيول العصر الجليدي كانت تُقسَّم حتى وقت قريب (خاصة في أمريكا الشمالية) إلى عشرات الأنواع المختلفة. يعتمد معظم هذه التقسيمات على اختلافاتٍ صغيرةٍ في الأسنان وأحجام الجماجم والأطراف. كان تصنيف الخيول الأمريكية في العصر الجليدي يتسم بالعشوائية؛ إذ كان بعض الأشخاص يقسِّمونها إلى الكثير من الأنواع، بينما يجمع البعض الآخر التنويعات الموجودة في عددٍ قليلٍ من الأنواع.

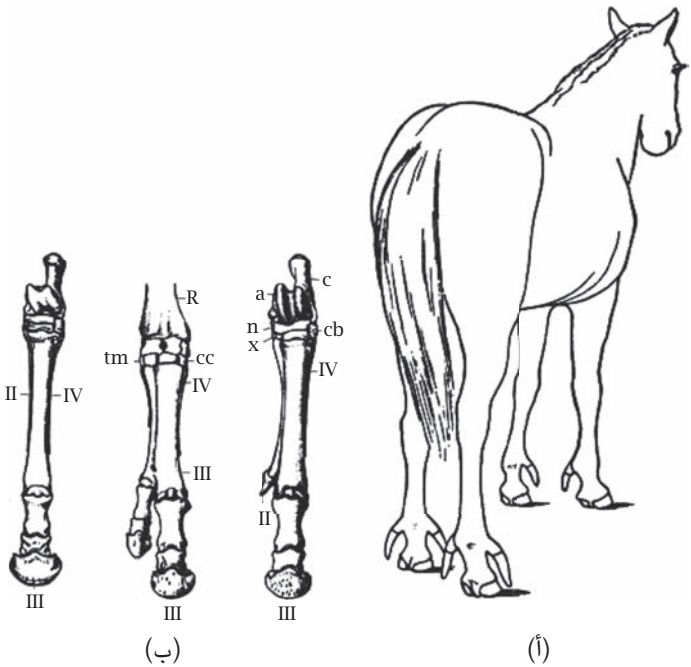
ابتداءً من عام ٢٠٠٥، وفي السنوات التي لَحِقتْ، انخرط علم الأحياء الجزيئي في هذا الجدال. فقد مكَّنَت حالةُ الحفظ الممتازة التي كانت عليها بعض حفريات الخيول الأحدث من العصر الجليدي؛ من استعادة كلٍّ من الحمض النووي والحمض النووي للميتوكوندريا لعددٍ من الأنواع المنقرضة. بالنسبة للعديد من الأنواع الحية، أكَّدت الإجابة ما قد أشارت إليه بالفعل بنيتها التشريحية وسلوكها. تبيَّن أنَّ كلًّا من الحمير والأخدار وأفراء التبت في أوراسيا وأفريقيا جميعها وثيقة الصلة، وكذلك الأنواع الأربعة من الحمار الوحشي (أحدها، وهو كواجا، دُفِع للانقراض في جنوب أفريقيا منذ ما يزيد قليلًا عن قرن مضى). أظهرت هذه النتائج أننا نستطيع الاعتماد على البيانات الجزيئية؛ لأنها تتطابق تطابقًا دقيقًا مع التاريخ التطوري الذي استنتجناه بالفعل من الحفريات والحيوانات الحية.

وعلى الرغم من ذلك، فبالنسبة لخيول أمريكا الشمالية، جاءت الإجابة مفاجئة للجميع. ذلك أنَّ الأدلة الجينية لم تؤيد إلا وجود أنواع قليلة فقط من خيول العصر الجليدي في أمريكا الشمالية، وليس عشرات الخيول التي كانت قد سُمِّيت بالفعل. إضافةً إلى ذلك، كانت جميع هذه الخيول على قرابة وثيقة بسلالة الحصان الحي؛ إكيوس كابالوس. أكدت الأدلة الجينية أيضًا أن الخيول الحديثة من نسل الخيل البرزوالسكية،

التي لا تزال تجوب سهول آسيا وسيبيريا. جاء الاستثناء الوحيد لهذا الاكتشاف فيما يتعلق بالخيول المنقرضة ذات الأرجل المرتفعة، والتي تمتلك أطرافًا نحيلة طويلة جدًّا مقارنة بخيول الكابالين والحمير الوحشية والحمير. فعلى الرغم من أنها كانت مقسَّمة إلى عدة أنواع مختلفة وفقًا للحفريات؛ أظهرت الأدلة الجينية أنها جنس ونوع متمايز انفصل عن سلالة الخيول الرئيسية منذ حوالي خمسة ملايين سنة. أعاد العلماء تسمية هذا الحصان هارينجتونهيبوس، على اسم عالم الحفريات الكندي ريتشارد هارينجتون، الذي كان أول من أدرك تفرُّد هذه الخيول. واليوم يوجد تسعة أنواع من الخيول البرية الحية في جنس الخيليات، ومنها ثلاثة أنواع من الحمار الوحشي (إضافة إلى كواجا)، وثلاثة أنواع أو أربعة من الحمير والأخدار، إضافة إلى الخيل البرزوالسكي.

إنَّ الخيول لم تنتشر خلال العصور الجليدية من موطنها في أمريكا الشمالية إلى أوراسيا فحسب لتشكِّل التشعب العظيم للخيول والحمير الحية، لكنها انتشرَت أيضًا إلى أفريقيا حيث تطورت إلى الحمير الوحشية. وانتشرت أيضًا إلى أمريكا الجنوبية، حيث طوَّرت مجموعة غريبة من الخيول، وهي الهبيديونات، خرطومًا قصيرًا مثل خرطوم التابير. في نهاية العصر الجليدي الأخير، منذ حوالي ١٠ آلاف عام، اختفت الخيول من الأمريكتين، بالتزامن مع اختفاء معظم الثدييات الكبيرة الأخرى، بما في ذلك الماموث، والماستودون، وكسلان الأرض، والسِّنَّور السيفيُّ الأنياب، وغيرها الكثير. كانت الأسباب معقدة، وربما تضمنت التغير المناخي، وربما بعض الصيد البشري. لم تعُد الخيول إلى موطن أسلافها في أمريكا الشمالية حتى عام ١٤٩٣، عندما أحضرها كولومبوس من إسبانيا في رحلته الثانية. واليوم، توجد خيول الماستانج البرية وجميع سلالات الخيول المحلية في الأمريكتين، وقد اعتمد هنود السهول في أمريكا على الخيول بصفتها الأساس لثقافتهم القائمة على الترحال، لكن هذه تطورات حديثة.

لكن هل اختفت أصابع الخيول القدمية الجانبية حقًّا؟ بين الحين والآخر يولد حصان بأصابع جانبية شبيهة بعض الشيء بتلك التي امتلكتها خيول عصر الميوسين (الشكل ١٤-٦(أ)). وليست هذه الأصابع بالعبء الهائل على الحصان، ولا يبدو أنها تؤثر على سرعة الجري، لكنها تبدو غريبة. لقد أُطلقَ على هذه الخيول لقب «الخيول ذات القرون»، وغالبًا ما كانت غرابتها تجذب الاهتمام. يُقال إن يوليوس قيصر قد امتطى حصانًا ذا قرن ليزيد من سَمْته الملكي ويتخذ طابعًا شبه أسطوري. يُعرَف هذا النوع من التطور، أو الارتداد التطوري، باسم التأسل. إنَّ جميع الخيول الحية لا تزال تمتلك جينات أصابع



شكل ١٤-٦: (أ) مثال شهير لحصان متفرد نادر له ثلاث أصابع قدم بدلًا من إصبعٍ واحدة. (ب) البنية العظمية لأقدام الخيول المتطفرة. على اليسار قدم حصان عادية. في المنتصف توجد إصبع إضافية تتكوَّن من تكرار إصبع القدم المتوسطة، وعلى اليمين توجد إصبع إضافية تكوَّنت من خلال تضخيم أصابع القدم الجانبية المُصغَّرة (عظام الشظية)، والتي كانت أصابع قدم جانبية وظيفية في الخيول السابقة. (من أوثنيْيل تشارلز مارش، «خيول حديثة كثيرة الأصابع»، «أمريكان جورنال أوف ساينس» ٤٣ [أبريل ١٨٩٢]: ٣٤٠–٣٥٥)

القدم الجانبية، لكن تنظيم جيناتها يؤدي في المعتاد إلى إيقاف التعليمات الخاصة بنمو هذه الأصابع. لا يجري التعبير عن هذه الجينات ما لم يعجز التنظيم الجيني عن ذلك، وحينها نحصل على حصان ثلاثي الأصابع. تحتوي الخيول الحديثة أيضًا على عظامٍ صغيرةٍ للغاية لأصابع قدمها الجانبية، توجد بمحاذاة إصبع القدم المتوسطة القوية (الشكل ١٤-٦(ب)). لا تؤدي هذه العظام أي وظيفة حقيقية، وهي فضلات عديمة

الفائدة لم يُزِلها التطور بالكامل. إذا كسر الحصان إحدى هذه الأصابع الجانبية، فيمكن أن يُصاب بالشلل مدى الحياة، وهو ما يُمثِّل ضغطًا انتخابيًّا قويًّا ضد جينات أصابع القدم الجانبية الصغيرة.

إنَّ قصة تطور الحصان أكثر تعقيدًا بكثير مما كنا نتصور في سبعينيات القرن التاسع عشر، أو حتى عشرينيات القرن الماضي. لكنها لا تزال مثالًا بارزًا على قدرة السجل الأحفوري على كشف أصل حيوانٍ حيٍّ بالتفصيل.

قراءات إضافية

Franzen, Jens Lorenz, *The Rise of Horses: 55 Million Years of Evolution*, Baltimore, Md.: Johns Hopkins University Press, 2010.

MacFadden, Bruce J., *Fossil Horses: Systematics, Paleobiology, and the Evolution of the Family Equidae*, Cambridge: Cambridge University Press, 1992.

Prothero, Donald R., The Princeton Field Guide to Prehistoric Mammals, Princeton, NJ: Princeton University Press, 2016.

Prothero, Donald R. and Robert M. Schoch, eds., *The Evolution of Perissodactyls*, Oxford: Oxford University Press, 1989.

_____, eds., *Horns, Tusks, and Flippers: The Evolution of Hoofed Mammals*, Baltimore, Md.: Johns Hopkins University Press, 2002.

Rose, Kenneth D. and J. David Archibald, eds., *The Rise of Placental Mammals: Origin and Relationships of the Major Extant Clades*, Baltimore, Md.: Johns Hopkins University Press, 2002.

Savage, Robert J. G. and M. R. Long, *Mammal Evolution: An Illustrated Guide*, New York: Facts-on-File, 1986.

Turner, Alan and Mauricio Anton, *National Geographic Prehistoric Mammals*, Washington, D.C.: National Geographic Society, 2004.

الفصل الخامس عشر

كيف حصلت الزرافة على عنقها؟

لامارك، وداروين، والعصب الحنجري الراجع الأيسر

إن الزرافة بقامتها الفارعة الطول، هي وعنقها وساقاها الأماميتان ورأسها ولسانها، تتميز ببنيةٍ تكيَّفت بشكلٍ رائعٍ للرعي على فروع الأشجار المرتفعة. فهي إذن تستطيع الحصول على طعامٍ ليس في متناوَل غيرها من ذوات الحوافر التي تعيش معها في مكانٍ واحد، ومن المؤكَّد أنَّ هذا يمثِّل أفضليةً عظيمةً لها في أوقات ندرة الطعام ... وهكذا كان الحال في الطبيعة مع الزرافات وهي في طور النشوء؛ فالزرافات الأطول التي كانت قادرةً على الوصول في أوقات ندرة الطعام إلى أغصانٍ أعلى مما يصل إليه غيرها ولو بمقدار بوصةٍ أو اثنتَين، هي التي تمكَّنت في الغالب من البقاء؛ إذ تكون قد جابت الأرض كلها بحثًا عن الطعام ... وتلك الزرافات التي استطال لديها جزء واحد من أجسادها أو عدة أجزاء على نحو أكثر من المعتاد، كانت تنجو غالبًا. ستكون تلك الزرافات قد تزاوجت، وتركت ذرية إما وارثةً لنفس الخصائص الجسدية المميزة، أو نزعت للتنوع مرة أخرى على نفس المنوال، أما الأفراد التي لم يُواتِها الحظ لتنعم بمثل هذه الصفات، فكانت على الأرجح هي الأكثر عرضة للهلاك ... ومن خلال هذه العملية المستمرة منذ فترة طويلة، والتي تتوافق تمامًا مع ما أسميتُه بالانتخاب اللاواعي بواسطة الإنسان، وبمشاركة بالغة الأهمية لا ريب

فيها لما يورَّث نتيجة للاستخدام المتزايد للبُنى، يبدو لي بشكل شبه مؤكد أن حافرًا عاديًّا رباعي الأرجل قد يتحول إلى زرافة.

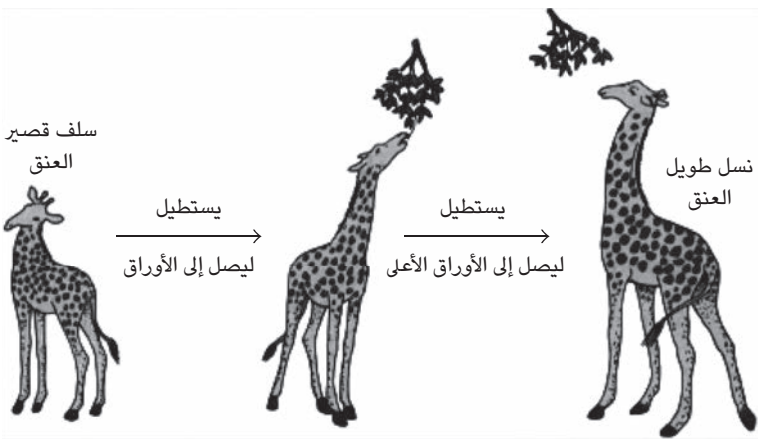
تشارلز داروين، (١٨٥٩)

الزرافة من أروع الحيوانات. وقد نشأنا جميعًا مع صور لها في الكتب التي كنا نقرؤها في طفولتنا، ورآها معظمنا في حديقة الحيوانات. لقد أذهلت الزرافات البشر وفتنتهم منذ أن رأَوها لأول مرة. فنجد لدى شعب السان في جنوب أفريقيا رقصة طبية تسمَّى «رقصة الزرافة»، يُفترَض أنها تعالج أمراض الرأس. وفي الحكايات الشعبية الأفريقية، اكتسبت الزرافات طولها من خلال أكل أعشاب سحرية. تظهر الزرافات في الفن الأفريقي القديم للمصريين والكوشيين والكيفيين. يُعتقد أن الكيفيين هم الذين أنتجوا نقشًا حجريًّا بالحجم الطبيعي لزرافتين، وهو يُعَد أكبر نقش حجري في العالم. علاوةً على ذلك، خصَّص المصريون حرفًا هيروغليفيًّا للزرافة، واحتفظوا بالزرافات كحيوانات أليفة، وكانوا يبحرون بها عبر البحر المتوسط إلى ثقافات أخرى.

عندما الْتقى الرومان بالزرافات لأول مرة، اعتقدوا أنها كائنات هجينة من جمل طويل العنق ونمر مرقط، وأطلقوا عليها اسم «كاميلوبارد» — بالإنجليزية camelopard؛ كلمة مركَّبة من camel بمعنى جمل، وleopard بمعنى نمر — وهو الاسم الذي بقي في الاسم العلمي للزرافة؛ جيرافا كاميلوباردااليس. في عام ٤٦ قبل الميلاد حصل يوليوس قيصر على زرافة وعرَضها في روما، وكانت هذه هي المرة الأولى التي يرى فيها الرومان هذا الكائن الغريب. وأُحضِر بعد ذلك العديد من الزرافات الأخرى إلى روما للمشاركة في الاستعراضات، أو لكي تُذبَح في الحلبة مع البشر والحيوانات الأخرى. وفور سقوط الإمبراطورية الرومانية، اختفت الزرافات من الوعي الأوروبي، وأصبح لها مكانة أسطورية في العصور الوسطى، على الرغم من أن بعض الأوروبيين عرفوها من خلال الاحتكاك بالتجار العرب. في عام ١٤١٤ شحن التجار العرب زرافة من البنغال إلى الصين، حيث صارت ضمن مجموعة حيوانات الإمبراطور. افتتن الصينيون بالزرافة التي اعتقدوا أنها مرتبطة بمخلوق أسطوري ذي حوافر يسمَّى كيلين. وفي عام ١٤٨٦، قُدِّمت زرافة إلى لورنزو دي ميديتشي، حاكم فلورنسا خلال أيام مجدها في عصر النهضة. في أوائل القرن الثامن عشر الميلادي، قدَّم الأمير محمد علي حاكم مصر عينة تسمَّى «زرافة» للملك الفرنسي تشارلز العاشر، كرمزٍ للتعبير عن حسن النوايا. وقد تسببت الزرافات في ضجة كبيرة في

باريس، وأصبح الهوس بأي شيء يتعلق بالزرافات يُسمَّى «جيرافناليا». وحديثًا، ظهرت الزرافات في لوحات سلفادور دالي، وفي العديد من كتب وأفلام الأطفال، وكالعديد من الشخصيات الشهيرة، بما في ذلك ميلمان الزرافة العصابية (التي قام بأداء صوتها ديفيد شويمر) في أفلام مدغشقر، بل وحتى جوفري الزرافة، تميمة متاجر «تويز آر أص» التي أفلست الآن.

كثيرًا ما كانت صورة الزرافة الطويلة العنق عنصرًا أساسيًّا في الثقافة الغربية، وكذلك كانت محاولات تفسيرها. ففي عام ١٨٠٩، استخدم جون بابتيست دي مونيه شوفالييه دي لامارك رقبة الزرافة (الشكل ١٥-١) مثالًا على تغير الكائنات مع مرور الزمن:



شكل ١٥-١: رسم يوضح تصور لامارك لكيفية حصول الزرافة على عنقها الطويل من الإطالة مرارًا وتكرارًا، للوصول للأوراق الأعلى في كل جيل، ثم تمرير هذه التنويعات إلى الجيل التالي.

من المثير للاهتمام ملاحظة نتيجة سلوكٍ ما على شكل الزرافة وحجمها العجيبين؛ فمن المعروف أن الزرافة، وهي أطول الثدييات، تعيش في المناطق الداخلية من أفريقيا، حيث تكون التربة قاحلةً جرداء على الدوام؛ لذلك فهي مجبرة على

> التغذي على أوراق الأشجار، وبذل قُصارَى جهدها للوصول إليها. لقد نتج عن هذا السلوك المحفوظ منذ زمن طويل في جنس الزرافات كله أن ساقيها الأماميتين أصبحتا أطول من الخلفيتين، وأن رقبتها قد استطالت إلى أن أصبح ارتفاع الزرافة ستة أمتار دون أن تقف على رجليها الخلفيتين.

غالبًا ما يُستخدَم هذا المقطع القصير للامارك لتلخيص كامل نظريته المعقدة، عن كيفية تطور الحياة، وهو يُقتبَس باستمرار في مراجع علم الأحياء أيضًا. فعلى غرار معظم علماء الطبيعة في عصره، اعتقد لامارك أن التغيرات التي تقع على أجسادنا البالغة يمكن أن تنتقل مباشرة إلى أبنائنا (وهو ما يُعرَف بـ «وراثة الصفات المكتسبة»). ووفقًا لفكرته الشائعة، فإن عضلات الحدَّاد القوية تنتقل إلى أبنائه، وكذلك فإنَّ الرقبة الممتدة لأعلى الأوراق في الشجرة لدى الزرافات الأسلاف القصيرة العنق تنتقل إلى الأحفاد. صاغ لامارك هذه الفكرة على النحو التالي: «تؤدي التنويعات في البيئة إلى تغيرات في احتياجات الكائنات الحية وعاداتها وأنماط حياتها … ومن ثَم تؤدي هذه التغيرات إلى تعديلات أو تطورات في أعضاء هذه الكائنات، وفي شكل أجزائها.»

من المؤسف أنَّ هذا هو الجزء الوحيد من مفاهيم لامارك المعقَّدة، بشأن التطور الذي لا يزال يُذكَر حتى يومنا هذا في المعتاد، ويعود ذلك بدرجة كبيرة إلى أن منافس لامارك، البارون جورج كوفييه، بذل قصارى جهده لتدمير إرث لامارك وتشويهه بعد وفاة هذا الرجل العظيم. وحقيقة الأمر أنه قبل اكتشاف آلية الوراثة المندلية وعلم الوراثة المبكر في أواخر القرن التاسع عشر وأوائل القرن العشرين، كان معظم علماء الطبيعة يعتقدون بصحة وراثة الصفات المكتسبة، ومنهم تشارلز داروين.

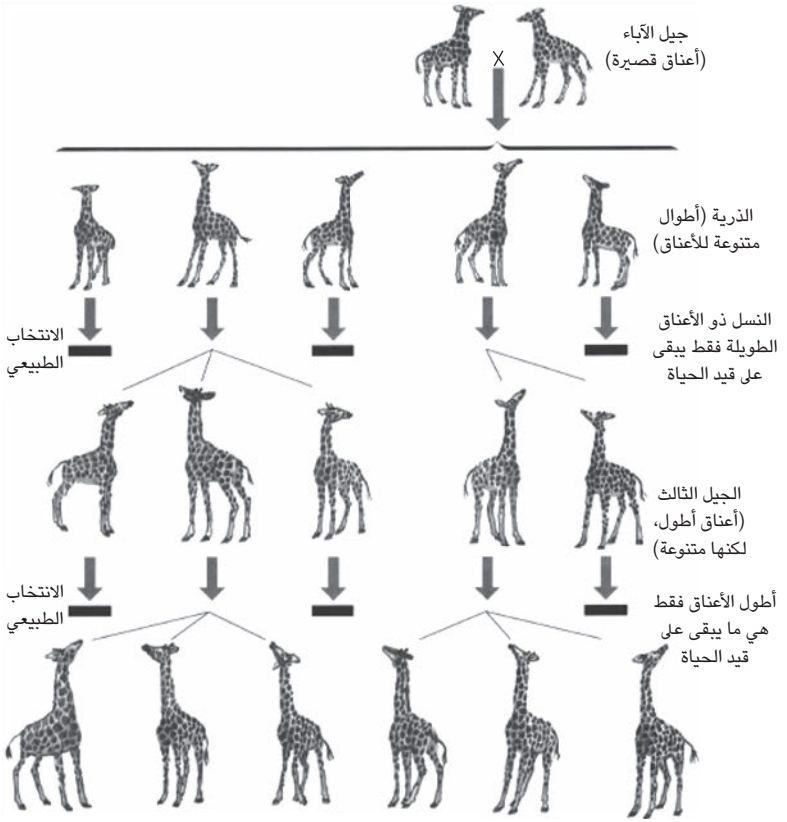
نجد الكثيرين اليوم يسخرون من لامارك باعتباره «الرجل الذي أساء فهم التطور»، على الرغم من أن العديد من أفكاره كانت ثورية وصحيحة. علاوةً على ذلك، كان لامارك هو من أدرك وحدة علم الحيوان وعلم النبات، بل إنه هو من صاغ مصطلح «علم الأحياء». نجا لامارك من الثورة الفرنسية وعهد الإرهاب، لكنه اضطُر إلى التحول عن علم النبات، وتولى منصب أمين «الحشرات والديدان» في متحف التاريخ الطبيعي في باريس. وفي أثناء ذلك، انتهى به الأمر إلى إحداث ثورة وتأسيس مجال علم الحيوانات اللافقارية الحديث. ومن سوء الحظ أنَّ «اللاماركية» أو «الوراثة اللاماركية» قد اختُزِلت في فكرة واحدة خاطئة، لم تكن سوى جزءٍ ثانوي من تفكير لامارك، وهي فكرةٌ تمسَّك بها جميع علماء الطبيعة لعدة عقود أخرى.

حاول تشارلز داروين بالطبع تقديم تفسير لرقبة الزرافة في كتابه عن التطور (انظر العبارة المقتبَسة في بداية الفصل). لكن فكرة داروين كانت مختلفة عن تصور لامارك إلى حد كبير. فالفكرة الأهم وفقًا لداروين هي أن المجموعات الطبيعية غاية في التنوع، بحيث لا يوجد فردان متشابهان حقًّا حتى لو كانا شقيقين (باستثناء التوائم المتماثلة). فمن بين مجموعات الزرافات الأسلاف مثلًا، ربما كان لبعض الزرافات أعناق أطول قليلًا. وخلال فترات الجفاف عندما يندر الغطاء النباتي، تصبح هذه الزرافات قادرة على الوصول إلى أوراق أعلى الأشجار مقارنة بالزرافات الأخرى في المجموعة؛ ومن ثَم البقاء على قيد الحياة. بعد ذلك، تصبح هذه الزرافات الأسلاف ذات الأعناق الأطول آباء للجيل القادم، وتنقل جينات الأعناق الأطول إلى أحفادها. بعد عدة أجيال من القيام بذلك، ستكون أعناق مجموعة الزرافات أطول في المتوسط (شكل ١٥-٢).

هذه القصة جذابة للغاية وتبدو بديهية، لكن الأبحاث التي تُجرَى على سلوك الزرافات الحية تُظهِر أنه من النادر أن تكون هذه هي الحقيقة. فالواقع أنَّ الزرافات تأكل في معظم الأوقات ورقابها في وضع أفقي، كما أنها تتغذى كثيرًا على نباتات الأرض ورءوسها منحنية لأسفل باتجاه أقدامها. نادرًا ما تُرى الزرافات تحاول الوصول إلى أعلى الأشجار؛ لأن معظم أجزاء الأشجار أعلى من أن يصل إليها أيُّ حيوانٍ آخر يتغذى على الأشجار. في دراسة أُجرِيت عام ٢٠١٠، اتضح أن الزرافات ذات الأعناق الأطول تموت خلال فترات الجفاف أكثر مما تموت ذات الأعناق الأقصر؛ إذ يتطلب العنق الأطول المزيد من العناصر الغذائية، والتي تكون نادرة أثناء الجفاف.

بدلًا من ذلك، وجد علماء أحياء الزرافات أن الأعناق الطويلة غالبًا ما تمثل ميزة تكاثرية للذكور، وهم في العادة أطول كثيرًا من الإناث. يتنافس الذكور على الأزواج مع ذكور منافسين آخرين، وغالبًا ما ينخرطون في معارك عنيفة، تنطوي على الكثير من حركات دفع أعناقهم إزاء أعناق منافسيهم أو ضغطها وضربها («صراع التعانق»)، والتسبب في إصابتهم أحيانًا. إن الحجم الكليَّ والعنق الطويل يعطيان ذكر الزرافة الأكبر أفضلية في التزاوج، يتميَّز بها عن الذكور المنافسين الأصغر.

إن امتلاك مثل هذا العنق الطويل أمر غاية في التعقيد بالطبع، ويصعب الحفاظ عليه. ذلك أنَّ ضخ الدم إلى الرأس عبر رقبة بهذا الطول يتطلب قلبًا ضخمًا يزن أكثر من ١١ كيلوجرامًا (٢٥ رطلًا). يَنتُج عن مثل هذا الحجم ما يقرب من ضعف ضغط الدم الذي يمكن أن ينتجه قلب الإنسان. يجب أن ينقبض قلب الزرافة بمعدل يزيد عن ١٥٠



شكل ١٥-٢: اقترح داروين أن الانتخاب الطبيعي يفسر عنق الزرافة الطويل. يمتلك كل جيل أعناقًا متباينة الطول، لكن خلال الفترات الصعبة، الزرافات ذات الأعناق الطويلة فقط هي التي تستطيع الوصول إلى الطعام والبقاء على قيد الحياة؛ ومن ثَم تنقل جينات الأعناق الأطول هذه إلى الجيل التالي، حتى يصبح لدى جميع مجموعات الزرافات أعناق أطول.

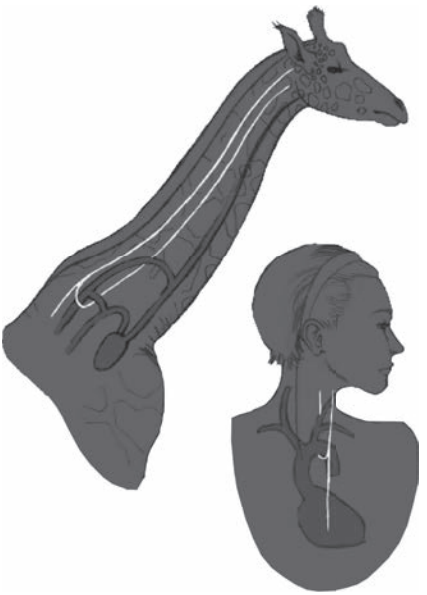
نبضة في الدقيقة للحفاظ على هذا الضغط، وهو أعلى بكثير من معدل النبض الطبيعي للإنسان عند الراحة، والبالغ ٩٠ نبضة تقريبًا. إنَّ ضخ كل هذا الدم صعودًا إلى المخ صعب بما يكفي دون أي تعقيد إضافي، لكنه يمثل تحديًا أكبر عندما تخفض الزرافة رأسها (الشكل ١٥-٣). فعلى غرار البشر، ستُصاب الزرافة بالإغماء إذا اندفع كل الدم

شكل ١٥-٣: تواجه الزرافات صعوبة للوصول إلى الأرض للشرب أو الأكل. (إهداء من «ويكيميديا كومنز»)

إلى رأسها دفعة واحدة. ولهذا السبب، تمتلك الزرافات شبكة من الأوعية الدموية الدقيقة تُسمَّى «الشبكة الرائعة»، وهي تُخفِّض ضغط الدم إلى الدماغ. وكانت الزرافة ستُصاب بالإغماء أيضًا بسبب التدفق الزائد للدم، لولا وجود سبعة صمامات أحادية الاتجاه في الوريد الوداجي. يَحُول هذا دون عودة الدم المتَّجه من الدماغ إلى القلب منهمرًا إلى الرأس عندما تخفض الزرافة رأسها. إن هذا الارتفاع الشديد في ضغط الدم في الرقبة والأطراف الأمامية يجبر الزرافة على أن يكون لها جلد سميك للغاية في رقبتها وساقَيها الأماميتَين للاحتفاظ بالضغط، تمامًا مثل الملابس الضاغطة التي يرتديها من يعانون مشاكلَ في الدورة الدموية. (يدرس العلماء جلد رقبة الزرافة لتحديد خصائصه، ومعرفة ما إذا كان يمكن محاكاته وإنتاجه للأغراض الصناعية.)

إنَّ جميع هذه الصفات ضرورية لبقاء الزرافات كحيوانات طويلة العنق؛ لذلك قد يقول البعض إن الزرافة مصممة بشكل جيد. لكن هذا لا يفسر مسار العصب الحنجري الراجع الأيسر، والذي يربط الدماغ بالحنجرة لدى البشر، ويسمح لنا بالتحدث. في جميع الثدييات يتجنب هذا العصب المسار المباشر بين الدماغ والحلق، وينحدر بدلًا من ذلك إلى الصدر، ويلتفُّ حول الشريان الأورطي بالقرب من القلب، ثم يعود إلى الحنجرة (الشكل ١٥-٤). هذا يجعله أطول بسبع مرات مما يجب أن يكون عليه! وبالنسبة لحيوان مثل الزرافة، فإن هذا العصب يجتاز العنق بالكامل مرتين؛ لذلك يبلغ طوله ١٥ قدمًا

(منها ١٤ قدمًا غير ضرورية!). ليس هذا التصميم إذن مهدِرًا فحسب، بل إنه أيضًا يجعل الزرافة أكثر عرضةً للإصابة.



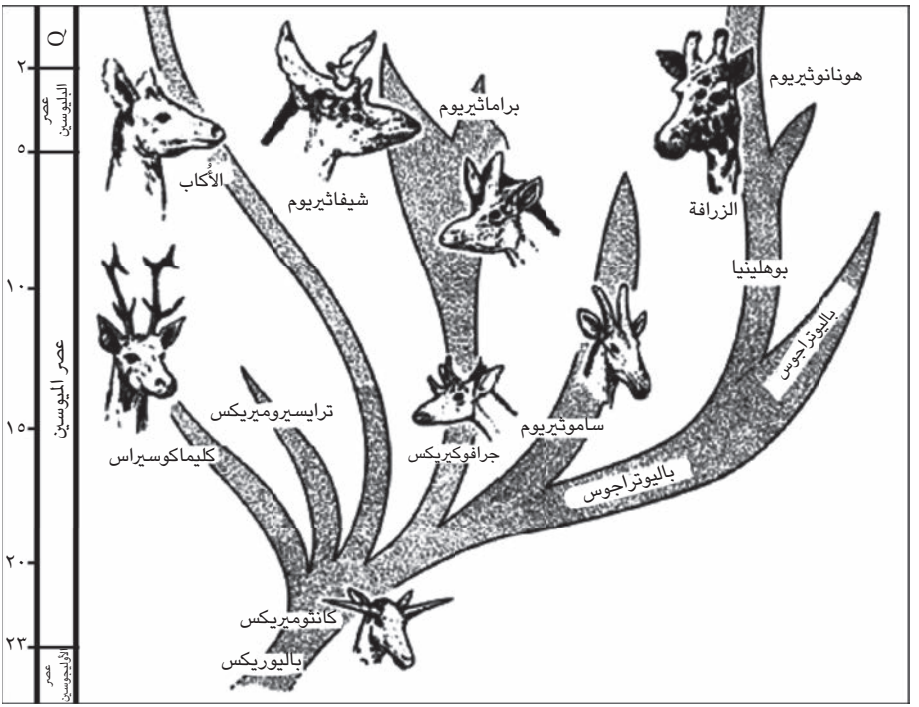
شكل ١٥-٤: في الإنسان، يمتد العصب الحنجري الراجع الأيسر من العمود الفقري، مرورًا بالشريان الأورطي على القلب، ثم إلى الأعلى باتجاه الحنجرة. وهذا هو المسار في الزرافة، مما يجعل طول العصب ١٥ قدمًا، للانتقال عبر مسافة كانت ستصبح بضع بوصات فقط لو أنَّ العصب اتخذ مسارًا مباشرًا. (رسم ماري برسيس ويليامز)

غير أن هذا المسار الغريب منطقي تمامًا من الناحية التطورية. ففي الأسماك وأجنة الثدييات المبكرة، يوجد الشكل السلفي من العصب الحنجري الراجع الأيسر، متصلًا بالقوس الخيشومي السادس في عمق منطقة العنق والجسد. لا تزال الأسماك تحتفظ بهذا النمط، لكن في أثناء النمو الجنيني للثدييات اللاحقة، عُدِّلت الأقواس الخيشومية إلى أنسجة منطقة الحلق والبلعوم لدينا. وأُعيدَ ترتيب أجزاء من الجهاز الدوري القديم الشبيه بالجهاز الدوري للأسماك؛ ومن ثَم تراجع الشريان الأورطي (وهو أيضًا جزء من القوس الخيشومي السادس) إلى الصدر، آخذًا معه العصب الحنجري الراجع الأيسر

(الملتف حوله) إلى الخلف أيضًا. لقد ورثت الزرافات هذا النظام الأخرق السيئ التصميم لأنه كان جزءًا من ماضيها الجنيني والتطوري. لم تكن هناك تكلفة كبيرة لإبقائه على تلك الحال، وكان من المحال تقريبًا إعادة ترتيب هذا النظام بسبب القيود التشريحية. إنَّ أعصاب الزرافة تُثار في غضون فترات تُقاس بالميكروثانية؛ لذا فإن الاختلاف في المدة الزمنية لاستجابتها لنبض عصبي ينتقل على مدار ١٥ قدمًا بدلًا من قدم واحدة؛ لا يُعَد شيئًا ذا بال. وذلك مثال كلاسيكي على مدى ما قد تكون عليه الطبيعة من عدم كفاءة وسوء تصميم، عندما تسير على عمًى وراء المسارات الجنينية التي تأسَّست لدى أسلافنا أشباه الأسماك. ورغم هذه الدرجة من عدم الكفاءة، فإن الزرافة تتعايش جيدًا مع ١٤ قدمًا إضافية من الأعصاب. فما دامت الزرافة تستطيع البقاء على قيد الحياة والتكاثر كي تترك المزيد من الزرافات، فإن عدم كفاءة أعصاب رقبتها يصبح أقل أهمية من الرقبة الطويلة التي تمنحها ميزة البقاء على قيد الحياة.

من لامارك إلى داروين، كانت جميع الأفكار عن كيفية حصول الزرافة على أعناقها الطويلة محض تكهنات حتى وقت قريب؛ إذ لم يكن أحد قد عثر على حفريات للزرافات. ولكن في أوائل القرن العشرين، عُثِر على العديد من حفريات الزرافات في طبقات عصر الميوسين (التي يعود تاريخها إلى ما قبل ٢٣–٢٥ مليون سنة) في جميع أنحاء أفريقيا وفي جنوب آسيا. واليوم يوجد ما لا يقل عن ٢٤ جنسًا من الزرافيات المنقرضة، وكذلك العديد من الأنواع المختلفة منها. وكانت المفاجأة الكبرى أن جميعها كانت لديها أعناق قصيرة! الواقع أنَّ العصر الميوسيني كان يمثل فترة زمنية شهدت تشعُّبًا هائلًا للزرافات القصيرة العنق (الشكل ١٥-٥)، وكان لمعظم هذه الزرافات قرون غريبة تشبه قرون الغزلان أو الموظ أو الظباء (الزرافات الحية لها قرون أسطوانية قصيرة تسمَّى بالمخاريط العظمية). كان لذكور بعض هذه الأنواع، مثل البروليبيثيريوم، قرون تشبه قرون الموظ. وكان لدى البعض الآخر قرون مثل الغزلان أو الظباء. فكان نوع شيفاثيريوم الضخم يبلغ من الارتفاع ما يزيد على ١٠ أقدام، وكان لديه قرون متفرعة سميكة ويزن نصف طن. وكان براماثيريوم العملاق في طول الزرافة الحديثة نفسه تقريبًا، لكن عنقه كان قصيرًا سميكًا، وله قرون ضخمة على رأسه. وجميع هذه الزرافات كانت لديها أعناق قصيرة نسبيًّا.

عند مراجعة ما نعرفه، لا ينبغي أن يكون في ذلك أي مفاجأة لنا؛ إذ إن الجنس الآخر من الزرافيات الحية هو الأُكاب من أدغال الكونغو، وهو يعيش منعزلًا في الغابة، ويتغذى



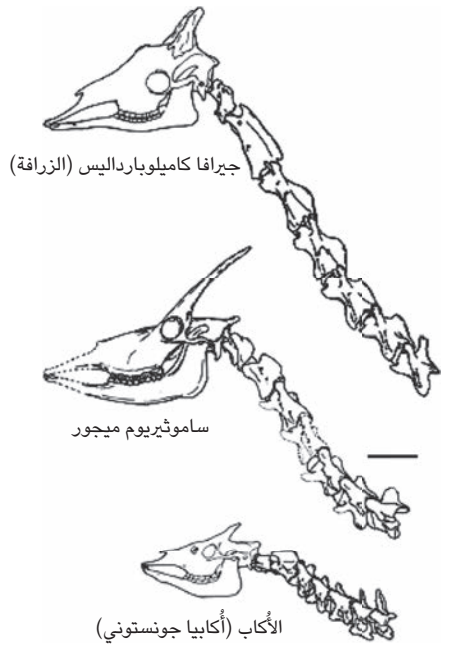
شكل ١٥-٥: تطور فصيل الزرافات. يُعتبر الأُكاب الحديث هو الأشبه بالمجموعة؛ نظرًا لرقبته القصيرة وقرونه القصيرة نسبيًّا. غير أن بعض الزرافات كانت لها زوائد متفرعة وجذابة للغاية. إن سلالة الزرافة الحديثة هي فقط التي تطورت لديها رقبة طويلة. (رسم بواسطة سي آر بروثيرو)

على أوراق الأشجار وله رقبة قصيرة (الشكل ١٥-٦). اكتُشِف الأُكاب حديثًا، وسُمِّي لأول مرة في عام ١٩٠١، وكان واحدًا من آخر الثدييات الكبيرة التي اكتُشِفت، وشاع آنذاك أنه «وحيد القرن الأفريقي». يُطلَق على الأُكاب أحيانًا اسم زرافة الحمار الوحشي؛ لأن فخذيه الخلفيتين وساقَيه مخطَّطة مثل الحمار الوحشي، مما يخفيه في الأدغال الكثيفة. يعيش الأُكاب حياة منعزلة في معظمها، ويتغذى على الأوراق الكثيفة الموجودة في الغابات، فهو صامت، ونادرًا ما يُرى، ويُعَد اليوم مهددًا بالانقراض بسبب الإفراط في الصيد الجائر وتدمير موئله في الغابات. إن وطأة الصيادين الجائرين شديدة بسبب وجود سوق سوداء

شكل ١٥-٦: الجنس الوحيد الحي الآخر من فصيلة الزرافيات، هو جنس الأُكاب، الذي يعيش في الأدغال الكثيفة لحوض الكونغو. (إهداء من «ويكيميديا كومنز»)

مربحة لأجزاء الأُكاب. في شهر يونيو من عام ٢٠١٢، هاجمت عصابة من الصيادين الجائرين مقر محمية الأُكاب للحياة البرية في جمهورية الكونغو الديمقراطية، مما أسفر عن مقتل ستة حراس وموظفين آخرين، إضافةً إلى جميع حيوانات الأُكاب الأربعة عشر، والتي كانت حبيسة في مركز التكاثر.

إننا نمتلك الآن سجلًّا أحفوريًّا يوضح كيفية تطور الزرافيات، ويوضح أنها أكثر تنوعًا بكثير من جنس الزرافة الطويلة العنق التي نعرفها جميعًا. ومع ذلك، لم يتوقع بعض الأشخاص أننا قد نعثر على أدلة أحفورية لكيفية حصول الزرافة على رقبتها



شكل ١٥-٧: رقبة ورأس ساموثيريوم ميجور، الحفرية المكتشَفة حديثًا التي لديها رقبة متوسطة الطول (في الوسط)، مقارنةً بالأُكاب (بالأسفل)، والزرافة الطويلة العنق (بالأعلى). (بتصريح من نيكوس سولونياس)

الطويلة. وفي عام ٢٠٠٩، وصف صديقي نيكوس سولونياس وطلابه حفريات زرافيات آسيوية منقرضة تسمَّى ساموثيريوم ميجور. على عكس الحفريات غير المكتملة التي نجدها لمعظم الزرافيات المنقرضة، كان لهذه الحفريات عنق كامل، وكان طوله يقع في المنتصف بين عنق الأُكاب والزرافة الحديثة (الشكل ١٥-٧). لا يمكن للمرء إذن أن يطلب نموذجًا وسيطًا أكثر مثاليةً من هذا!

إن قصة الزرافة مثيرة للاهتمام ومعقدة. نحن نعلم أن أعناقها الطويلة قد تطورت، ولدينا الآن الحفريات التي توضح كيفية حدوث ذلك. ولدينا بالفعل حفريات لأكثر من عشرين نوعًا منقرضًا من الزرافيات، وجميعها تقريبًا لها أعناق قصيرة وأجزاء غريبة في الرأس. فلم تكن استطالة رقبة الزرافة ناتجةً بالكامل عن العمليات التي افترضها لامارك

وداروين، على الرغم من استمرار هذه القناعات التقليدية لعقود من الزمن. ويقدم مسار العصب الحنجري الراجع الأيسر في عنقها الطويل مثالًا رائعًا على التصميم الأخرق وغير الفعَّال، مما يدحض محاولات الإشارة إلى وجود مصمم مثالي.

قراءات إضافية

Danowitz, Melinda, Aleksandr Vasilyev, Victoria Kortlandt, and Nikos Solounias, "Fossil Evidence and Stages of Elongation of the *Giraffa camelopardalis* Neck," *Royal Society Open Science* 2, no. 10 (2015): 150393. http://doi.org/10.1098/rsos.150393.

Mitchell, G. and J. D. Skinner, "On the Origin, Evolution, and Phylogeny of Giraffes, *Giraffa Camelopardalis," Transactions of the Royal Society of South Africa* 58, no. 1 (2003): 51–73.

Prothero, Donald R., The Princeton Field Guide to Prehistoric Mammals, Princeton, NJ: Princeton University Press, 2016.

Prothero, Donald R. and Robert M. Schoch, *Horns, Tusks, and Flippers: The Evolution of Hoofed Mammals*, Baltimore, Md.: Johns Hopkins University Press, 2003.

الفصل السادس عشر

كيف حصل الفيل على خرطومه؟

تطور الخرطوميات

ثم جلس طفل الفيل على مؤخرته الصغيرة، وسحب، وسحب، وسحب، حتى بدأ أنفه في التمدد. ودخل التمساح إلى الماء متخبطًا إلى أن استحال الماء مزبدًا إثر ضربات ذيله الهائلة، وسحب، وسحب، وسحب. استمر أنف طفل الفيل في التمدد، وبسط طفل الفيل أرجله الصغيرة الأربع، وسحب، وسحب، وسحب، واستمر أنفه في التمدد، وضرب التمساح بذيله كما لو كان مجدافًا، وسحب، وسحب، وسحب، وفي كل مرةٍ ازداد أنف طفل الفيل طولًا، وقد آلمه هذا بشدة! ثم شعر طفل الفيل بأن أرجله تزلُّ، وقال عبر أنفه الذي بلغ طوله الآن حوالَي خمس أقدام: «يا لهذه الوحشية!» ثم هبطت الأَصَلة الثعبانية الصخرية الثنائية اللون من الضفة، وعقدَت نفسها في عقدةٍ مزدوجةٍ حول أرجل طفل الفيل الخلفية، وقالت: «يا لك من مسافر ساذج، أرأيت وقد دفعت بنا الآن إلى الشجار؛ إنني إن لم أفعل ذلك، فإنَّ تلك البارجة الحربية المدرعة» (وكانت بهذا، يا أعز الأحباب، تقصد التمساح) «ستحطم مستقبلك إلى الأبد!» هكذا تتحدث جميع الأصلات الثعبانية الصخرية الثنائية اللون دائمًا. سحبت الأصلة، وسحب طفل الفيل، وسحب التمساح، لكن طفل الفيل والأصلة الثعبانية الصخرية الثنائية اللون كانا أكثر قوة، وأخيرًا أطلق التمساح سراح أنف طفل الفيل، فأطلقت الأصلة جلجلةً كان يمكن سماعها في جميع أنحاء ليمبوبو.

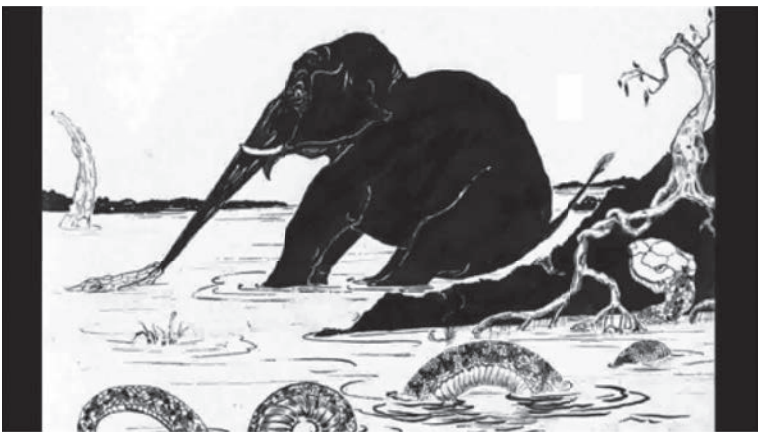
روديارد كيبلينج، «طفل الفيل» (١٩٠٢)

الأفيال كائنات رائعة حقًّا؛ فحجمها هائل، وذكاؤها مذهل، وآذانها عملاقة، ولها أيضًا خرطوم تستخدمه أداةً متعددة الوظائف. كانت الأفيال الآسيوية حيوانات مهمة للعمل لآلاف السنين، واستُخدِمت في الحروب في العصور القديمة لتشتيت تشكيلات العدو من المشاة. وكانت أيضًا رموزًا ثقافية ذات أهمية لفترة طويلة، لا سيما في حضارات أفريقيا وجنوب آسيا التي كانت على اتصال وثيق بالأفيال البرية. فكان للإله الهندوسي جانيشا رأس فيل، وتحظى الأفيال بحضور واسع في فنون العديد من الثقافات. وغالبًا ما ترمز الأفيال إلى القوة والبأس والحكمة وطول العمر والقدرة على التحمل والقيادة والمؤانسة والرعاية والولاء. وفي الثقافة الغربية الشعبية، تأتي أغلب معرفتنا عن الفيلة من السيرك وحدائق الحيوان، بل إنها أصبحت رمزًا للحزب الجمهوري. والأفيال أيضًا كثيرة الذكر في الأدب؛ فنجدها في مجموعة كيبلينج القصصية الشهيرة (ومنها الاقتباس الوارد في بداية الفصل)، وقصص بابار، ودامبو ديزني، وهورتون للدكتور سوس.

أكبر الثدييات الحية على اليابسة، وقلة قليلة من المفترسات الطبيعية هي التي يمكن أن تؤذيها بعد أن تتخطى مرحلة الطفولة. تستطيع الأفيال أن تعيش في البرية فترة تتراوح بين ٦٠ و٧٠ عامًا، لكنها نادرًا ما تعيش حتى تصل إلى مرحلة البلوغ الكامل في معظم الأماكن بسبب الصيد الجائر. في أواخر عام ١٩٧٩، كان هناك ما يصل إلى ٣ ملايين فيل في أفريقيا وحدها، لكن أعدادها انخفضت الآن بنسبة ٩٠ في المائة أو أكثر في معظم أنحاء أفريقيا؛ بسبب ضراوة الصيد الجائر للعاج الذي هو أغلى ثمنًا من الكوكايين. فعلى الرغم من الجهود العالمية لحظر بيع العاج لا تزال السوق السوداء مربحة للغاية، كما أن عدم الاستقرار السياسي في أفريقيا (إضافةً إلى وجود وفرة من الأسلحة نتيجة لنشوب العديد من الحروب) يجعل من الصعب حماية الأفيال من الصيادين إلا في عدد قليل من المحميات الجيدة الحراسة. فما دام الطلب على العاج هائلًا في الصين وفيتنام المزدهرتين حديثًا، فالأمل ضئيل للغاية في أن تبقى الأفيال لفترة أطول في البرية، بخلاف تلك الموجودة في قليل من المحميات.

وبقدر ما أصبحت الأفيال مألوفة لنا، فإن منشأها، وعلاقتها بالكائنات الأخرى، وكيفية حصولها على خراطيمها المدهشة؛ ظلَّت جميعها ألغازًا لزمن طويل. أدى ذلك إلى انتشار الكثير من الخرافات والأساطير بين الثقافات التي عرفت الأفيال جيدًا في آسيا وأفريقيا، ولكن لم يكن هناك سوى القليل من العلم لدعم هذه الخرافات. فنجد في مجموعة روديارد كيبلينج القصصية الشهيرة من حكايات ما قبل النوم الروايةَ الشهيرة

لكيفية حصول «طفل الفيل» على خرطومه، عندما أمسك تمساحٌ بأنفه القصير المرن ومدَّده (الشكل ١٦-١). وعلى الرغم من أن حفريات الأفيال وأقاربها كانت من بين أول الاكتشافات في تاريخ علم الحفريات، فإن الأدلة الكاملة على وجود أقدم أقارب الأفيال وأصولها لم تتوفر إلا مؤخرًا.



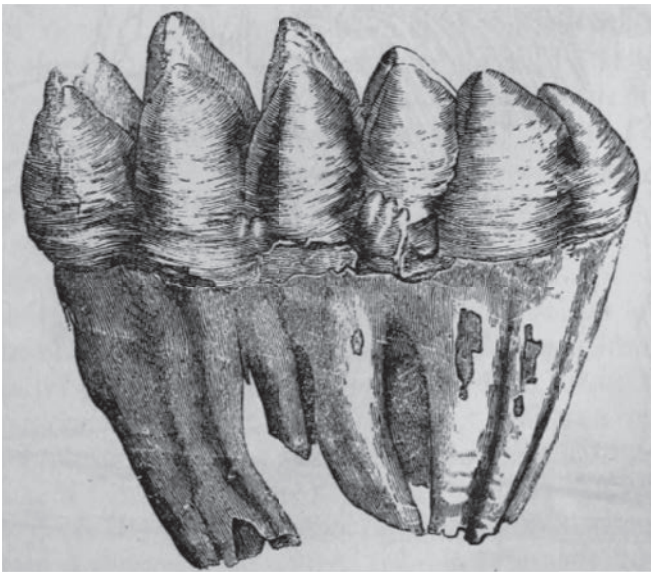
شكل ١٦-١: رسم توضيحي من قصة «طفل الفيل» لروديارد كيبلينج. (إهداء من «ويكيميديا كومنز»)

عرفت الحضارات القديمة حفريات الأفيال، واعتقدت خطأً أنَّ جماجمها الضخمة ذات الفتحة الأنفية المركزية هي فتحات أعين العملاق ذي العين الواحدة؛ «السايكلوب». غالبًا ما كانت عظامها الضخمة تُجمَع لدى اكتشافها، وكان الإمبراطور الروماني أغسطس يمتلك مجموعة من العظام التي عُثِر عليها بالقرب من داره في كابري (قبالة خليج نابولي). علاوةً على ذلك، وثَّق المؤرخ الروماني بليني العثور على قطع ضخمة من العاج في الأرض، وقد نُسِبت هذه العظام الضخمة خلال العصور الوسطى إلى عمالقة من البشر يرد ذكرهم في الكتاب المقدس، بالآية الرابعة من الإصحاح السادس من سِفر التكوين: «كان في الأرض طغاة في تلك الأيام.»

غير أنه بحلول أواخر القرن الثامن عشر، لم يعد بالإمكان تفسير هذه العظام الضخمة على أنها بقايا عمالقة توراتيِّين. ففي عام ١٧٣٩، انطلق شارل لو موان، البارون

الثاني لمدينة لونجوي، بالقوات الفرنسية والهندية مغادرًا مونتريال لمحاربة هنود قبيلة تشيكاسو على طول نهر أوهايو. وفي موضع ما على الطريق، وجد ما بدا أنه بقايا ثلاثة أفيال. بعد انتهاء الحرب بعد ذلك بعام، عاد ليجمع هذه البقايا ويرسلها إلى نيو أورلينز. وفي نهاية المطاف، وصلت هذه البقايا إلى باريس ولفتت انتباه علماء الطبيعة الفرنسيين. وفي الأربعينيات والخمسينيات من القرن الثامن عشر، أرسل المستوطنون الإنجليز المزيد من البقايا من هذه المنطقة (المعروفة اليوم باسم بيج بون ليك، وتوجد في ولاية كنتاكي)، وقد اطَّلع عليها بنجامين فرانكلين في أمريكا، ووصلت إلى إنجلترا أيضًا. كانت عظام أطرافها الكبيرة وأنيابها الخارجية تنبئ على نحو واضح أنها بقايا لأفيال، لكن أسنانها الغريبة كانت لغزًا (الشكل ١٦-٢). لم تكن شبيهةً بأسنان أي فيل حي، لكنها كانت جزءًا من حيوان بحجم الفيل. (نحن نعلم الآن أنها أسنان الماستودون الأمريكي.) تكهَّن فرانكلين بأن الأسنان تدل على أنها أسنان حيوان آكل للُّحوم، لكنه قرر لاحقًا هو وآخرون أنها تعود لحيوان نباتي. في عام ١٧٦٩، أخذ عالم التشريح البريطاني الشهير ويليام هانتر فكرة فرانكلين على محمل الجد. اقترح هانتر أنه لم يكن فيلًا حقيقيًّا، بل «فيلًا كاذبًا»، أو أنه الإنكوجنيتوم الأمريكي الذي طوَّر أنيابًا عاجية بشكل مستقل: «هذا الوحش يمتلك رشاقة النمر وضراوته ... قاسٍ كالفهد الدموي، سريع كالنسر الهابط، رهيب كملاك الحق ... وإذا كان هذا الحيوان بالفعل آكلًا للُّحوم، وهو ما أظن أنه لا ريب فيه، فربما نأسف لذلك بصفتنا فلاسفة، أما بصفتنا بشرًا فلا يسعنا إلا أن نشكر الرب على أن جنسه قد انقرض بالكامل على الأرجح.»

لم يكن المثقفون في ذلك الزمان على وئام مع فكرة انقراض أي حيوان؛ إذ إنها تُخِل بمبدأ العناية الإلهية. فمثلما كتب ألكسندر بوب في قصيدته الشهيرة «مقالة عن الإنسان»: «هو مَن يرى، رب الأجمعين، بطلًا يهلك أو عصفورًا يهوى.» ثم إنَّ انقراض أي مخلوق من شأنه أن يكسر «سلسلة الوجود العظمى» المتصلة التي وضعها الرب. وبعبارات بوب، «حيثما تُخرَق أي حلقة، تُدمَّر السلسلة العظمى، أيًّا ما كانت تلك الحلقة التي تضربها في سلسلة الطبيعة، سواء أكانت رقم عشرة أو عشرة من ألف، تُخرَق السلسلة على حد سواء.» وبالرغم من ذلك، استمر العلماء في اكتشاف المزيد من حفريات المخلوقات الضخمة الشبيهة بالأفيال، التي لم تَعُد موجودةً في أوروبا كما يتضح. ولم تقتصر الاكتشافات على الإنكوجنيتوم الأمريكي وحسب، فكان منها أيضًا جثث الماموث السيبيري المجمَّدة، إضافةً إلى وفرةٍ من أسنان هذه الكائنات وعاجها وعظامها. وفي عام ١٧٤٩، استنتج جورج



شكل ١٦-٢: الضرس الطاحن الغامض والمثير للجدل للماستودون المعروف باسم «الإنكوجنيتوم العظيم». (إهداء من «ويكيميديا كومنز»)

لويس لوكلير، كونت دي بوفون في كتابه «نظرية الأرض» أن معظم الحيوانات التي كان يُفترض أنها منقرضة، كانت مختبئة في مكان ما في منطقة غير معروفة، ومن المحتمل أن الثدييات الأرضية الكبيرة، مثل الماموث والإنكوجنيتوم، قد هلكت. بحلول عام ١٧٧٨، كان بوفون يربط اختفاءها بأفكاره عن كوارث عنيفة وقعت خلال أزمنة سحيقة. خلال هذا الوقت، كان المناخ أكثر دفئًا، وكانت المناطق القطبية استوائية، وكانت الأفيال (أي الماموث) تعيش في سيبيريا. كان هذا يعني ضمنيًّا أن الأرض أكثر قِدمًا بكثير مما وصفته روايات الكتاب المقدس. اقترح بوفون أن عمر الأرض يتراوح بين ٧٥ ألف سنة و٣ ملايين سنة، بدلًا من الستة آلاف سنة التي قال بها معظم دارسي الكتاب المقدس الحرفيين. لم تلقَ مثل هذه الأفكار الثورية رواجًا لدى اللاهوتيين في جامعة السوربون بطبيعة الحال. لكن الملك كان يحمي بوفون؛ لذلك لم يتعرض للاضطهاد بسبب هرطقته، لكن أفكاره لم تجد قبولًا كبيرًا في الوقت ذاته.

لم يكن الرئيس الأمريكي توماس جيفرسون سياسيًّا وكاتبًا وزعيمًا فحسب، بل كان أيضًا عالم طبيعة وجامع حفريات متحمسًا. كان مؤمنًا بسلسلة الوجود العظمى، وعن ذلك كتب في عام ١٧٩٩ يقول:

> إن العظام موجودة؛ مما يعني أنَّ الحيوان كان موجودًا. فالطبيعة تتحرك في دائرة لا تنتهي. والأرجح أنَّ النوع الحيواني الذي دُفِع للحركة أو وُضِع في مسارٍ ما لا يزال يتحرَّك في هذا المسار. ذلك أنه إذا أمكن أن تضيع حلقة من سلسلة الطبيعة، فقد تضيع باقي الحلقات واحدة تلو الأخرى، إلى أن يتلاشى هذا النظام الكامل خطوة خطوة، وهذا استنتاجٌ لا يسوِّغه اختفاء نوعٍ من الحيوانات أو نوعَين، وتعارضه آلاف الحالات التي تتجسَّد في ممارسة الطبيعة باستمرارٍ لقواها المُجدِّدة بغرض تكاثر جميع الكائنات الحية.

كان جيفرسون على يقين من أن الإنكوجنيتوم العظيم لا يزال يعيش في البراري غير المستكشَفة في غرب أمريكا الشمالية. ويتضح هذا الرأي مما كتبه عام ١٧٨١، ومنه ما يلي:

> قد يسأل أحدهم: لماذا أدرجُ الماموث، كما لو كان لا يزال موجودًا. وأنا أسأل في المقابل: لماذا يجب عليَّ أن أحذفه كما لو أنه لم يوجد؟ ذلك هو دَأْب الطبيعة؛ فلا وجود لحالةٍ سمحتْ فيها لأي سلالة من حيواناتها بالانقراض، ولا لمثالٍ يفيد بأنها شكَّلت في عظيم صنعها أيَّ حلقةٍ ضعيفة بالدرجة التي تسمح بخرقها. إضافةً إلى ذلك، فإن شهادة الهنود بأن هذا الحيوان لا يزال موجودًا في الأجزاء الشمالية والغربية من أمريكا؛ هي بمثابة إضافة ضوء شمعة إلى ضوء شمس الظهيرة. إنَّ هذه الأقطار لا تزال على حالتها الأصلية لم تتغيَّر، لم نكتشفها بعدُ ولا اكتشفها آخرون لصالحنا. فمن المحتمل جدًّا أن يكون الماموث موجودًا هناك الآن، مثلما كان يوجد سابقًا حيث نجد عظامه ... ولهذا سيكون من الخطأ أن نعزو تناقص الحيوانات في أمريكا إلى بلاهة عمليات الطبيعة أو افتقارها إلى الاتساق؛ إذ سيكون في ذلك مخالفةٌ للقاعدة الفلسفية التي تعلِّمنا أن نعزو التأثيرات المتشابهة إلى الأسباب المتشابهة ... إن الحيوانات التي تُنقَل إلى مناخات غير مواتية لها؛ إما تغيِّر طبيعتها وتكتسب دفاعاتٍ جديدةً ضد الصعوبات الجديدة التي توضع فيها، أو لا تتكاثر على النحو الملائم؛ ومن ثَم تنقرض.

عندما منعت التأخيرات ويليام لويس وميريويذر كلارك من المغادرة حتى عام ١٨٠٣، أمرهما الرئيس جيفرسون بالذهاب إلى بيج بون ليك وجَمْع المزيد من عينات ذلك الحيوان الضخم الغامض. وعندما تلقَّى جيفرسون مخالب عملاقة من بعض الرواسب الكهفية، أمر لويس وكلارك بالبحث عن أسدٍ عملاق في أثناء بعثتهما إلى الشمال الغربي العظيم. (تبيَّن أن المخالب ليست مخالب أسد، بل لكسلان أرض عملاق، يُدعى الآن ميجالونيكس جيفيرسوني.)

وفي عام ١٧٧٩، وصف عالم الطبيعة الألماني بيتر سيمون بالاس، الذي كان يعمل في سانت بطرسبرج في روسيا، جثةً مجمدة لوحيد قرن في سيبيريا. خَلَص بالاس إلى أن هذا كان «دليلًا مقنعًا على أنَّ فيضانًا غاية في الشدة والسرعة حمَل هذه الجثث نحو مناخاتنا الجليدية ذات مرة، وكان ذلك قبل أن يُتاح الوقت لفساد أجزائها اللينة». (نحن نُدرك الآن أن هذه الجثة كانت تعود لوحيد القرن الصوفي، وهو نوع يتكيف مع البرد.)

أُثبِتت حقيقة الانقراض أخيرًا على يد أحد أعظم علماء الأحياء على الإطلاق، البارون جورج كوفييه. كان كوفييه شخصية بارزة في الوسط العلمي الفرنسي، وقد شهد عهد لويس السادس عشر، والثورة الفرنسية، وعهد الإرهاب، ونابليون، والملوك الفرنسيين اللاحقين دون أن يفقد مكانته أو منصبه. أصبح كوفييه مؤسس علم التشريح المقارن وعلم الحفريات الفقارية؛ إذ طور مهارة هائلة في وصف عظام الفقاريات والتعرف عليها. أكثر ما اشتهر به هو «قانون ارتباط الأعضاء». يتمثل هذا القانون ببساطة في قاعدة مفادها أن تشريح الفقاريات يتسم بالعديد من الأنماط التي يمكن التنبؤ بها وفقًا لموئل الحيوان ونظامه الغذائي. فعلى سبيل المثال، لا يمتلك الحيوان المفترس أسنانًا حادة لتقطيع اللحوم وحسب، بل يمتلك أيضًا مخالب حادة، أما الثدييات العاشبة فعادةً ما يكون لديها أسنان طاحنة وحوافر. وثمة قصة مختلَقة تُروى عن محتال اقتحم حجرة نوم كوفييه في إحدى الليالي متشبهًا بالشيطان، وأخبره أنه سيؤكل حيًّا. ويُزعم أن كوفييه أجاب: «لا يمكنك أكلي. لديك قرون وحوافر، من المؤكد إذن أنك آكل للنباتات.»

في عام ١٧٩٦ قرأ كوفييه على المعهد الفرنسي ورقة علمية عن الأفيال الحية والأحفورية. كان أول عالم يدرك الفارق بين الأفيال الآسيوية والأفريقية. وأثبت بعد ذلك أن الماموث والإنكوجنيتوم الأمريكي لا ينتميان إلى نوع الأفيال الحية نفسه، على الرغم من صلتهما بالفيلة، ولم يكونا بحاجة لأن تكون الأرض أكثر دفئًا في الماضي. أشار كوفييه إلى أنَّ هذه الحفريات والحيوانات الكبيرة الأخرى — مومياء وحيد القرن السيبيري، وكسلان

الأرض العملاق، وأولى حفريات الموزاصوريات — ضخمة جدًّا بدرجة يستحيل معها ألا تكون قد اكتُشِفت في عالمنا هذا الذي نستكشفه بسرعة بالغة. إنها «تثبت وجود عالم قبل عالمنا، وقد [فنيتْ] بفعل كارثة ما». واصل كوفييه تطوير أفكاره عن كارثة عظيمة سبقت عالمنا، ولكنها لم تُذكَر في سِفر التكوين. كان هذا هو العالم العتيق «ما قبل طوفان نوح»، زمن الظلمات، والوحوش العظيمة، والتغيرات الكارثية. أُثبتَ الانقراض كحقيقة بما لا يدع مجالًا للشك، على الرغم من أن فكرة كوفييه عن عالم ما قبل الطوفان انهارت بعد فترة قصيرة، مع معرفة تفاصيل السجل الأحفوري، واتضاحها بشكلٍ أفضل.

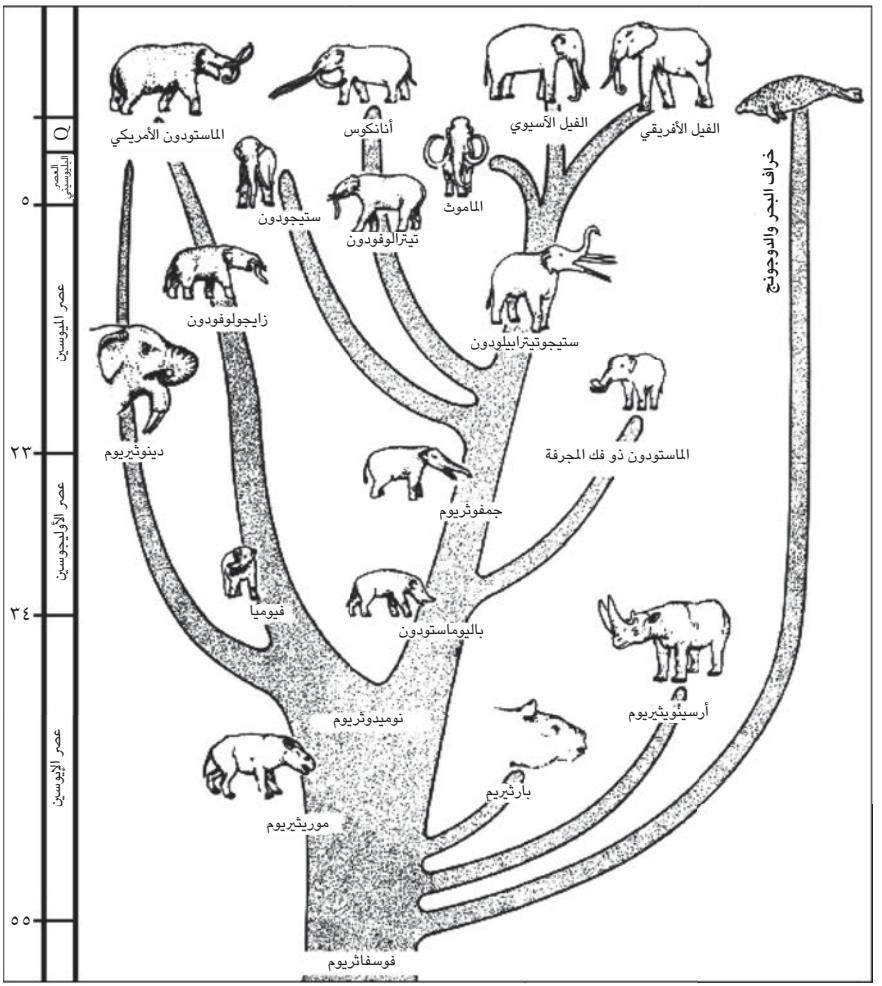
خلال ما تبقَّى من القرن التاسع عشر، عُثِر على المزيد والمزيد من الهياكل العظمية للماموث والماستودون، مما أكَّد أن هذه الوحوش العظيمة جابت جميع القارات الشمالية خلال العصور الجليدية (وهو مفهوم ظهر لأول مرة في عام ١٨٣٧). إضافةً إلى ذلك، أسفرت صخور عصر الميوسين في أوروبا عن المزيد من الخرطوميات الأولية، وهي أقرباء الفيل. كان من بينها دينوثيريوم الضخم («الوحش الرهيب» باليونانية)، الذي قام بتسميته يوهان جاكوب فون كاوب في عام ١٨٣١. كان خرطوميًّا أكبر في الحجم من أكبر ماموث، لكنه لم يمتلك من الأنياب سوى نابَين فقط، وكلاهما في فكه السفلي الذي كان منحنيًا لأسفل. واكتُشِفت أيضًا ماستودونتات غريبة أخرى في أوراسيا وأمريكا الشمالية، مما دلَّ على أن الخرطوميات قد جابت نصف الكرة الشمالي منذ أوائل العصر الميوسيني قبل حوالي ١٨ مليون سنة. ورغم ذلك، لم تُكتشَف خرطوميات أحفورية أقدم من هذه في أوراسيا أو أمريكا الشمالية. فمن أين أتت الأفيال؟

جاءت الإجابة مع إحدى أولى رحلات استكشاف الحفريات إلى أفريقيا. في عام ١٩٠٢، قاد عالِما الحفريات البريطانيان سي دبليو أندروز وإتش جي إل بيدنيل رحلة استكشافية إلى حوض الفيوم في مصر غرب أهرامات الجيزة. إضافة إلى حفريات العديد من الحيوانات الغريبة التي لم تَعِش إلا في أفريقيا وانقرضت الآن، وجد العالمان حفريات لبعض أقدم الرئيسيات الشبيهة بالقرود، وحفريات لأول أقارب الفيلة. وجدا أسنانًا عديدة لحيوان بحجم فرس النهر يُدعى باريثيريوم («الوحش الثقيل» باليونانية)، والذي تبيَّن أنه خرطوميٌّ أكثر تطورًا بقليلٍ يوجد على أضراسه حوافُّ عرضية مكتملة النمو، وجبهة مرتفعة، وخرطوم قصير. لكن أكثر الاكتشافات روعةً كان هيكلًا عظميًّا كاملًا لحفرية من أواخر العصر الإيوسيني تُسمَّى موريثيريوم («وحش بحيرة موريس»، وهي بحيرة جافة بالقرب من الفيوم). كان موريثيريوم يشبه فرس نهر قزميًّا أو تابيرًا في الشكل

والحجم، يبلغ ارتفاعه حوالي ٠,٧ متر (٢,٣ قدم)، لكن طوله يبلغ حوالي ٣ أمتار (١٠ أقدام). كان جسد موريثيريوم شبيهًا بالبرميل، وأرجله متينة وقصيرة. كانت لديه أنياب خارجية قصيرة تنبثق من أنيابه العلوية والسفلية، وخرطوم قصير مثل خرطوم التابير أيضًا (الشكل ١٦-٣).

شكل ١٦-٣: كان موريثيريوم من أوائل الخرطوميات، وكان له جسد يشبه جسد الخنزير مع خطم يشبه خطم التابير. (تصوير المؤلف)

اتضح أنَّ السلالة الرئيسية (الشكل ١٦-٤) من الخرطوميات تتمثَّل في حفريات عصر الأوليجوسين المبكر، والتي اكتُشِفت أيضًا في الفيوم بمصر، لكنها تنتمي إلى فترة لاحقة تأتي بعد الموريثيريوم، الذي ينتمي إلى أواخر العصر الإيوسيني. أشهر هذه الحفريات هي حفرية باليوماستودون وحفرية فيوميا. بلغ ارتفاع باليوماستودون حوالي مترين (٦ أقدام و٥ بوصات) عند الكتف، وكان في مثل وزن وحيد قرن صغير، وكان له فك طويل وجبهة مسطحة، وأنياب خارجية قصيرة في كل من الفكين العلوي والسفلي.



شكل ١٦-٤: التاريخ التطوري للفيلة وأقربائها (الخرطوميات)، بدءًا من كائنات تشبه التابير أو فرس النهر، مثل موريثيريوم، لكنها بدون خراطيم أو أنياب خارجية، ومرورًا بحيوانات الماستودون التي امتلكت خراطيم وأنيابًا خارجية قصيرة، وانتهاءً بالماموث الضخم والنوعين الباقيين من الخرطوميات. في وقت مبكر من تاريخها، تشعبت وحشيات بحر تيثس (التيثيريات) الأخرى من الخرطوميات. وهي تضم خراف البحر من رتبة الخيلانيات، والمدعمات المنقرضة، والأرسينوثيريوم المُقرَّن المنقرض. (رسم سي آر بروثيرو)

أما فيوميا سيريدينس (الذي يعني اسمه «حيوان الفيوم ذو الأسنان المنشارية»)، فكان أصغر قليلًا؛ إذ بلغ ارتفاعه حوالي ١,٣ متر (٤ أقدام) عند الكتف، وكانت له أنياب علوية أسطوانية ذات مقطع عرضي بيضاوي، لكن أنيابه الخارجية السفلية كانت مسطحة شبيهة بالملعقة. ومن ثمَّ فإن باليوماستودون وفيوميا هما حفريات كلاسيكية وسيطة في الحجم بين موريثيريوم والخرطوميات اللاحقة من حيث أنيابها الخارجية (أطول من موريثيريوم، ولكن أقصر من الماستودونات اللاحقة)، ومن حيث خرطومها (متوسط الطول أيضًا).

كان الانقسام التالي في تطور الخرطوميات بين فصيل الماستودون (الماموتيدي) وبقية الخرطوميات. يمكن تتبع الماموتيات إلى إيوزيجودون، وهي حفرية بدائية للغاية من أوائل العصر الميوسيني في كينيا وأوغندا. وبحلول منتصف العصر الميوسيني، كان إيوزيجودون قد تطور إلى زايجولوفودون الذي انتشر من أفريقيا منذ حوالي ١٩ مليون سنة، وقبل ١٨ مليون سنة كان قد انتشر عبر أوراسيا، حتى إنه عبر جسر بيرينج الأرضي إلى أمريكا الشمالية. غير أنَّ أشهر الماموتيات هو آخرها جميعًا؛ الماستودون الأمريكي، ماموت أمريكانوم (انظر الشكل ١٦-٤). كانت الماستودونات الأمريكية أصغر من معظم الأفيال الحية حجمًا؛ إذ بلغ ارتفاعها حوالي ٣ أمتار فقط (١٠ أقدام) عند الكتف، ووزنها حوالي ٤,٥ أطنان (٥ أطنان أمريكية). كان الماموت يفتقر إلى الجبهة الشديدة الانحدار وحَدَبة الكتف الموجودة في الأفيال والماموث. كان لديه رأس طويل مسطح مع أنياب خارجية منحنية قليلًا، وصدر أعمق من ظهر الماموث، وورکان أعرض، وأرجل أقصر، وكان ظهره أطول من ظهر الماموث أيضًا. احتفظت أسنانُه بالحالة البدائية للشرفات المخروطية المستديرة، التي كانَت تتصل بحوافَّ عرضية عندما كانت تتآكل. وبناءً على هذه الأسنان البدائية (والتي تؤكدها محتويات القناة الهضمية للعينات المحنطة)، كانت الماستودونات مستوطنة لغابات العصر الميوسيني والبليوسيني والبليستوسيني، وكانت تتغذى في العموم على الأوراق والأغصان وإبر الصنوبر، على عكس الماموث والفيلة التي تتغذى في الغالب على حشائش الأرض. كان للماستودونات فراء سميكة من الشعر الأشعث لتدفئتها خلال العصور الجليدية، لكنها لم تكن شائعة أو منتشرة مثل الماموث بسبب قيود موائلها. كان يُعتقد أنها انقرضت مع بقية الثدييات الضخمة في العصر الجليدي منذ حوالي ١٠ آلاف عام، على الرغم من وجود أساطير عن حيوانات ماموث بقيت على قيد الحياة حتى أزمنة قريبة.

يمكننا تتبع النسل الرئيسي للخرطوميات من باليوماستودون في أوائل عصر الأوليجوسين إلى الجومفوثيرات في أوائل عصر الميوسين ووسطه. كانت الجومفوثيرات منتشرة على نطاق واسع في كلٍّ من أمريكا الشمالية وأوراسيا خلال هذه الفترة الزمنية، وكانت تؤدي الدور الذي أدته الماموث والفيلة لاحقًا بصفتها أكبر الحيوانات العاشبة. بلغ ارتفاع الجومفوثيرات حوالي ٣ أمتار (١٠ أقدام) عند الكتف، وكانت تزن من ٤ إلى ٥ أطنان. كانت جماجمها طويلة مسطحة من الأعلى، مع نابَين متطورَين في كلٍّ من الفكَّين العلوي والسفلي، وربما كان لديها خرطوم قصير. كانت الأنياب السفلية على شكل ملاعق مسطحة، وكان يُعتقد أنها مفيدة في نبش الجذور والطعام، وكذلك إزالة اللحاء من الأشجار.

تطوَّر العديد من مجموعات الخرطوميات المختلفة المتشعِّبة من الجومفوثيرات. ومن هذه المجموعات، ذوات الأنياب المُجرِّفة (الفصيل الفرعي أمبيلودونتيني، والذي تنتمي إليه خمسة أجناس)، والذي يشير اسمها إلى أن أنيابها السفلية على شكل زوج من المجارف العريضة. تطورت هذه المجموعة في أمريكا الشمالية منذ حوالي تسعة ملايين سنة، ثم انتشرت إلى آسيا في أواخر العصر الميوسيني. كان يُعتقد قبل ذلك أن ذوات الأنياب المُجرِّفة تستخدم أنيابها السفلية لجمع النباتات المائية في الموائل المستنقعية، لكن التحليل التفصيلي للتآكل الموجود على «مجارفها» أظهَرَ تآكلًا ناتجًا عن كشط اللحاء من الأشجار؛ ولهذا فالأرجح أنَّ نظامها الغذائي كان يتألَّف من أوراق الشجر والأغصان واللحاء مثل معظم حيوانات الماستودونات. اختفت ذوات الأنياب المُجرِّفة من أمريكا الشمالية في نهاية العصر الميوسيني، بالتزامن مع اختفاء وحيد القرن، والقرنيات الأولية، والدرومريسين، والأيل المسكي، والعديد من المجموعات الأخرى المعتادة في السافانا الأمريكية.

السلالة الأخيرة من الخرطوميات هي الفيليات، وتضم الفيلة الحية والماموث المنقرض. تطورت هذه السلالات في اتجاه جديد نحو وجه وفك سفلي أقصر، وعرف أعلى الجمجمة، مما سمح لها بتطوير الزوج الضخم من الأنياب العلوية وفِقدان السفلية تمامًا (الشكل ١٦-٥). أصبحت ضروسها تتكون من مجموعة كبيرة من صفائح المينا والعاج المطوية بإحكام، والتي تشكِّل سطحًا كبيرًا للمضغ في الأعلى؛ لذا فهي مهيَّأة جيدًا لطحن النباتات القاسية كالحشائش. وفي نهاية المطاف، استحوذت هذه الأسنان الكبيرة على وجهها القصير وفكَّيها؛ ولهذا لم يكن لديها سوى ضرسٍ واحدٍ أو اثنَين فقط في كل جانبٍ من الفك العلوي والسفلي في نفس الوقت (الشكل ١٦-٦(أ)؛ الشكل ١٦-٦(ب)).

شكل ١٦-٥: تفاصيل تطور الجمجمة والأنياب الخارجية والخرطوم في الخرطوميات، من موريثيريوم، الشبيه بفرس النهر المتقزم، مرورًا بالماستودونات ذات الأنياب الخارجية والخراطيم الأطول، إلى الماموث. الأجناس (من الأسفل إلى الأعلى): فوسفاثريوم، نوميدوثيريوم، موريثريوم، باليوماستودون، فيوميا، جومفوثيريوم، دينوثيريوم، ماموت (الماستودون الأمريكي)، والماموثوس (الماموث). (رسم توضيحي لماري برسيس ويليامز)

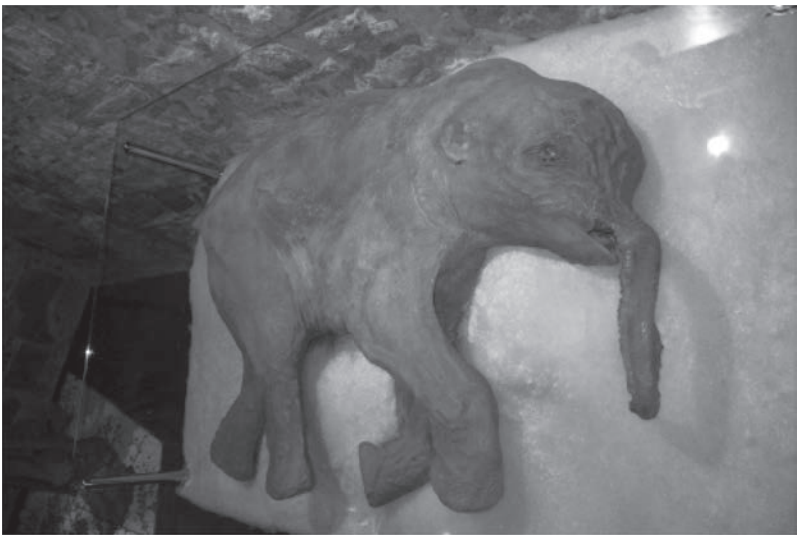
كانت المرحلة الأخيرة هي فصيلة الأفيال Elephantidae، وهي الفصيلة الحديثة التي تشمل الفيلة والماموث. يمكن تتبع هذه الفصيلة إلى جنس برايميليفاس («الفيل الأول» باللاتينية)، وهو جنس من أواخر العصر الميوسيني، كانت لديه أنيابٌ خارجيةٌ علويةٌ وسفليةٌ قصيرةٌ مثل الجومفوثيرات. خلال العصر البليوسيني، تطورت فصيلة الأفيال

(أ) (ب)

شكل ١٦-٦: أضراس الماموث في الفك، (أ) توضيح كيف تبرز الضروس من تجويف خلف الفك؛ ومن ثَم تضغط للأمام، حتى (ب) تنفصل الأضراس البالية عن مقدمة الفك. (صور المؤلف)

إلى جنس الماموث، وانتشرت عبر نصف الكرة الشمالي وأفريقيا. ومع تطورها، أصبحت أضراسها أكبر وأكثر تعقيدًا، مع المزيد والمزيد من طيات المينا والعاج. بلغ تطورها ذروته مع الماموث الكولومبي الضخم، المعروف جيدًا في المناطق المعتدلة والاستوائية، والذي كان عاري الجلد مثل الفيل الحديث. بلغ ارتفاعه ٤ أمتار (١٣,١ قدمًا) عند الكتف، وكان يزن من ٧ إلى ٩ أطنان (١٠ أطنان أمريكية). لكن حوافَّ الأنهار الجليدية في عصر البليستوسين كانت مأهولة بالماموث الصوفي، الذي كان أصغر بقليل، ومغطًّى بطبقة سميكة من الفراء الطويلة التي توفر له حماية في بيئته الباردة. لقد عُرِفتْ هذه الأنواع من الماموثات من عددٍ من العينات المحنطة (الشكل ١٦-٧) المجمدة في التندرا في سيبيريا وألاسكا، والتي لا تخبرنا بما كانت تبدو عليه وهي على قيد الحياة وحسب، بل تكشف لنا أيضًا عما كانت تتغذى عليه (يبدو أنها كانت مغرمة بنبتة الحَوْذان).

أخيرًا، في نهاية العصر الجليدي الأخير منذ حوالي ١٠ آلاف عام، اختفت جميع حيوانات الماموث من جميع القارات، واختفت معها بقية ثدييات العصر الجليدي الكبيرة.



شكل ١٦-٧: الماموث المحنط المجفَّف بالتجميد المكتشَف في التربة الصقيعية في سيبيريا، وقد ظل الجلد بأكمله والشعر ومعظم الأنسجة الرخوة الأخرى سليمة تمامًا. (تصوير المؤلف)

غير أنَّ مجموعة متقزمة من الماموث تمكنت من البقاء على قيد الحياة في بعض جزر القطب الشمالي، ومنها جزر ألوتيان وبالقرب من سيبيريا، وتمكنت من البقاء حتى قبل ٦ آلاف عام تقريبًا. كانت هناك أيضًا مجموعات من الماموث المتقزمة في جزر أخرى، مثل جزر القناة الإنجليزية قبالة سواحل سانتا باربرا في ولاية كاليفورنيا.

لقد تتبعنا تطور الخرطوميات من كائنات عصر الإيوسين، مثل موريثيريوم، حتى الفيلة الحديثة. فمن أين أتى نوع موريثريوم؟ ثمة اكتشافات حديثة في أفريقيا أجابتنا عن هذا السؤال أيضًا (انظر الشكل ١٦-٤؛ الشكل ١٦-٥). كان أقدم قريب معروف للخرطوميات كائنًا بحجم الثعلب يُعرَف باسم إيريثريوم، وقد عاش في أواخر العصر الباليوسيني في المغرب، واكتُشِف في عام ٢٠٠٩. تتسم أسنانه بالشرفات الدائرية الأربعة المعهودة لدى الأقارب البدائية للخرطوميات، مع أثر ضئيل فقط لنمط الحواف العرضية الموجودة في خرطوميات لاحقة. بالأسنان الأمامية والفك السفلي أيضًا سمات أخرى من سمات الخرطوميات، والعينان في المقدمة بعيدًا عن الجمجمة، وهي سمة نموذجية في

المجموعة بأكملها. ولدينا من أواخر العصر الباليوسيني أيضًا فوسفاثيريوم، وهو يشترك مع الخرطوميات في العديد من السمات، ومنها امتلاكه لعظام خطم قصيرة مع بداية لخرطوم، لكن أضراسه تطورت بها حوافُّ عرضية أفضل من تلك التي امتلكها إيريثريوم. تشير الخدوش على أسنانه إلى أن فوسفاثريوم كان يأكل مجموعة متنوعة من النباتات، لكنه كان يعتمد على أوراق الشجر في الأغلب. الخطوة التالية هي الحفرية داويثيريوم التي تنتمي إلى عصر الإيوسين المبكر في المغرب، والحفرية نوميدوثيريوم على وجه التحديد، والتي اكتُشِفت في الجزائر. ذلك أنَّ الجمجمة غير المكتملة التي تعود لنوميدوثيريوم، تشير بالفعل إلى دلائل على امتلاك هذا النوع للجبين الطويل المنحدر الذي تتميز به الفيلة، وفتحة أنف خلف الخطم، مما يشير إلى وجود خرطوم قصير. تبدأ الأنياب العلوية في الاستطالة إلى أنياب خارجية قصيرة، لكن نوميدوثيريوم لم يفقد جميع قواطعه الأمامية كما هو الحال في الخرطوميات اللاحقة. كانت أسنانه الأمامية السفلية قد بدأت في الانحناء وتكوين شكل المغرفة المميِّز للماستودونات المبكرة. لم يكن طوله يزيد عن متر واحد (ثلاث أقدام) عند الكتف، لكنه كان يمتلك أطرافًا قوية كغيره من الخرطوميات، على الرغم من أنه كان بحجم الخنزير فقط.

إن تطور الخرطوميات يتجسد في تسلسل أحفوري موثَّق بشكل رائع، يوضح التاريخ المتفرِّع المعقد لهذه المجموعة، والتي تبدأ بكائناتٍ بحجم الثعلب ليس لها من سمات الفيلة إلا القليل، ثم نمَت خراطيمها تدريجيًّا، وامتلكت مجموعة متنوعة من الأنياب الخارجية العلوية والسفلية، إلى أن نصل إلى الأفيال الحديثة والماموث المنقرض. إن كيفية حصول الفيل على خرطومه لم يعد لغزًا، بل واحدة من أفضل القصص الموثقة في السجل الأحفوري.

وأخيرًا، لدينا سؤال آخر مُلِح؛ من أين أتت الخرطوميات؟ ما أقرب أقربائها؟ في عام ١٩٧٥، اقترح مالكولم ماكينا، الذي كان المشرف عليَّ في المتحف الأمريكي للتاريخ الطبيعي في نيويورك، أنها مجموعة تسمَّى وحشيات بحر تيثس (تيثيريا). كانت التيثيريات مجموعة من الثدييات التي نشأت في الأصل على ما يبدو حول حوافٍّ ممر تيثس البحري الاستوائي، الذي كان يمتد ذات يوم من جبل طارق إلى إندونيسيا. اقتصرت التيثيريات بالأساس على الخرطوميات وعلى مجموعة أخرى معروفة، وهي الخيلانيات أو أبقار البحر (يعرفها معظم الناس من خلال خراف البحر والداجونج). ومثلما أشار ماكينا، كانت

التيثيثيريات تتمتع بعدد كبير من السمات التشريحية الفريدة في جماجمها، ومن ذلك أنها لم تكن في معظم الأحوال تستبدل بأسنانها اللبنية أسنانًا بالغة تندفع من الأسفل، بل أسنانًا جديدة تندفع من الجزء الخلفي من الفك، حيث تتساقط الأسنان القديمة البالية في مقدمة الفك. إن الأفيال وخراف البحر فقط هي التي تقوم بذلك اليوم، ومن بين جميع الكائنات المنقرضة، لا يظهر هذا النمط الغريب المعروف باسم الاستبدال الأفقي للأسنان، إلا لدى أقرب أقرباء الأفيال وخراف البحر. في الثمانينيات والتسعينيات من القرن الماضي، أكدت الدراسات الجزيئية أن الأفيال وخراف البحر هما أقرب الكائنات الحية أحدهما للآخر.

ومنذ ذلك الوقت، أظهر المزيد من التحليل التشريحي للحفريات أن التيثيثيريات تضم أيضًا مجموعتَين منقرضتَين؛ مجموعة أرسينويثيريوم ذات القرون الغريبة، التي عثر عليها أندروز وبيدنيل في مُنخفَض الفيوم في عام ١٩٠٢ (انظر الشكل ١٦-٤)، ومجموعة مائية غريبة من الثدييات شبيهة بفرس النهر تُعرَف باسم المدعمات، وهي لا توجد إلا في الصخور البحرية التي تنتمي إلى العصر الميوسيني، وتقع في حافة المحيط الهادي، من باخا في كاليفورنيا إلى اليابان. أظهرت المفاجأة الأخيرة من علم الأحياء الجزيئي أن التيثيثيريات كانت مرتبطة ارتباطًا وثيقًا بعدد من المجموعات الأفريقية، بما في ذلك الوبريات الشبيهة بالمرموط، وخنازير الأرض الآكلة للنمل الأبيض، بالإضافة إلى زبابيات الفيل الصغيرة، وآكلات الحشرات الشبيهة بالزبابيات من مدغشقر، والمعروفة باسم الماديات، والحيوانات الغريبة الشبيهة بالخُلد المعروفة باسم العسربيات. إن جميع هذه الكائنات إما تعيش بالكامل في أفريقيا اليوم، أو أنها نشأت هناك وانتشرت في أماكن أخرى؛ لذلك أُطلقَ عليها اسم الأفريقيات. ظلت قرابتها الحيوانية لغزًا لفترةٍ طويلةٍ حتى جاء الدليل من علم الأحياء الجزيئي دامغًا على درجة القرابة الوثيقة التي تجمع بينها جميعًا.

إن عددًا قليلًا من عظام الماموث وضرسًا وحيدًا من الإنكوجنيتوم الأمريكي؛ قدَّمت لنا أول فكرة عن الأقرباء المنقرضين للأفيال، لكننا نمتلك الآن سجلًّا أحفوريًّا غنيًّا يتتبع تاريخ هذه الأنواع إلى أقدمها منذ أكثر من ٦٠ مليون سنة. علاوةً على ذلك، فإن ما أضافه علم الأحياء الجزيئي يوحِّد هذه الأنواع مع مجموعةٍ كاملةٍ من الحيوانات الغريبة، كخراف البحر، وخنازير الأرض، والوبريات، والماديات، والعسربيات. وتلك قصة لم يكن أحدٌ ليتخيَّلها حتى قبل ٥٠ عامًا.

قراءات إضافية

Gheerbrant, Emmanuel, “Paleocene Emergence of Elephant Relatives and the Rapid Radiation of African Ungulates,” *Proceedings of the National Academy of Sciences* 106, no. 26 (2009): 10717–10721.

_____, “A Palaeocene Proboscidean from Morocco,” *Nature* 383, no. 6595 (1996): 68–70.

Prothero, Donald R., The Princeton Field Guide to Prehistoric Mammals: Princeton, NJ: Princeton University Press, 2016.

Prothero, Donald R. and Robert M. Schoch, *Horns, Tusks, and Flippers: The Evolution of Hoofed Mammals*, Baltimore, Md.: Johns Hopkins University Press, 2002.

Rose, Kenneth D., and J. David Archibald, eds., *The Rise of Placental Mammals: Origins and Relationships of the Major Extant Clades*, Baltimore, Md.: Johns Hopkins University Press, 2005.

Savage, Robert J. G. and M. R. Long, *Mammal Evolution: An Illustrated Guide*, New York: Facts-on-File, 1986.

Shoshani, Jeheskel, *Elephants: Majestic Creatures of the Wild*, New York: Rodale Press, 1992.

Shoshani, Jeheskel and Pascal Tassy, “Advances in Proboscidean Taxonomy and Classification, Anatomy and Physiology, and Ecology and Behavior,” *Quaternary International* 126–128 (2005): 5–20. https://doi.org/10.1016/j.quaint.2004.04.011.

_____, eds., *The Proboscidea: Evolution and Paleontology of Elephants and their Relatives*, New York: Oxford University Press, 1996.

Turner, Alan and Mauricio Anton, *National Geographic Prehistoric Mammals*, Washington, D.C.: National Geographic Society, 2004.

الجزء الرابع

العيون والجينات

الفصل السابع عشر

بِركة صغيرة دافئة

كيف نشأت الحياة؟

كثيرًا ما يُقال إنَّ جميع الشروط اللازمة لإنتاج أول كائن حي موجودة الآن، ومن المحتمل جدًّا أنها كانت موجودة من قبل. لكن ماذا لو (ويا له من احتمال هائل!) أمكننا تصوُّر بِركةٍ ما — صغيرة ودافئة تحتوي على جميع أنواع الأمونيا والأملاح الفوسفورية والضوء والحرارة والكهرباء، وما إلى ذلك — تشكَّل فيها مركَّب بروتيني كيميائيًّا، وكان لا يزال قابلًا للخضوع لتغيرات أكثر تعقيدًا؛ إنَّ مثل هذه المادة البروتينية كانت ستُمتص على الفور في وقتنا الحالي، لكن ذلك لم يكن ليحدث قبل أن توجد الكائنات الحية.

تشارلز داروين،
في رسالة لجوزيف هوكر عام ١٨٧١

تُعَد نشأة الحياة أحد أكثر الموضوعات التي يُساء فهمها، وتتعرَّض للتشويه عند مناقشة التطوُّر في المجال العام. وفيما يلي بعض ما يشيع من أكاذيب ومفاهيم خاطئة عن نشأة الحياة:

«لا أستطيع أن أتخيل نشأة الحياة من صُدفة عشوائية.»
«إن احتمال نشأة الحياة من اللاحياة هو احتمال ضئيل يكافئ احتمال هبوب إعصار على ساحة خردة وتجميع طائرة من طراز ٧٠٧.»
«يُظهِر العلم أن التوالد التلقائي لا يمكن أن يحدث، فكيف إذن تنشأ الحياة؟»

إننا دائمًا ما نسمع هذه الحجج وغيرها من الحجج الخاطئة والمضلِّلة، وتوجد ردود عديدة عليها توضح خطأها. وبالرغم من كشف عَوار هذه الأفكار، يبدو أن التفسيرات العلمية لنشأة الحياة لم تستقر في الوعي العام بعد.

حقيقة الأمر أن تفسير نشأة الحياة (التخلق التلقائي) لا يندرج أصلًا ضمن النظرية التطورية الكلاسيكية، التي تتعامل أساسًا مع الانتخاب الطبيعي بعد نشأة الحياة. لكنها وسيلة سهلة لمنكري العلم لأن يستغلوا التشكك الشخصي لدى جمهورهم، ونقص المعرفة العلمية لديهم؛ فيطرحوا مسألة نشأة الحياة طوال الوقت.

لقد أدت الإنجازات الحديثة في أبحاث نشأة الحياة إلى اكتشافات رائعة، يتحدَّى العديدُ منها تفسيراتِ مَن ينكرون حقيقة التطور. فعلى سبيل المثال، إذا كان كلٌّ من الميتوكوندريا والبلاستيدات الخضراء قد خُلِق على نحوٍ خاص، فلماذا تمتلك جينوماتها الخاصة بها داخل الخلية الحقيقية النواة، ولماذا يمكن القضاء عليها بالمضادات الحيوية؟ يقدم التطور تفسيرًا لذلك، وهو تفسير اختُبِر جيدًا. ولماذا تعتمد الحياة كلها على ٢٠ حمضًا أمينيًّا فقط من أصل أكثر من ١٠٠ حمض أميني معروف، ولماذا لا تتخذ هذه الأحماض إلا نوعًا واحدًا من الكيرالية (كيرالية اليد اليمنى)؟ يشرح التطور ذلك أيضًا بشكل جميل. إذا كانت الحياة قد خُلِقت بشكل خاص، فلماذا توجد اللبنات الأساسية للحياة (الأحماض الأمينية) في جميع أنحاء الكون؟ مرة أخرى، لا نجد لهذا أي معنًى إلا في ضوء التطور. لقد نجح العديد من الاكتشافات المدهشة في محاكاة كل خطوات نشأة الحياة تقريبًا في المختبر، وقد صرنا — في أثناء كتابتي لهذا الكتاب — قريبين للغاية من خَلْق الحياة معمليًّا من اللاحياة.

لكنني سأبدأ أولًا بمعالجة المفاهيم الخاطئة بشأن التولُّد التلقائي. قبل ستينيات القرن التاسع عشر، كان معظم الناس (ومنهم لامارك وداروين) يعتقدون أن الحياة يمكن أن تنشأ تلقائيًّا من اللاحياة. فالديدان مثلًا تظهر على نحو غامض في اللحم المتعفن، والمرق المتروك يفسد؛ إذ تنتشر فيه البكتيريا والفطريات. بعد ذلك، قام لويس باستير بسلسلة شهيرة من التجارب أوضحت أن التولد التلقائي لا يحدث، بل تنمو الديدان أو البكتيريا فقط، إذا كانت هناك طريقةٌ ما تسمح لها بالانتشار من الكائنات الحية التي لا تخضع للتجربة. لكن جميع تلك التجارب افترضت الظروف الحالية للأرض، لا سيما مستويات الأكسجين الحالية في الغلاف الجوي البالغة ٢١٪. وحقيقة الأمر أننا نمتلك الكثير للغاية من الأدلة الجيولوجية، التي توضِّح أن الغلاف الجوي المبكر للأرض لم

يكن يحتوي على أكسجين حر عندما تشكَّل قبل ٤,٦ مليارات سنة، وأن حوالَي ١٪ فقط من الغلاف الجوي كان يحتوي على أكسجين قبل ٢,٣ مليار سنة. في ظل هذه الظروف، يكون من الأسهل بكثيرٍ تكوين الحياة من اللاحياة. وبناءً على وجود مواد كيميائية حيوية مثل الأحماض الأمينية في جميع أنحاء الكون، يبدو أنَّ نشأة الحياة أسهل كثيرًا مما قد تتوقع. وحالما ظهرت الحياة، الْتهمت جميع العناصر الغذائية الغنية بحيث لا يمكن لأي مخلوقات أخرى استغلالها؛ ومن ثَم منعت نشأة الحياة مرة أخرى. ما ينبغي أن نتذكره إذن هو: «في ظل الظروف الحالية على الأرض مع وجود الأكسجين الحر، فإن التولد التلقائي لا يحدث.»

ثانيًا: كيف يمكن للمصادفة العشوائية أن تقوم بتجميع شيء معقد مثل الحياة؟ نرى مجددًا أنَّ هذه الفرضية التي تنطوي عليها هذه الحجة خاطئة تمامًا. صحيحٌ أن التنوع الجيني يحدث بسبب طفرات الصدفة وإعادة التركيب الجيني، لكن التطور لا يحدث بالصدفة؛ فالانتخاب الطبيعي عملية غير عشوائية تتخلص من الأقل لياقةً من بين تلك الكائنات التي تتمتع باللياقة. ثمة تشبيه قديم يذهب إلى أن قيامَ قرد بالضرب على مفاتيح الآلة الكاتبة عشوائيًّا سيؤدي إلى كتابة أعمال شكسبير؛ احتماليةٌ ضئيلة للغاية. (هذا التشبيه قديم من الناحيتين؛ لأن الآلات الكاتبة قد انقرضت تقريبًا.) يمكننا، بدلًا من ذلك، تقديم تشبيه أفضل بكثير لقرد لديه مدقق إملائي في برنامج معالجة الكلمات الخاص به. يقوم المدقق الإملائي بإصلاح الأخطاء وتصحيحها تلقائيًّا عندما يميز مجموعة من الكلمات السليمة، ويزيل العديد من سلاسل الحروف غير المنطقية الناتجة عن ضرب لوحة المفاتيح بشكل عشوائي. إنَّ الانتخاب الطبيعي شبيه بمدقق إملائي غير عشوائي يتخلص من التركيبات السيئة التي تنشأ عن طريق الصدفة، ويفضِّل التركيبات السليمة. إذا أجريتَ عددًا من عمليات المحاكاة الحوسبية البسيطة لهذه العملية؛ فستجد أنه من الممكن إنتاج تسلسل من كلمات ذات معنًى في بضع عشرات إلى بضع مئات من مرات تكرار هذا الروتين؛ إذ يقوم البرنامج بحذف الأخطاء وانتخاب التوليفات السليمة فحسب. في كتابَي «صانع الساعات الأعمى» (١٩٨٦) و«صعود جبل اللاحتمال» (١٩٩٦)، يقدِّم ريتشارد دوكينز العديد من الأمثلة المثيرة والنماذج الحوسبية التي تُظهِر مدى سهولة القيام بذلك.

ثمة تشبيهات أخرى طُرِحت، وهي أيضًا خاطئة، تفترض أن الصدفة العشوائية هي الآلية المسئولة. كان عالم الفلك فريد هويل (وحاكاه فيما بعدُ دوان جيش) هو مَن صاغ

التشبيه الخاطئ الشهير لإعصار في ساحة خردة يقوم بتجميع طائرة من طراز بوينج ٧٠٧ (مرة أخرى، تشبيه عتيق من بطولة طائرة عمرها ٦٠ عامًا). لكن التطور ليس بقوة عشوائية مدمرة كإعصار أو عاصفة مدارية، بل برنامج كمبيوتر للتدقيق الإملائي، بطيء منهجي مصلِّح، يبني النظام من مكونات عشوائية من خلال إعدادات برمجة تنتخب التوليفات الناجحة.

كثيرًا ما يقول منكرو العلم: «كيف يمكن للخطوات العديدة اللازمة لصنع خلية معقدة أن تحدث بالصدفة العشوائية؟ إن الاحتمالية المنافية لحدوث هذا هائلة جدًّا!» سوف يشرعون بعد ذلك في إجراء عملية حسابية غير منطقية، بناءً على الافتراض الخاطئ بأن كل شيء يعمل بالصدفة. وكما يعلم أي شخص على دراية بالاحتمالات، لا يمكنك طرح مثل هذه الحجة بعد وجود الواقع. وإذا قمت بذلك، فإن أي تسلسل معقد من الأحداث سيكون غير محتمل، على الرغم من حدوث بعض هذه الأحداث بالفعل. خلال إحدى المناظرات، طلبتُ ذات مرة من الجمهور المكون من عدة مئات تقدير احتمال أن جميع الأحداث التي وقعت في حياتهم ستحدث بالفعل بعد حقيقة وقوعها، واحتمالية أن ينتهي بهم الأمر جميعًا في هذه الغرفة في هذه اللحظة بالذات. إن احتمالية عدم وقوع هذا الحدث هائلة بالطبع. وباستخدام حجج الاحتمالية لخصمي في المناظرة، أشرت إلى أن هذا الجمهور لم يكن من الممكن أن يوجد! دعونا إذن نُنحِّ هذه المقارنات الزائفة والحجج الخاطئة، ولْنراجع الأبحاث العلمية المؤكدة بشأن كيفية نشأة الحياة.

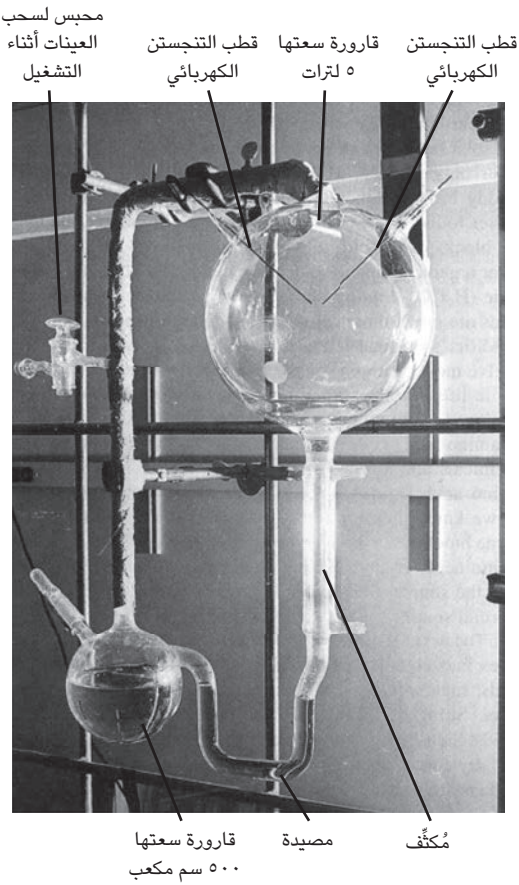
يمكننا تتبع البحث في مسألة نشأة الحياة ودراستها إلى داروين الذي اقترح نموذجًا لنشأة الحياة في رسالةٍ كتبها عام ١٨٧١ إلى صديقه عالم النبات جوزيف هوكر (راجع الاقتباس في بداية الفصل). تكهَّن داروين بأن «بِركة صغيرة دافئة» تحتوي على الخليط المناسب من المركَّبات الكيميائية (سماها العلماء اللاحقون بدافع الفكاهة: «الحساء البدائي») والمصادر المناسبة للطاقة يمكن أن تُنتِج بروتينات. وفي عشرينيات القرن الماضي توصَّل عالم الكيمياء الحيوية الروسي إيه آي أوبارين، وعالم الوراثة البريطاني جيه بي إس هالدين إلى فكرة أن الأرض كانت تحتوي في الأصل على غلافٍ جويٍّ مختزِل، يحتوي على النيتروجين وثاني أكسيد الكربون والأمونيا (NH_3) والميثان أو الغاز الطبيعي (CH_4)، لكنه لا يحتوي على أكسجين حر. إن هذا الغلاف الجوي، إضافةً إلى محيط يقابله، يمثِّلان الحساء البدائي المثالي لإنتاج مركَّبات عضوية بسيطة.

في عام ١٩٥٣ قرر ستانلي ميلر، طالب الدراسات العليا الشاب بجامعة شيكاجو، اختبار فرضية أوبارين، بالتعاون مع مستشاره، الكيميائي هارولد أوري. نال أوري بعد

ذلك جائزة نوبل في الكيمياء عن إنجازاته العديدة في كيمياء النظائر، بما في ذلك اكتشاف الديوتيريوم، وطريقة فصل النظائر اللازمة لصنع القنابل النووية في مشروع مانهاتن. أراد ميلر معرفة ما إذا كان مثل هذا الحساء البدائي يمكن أن يولِّد مواد كيميائية حيوية. فقام ببناء جهاز بسيط مكوَّن من أنابيب زجاجية شكَّلت حلقة متصلة مُحكَمة الغلق، وقام بإخراج كل الهواء (بما في ذلك الأكسجين) بواسطة مِضَخة تفريغ. وضخَّ في هذه الأنابيب المفرغة «غلافًا جويًّا» جديدًا غنيًّا بثاني أكسيد الكربون والنيتروجين والميثان والأمونيا والماء (ولكن بدون أكسجين حر). بعد ذلك، قام بتسخين قارورة «المحيط» في القاعدة لبدء دوران البخار، واستخدم الشرارات في قارورة أخرى لمحاكاة «البرق» كمصدر للطاقة (الشكل ١٧-١). وفور أن مرَّ البخار المحمَّل بالميثان والأمونيا بـ «البرق»؛ برَد البخار بفعل المكثِّف، وتدفَّق الماء السائل عائدًا إلى قارورة «المحيط».

لقد أسفرت هذه التجربة البسيطة عن نتائج مذهلة. في غضون أيام، استحال المحلول الصافي «للمحيط» بُنيًّا مصفرًّا، مع تكوُّن مواد كيميائية جديدة، وفي غضون أسبوع، تحوَّل المحلول إلى مادة لزجة غنية بالمواد العضوية لونها بني داكن. وعندما قام ميلر بتحليلها، وجد أنه قد أنتج بالفعل أربعة من الأحماض الأمينية العشرين المستخدَمة في صنع البروتينات، إضافةً إلى العديد من الجزيئات العضوية البسيطة والمهمة، مثل السيانيد (HCN) والفورمالدهايد (H_2CO). من خلال تجربة واحدة رائعة، استهلَّ ميلر توظيف مجال البحث الكيميائي الحيوي في مسألة نشأة الحياة.

صحيحٌ أن الأحماض الأمينية أكثر تعقيدًا بكثير من المواد الكيميائية التي بدأ بها ميلر، لكنه أوضح أن إنتاجها سهل بدرجة كبيرة. ثمة مختبرات أخرى أجرت فيما بعد تجارب مماثلة لتلك التي أجراها ميلر، وأنتجت ١٢ حمضًا أمينيًّا من أصل العشرين حمضًا الموجودة في الحياة. لقد نتج عن إجراء التجارب على خليط من السيانيد المخفَّف سبعةُ أحماض أمينية. وأيًّا كانت التجربة التي تصممها، فإنها لن تتطلب قوًى خارقة للطبيعة، أو حتى أكثر من بضعة أيامٍ في المختبر لصنع اللبنات الأساسية للحياة. في الواقع، إن تجربة ميلر بسيطةٌ للغاية، حتى إنه يمكن لأي شخصٍ القيام بها، إذا كانت لديه إمكانية الوصول إلى مختبرٍ كيميائي مناسب ومضخة تفريغ والغازات المناسبة، وتوجد مقالات على الإنترنت تصف كيفية إعداد تجربة ميلر-أوري. في السنوات التي تلت تجارب ميلر الأصلية، وجد علماء آخرون ٧٤ نوعًا من الأحماض الأمينية المختلفة حبيسة في النيازك التي تشكلت في النظام الشمسي الأصلي (ومنها جميع الأحماض الأمينية العشرين



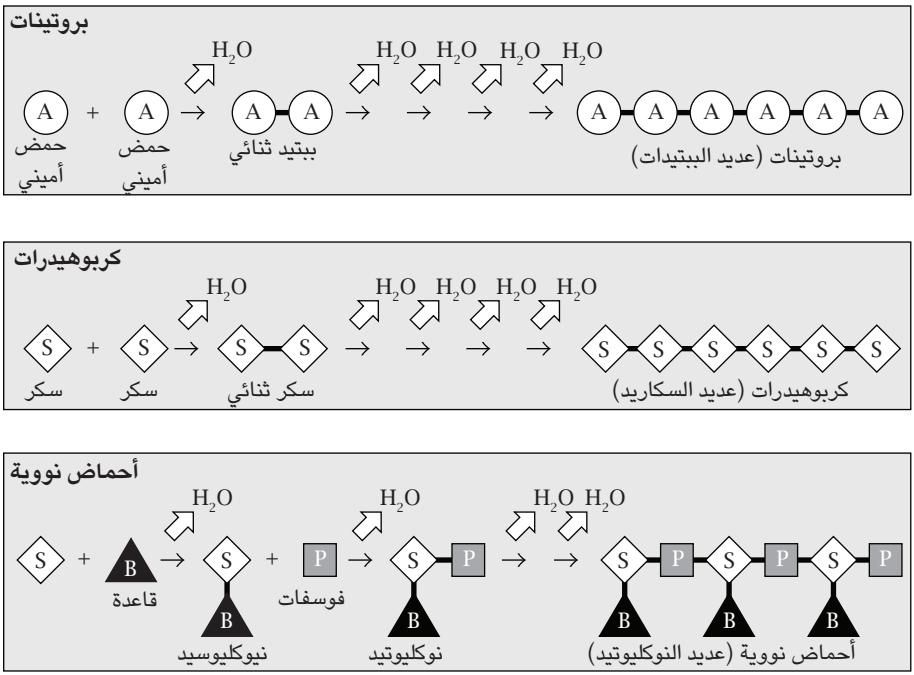
شكل ١٧-١: نموذج للجهاز الذي استخدمه ستانلي ميلر وهارولد أوري في عام ١٩٥٣، لمحاكاة تخليق المركَّبات العضوية المعقدة على الأرض في بداية تاريخها. فُرِّغ الهواء من الجهاز، واحتفظت القارورة الكبيرة بـ «غلاف جوي» غني بثاني أكسيد الكربون والماء والنيتروجين والأمونيا والميثان (ولكن بدون أكسجين). حاكت شرارات من الأقطاب الكهربائية البرق، ثم تدفق ناتج هذا التفاعل عبر المكثف وتراكم في القارورة، التي أصبحت بمثابة «حساء بدائي». بعد حوالي أسبوع، تحول المحلول الصافي إلى وحل بني عَكِر سميك مليء بالمركبات العضوية الحديثة التخليق، بما في ذلك العديد من الأحماض الأمينية اللازمة لبناء الحياة. (بتصريح من ستانلي ميلر)

الموجودة في الأنظمة الحية). إن إنتاج الأحماض الأمينية أمر سهل بدرجة كبيرة؛ لذلك يمكننا أن نفترضَ أنها كانت موجودةً في محيطات الأرض في بداية تكوُّنها (مثلما كانت في بعض الأحجار النيزكية وفي جميع أنحاء الفضاء على ما يبدو).

لكننا مهتمون بالمواد الكيميائية الحيوية الأكثر تعقيدًا، والمعروفة باسم البروتينات، والتي تتكون من سلاسل طويلة من الأحماض الأمينية. البروتينات هي اللبنات الأساسية لمعظم الأنظمة الحية. ويحتاج الكائن الحي أيضًا إلى سلاسل معقدة أخرى تتكون من لبنات بناء بسيطة. فنحن بحاجة إلى ليبيدات (وهي شائعة في الزيوت والدهون)، وتتكون من سلسلة طويلة من الأحماض الدهنية المرتبطة بالكحولات. ونحتاج أيضًا إلى مزيج الكربوهيدرات والنشويات التي تتكون من سلاسل طويلة من السكريات البسيطة مثل الجلوكوز. ونحتاج إلى أحماض نووية (الحمض النووي الريبوزي، والحمض النووي الريبوزي منقوص الأكسجين)، وكلاهما يتكون من سلاسل معقدة من السكريات، والفوسفات، والقواعد الأربعة (الأدينين، والثايمين، والسيتوزين، والجوانين)، والتي تحمل الشفرة الوراثية اللازمة لعمل نُسَخ من الكائن الحي. إن جميع هذه الجزيئات المعقدة عبارة عن بوليمرات تتشكل من خلال ربط مكونات أبسط معًا، من خلال تفاعل يسمَّى البلمرة (الشكل ١٧-٢). فكيف إذن نُنشِّط تفاعلات البلمرة؟

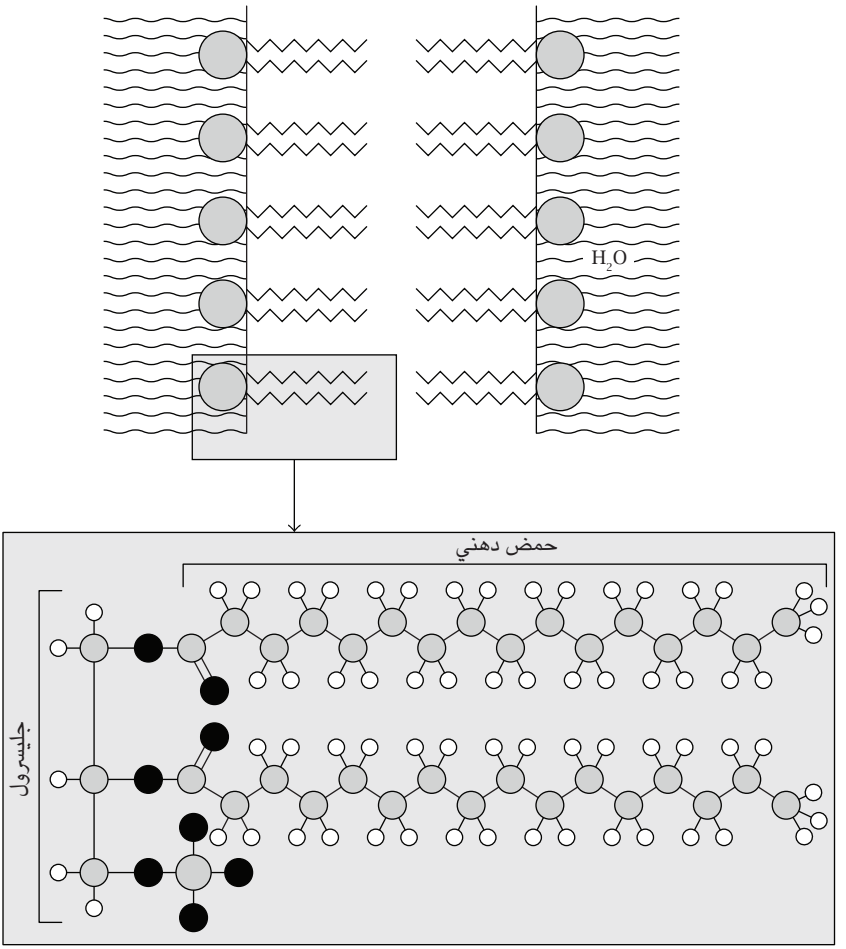
اتضح لاحقًا أنه من السهل بدء العديد من هذه التفاعلات، وإنتاج بوليمرات قصيرة السلسلة. في خمسينيات القرن الماضي، قام سيدني فوكس برشِّ محلولٍ من الأحماض الأمينية على الصخور البركانية الساخنة الجافة، وشكَّل هذا الخليط العديد من البروتينات الموجودة في الحياة. وفي وجود الفورمالديهايد، تُشكِّل بعض السكريات كربوهيدرات معقدة بسهولة. أدت تجارب ميلر المبكرة أيضًا إلى إنتاج مكونات الأحماض النووية، مثل القاعدة النوكليوتيدية؛ الأدينين (من خلال تسخين محاليل مائية من السيانيد)، وإنتاج الأدينين زائد الجوانين (من خلال توجيه الكثير من الأشعة فوق البنفسجية إلى سيانيد الهيدروجين المخفَّف).

وبالنسبة إلى إنتاج الليبيدات، فهو أكثر سهولة حتى من ذلك (الشكل ١٧-٣). تتكون اللبنات الأساسية للِّيبيدات من كحول قابل للذوبان في الماء، وجليسرول في أحد طرفيها، وسلسلة طويلة من الأحماض الدهنية على الطرف الآخر. الطرف الكحولي محب للماء (قابل للذوبان في الماء)، وطرف الأحماض الدهنية كارهٌ للماء (لا يذوب في الماء). عندما تضع شيئًا من الليبيدات في الماء، يتوجَّه الطرف المحب للماء من الجزيء نحو الماء، والحامض الدهني الكاره للماء يبتعد عن الماء. مع وجود كمية كافية من الليبيدات،



شكل ١٧-٢: تتمثل الخطوة التالية لنشأة الحياة في ترتيب وحدات البناء الأصغر، في سلاسل أطول وأكثر تعقيدًا (البلمرة). ومن التفاعلات الشائعة ربط العديد من الأحماض الأمينية معًا لتشكيل البروتينات، وهي اللبنات الأساسية للحياة؛ وبلمرة السكريات البسيطة إلى كربوهيدرات معقدة، وهي المكون الأساسي لجدران الخلايا، ومصدر طاقة مهم في عملية التمثيل الغذائي؛ وربط السكريات والفوسفات والنيوكليوسيدات معًا لصنع الحمض النووي والحمض النووي الريبوزي، وهما يمثلان الشفرة الجينية الأساسية لجميع أشكال الحياة. (بتصريح من جيه ويليام شوبف)

يمكنك إنشاء ليبيدات ثنائية الطبقة، حيث تصطفُّ جميع الليبيدات وتتجمع معًا في نفس الاتجاه، مما يسمح لها بالارتباط معًا. أنت ترى هذا التفاعل في أي وقت تضع فيه قطرة من الزيت في ماء، أو قطرة ماء في زيت. كما يعلم الجميع، فإن الزيت والماء لا يختلطان، بل يشكلان تكتلات سائلة منفصلة تفصل بينها ليبيدات ثنائية الطبقة. وقد اتضح أن



شكل ١٧-٣: تحتوي بعض المواد الكيميائية العضوية على خصائص تمكِّن الخلايا من التشكل تلقائيًّا بدون تفاعلات عضوية معقدة. الليبيدات، وهي اللبنات الأساسية للدهون والزيوت، لها طرف يطرد الماء وطرف يرتبط بالماء. تصطف هذه الخصائص التي تجذب الدهون إلى الماء أو تبعدها عن الماء تلقائيًّا، ثم تتحد لتشكل أغشية. عندما يختلط الزيت بالماء، يشكِّل غشاءً طبيعيًّا يغلف قطرة، وهو يشبه الغشاء الذي يتكوَّن من ليبيدات ثنائية الطبقة والذي يحيط بجميع الخلايا. (بتصريح من جيه ويليام شوبف)

الأغشية البسيطة لدى معظم الكائنات البدائية هي أيضًا ليبيدات ثنائية الطبقة. إذن، فإنتاج غشاء لأكثر الكائنات الحية بدائيةً هو ببساطة صنع صلصة من الزيت والماء!

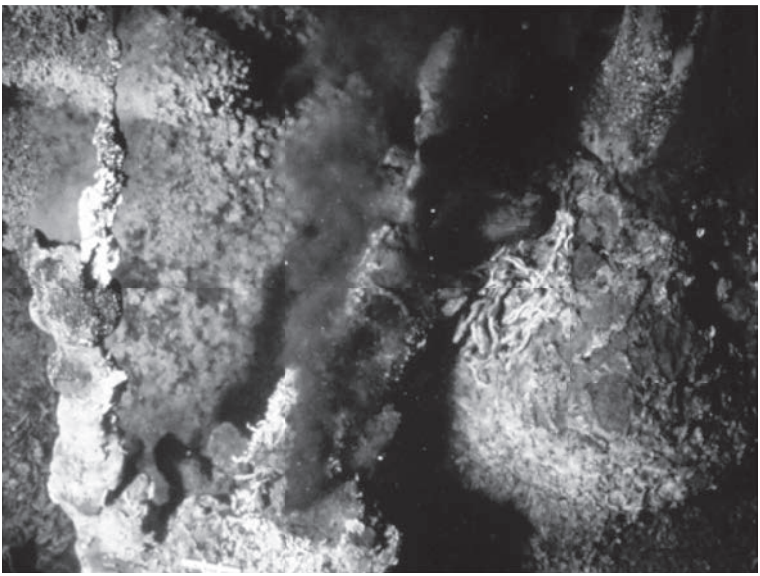
عندما تُجفَّف هذه القطرات من الدهون ثم يعاد ترطيبها مرة أخرى، فإنها تشكل كرات تركز أي حمض نووي موجود بمقدار يصل إلى ١٠٠ ضعف. فهذه القطرات الصغيرة من الليبيدات الثنائية الطبقة مع الأحماض النووية المحبوسة بداخلها، تحتوي على جميع خصائص «الحياة الأولية». أنتج أوبارين تكتلات سماها «كواسيرفات»، وأنتج سيدني فوكس بنًى مماثلة سماها «بروتينويدات». تتصرف هذه القطرات مثلما تتصرف الخلايا الحية إلى حد كبير؛ إذ تتماسك معًا عندما تتغير الظروف، وتنمو وتتبرعم تلقائيًّا إلى قطرات وليدة. وهي تعمل بشكل انتقائي على امتصاص مركبات معينة وإطلاقها، في عملية مشابهة للتغذية البكتيرية وإخراج الفضلات. وبعضها أيضًا يقوم بالتمثيل الغذائي لمادة النَّشا! صحيحٌ أن هذه الخلايا الأولية ليست حية، لكنها تتمتع بمعظم خصائص الخلايا الحية، وجميعها قد نشأت عن تفاعلات كيميائية بسيطة إضافةً إلى حرارة.

من السهل نسبيًّا تكوين اللبنات الأساسية للحياة في مختبر للكيمياء العضوية؛ أحماض أمينية، وبروتينات قصيرة السلسلة، وسكريات، ونشويات بسيطة؛ وأحماض دهنية زائد كحول لصنع ليبيدات ثنائية الطبقة وأغشية الخلايا؛ وأحماض نووية قصيرة لنقل المعلومات الجينية، لكن معظم الأنظمة الحية تتألف من جزيئات يبلغ طولها من مئات إلى آلاف الوحدات. من الصعب تجميع هذه الجزيئات إذا كانت وحدات البناء الفردية تتصادم عشوائيًّا بعضها مع بعض في محلول، لكن لدينا طريقة أكثر كفاءة وطبيعية بدرجة أكبر لتقريب هذه الجزيئات من بعضها؛ كي ترتبط في النمط الصحيح لتكوين جزيئات معقدة. غالبًا ما يستخدم علماء الكيمياء العضوية محفزًا، وهو نوع من مادة غير عضوية تُضاف إلى المحلول لتسريع التفاعل. وفي الطبيعة، يمكن للعديد من هذه المحفزات أن تساعد في اصطفاف اللبنات الأساسية للحياة، في إطار مُتراصٍّ بإحكام من الجزيئات. يمكن اعتبار هذه المحفزات بمثابة «قوالب» أو «دعامات»؛ فهي إطار خارجي غير عضوي يحافظ على الجزيئات العضوية الأصغر في موضعها، حتى تصطفَّ جميعها في الاتجاه الصحيح، وتصبح مكتظَّة إلى أن يتدافع أحدها مع الآخر. يمكننا تشبيه الجزيئات في هذه الحالة بمجموعة من الأشخاص في إحدى حفلات الروك، وقفوا — في الساحة الواقعة أمام المسرح — قريبين كتفًا إلى كتف، وكلهم متوجهون نحو المسرح. إذا كانوا مكتظين بما فيه الكفاية، فقد ترتبط حلقات آذانهم الكبيرة وأقراطهم الأخرى بعضها ببعض،

فيشكلون سلسلة بشرية محكَمة. وبالمثل أيضًا، إذا جُمِعت الجزيئات العضوية في الاتجاه الصحيح على مقربة من بعضها البعض، فإن «قُرطَيها» ($-OH$ و$+H$، أو الهيدروكسيل والهيدروجين، البارزَين من نهاية كل سلسلة) سيتصلان (انظر الشكل ١٧-٢)، فيَنتُج عن ذلك جزيئان أكبر حجمًا يرتبط أحدهما بالآخر.

فما القوالب أو الدعامات التي قد تكون قادرة على تحفيز مثل هذه التفاعلات؟ أكثرها ملاءمةً هو ذهب الأحمق، أو بشكل أدق، المعدن المعروف باسم البيريت (كبريتيد الحديد FeS_2). للبيريت مظهر ذهبي معدني؛ ولهذا سُمي بذهب الأحمق. لكن البيريت معدن له أهمية في حالات معينة، لا سيما في السوائل الشديدة الاختزال الناضبة من الأكسجين، والتي يتَّحد فيها الحديد مع الكبريت بدلًا من الأكسجين. تُعتبر كبريتيدات الحديد شائعة في المياه المحيطية العميقة التي تعاني من نقص الأكسجين، مثل قاع البحر الأسود، حيث تشكل ظروف الاختزال كبريتيدات الحديد بدلًا من أكاسيد الحديد التي توجد عادة في الطَّفْل الصفحي الأسود. يوجد البيريت بكثرة بشكل خاص في المَنافس المائية الحرارية الموجودة في حَيد وسط المحيط، أو «الأدخنة السوداء» (الشكل ١٧-٤)، حيث ترتفع الكبريتيدات الذائبة من قشرة المحيط مع الماء الشديد الحرارة من الحجرة الصهارية في حيد وسط المحيط. وهذا مثير للغاية للاهتمام؛ إذ زعم عدد من العلماء أن الطبيعة الكيميائية لهذه المَنافس التي تبثُّ الكبريتيد مثالية لإنتاج أقدم أشكال الحياة. فالأمر لا يقتصر على وجود قدر كبير من الطاقة في شكل حرارة بركانية، وإنما يزعم العديد من الكيميائيين أيضًا أن البيريت هيكل أو قالب جيد. فأسطح البيريت البِلَّورية مشحونة كهربائيًّا؛ ومن ثَم تنجذب الجزيئات العضوية إليها تلقائيًّا، وترتبط بطرَفَيها ذوَي الشحنات المتضادة. وعندما تتكتل الجزيئات العضوية مثل حلقة رقص مكتظة، فسوف ترتبط ببعضها عن طريق تفاعل التكثيف، وتقوم بتشكيل مواد كيميائية حيوية طويلة السلسلة على هيكل البيريت.

لنظرية مَنفس حيد وسط المحيط المتعلقة بنشأة الحياة ميزة أخرى أيضًا؛ فالمنفس معزول عن معظم الأحداث على سطح الأرض، ومستقر للغاية. حتى عندما ضربت النيازك الأرض قبل فترة تتراوح بين ٤,٦ و٣,٩ مليارات سنة، وبخَّرت المحيطات الضحلة مرارًا وتكرارًا، ظلت المنافس الموجودة في أعماق المحيطات آمنةً. ويتضح من التقارب الأخير لخيوط الأدلة أمر مثير للاهتمام، وهو أن الكائنات الحية الأكثر بدائية على الأرض، البكتيريا القديمة أو بكتيريا «آركيا»، توجد في نفس الظروف القاسية المتمثلة في المياه الشديدة السخونة ووفرة الكبريت.



شكل ١٧-٤: في الوُديان المتصدِّعة البركانية العميقة بحَيد وسط المحيط، تندلع حمم بركانية جديدة بينما تتفكك القشرة المحيطية. تقوم الصهارة بتسخين مياه البحر التي تتسرب من خلالها إلى درجات حرارة شديدة، وتشكِّل أعمدة من الماء المغلي والمعادن الذائبة المعروفة باسم «الأدخنة السوداء». والراسب الرئيسي لهذا التفاعل هو البيريت (كبريتيد الحديد، أو ذهب الأحمق)، وهو أيضًا قالب جيد لربط المواد العضوية المعقدة. وقد وجد علماء الأحياء أن أبسط أشكال الحياة جينيًّا، وهي البكتيريا القديمة، شائعة في الأدخنة السوداء، مما يتفق مع الفرضية القائلة بأن الحياة نشأت في فُوَّهات في أعماق البحار. وتُمثِّل تلك البكتيريا القديمة قاعدة سلسلة غذائية تضم مجموعة ضخمة من المحار العملاق، والديدان الأنبوبية، وسرطان البحر، والعديد من المخلوقات الفريدة الأخرى التي لا توجد إلا في مجتمعات أعماق البحر المظلمة. لا يوجد ضوء في هذا العمق؛ لذا فإن النظام بأكمله لا يعتمد على التمثيل الضوئي، بل على التخليق الكيميائي حيث توجد البكتيريا المختزِلة للكبريت (بدلًا من النباتات) في قاعدة السلسلة الغذائية. (بتصريح من الإدارة الوطنية للمحيطات والغلاف الجوي)

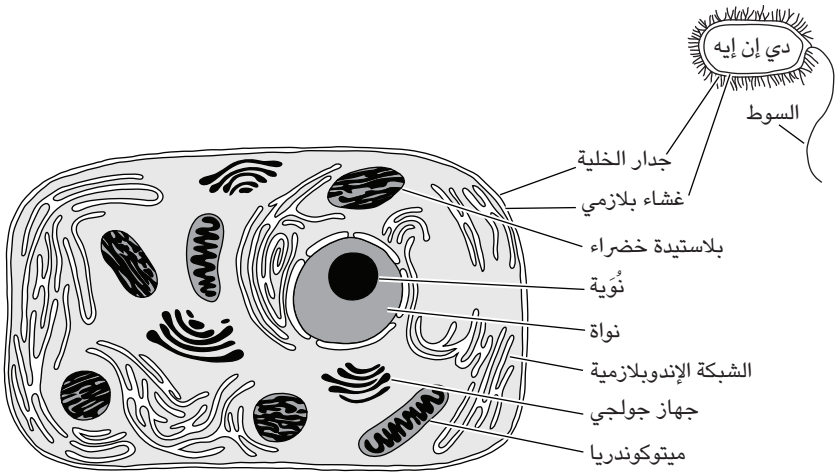
إننا لا نفتقر إلى آليات جيدة لتجميع الجزيئات العضوية الصغيرة تلقائيًّا، لتشكل تلك المواد الكيميائية الحيوية الطويلة السلسلة التي تتطلبها الحياة. تتوافق بعض هذه النماذج المقترحة أيضًا مع مجموعةٍ متزايدة من الأدلة، التي تُشير إلى أن الحياة نشأت في

المنافس البركانية في أعماق البحار، وليس في «بركة داروين الصغيرة الدافئة»، كما كان يُعتقَد لفترة طويلة.

لقد قمت بإيضاح أن أصول المواد الكيميائية الحيوية الأساسية (الأحماض الأمينية والبروتينات والسكريات والكربوهيدرات والليبيدات وأغشية الخلايا، إضافة إلى الأحماض النووية) اللازمة للحياة؛ يمكن إنتاجها بسهولة عن طريق تفاعلات كيميائية طبيعية بسيطة، لدرجة أن بعضها يحدث في الفضاء. ترتبط هذه البوليمرات البسيطة القصيرة السلسلة بسهولة وتلقائية بعضها ببعض، في البوليمرات الطويلة السلسلة عن طريق التحفيز على هياكل بعض القوالب غير العضوية، مثل البيريت. تعطينا جميع هذه الخطوات حمضًا نوويًّا مغلَّفًا بغطاء من ليبيد ثنائي الطبقة، له العديد من وظائف تمثيل الغذاء شبيهة بتلك الموجودة في الخلايا الحية. الخلاصة أنَّ شكل الحياة الافتراضي هذا لا يختلف كثيرًا عن الخلايا البكتيرية الأكثر بدائية، وهي أبسط الكائنات الحية المعروفة، والتي لا تعدو كونها حمضًا نوويًّا مغلَّفًا بغشاء خلوي، ويقوم ببعض الوظائف الإضافية الأخرى.

إن البكتيريا وغيرها من الكائنات البسيطة للغاية هي كائنات بدائيات النَّوى، أي إنَّ جينات الحمض النووي الخاصة بها (إما «آر إن إيه» أو «دي إن إيه») تطفو في الخلية بدون نواة. عادةً ما تكون بدائيات النَّوى بالغة الضآلة (يبلغ قُطرها بضعة ميكرونات فقط) وبسيطة للغاية. إن أقدم الحفريات المعروفة (من صخور يزيد عمرها عن ٣٫٤ مليارات سنة في أستراليا وجنوب أفريقيا) تتسم في الحجم والشكل بما يُمكِّننا أن ننسبها بثقة إلى بدائيات النَّوى، ومنها البكتيريا الخضراء المزرقة (البكتيريا الزرقاء، التي كانت تُعرَف خطأً قبل ذلك باسم «الطحالب الخضراء المزرقة») وأنواع أخرى من البكتيريا. أما الكائنات الحية الأكثر تعقيدًا، فتُعرَف باسم حقيقيات النَّوى، وهي تتألف من الخلايا الحقيقية النواة (توجد في الحيوانات والنباتات والفطريات)، وهي أكبر بحوالي ١٠ مرات من خلية بدائية النواة (الشكل ١٧-٥). جميع جينات الحمض النووي محاطة بغشاء يحيط بالنواة، ودائمًا ما تحتوي الخلايا الحقيقية النواة على بنًى إضافية (عُضَيات) داخل جدار الخلية. منها، على سبيل المثال، البلاستيدات الخضراء، وهي مواقع التمثيل الضوئي في الخلايا النباتية؛ والميتوكوندريا — وهي «محطات توليد الطاقة» في الخلية — حيث يجري تبادل الطاقة باستخدام الأدينوسين الثلاثي الفوسفات والأدينوسين الثنائي الفوسفات؛ وأجهزة جولجي التي تعالج البروتينات وتقوم بتعبئتها؛ والشبكة الإندوبلازمية

التي تصنع البروتينات والليبيدات والستيرويدات ومواد كيميائية أخرى، إضافة إلى تنظيم تركيز الكالسيوم وستيرويدات أخرى؛ والأجزاء الخارجية، مثل الأهداب الشبيهة بالشعر التي تُستخدَم في الدفع، أو السوط، الذي يُشبِه سَمِيَّه بالفعل؛ حيث يزوِّد الخلية بالقدرة على الحركة بسرعة عبر السوائل. لقد ظلت كيفية تطور جميع هذه البُنى المعقدة من لا شيء لغزًا كبيرًا لفترة طويلة.



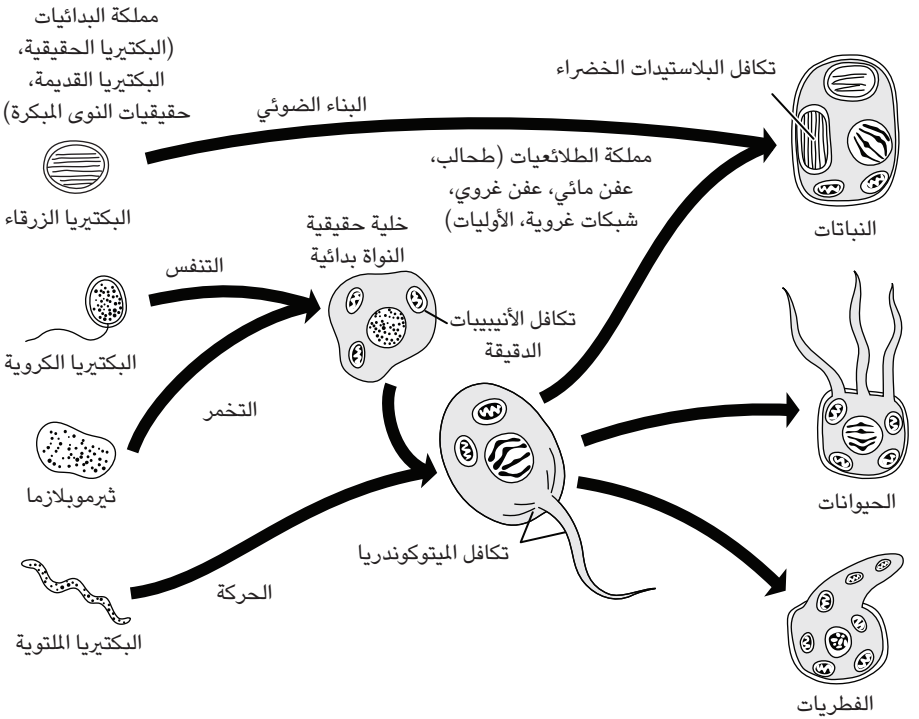
شكل ١٧-٥: بدائيات النَّوى، كالبكتيريا البدائية والبكتيريا الحقيقية، هي خلايا صغيرة يبلغ قطرها بضعة ميكرونات فقط. ومادتها الجينية (دي إن إيه) ليست محاطة بنواة، بل تطفو داخل الخلية، ولا توجد بها عُضَيات. أما حقيقيات النَّوى (جميع الكائنات الحية الأخرى) فلديها خلايا أكبر وأكثر تعقيدًا، وبكلٍّ منها نواة منفصلة تحتوي على حمضها النووي. قد يكون لديها أيضًا عدد من العُضيات الأخرى، بما في ذلك الميتوكوندريا، والبلاستيدات الخضراء، وجهاز جولجي، والشبكة الإندوبلازمية، والأهداب، والسوط وغيرها من الهياكل الخلوية. (من دونالد بروثيرو، «التطور: ما تخبرنا به الحفريات وأهميته»، الطبعة الثانية. [نيويورك: كولومبيا يونيفرستي برِس، ٢٠١٧])

في عام ١٩٦٧، اقترحت عالمة الأحياء لين مارجوليس حلًّا ثوريًّا لهذه المشكلة (كان عالم النبات الروسي كونستانتين ميريشوفسكي قد اقترح نسخة من هذه الفكرة في عام

١٩٠٥، لكنها قد نُسيت بحلول ذلك الوقت). بدلًا من العملية الصعبة المتمثلة في تطور العضيات من لا شيء، ذهبت مارجوليس إلى أن كل عُضَية موجودة في الخلية الحقيقية النواة، كانت ذات يوم خلية بدائية النواة تعيش في علاقةٍ تكافليةٍ داخل خلية أخرى، حتى أصبحت في النهاية جزءًا منها (الشكل ١٧-٦). تُعرَف هذه الفكرة باسم نظرية النشوء التعايشي. لقد بدأت البلاستيدات الخضراء فيما يبدو كبكتيريا زرقاء، وهي بكتيريا ضوئية، وإن كانت بدائية النواة لا تحتوي على عضيات. والبكتيريا الأرجوانية غير الكبريتية لها بنية الميتوكوندريا نفسها ووظيفتها، ويبدو أنها تمثِّل أصل الميتوكوندريا. ونجد أن السوط يتألف من تركيب ٩ + ٢ من الألياف (تسع مجموعات من الأنيبيبات الدقيقة المزدوجة المحيطة بزوج من أنيبيبات دقيقة مفردة في المركز)، وتتطابق هذه البنية مع بنية بدائيات النَّوى المعروفة باسم البكتيريا الملتوية، والتي تسبب أيضًا المرض المعروف باسم الزهري. وعندما بدأت كلٌّ من بدائيات النَّوى الصغرى تعيش داخل خلية أكبر، حوَّلت وظائفها إلى وظائف مضيفها؛ فاستحالت البكتيريا الزرقاء إلى بلاستيدات خضراء، أصبحت الآن مركز القيام بعملية التمثيل الضوئي، وأصبحت البكتيريا الأرجوانية غير الكبريتية ميتوكوندريا، وأدَّت دور محول الطاقة للخلية.

إضافة إلى أوجُه التشابه المُفصَّلة بين بدائيات النوى والعضيات، أشارت مارجوليس إلى العديد من خطوط الأدلة الأخرى الداعمة لفكرتها. فهذه العضيات لا تطفو عادة داخل غشاء الخلايا الحقيقية النواة، بل هي معزولة عن بقية الخلية داخل أغشية خاصة بها، مما يشير بقوة إلى أنها أجسام غريبة دُمِجت جزئيًّا داخل خلية أكبر. ثم إن كلًّا من الميتوكوندريا والبلاستيدات الخضراء يصنع بروتينات بتشكيلته الخاصة من المسارات الكيميائية الحيوية، والتي تختلف عن تلك التي تستخدمها بقية الخلية. وتتأثر البلاستيدات الخضراء والميتوكوندريا أيضًا بالمضادات الحيوية، مثل الستربتومايسين والتتراسيكلين، وهما يتمتعان بفعالية في قتل البكتيريا وغيرها من بدائيات النوى، بينما لا تتأثر بها بقية عضيات الخلية. والأكثر إثارةً للدهشة أن الميتوكوندريا والبلاستيدات الخضراء يمكن أن تتكاثر بمحض الانقسام إلى خلايا وليدة، مثل بدائيات النوى. فلدى الميتوكوندريا والبلاستيدات الخضراء آلياتُ تكاثر مستقلة خاصة بها لا يصنعها سيتوبلازم الخلية. إذا فقدت خلية ما الميتوكوندريا أو البلاستيدات الخضراء فلا يمكنها تعويض ما فقدَتْه بإنتاج المزيد.

لقد لاقت أفكار مارجوليس المدهشة مقاومة كبيرة عندما اقتُرِحت لأول مرة، منذ أكثر من ٥٠ عامًا. لكن علماء الأحياء بدءوا يدركون وجاهة الفكرة عندما رأَوا المزيد



شكل ١٧-٦: وفقًا للين مارجوليس، نشأت الخلايا الحقيقية النواة المعقدة من خليتين أو أكثر من الخلايا البدائية النواة التي اجتمعت لتعيش تكافليًّا. يبدو أن البكتيريا الزرقاء هي سلائف البلاستيدات الخضراء التي تقوم بعملية التمثيل الضوئي في الخلايا النباتية. تمتلك البكتيريا الأرجوانية غير الكبريتية نفس البنية والشفرة الجينية التي تمتلكها الميتوكوندريا التي توفر الطاقة في الخلية. وللسوط بنية بدائيات النَّوى نفسها المعروفة باسم البكتيريا الملتوية، وهي البكتيريا المسببة لمرض الزهري. (دونالد بروثيرو، «التطور: ما تخبرنا به الحفريات وأهميته»، الطبعة الثانية. [نيويورك: كولومبيا يونيفرستي برِس، ٢٠١٧])

والمزيد من الأمثلة على التكافل في الطبيعة. فنحن البشرَ لدينا الملايين من المعايشات الداخلية (معظمها من البكتيريا) على جلودنا وبداخلنا. أمعاؤنا مليئة بالبكتيريا الإشريكية القولونية (اختصارًا إي كولاي)، والتي نعرفها من أطباق بتري، ومن التحذيرات الإخبارية حول تسرب مياه الصرف الصحي أو المطابخ الملوثة. إنَّ هذه البكتيريا هي التي تقوم

بدلًا عنا بالقدر الأكبر من عملية الهضم؛ إذ تحلل الطعام إلى مغذيات مقابل الحصول على منزل داخل أحشائنا. إنَّ البراز يتكون في معظمه من الأنسجة البكتيرية الميتة بعد الهضم، إضافة إلى الألياف غير القابلة للهضم، والمواد الأخرى التي لا يمكننا تمثيلها غذائيًّا. يوجد العديد من الأمثلة الأخرى على التعايش الداخلي في الطبيعة. فالنمل الأبيض والسلاحف البحرية، والماشية والغزلان والماعز، والعديد من الكائنات الحية الأخرى كلها من الكائنات التي تعيش بداخلها بكتيريا أمعاء متخصصة تساعد في تكسير السليلوز غير القابل للهضم، مما يُمكِّن هذه الحيوانات من أكل المواد النباتية بكفاءة. وتستضيف جميع الشعاب المرجانية الاستوائية والمحار العملاق طحالب تكافلية في أنسجتها، وهي تنتج الأكسجين، وتزيل ثاني أكسيد الكربون، وتساعد على إفراز المعادن لأصدافها الكبيرة.

وجاء الدليل الأقوى عندما بدأ العلماء في دراسة العضيات عن قرب بدرجة أكبر، ووجدوا أنَّ الأمر لا يقتصر على أنَّ لديها البنية الصحيحة التي تثبت أنها كانت ذات يوم خلايا بدائية النواة مستقلة وحسب، بل تمتلك أيضًا الشفرة الجينية الخاصة بها! فلكلٍّ من الميتوكوندريا والبلاستيدات الخضراء الحمض النووي الخاص بهما، والذي يختلف في تسلسله عن الحمض النووي الموجود في نواة الخلية. واقع الأمر أنَّ الحمض النووي للميتوكوندريا يتطور بمعدل مختلف عن الحمض النووي في النواة، وهو مختلف بما يكفي لأن يُستخدَم في الإجابة عن أسئلة التطور، التي لا يستطيع الحمض النووي في النواة الإجابة عنها. ولن يكون هذا منطقيًّا إذا حاولَتِ الخلية الحقيقية النواة صنع العضيات من لا شيء. لن يكون لدى العضيات شفرة جينية خاصة بها إذا كان ذلك صحيحًا. وهذا الاكتشاف أحد أقوى الأدلة على أن الحياة تطورت ولم تُخلَق.

والعامل الحاسم هو أن العديد من الخلايا الحية المتعايشة داخليًّا تثبت أن هذه العملية تحدث الآن. إن حقيقيات النواة الأبسط، مثل أميبا المياه العذبة بيلوميكسا والجياردیا (المعروفة بالتسبب في مرض الدوسانتاريا من المياه الملوثة) تفتقر إلى الميتوكوندريا، ولكنها تحتوي على بكتيريا تكافلية تؤدي نفس الوظيفة التنفسية. وفي المختبرات، رصد العلماء بعض أنواع الأميبا التي أدمجت بكتيريا معينة في أنسجتها كمتعايشات داخلية. فذوات الجُسيم القاعدي التي تعيش في أحشاء النمل الأبيض تستخدم بكتيريا ملتوية كعضو للحركة بدلًا من السوط. إن أفكار مارجوليس التي بدأت كتكهنات جامحة في عام ١٩٦٧، أصبحت هي المقبولة الآن كأفضل تفسير ممكن لأصل حقيقيات النواة والعضيات.

لذلك، وخلافًا للاعتقاد الشائع، فإن نشأة الحياة من خلال عمليات طبيعية ليست بالأمر البعيد الاحتمال، ولا هي عملية يصعب تخيُّلها. والحق أنَّ العلماء حاكَوا جميع الخطوات تقريبًا في المختبر، بدءًا من تخليق الأحماض الأمينية (الموجودة في جميع أنحاء الكون) إلى بلمرة الجزيئات الحيوية البسيطة في اللبنات الأساسية للحياة الطويلة السلسلة، مثل البروتينات والليبيدات والكربوهيدرات والأحماض النووية؛ إلى كائناتٍ كيميائيةٍ حيوية أكثر تعقيدًا تأسست على سطح مشحون من البيريت في فوهات الأدخنة السوداء في أعماق البحار؛ حيث يوجد أكثر أشكال الحياة بدائية (البكتيريا القديمة) اليوم. وقد اكتشفنا بعد ذلك كيفية تجميع الخلايا الحقيقية النواة المعقدة، مع تحوُّل الخلايا البدائية النواة المتعايشة داخليًّا إلى عضياتها. توجد أدلة قوية (مباشرة أو غير مباشرة) على أن جميع هذه المراحل قد حدثت بالفعل، وقد حاكى العلماء معظم هذه المراحل في المختبر.

في السنوات الأخيرة، رصد العديد من الباحثين جينات جديدة تتطور في أنابيب الاختبار، وجينات جديدة تجمع نفسها في أشكال حياة أكثر تعقيدًا، ورصدوا أيضًا نشأة حياة متعددة الخلايا من حياة أحادية الخلية في أنبوب الاختبار. في إحدى التجارب، لاحظ العلماء وجود سلالتين مختلفتين من الحمض النووي الريبوزي تتطوران وتتغيران وتتنافسان أيضًا إحداهما مع الأخرى. إننا لم ننتج الحياة نفسها في أنبوب اختبار حتى الآن، لكن نشأة الحياة ليست بهذا الغموض، ولن تظل بدون إجابة. فجميع الخطوات التي أدت إلى نشأة الحياة معروفة جيدًا، وقد أكدت النتائج المختبرية كل خطوة منها على طول الطريق.

قراءات إضافية

Cone, Joseph, *Fire Under the Sea: The Discovery of the Most Extraordinary Environment onEarth: Volcanic Hot Springs on the Ocean Floor*, New York: Morrow, 1991.

Fry, Iris, *The Emergence of Life on Earth: A Historical and Scientific Overview*, New Brunswick, N.J.: Rutgers University Press, 2000.

Knoll, Andrew H., *Life on a Young Planet: The First Three Billion Years of Evolution on Earth*, Princeton, N.J.: Princeton University Press, 2003.

Knoll, Andrew H. and Sean B. Carroll, “Early Animal Evolution: Emerging View from Comparative Biology and Geology,” *Science* 284 (1999): 2129–2137.

Hazen, Robert M., *Gen–e–sis: The Scientific Quest for Life’s Origins*, New York: Joseph Henry Press, 2005.

Margulis, Lynn, *Symbiosis in Cell Evolution*, San Francisco, Calif.: W. H. Freeman, 1981.

_____, *Symbiotic Planet: A New Look at Evolution*, New York: Basic Books, 2000.

Miller, Stanley L., “A Production of Amino Acids Under Possible Primitive Earth Conditions,” *Science* 117, no. 3046 (1953): 528–529.

Schopf, J. William, *Cradle of Life: The Discovery of Earth’s Earliest Fossils*, Princeton, N.J.: Princeton University Press, 1999.

_____, *Life’s Origin: The Beginnings of Biological Evolution*, Berkeley: University of California Press, 2002.

Shapiro, Robert, *Origins: A Skeptic’s Guide to the Creation of Life on Earth*, New York: Summit, 1986.

Wills, Christopher and Jeffrey Bada, *The Spark of Life: Darwin and the Primeval Soup*, New York: Perseus, 2000.

الفصل الثامن عشر

باحة مخلَّفات جينية

أغلب حمضنا النووي عديم الفائدة

الانتخاب الطبيعي يمحِّص جميع التنويعات الموجودة في العالم بأكمله على مدار اليوم والساعة؛ لينبذ منها ما هو سيئ، ويحفظ ما هو جيد ويضيف إليه، وهو يعمل بصمت ودونما وعي على تحسين الظروف الحياتية العضوية وغير العضوية لكل من الكائنات الحية، وذلك متى توفرت الفرصة وأينما توفرت. ونحن لا ندرك شيئًا من هذه التغيرات البطيئة بينما تحدث، وإنما ندركها بعد أن يدور عقرب الزمن دهورًا طويلة، وحتى حينذاك، يظل فهمنا للعصور الجيولوجية في الماضي السحيق قاصرًا.

تشارلز داروين، «أصل الأنواع» (١٨٥٩)

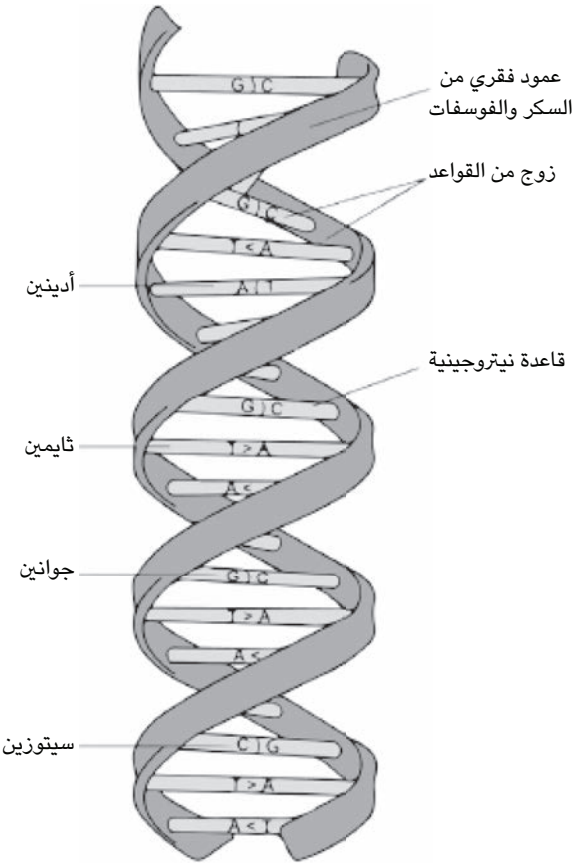
كان عام ١٩٥٣ علامة فارقة في تاريخ العلم. ففي جامعة شيكاجو، أجرى ستانلي ميلر التجارب الأولى في مجال أصل الحياة (انظر الفصل السابع عشر). وفي مرصد لامونت-دورتي الجيولوجي بجامعة كولومبيا، اكتشف موريس «دوك»، وبروس هيزن، وماري ثارب، الوادي المتصدع في حيد وسط المحيط الأطلسي، ورسموا خرائط له، وكان ذلك الدليل الأول على أنَّ تمدد قاع البحر يحدث بين صفائح القشرة المحيطية، وقد أصبح أساس نظرية الصفائح التكتونية بعد عقد من الزمن. وفي ذلك العام أيضًا، نشر آلان تورينج واحدةً من أكثر الأوراق البحثية تأثيرًا في علوم الكمبيوتر. وأعلن جوناس

سالك عن أول لقاح ضد شلل الأطفال. واتضح زيف جمجمة «إنسان بلتداون» أخيرًا. وأعلن فريدريك رينز وكلايف كوان عن أول اكتشاف ناجح للنيوترينوات. وفي مختبر بجامعة كامبريدج، اكتشف عالمان شابان، هما فرانسيس كريك وجيم واتسون، تركيب جزيء الحمض النووي، وأكدا أنه «الشفرة» التي تستخدمها جميع الكائنات الحية لبناء أجسادها، ولصنع نُسخ من أنفسها تُنقَل إلى الأجيال التالية.

بعد أول فيض من الاكتشافات التي أكدت أن الحمض النووي هو مخطط الحياة، وبعد التوصل إلى بنيته التفصيلية وآلية نسخه وترجمته، بدأ علم الوراثة في الانتقال إلى موضوع أكبر هو معرفة الشفرة الجينية نفسها. لقد أظهرت دراسات الحمض النووي المبكرة أن تركيب الشريط المزدوج الذي يتخذه الحمض النووي بمثابة «عمود فقري» خارجي مصنوع من الفوسفات والسكر (الريبوز أو الريبوز المنقوص الأكسجين)، ويأتي على شكل «سُلَّم» ملتوٍ بشكل حلزوني (الشكل ١٨-١). تمثلت «درجات» السُّلم في سلسلة من القواعد النيتروجينية، وهي: الأدينين والثايمين والجوانين والسيتوزين (A وT وG وC). (في الحمض النووي الريبوزي (آر إن إيه)، يحل اليوراسيل محل الثايمين). يتحد كلٌّ من هذه القواعد مع السكر والفوسفات الموجودَين في السُّلم، وتُسمَّى الوحدة الناتجة عن هذا الاتحاد بالنوكليوتيد.

منذ وقت مبكر في عام ١٩٥٩، اكتشفت مجموعة من الباحثين، بقيادة فرانسيس كريك أن كل ما يتطلبه الأمر لتشفير بروتين هو تسلسل من ثلاثة نوكليوتيدات متتالية (يسمَّى كودون). وبعد ذلك، استخدم مارشال نيرنبرج وهاينريش ماتاي، اللذان يعملان بالمعاهد الوطنية للصحة، تقنية ذكية لمعرفة أي ثلاثة نوكليوتيدات في كودون تشفِّر أي بروتين. قام نيرنبرج وماتاي بتركيب خيط من «آر إن إيه» من اليوراسيلات فحسب (UUUUUU...)، وأنتجا البروتين: فينيل ألانين. قدَّما نتائجهما في المؤتمر الدولي للكيمياء الحيوية في موسكو عام ١٩٦١. كان فرانسيس كريك منبهرًا للغاية، حتى إنه أقنع المؤتمر بالاستماع إلى حديث نيرنبرج مرة أخرى في اليوم التالي أمام الجمع بأكمله. وأوضحا بعد ذلك أن سلسلة من قواعد الأدينين فقط (AAAAA...) أنتجت البروتين لايسين، وأنتجت مجموعة من قواعد السيتوزين (CCCCCCC...) البروتين برولين. وسرعان ما انصبَّ التركيز في مجال علم الأحياء الجزيئي على سباق التشفير، حيث تنافس العديد من المختبرات لمعرفة من سيمكنه فك الشفرة الجينية أولًا.

كان مختبر سيفيرو أوتشوا في جامعة نيويورك (بعدده الكبير من العاملين) متصدرًا في السباق. ولم يكن مختبر نيرنبرج الصغير التابع لمعاهد الصحة الوطنية قادرًا على



شكل ١٨-١: بنية جزيء الحمض النووي. تشكل السكريات والفوسفات «العمود الفقري» للجزيء الذي يتخذ شكل الشريط المزدوج، وتشكل القواعد المختلفة (الأدينين، الثايمين، الجوانين، السيتوزين) «درجات» السلم؛ إذ ترتبط كل قاعدة مع القاعدة المقابلة لها، فتتشكل «الشفرة الجينية» من تسلسل هذه الأزواج القاعدية على طول الحمض النووي.

المنافسة؛ فنحَّى العديد من زملائه العلماء في المعاهد الوطنية للصحة أبحاثهم الخاصة جانبًا؛ لمساعدته في التوصل إلى تسلسل أكبر قدر ممكن من الشفرة الجينية. وصف ديويت ستيتن، مدير المختبر، هذه الفترة بأنها «أفضل أيام المعاهد الوطنية للصحة». وأخيرًا، في أوائل الستينيات قام هار جوبيند خورانا من جامعة كولومبيا البريطانية بفك رموز

بقية الشفرة الجينية. كان هذا الاكتشاف بالغ الأهمية، حتى إن نيرنبرج وخورانا وآر دبليو هولي (الذي اكتشف الحمض النووي الريبوزي الناقل الذي يقرأ الشفرة الجينية) تشاركوا جميعًا جائزة نوبل في الطب لعام ١٩٦٨.

وعند فك الشفرة الجينية، اتضح للعلماء مدى تكرارها، وكان ذلك صادمًا. ففي التسلسل الثلاثي القواعد، كان كل ما يهم عادة هو أول «حرفين» (= قاعدتين) في الشفرة (الشكل ١٨-٢). ففي معظم الأحيان، تكون القاعدة الثالثة (الحرف) مكررة، ولا تغير الحمض الأميني الذي يُنتَج. على سبيل المثال، أي تسلسل يبدأ بالقاعدتين GU... ينتج فالين، وأي تسلسل يبدأ بـ AC... ينتج ثريونين، وما يبدأ بـ CG... ينتج أرجينين. عدد قليل فقط من الشفرات يستلزم الحرف الثالث لتحديد الحمض الأميني الذي تنتجه، وحتى في تلك الحالات، يوجد في العادة خياران محتملان (على سبيل المثال، نجد أنَّ كلًّا من CAU وCAC ينتجان هيستيدين، بينما ينتج كلٌّ من AAA وAAG لايسين). إنَّ هذه التوليفات الأربعة والستين الممكنة، المكونة من ثلاثة أحرف، لا تحدد سوى الأحماض الأمينية العشرين اللازمة للحياة، إضافة إلى عدد قليل من شفرات «التوقف» (لإنهاء النسخ)، وشفرة «البدء» (لبدء النسخ).

في عام ١٩٦٢، لاحظ بعض العلماء هذا التكرار، وأدركوا أن الطفرات في الموضع الثالث (الصامت) في الكودون ستكون غير ملحوظة للانتخاب الطبيعي. وفي عام ١٩٦٨، طوَّر موتو كيمورا في ورقته البحثية «معدلات التطور على المستوى الجزيئي» فكرة أن معظم الجينوم لم يتأثر على ما يبدو بالانتخاب الطبيعي؛ ومن ثَم فهو محايد انتخابيًّا، وظهرت في العام التالي حُجة أكثر جذرية، وكان ذلك في بحثٍ من تأليف جيه إل كينج وتوماس جوكس بعنوان «التطور غير الداروينى». وسرعان ما طوَّر كيمورا وكينج وجوكس ما أصبح يُعرَف باسم «نظرية التطور المحايدة».

شكَّلت هذه النظرية صدمة لمجتمع علماء الأحياء التطورية آنذاك، وأتذكر بوضوح أنني تلقيت مقررات في علم الأحياء التطوري من بعض الداروينيين الجدد المتشددين في جامعة كولومبيا، في أواخر السبعينيات من القرن الماضي، والذين كانوا ما يزالون يؤمنون بالانتخاب الشامل الدقيق، بمعنى أن أي اختلاف، مهما كان طفيفًا، خضع لسيطرة الانتخاب الطبيعي، سواء تمكَّنا من رصده أم لا. وهذه الفكرة تعود إلى داروين نفسه الذي كتب عام ١٨٥٩ في كتابه «أصل الأنواع» أن الانتخاب الطبيعي يمحِّص كل اختلاف (راجع الاقتباس الوارد في بداية الفصل).

الشفرة الجينية، التي تحدِّد بثلاثة أحرف في الجينوم (A = أدينين؛ C = سيتوزين؛ G = جوانين؛ U = يوراسيل) أيًّا من الأحماض الأمينية العشرين، أو أمْر وقف.

أول قاعدة في الكودون	ثاني قاعدة في الكودون U	C	A	G	ثالث قاعدة في الكودون
U	فينيل ألانين	سيرين	تيروسين	سيستين	U
	فينيل ألانين	سيرين	تيروسين	سيستين	C
	ليوسين	سيرين	وقف	وقف	A
	ليوسين	سيرين	وقف	تربتوفان	G
C	ليوسين	برولين	هستيدين	أرجنين	U
	ليوسين	برولين	هستيدين	أرجنين	C
	ليوسين	برولين	جلوتامين	أرجنين	A
	ليوسين	برولين	جلوتامين	أرجنين	G
A	آيزوليوسين	ثريونين	أسباراجين		U
	آيزوليوسين	ثريونين	أسباراجين		C
	آيزوليوسين	ثريونين	لايسين	أرجنين	A
	مثيونين	ثريونين	لايسين	أرجنين	G
G	فالين	ألانين	حمض الأسبارتيك	جلايسين	U
	فالين	ألانين	حمض الأسبارتيك	جلايسين	C
	فالين	ألانين	حمض الجلوتاميك	جلايسين	A
	فالين	ألانين	حمض الجلوتاميك	جلايسين	G

شكل ١٨-٢: الشفرة الجينية. يحدَّد كل بروتين من خلال كودون «ثلاثي» يتألف من ثلاثة أحرف من بين المجموعة؛ أدينين وجوانين وسيتوزين ويوراسيل. ستلاحظ أنَّه يمكن تحديد معظم الأحماض الأمينية من خلال الحرفَين الأولَين فقط، بينما لا يشكل الحرف الثالث فرقًا؛ فهو محايد تكيفيًّا، وجميع الطفرات في هذا الموضع صامتة وغير انتخابية. (دونالد بروثيرو، «التطور: ما تخبرنا به الحفريات وأهميته»، الطبعة الثانية. [نيويورك: كولومبيا يونيفرستي برِس، ٢٠١٧])

لكن في الوقت نفسه الذي كنت أسمع فيه هذه المفاهيم القديمة، كانت نظرية التطور المحايدة تزداد ترسخًا. فلم يكن من الممكن لأحدٍ بالطبع أن ينكر أن الموضع الثالث على الكودون صامت في أغلب الأحوال؛ ومن ثَم لن يكون لأي طفرة عشوائية في هذا الموضع تأثيرٌ على البروتين الناتج فلا يلاحظها الانتخاب الطبيعي. إنَّ ثلث الشفرة الجينية على الأقل محايدٌ تمامًا، ولا يمكن رؤيته، ولا يتأثر بالانتخاب الخارجي.

أصبح التكرار في الجينوم أكثر وضوحًا، عندما أثبتت سلسلةٌ من الدراسات أن معظم الكائنات الحية لديها من المواد الجينية أكثر مما تحتاج إليه بكثير، ومعظم هذه المواد هي ببساطةٍ حمض نووي غير مُشفر (يُسمَّى «مخلفات الحمض النووي»)؛ فهو لا يُقرأ ولا يؤثر في الكائن الحي. جاء الدليل الأول من تجربةٍ شهيرةٍ أجراها ريتشارد لوينتين وجاك هابي في عام ١٩٦٦، واللذان أثبتا فيها (بطريقة الرحلان الكهربائي للهلام، التي صارت قديمة الآن) أن معظم الكائنات الحية تتسم في حمضها النووي بتنوعٍ يفيض عن حاجتها، مما يعني أن الجزء الأكبر من الحمض النووي غير مقروء، لا بد، وزائد عن الحاجة. ومع نضوج علم الأحياء الجزيئي في السبعينيات والثمانينيات من القرن الماضي، أصبحت قراءة تسلسل الأحماض الأمينية أكثر شيوعًا، وبحلول عام ٢٠٠٠ أصبح بالإمكان قراءة الحمض النووي الكامل للكائن الحي؛ لذلك أصبح هذا التكرار أكثر وضوحًا.

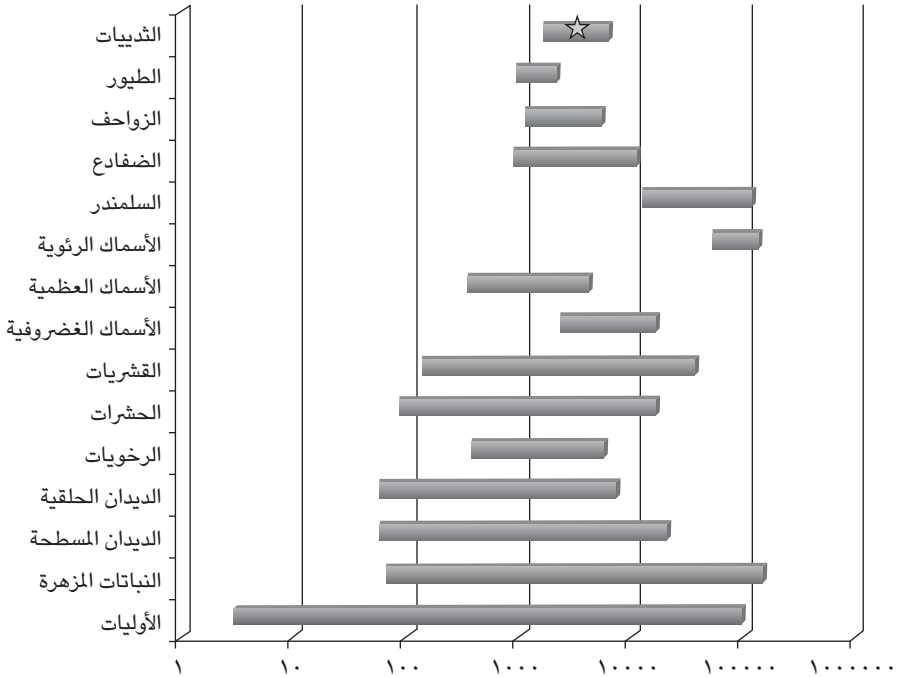
ومثلما كتب جون سوندمان في مقالته الصادرة عام ٢٠١٣ بعنوان «كيف فككت شفرة الجينوم البشري»:

> تحدث معي كينت بلغة النُّجَباء المهووسين، مستخدمًا عبارات غريبة خرقاء، مثل استخدامه لكلمة «بنًى» في صيغة الاسم: «هذه أحدث بنية للجينوم. البنية ٣١». كنت معتادًا على سماع علماء الأحياء يتحدثون عن أناقة الحمض النووي بأسلوب يكاد يقترب من التقديس. وعلى النقيض من ذلك، تحدث كينت عن الحمض النووي كما لو كان شفرة مكتوبة بصيغة «الاسباجيتي» المتشابكة والأكثر تعقيدًا، والأسوأ توثيقًا، والتي تُعَد وسائل صيانتها شديدة العشوائية؛ فلم يتحدث عنه باعتباره أروع ما خلقه الرب، بل باعتباره عملًا عشوائيًّا أنتجه شخصٌ غير بارع، وهو محمَّل بعدد لا نهائي من الآثار الجانبية، و«طفيليات لا حصر لها».
>
> قال: «إنه نظام أضخم من أن يُهندَس عكسيًّا. فالحمض النووي شفرة لآلة. الجينات مُجمعة، والبروتينات لغات عالية المستوى مثل لغة البرمجة سي، والخلايا تشبه العمليات ... لا ينطبق هذا التشبيه تمامًا في بعض التفاصيل، لكنه يقدم رؤًى مفيدة.» قال كينت إنه كان من المستحيل تقريبًا التفرقة بين الشفرة الوظيفية وبين تلك العديمة الفائدة. «هذا هو السبب في أن الكثير من الناس يقولون إنَّ «الجينوم مخلفات».» لكن هذا أيضًا ما وجده مثيرًا للاهتمام؛ فالشفرة العالية الجودة دائمًا ما تكون مباشرة وواضحة، أما لغة التجميع

التي تنتقل من جيل إلى جيل من المرتجلين المرقعين (أقتبس هنا بتصرف مرة أخرى) فيمثل لغزًا حقيقيًّا لَمَن يحبون الألغاز.[1]

إن الدليل الأكثر وضوحًا على التكرار هو أن حجم الجينوم لا يدل في كثير من الأحيان على تعقيد الكائن الحي. يُعرَف هذا باسم «مفارقة القيمة س»، أو «اختبار البصل»؛ إذ يتعارض ذلك مع الفكرة المبسطة التي تذهب إلى أن الكائنات الحية الأكثر تعقيدًا يجب أن يكون لها جينومات أكبر كي تُشفِّر كل هذا التعقيد. صاغ هذه التسمية عالِم الأحياء الكندي تي ريان جريجوري، وهو يشير إلى حقيقة أن البصل الشائع يحتوي على خمسة أضعاف الحمض النووي للإنسان، ومع ذلك فهو أبسط من الإنسان بكثير! وتحتوي بعض أنواع السلمندر على حمض نووي أكبر من الحمض النووي للبشر بخمسة وثلاثين ضعفًا، وتحتوي أسماك الرئة على ٤٠ ضعفًا من الحمض النووي للبشر. ويمتلك أحد أنواع الغزلان حمضًا نوويًّا يزيد عن الحمض النووي لأقرب أقربائه بنسبة ٢٠ بالمائة، ويحتوي نوعٌ من الأسماك الينفوخية على حمض نووي يبلغ ١٠٠ ضعف الحمض النووي لنوع آخر من الجنس نفسه. وفي النباتات، لا توجد علاقة بين التعقيد والحمض النووي، فالباقلاء تحتوي على حمض نووي أكبر من الحمض النووي للفاصوليا ذات الشكل الكلوي بمقدار أربعة أضعاف. حتى بعض الميكروبات الوحيدة الخلية لديها حمض نووي أكبر من البشر، والديدان الأسطوانية البسيطة (الديدان الخيطية) وجرجير الماء لها نفس كمية الحمض النووي التي يمتلكها الإنسان. إنَّ العلاقة بين كمية الحمض النووي ومدى تعقيده تقريبية في أحسن الأحوال (الشكل ١٨-٣). غالبًا ما تحتوي الكائنات الوحيدة الخلية على جينومات أصغر من جينومات الكائنات الحية المعقدة، لكن يوجد الكثير من الاستثناءات لفكرة أن المزيد من الحمض النووي ضروريٌّ للتعقيد الزائد. إذا كان البصل يحتوي على خمسة أضعاف كمية الحمض النووي التي نمتلكها، وكان لدى السلمندر وسمك الرئة من ٣٥ إلى ٤٠ ضعفًا من الحمض النووي للبشر، فمن الواضح أن معظم هذا الحمض النووي لا يُشفِّر المزيد من التركيبات؛ فهو غير مُشفِّر ولا يفعل شيئًا.

وثمة دليل آخر أيضًا، وهو أنه لن يحدث شيء إذا حذفنا بعضًا من هذا التسلسل المتكرر غير المُشفِّر الذي يُعد بمثابة المخلفات. ففي عام ٢٠٠٤، أجرى العلماء تجربة حذفوا فيها ما يقرب من ثلاثة في المائة من جينوم الفأر الذي بدا أنه متكرر وغير مُشفِّر، واستمرت الفئران في التكاثر دون آثار سلبية. فإذا كان هذا الحمض النووي وظيفيًّا، فكيف أمكن للفئران الاستمرار في التكاثر بدونه؟



شكل ١٨-٣: كمية الحمض النووي في مجموعات مختلفة من الكائنات الحية. من الواضح أنه لا توجد علاقة بسيطة بين كمية الحمض النووي ومدى تعقيد الكائنات الحية. (بتصريح من تي ريان جريجوري)

ما هي وظيفة كل هذا القدر من الحمض النووي العديم الفائدة إذن، إذا كانت له وظيفة من الأساس؟ يمكن أن يقوم بعضه بوظيفة الحفاظ على التباعد بين المناطق المُشفِّرة، أو يمكن استخدامه للمساعدة في الحفاظ على شكل الطيات المعقدة لشرائط الحمض النووي الطويلة. ومن أمثلة هذه المناطق غير المُشفِّرة ما يلي:

(١) الإنترونات: قطع من الحمض النووي التي كانت مقروءة في البداية، ولكنها عُدِّلت بعد ذلك أثناء التضفير الجيني النهائي.

(٢) الجينات الزائفة: أجزاء من الحمض النووي فقدت قدرتها على تشفير البروتينات.

(٣) الحمض النووي التكراري: في أجزاء كثيرة من الجينوم، يتكون الحمض النووي من الكودونات نفسها التي تتكرر مرارًا وتكرارًا مئات المرات، ولا يبدو أنها تُشفِّر أي شيء.

(٤) الينقولات: «جينات قافزة» يمكنها القفز من جزء من الحمض النووي إلى جزء آخر، ولا يُعبَّر عنها رغم ذلك.

(٥) عناصر نووية قصيرة الانتشار وعناصر نووية طويلة الانتشار: أجزاء من الحمض النووي عالقة في منتصف تسلسل مُشفِّر ليس لها وظيفة، ولا يمكنها تشفير البروتينات.

(٦) حمض نووي غير أساسي غير مُشفِّر محفوظ بدرجة عالية: يوجد على نحو متَّسق في تسلسلات العديد من الكائنات الحية، مما يشير إلى أهميته، ومع ذلك يمكن إزالته بدون أي تأثير على الإطلاق.

لعل أكثر هذه الجينات العديمة الفائدة إثارةً للاهتمام هي الفيروسات الراجعة الداخلية. تعمل معظم الفيروسات عن طريق تعديل آلية الخلايا المضيفة، مما يحمل المضيف على عمل المزيد من نُسَخ الفيروس. لكن الفيروسات الراجعة (بما في ذلك فيروس نقص المناعة البشرية، وهو الفيروس المسبب لمرض الإيدز، وفيروس آخر يسبب جدري الماء/الهِربِس النُّطاقي) أكثر خبثًا حتى من ذلك. فهي تُدخِل شفرتها الجينية في الحمض النووي للكائن المضيف، ويقوم المضيف بعمل نُسخ من الفيروس بشكل مباشر. غير أنَّ هذه الآلية التي تؤدي إلى تشغيل الفيروسات الراجعة الداخلية، وصنع المزيد من نُسخها مُعطَّلة في العديد منها. إن هذه الفيروسات عدوى أحفورية بالأساس، أي أجزاء قديمة من شفرة وراثية أصابت أسلافنا منذ ملايين السنين، ونُسِخت مرارًا وتكرارًا منذ ذلك الحين. تشكِّل الفيروسات الراجعة الداخلية المنقرضة نسبة تتراوح بين خمسة وثمانية بالمائة من الجينوم البشري، لكنها عبارة عن حمض نووي عديم الفائدة تمامًا نحمله إلى الأبد. والأكثر إثارة للاهتمام هو أننا نتشارك العديد من الفيروسات الراجعة الداخلية مع أقاربنا من القردة؛ لذلك يجب أن تكون قد انتقلت هذه الأنواع من العدوى قبل أن يتشعب البشر والقردة منذ أكثر من سبعة ملايين سنة. إن بعض هذه الفيروسات الراجعة الداخلية تنتقل عبر الجزء الأكبر من شجرة عائلة الفقاريات، مما يشير إلى أن هذه العدوى الأحفورية تعود إلى عدة ملايين من السنين، وهي لا تزال باقية في حمضنا النووي رغم ذلك.

إن علماء الأحياء التقليديين المؤمنين بالانتخاب الشامل يواجهون معضلات في معالجة كل هذه الأدلة، وبدلًا من ذلك، تجدهم يتشبثون بأي جزء من علم الأحياء يبدو أنه يدعم معتقداتهم. في عام ٢٠١٢، أحدثت وسائل الإعلام ضجة كبيرة عندما ذهب مشروع إنكود ENCODE الذي يرمز إلى الاسم «موسوعة عناصر الحمض النووي» إلى أن ٨٠٪ من الجينوم بالفعل ينتج بروتينات من نوع ما. وقد اهتم العديد من علماء الأحياء بهذه المعلومة بالطبع، لتأكيد اعتقادهم بأن الحمض النووي وظيفي كله. لكن مشروع إنكود أقر أيضًا بأن ما لا يقل عن ٢٠ بالمائة من الحمض النووي غير مُشفِّر؛ ومن ثَم فهذا لا يطمئن مؤيدي الانتخاب الشامل، لكنهم لم يلاحظوا ذلك وادعَوا أنَّ مزاعمهم قد ثبتت.

اتضح أن نتائج إنكود كانت أفضل من أن تُصدَّق. وقد أدت دراسة أجراها دان جراور وزملاؤه في عام ٢٠١٣ إلى دحض هذه النتائج تمامًا؛ إذ أكَّدت مجددًا أن معظم الجينوم (٩٠ بالمائة منه على الأقل، وربما ٩٨ بالمائة) غير مُشفِّر. النقطة الرئيسية هي أن دراسة إنكود لم تثبت سوى أن بعض الجينوم المسمَّى «مخلفات» يشفِّر بالفعل بروتينًا ما. غير أنها لم تثبت ما إذا كانت هذه البروتينات المعزولة العشوائية جزءًا من مسار كيميائي حيوي وظيفي، أو مؤديةً إلى أية نتائج متعلقة بالنمط الظاهري أم لا. إذا كان البروتين ناتجًا من الحمض النووي الذي يُعد من المخلفات لكنه لا يقوم بأي وظيفة، فهو لا يزال مخلفات.

إن حقيقة أن معظم الحمض النووي في أي كائن حي محايد انتخابيًّا، ويبدو أنه لا يشفر لأي شيء؛ فسَّرَت اكتشافًا آخر من ستينيات القرن الماضي. في عام ١٩٦٢، لاحظ العالمان الأسطوريان لينوس باولينج وإميل زوكركاندل أن عدد الاختلافات الجينية بين نوعَين مرتبطَين يتناسب مع المدة الزمنية المنقضية منذ انقسامهما إلى سلالات مختلفة. كلما طالَت المدة التي انقضت منذ انقسام أي نوعَين، زاد ما تراكم بينهما من اختلافاتٍ جينية. وعن ذلك كتب عالم أحياء جزيئية مشهور آخر، إيمانويل مارجولياش، في عام ١٩٦٣:

> يبدو أن عدد الاختلافات المتبقية بين السيتوكروم سي لأي نوعين، مشروطٌ في الغالب بالوقت المنقضي منذ تباعد خطوط التطور التي أدَّت إلى هذَين النوعَين في الأصل. إذا كان هذا صحيحًا، فيجب أن يكون السيتوكروم سي لجميع الثدييات مختلفًا بالدرجة نفسها عن السيتوكروم سي لجميع الطيور. نظرًا لأن الأسماك تتباعد عن الجذع الرئيسي لتطور الفقاريات قبل الطيور أو الثدييات، فإن

السيتوكروم سي لكل من الثدييات والطيور يجب أن يكون مختلفًا بالدرجة نفسها عن السيتوكروم سي للأسماك. وبالمثل، يجب أن يكون السيتوكروم سي لجميع الفقاريات مختلفًا بالدرجة نفسها عن بروتين الخميرة.[2]

يشير هذا الاكتشاف الرائع إلى أن الحمض النووي الخاص بكلٍّ من النوعين كان يتغير باستمرار بمرور الوقت. وكلما طالت فترة تغيره، زادت الاختلافات التي تراكمت لدى كلٍّ منهما. والأكثر إثارة للدهشة أنه كان متوافقًا للغاية مع وقت التباعد؛ ولهذا فإنَّ درجة الاختلاف في جزيئات مثل السيتوكروم سي لدى معظم الفقاريات تُقدَّر بنسبة تتراوح من ١٣ إلى ١٤ بالمائة فقط، بينما تبلغ هذه النسبة لدى الكائنات الأقل قرابةً، مثل النباتات والخميرة، من ٦٤ إلى ٦٩ بالمائة. لم يكن هذا يشير إلى إمكانية استخدام الجزيئات في إعادة بناء شجرة عائلة الحياة (انظر شكل ٧-٣) وحسب، بل أشار أيضًا إلى أن معدل التغيير كان ثابتًا تقريبًا، مثل دقات الساعة. أصبحت هذه الفكرة تُعرَف باسم «الساعة الجزيئية»، وقد سمحت لعلماء الأحياء الجزيئية بتقدير المدة التي انقضت، منذ أن تفرعت السلالات المختلفة عن شجرة تطورها المشتركة.

جاءت الفكرة القائلة بأن التغييرَ المتراكمَ ببطء في الحمض النووي بمرور الوقت ثابتٌ كدقَّات الساعة؛ متَّسقةً مع فكرة الحياد والحمض النووي غير المُشفِّر. فلم يكن من الممكن لهذه التغييرات أن تتراكم ببطء، بفعل الحوادث الجينية العشوائية والانحراف الجيني، ما لم تكن غير مرئيةٍ للانتخاب الطبيعي. ذلك أنه لو كان معظم الحمض النووي يخضع لرقابةٍ صارمةٍ من الانتخاب الطبيعي، لما وجدنا تطابقًا كبيرًا بين وقت التباعد والمسافة الجينية. إن كلًّا من أدلة الحيادية المستقاة من الموضع الثالث غير المرئي على الكودونات، ووجود الكثير من الحمض النووي غير المُشفِّر، وحقيقة أن الحمض النووي يتغير بمعدل ثابت بينما يتجاهل تأثيرات الانتخاب الطبيعي؛ يرسم صورة متسقة للجينات، معظم الحمض النووي غير مقروء ومحايد أو غير مرئي للانتخاب الطبيعي. كانت هذه فكرة صادمة للعديد من علماء الأحياء المتشبثين بمفاهيم الانتخاب الشامل في الستينيات.

من الأفكار الأخرى الشائعة التي كانت مترسخة في دراسات التطور الجزيئي المبكرة أن كل جين يشفر لبروتين واحد، وهما يتحدان فيما بعد ليشكلا صفة مميزة واحدة. عُرِف هذا فيما بعد بمبدأ «جين واحد، بروتين واحد». لكن اكتشاف الحمض النووي الذي يُعد نفاية يدحض هذه الفكرة القديمة بالكامل. فالأمر لا يقتصر على أنَّ معظم الجينات لا تشفر أي بروتين على الإطلاق، بل إن بعض الجينات الأخرى تشفر أكثر من بروتين

واحد (وهو ما يُعرَف بتعدد النمط الظاهري). إذا كان الانتخاب يحتفظ بجين معين متعدد النمط الظاهري لأنه يُشفِّر صفة بالغة الأهمية، فإن جميع الصفات الأخرى التي يحددها قد «تُنقَل» سلبًا، حتى لو كانت محايدة انتخابيًّا أو ضارة قليلًا.

إن أصابع أقدامنا الكبيرة هي مثال على ذلك. لقد وُضعَ الكثير من التكهنات بشأن سبب امتلاك الإنسان لإصبع قدم كبيرة، واحتمالية أن يكون انتخابه مفيدًا لمشيتنا وخطواتنا. لكن هذا لا معنى له. إن إصبعَ القدم الكبيرةَ متضخمة؛ لأنها مرتبطة من الناحية الجينية والكيميائية الحيوية بإبهاماتنا المتضخمة التي توفر لنا مزايا تكيُّفية عديدة. ولا يمكننا الحصول على واحدة دون الأخرى. والواقع أنَّ بعض الدراسات تشير إلى أن أصابع القدم الكبيرة تسبب لنا مشاكل عند الجري والمشي؛ ومن ثَم قد توجد درجةٌ ضعيفةٌ من الانتخاب ضدها، لكن مزايا الارتباط بين تعددية النمط الظاهري والإبهام المعاكسة الكبيرة تتغلب عليها. في هذه الحالة، قد يسمح الانتخاب الطبيعي لصفات ضارة بالاستمرار، لمجرد أنها مرتبطة بصفاتٍ أكثر أهمية توفر ميزةً انتخابيةً قويةً إيجابية. إضافة إلى ذلك، فإنَّ العديد من الصفات يستلزم جيناتٍ متعددةً لإنتاج صفة واحدة فقط؛ فالتعقيد أكثر بكثيرٍ مما كان يمكن لعلماء الأحياء الجزيئية تخمينه في الستينيات.

الآن، وبعد مرور أكثر من ٦٧ عامًا على اكتشاف بنية الحمض النووي لأول مرة، ابتعدنا عن المفاهيم التبسيطية على غرار: «جين واحد يشفر بروتينًا واحدًا»، وأن الحمض النووي مصمم بشكل مثالي، وأن الانتخاب الطبيعي يضبطه بدقة باستمرار، وأنه أعجوبة من التكيف، أو أنه من «صنع الرب». بدلًا من ذلك، صرنا نعرف الآن أن الحمض النووي ونظام التشفير الجيني بأكمله أخرق وغير فعَّال ومرتجَل، ويتكون في معظمه من نفايات وأجزاء غير ضرورية. وهو يبدو أسوأ تصميمًا من بعض أعضاء الجسد التي تعمل بكفاءة. فهو كما قال كينت يبدو «كما لو كان شفرة مكتوبة بصيغة «الاسباجيتي» المتشابكة والأكثر تعقيدًا، والأسوأ توثيقًا، والتي تُعَد وسائل صيانتها شديدة العشوائية، فلم يتحدث عنه باعتباره أروع ما خلقه الرب، بل باعتباره عملًا عشوائيًّا أنتجه شخص غير بارع، وهو محمَّل بعدد لا نهائي من الآثار الجانبية، و«طفيليات لا حصر لها».»

قراءات إضافية

Carey, Nessa, *Junk DNA: A Journey Through the Dark Matter of the Genome*, New York: Columbia University Press, 2015.

Doolittle, W. Ford, “Is Junk DNA Bunk? A Critique of ENCODE,” *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 110, no. 14 (2013): 5294–5300.

Gregory, T. Ryan, ed., *The Evolution of the Genome*, Amsterdam: Elsevier, 2005.

Graur, Dan, Yichen Zheng, Nicholas Price, Ricardo B. R. Azevedo, Rebecca A. Zufall, and Eran Elhaik, “On the Immortality of Television Sets: ‘Function’ in the Human Genome According to the Evolution-Free Gospel of ENCODE,” *Genome Biology and Evolution* 5, no. 3 (2013): 578–590.

Hubby, J. L., and R. C. Lewontin, “A Molecular Approach to the Study of Genic Heterozygosity in Natural Populations: I. The Number of Alleles at Different Loci in *Drosophila Pseudoobscura*,” *Genetics* 54, no 2 (1966): 577–594.

Kimura, Motoo, *The Neutral Theory of Molecular Evolution*, Cambridge: Cambridge University Press, 1983.

_____, “The Neutral Theory of Molecular Evolution,” *Scientific American* 241, no. 5 (1979): 98–129.

King, Jack Lester and Thomas H. Jukes, “Non-Darwinian Evolution,” *Science* 164, no. 3881 (1969): 788–798.

Levinton, Jeffrey S., *Genetics, Paleontology, and Macroevolution*, 2nd ed, Cambridge: Cambridge University Press, 2001.

Lewontin, Richard C., *The Genetic Basis of Evolutionary Change*, New York: Columbia University Press, 1973.

Lewontin, Richard C., and J. L. Hubby, “A Molecular Approach to the Study of Genic Heterozygosity in Natural Populations: II. Amount of Variation and Degree of Heterozygosity in *Drosophila Pseudoobscura*,” *Genetics* 54, no. 2 (1966): 595–609.

Mindell, David P., *The Evolving World: Evolution in Everyday Life*, Cambridge, Mass.: Harvard University Press, 2006.

Nelson, P. N., P. Hooley, D. Roden, H. Davari Ejtehadi, P. Rylance, P. Warren, J. Martin, and P. G. Murray, “Human Endogenous Retroviruses: Transposable Elements with Potential?” *Clinical and Experimental Immunology* 138, no. 1 (2004): 1–9.

Ohta, Tomoko, “Near-Neutrality in Evolution of Genes and Gene Regulation,” *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 99, no. 25 (2002): 16134–16137.

Palazzo, Alexander F. and T. Ryan Gregory, “The Case for Junk DNA,” *PLoS Genetics* 10, no. 5 (2014): e1004351.

Ridley, Mark, *Evolution*, 2nd ed., Cambridge, Mass.: Blackwell, 1996.

Wesson, Robert, *Beyond Natural Selection*, Cambridge, Mass.: MIT Press, 1991.

Wills, Christopher, *The Wisdom of the Genes: New Pathways in Evolution*, New York: Basic Books, 1989.

هوامش

(1) John Sundman, “How I Decoded the Human Genome,” *Salon*, October 21, 2003, https://www.salon.com/2003/10/21/genome_5/.

(2) Emanuel Margoliash, “Primary Structure and Evolution of Cytochrome C,” *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 50 (1963): 672–679.

الفصل التاسع عشر

أرجُل على رءوسها

الكائنات الطافرة المتماثلة والنماء التطوري

لقد حمَّلتَ نفسك مشقة لا داعي لها بتبنِّيك مبدأ «الطبيعة لا تصنع قفزات» بلا أي تحفظ.

توماس هنري هكسلي،
في رسالة لتشارلز داروين عام ١٨٥٩

كما أوضحنا في الفصل الخامس عشر، كانت فكرةُ أن الخصائص المكتسَبة يمكن أن تنتقل من الأبوين إلى الطفل؛ واسعةَ الانتشار في الأيام التي سبقَت علم الوراثة الحديث. سُمِّيت هذه الفكرة خطأً بـ «اللاماركية»، لكن حتى داروين صدقها. وجليَّةٌ هي جاذبية هذه الفكرة. إنها تعني أنَّ الكائنات الحية يمكن أن تتكيف بسرعة، في جيل واحد فقط، في استجابة مباشرة للمتطلبات البيئية. أما الانتخاب الداروِيني الكلاسيكي، فهو على النقيض من ذلك، بطيء للغاية ومسرِف. يولَد عدد كبير من الذرية، لكن القليل منهم فقط يبقى على قيد الحياة مع احتفاظهم بتنويعات مواتية، ويتطلب الأمر العديد من الأجيال حتى تترسخ مجموعة كاملة كنوع جديد.

أعادت أفكار داروين تشكيل علم الأحياء، وبدأ علماء الوراثة يختبرون فكرة الوراثة المكتسبة بدرجة أعلى من الدقة. ففي ثمانينيات القرن التاسع عشر، أجرى عالم الأحياء الألماني أوجست وايزمان سلسلة من التجارب بدت وكأنها تدحض الوراثة المكتسبة إلى

الأبد. قطع وايزمان ذيول ٢٠ جيلًا من الفئران، لكن جميع الأجيال التالية وُلدت بذيول طبيعية، لا ذيول أقصر استجابةً لهذا الضغط البيئي الشديد. خَلَص وايزمان إلى أن التغييرات التي تحدث في النمط الظاهري لدينا («سوما» soma بتعبير وايزمان، وهي كلمة إنجليزية مأخوذة من اليونانية، وتعني: جسد) لا يمكن أن تُعزَى أبدًا إلى النمط الجيني (ما أسماه وايزمان «الخط الجنسي»). معنى هذا، بعبارة أخرى، أنَّ تدفُّق المعلومات ثابت في اتجاه واحد. فالتغيرات في النمط الجيني تملي تغيرات في النمط الظاهري، ولكن ليس العكس. عُرِف هذا المفهوم فيما بعد باسم «المبدأ المركزي» لعلم الوراثة الجزيئي. ولاحقًا، أعاد جيمس واتسون، المشارك في اكتشاف بنية الحمض النووي، تعريف هذا المبدأ المركزي، ليعني المسار الأحادي الاتجاه من الحمض النووي إلى الحمض النووي الريبوزي إلى البروتينات.

وعلى مر السنين، اقترح العديد من العلماء أفكارًا بدا أنها تُخِل بهذا المبدأ المركزي. ففي الخمسينيات من القرن الماضي، عرَّض عالم الأجنة كونراد وادينجتون يرقات ذباب الفاكهة لصدمة حرارية، وأنتج طفرة تفتقر فيها الأجنحة إلى الوريد المتقاطع. نُفِّذ هذا الإجراء جيلًا بعد جيل، وبعد ١٤ جيلًا ظهر ذباب لا يمتلك الوريد المتقاطع دون أن يكون قد تعرض لصدمة حرارية. فهل أدى الضغط البيئي بطريقة ما إلى تغيير النمط الجيني مباشرةً وليس من خلال الانتخاب؟ أطلق وادينجتون على هذه الظاهرة «الاستيعاب الجيني»، واستمر الداروينيون الجدد في الجدل بشأن كيفية تفسيرها بدون الاستناد إلى اللاماركية الجديدة.

في الآونة الأخيرة، أجرى علماء المناعة تجارب بدا أنها تبرهن على الوراثة المكتسبة. فعندما يتعرض كائن حي لمرض ما، يطور جهازه المناعي أجسامًا مضادة تقتل العدوى الدخيلة. وهذه المناعة تُكتسَب خلال فترة الحياة، ولا ينبغي أن تكون قادرة على أن تجد طريقها إلى الجينوم. غير أنَّ التجارب أثبتت أن الفئران يمكن أن تنقل مناعتها إلى ذريتها. ورغم أن الداروينيين الجدد لا يزالون يزعمون أن هذه الظاهرة يمكن تفسيرها بوسائل غير لاماركية، فإنها تثير أسئلة جدية بشأن حصانة الخط الجنسي.

في علم الأحياء الجزيئي، وثَّق العلماء المزيد والمزيد من الأمثلة التي تفيد بتغير الجينات بعد ولادة الكائن الحي. حصلت باربرا مكلينتوك على جائزة نوبل لاكتشافها «الجينات القافزة» التي تنتقل من بقعة على شريط الحمض النووي إلى أخرى، مغيِّرةً الشفرة الجينية. وأثبتت تجارب أخرى إمكانية دمج الحمض النووي الخارجي في خلية،

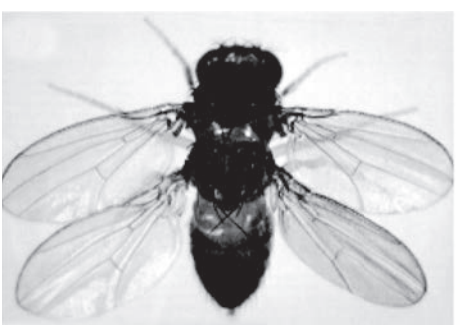
وربما في الحمض النووي المضيف. في إحدى الحالات، بدا أن بكتيريا مختلفة تتبادل أجزاءً من المادة الجينية، وهو تحوُّل سمح لها جميعًا بتطوير طفرة جديدة بسرعة. وتقوم مجموعة واحدة من الفيروسات، الفيروسات الراجعة (مثل فيروس نقص المناعة البشرية المسبب للإيدز، وكذلك الفيروس المسبب لجدري الماء/الهِربِس النُّطاقي) بنَسْخ المعلومات الجينية الخاصة بها في الحمض النووي للمضيف. فهل يمكن أن تكون هذه هي الآلية التي تسمح بترجمة التغييرات البيئية إلى الشفرة الوراثية بشكل مباشر؟

على الرغم من أن المتشددين من الداروينيين الجدد لا يزالون يتجادلون بشأن الآثار المترتبة على هذه الدراسات ويختلفون معها، فقد صار جليًّا الآن أن الجينوم أكثر تعقيدًا ومرونة من البنية الثابتة الأصلية التي تصوَّرها وايزمان. ونظرًا لأن علم الأحياء الجزيئي وعلم المناعة يكتشفان المزيد والمزيد من الاستثناءات التي تُنافي المبدأ المركزي، فإنَّ الفكرة القائلة بإمكانية استجابة الكائنات الحية للضغوط البيئية عن طريق تغيير جينوماتها مباشرة، والتي كانت سيئة السمعة في يومٍ ما؛ قد لا تكون خاطئة تمامًا.

جاء أول إنجاز مهم في اكتشاف كيفية عمل التنظيم الجيني عام ١٩٦١، على يد جاك مونود وجان بيير تشانجو وفرانسوا جاكوب. كانوا يعملون على البكتيريا الإشريكية القولونية المألوفة (البكتيريا القولونية المعروفة أيضًا باسم إي كولاي، والتي تعيش بالملايين في أمعائنا). ووجدوا أنها تحتوي على مجموعة من الجينات التي تعمل في حلقة تغذية رجعية، وأنها تقوم بتشغيل جين معين أو إيقافه، وهو الجين المشغِّل للاكتوز، الذي ينتج إنزيم اللكتاز، المستخدم لتكسير سكريات الحليب (اللاكتوز). وما أثار دهشتهم أنهم اكتشفوا أنَّ المفتاح الذي يعمل على تشغيل الجين المشغِّل للاكتوز أو إيقافه، هو محفز خارجي في البيئة. ففي حالة وجود الكثير من اللاكتوز في محيط البكتيريا، يُشغَّل المفتاح، وتنتج البكتيريا الكثير من اللاكتاز بسرعة لهضم السكريات الزائدة. وإذا انخفض تركيز اللاكتوز، يتوقف تشغيل المفتاح، وتتوقف البكتيريا عن استثمار الطاقة في تكسير اللاكتوز. معنى هذا أنَّ مادةً خارجية هي التي تحفز قدرة الجينوم على إنتاج أشياء معينة. من الواضح أن الجينوم لا يتجاهل البيئة، وقد يتأثر بالمحفزات الخارجية.

تحقَّق أهم التطورات في مجال علم جينات النمو على يد إدوارد بي لويس في عام ١٩٧٨، متمثلًا في اكتشافه للجينات المتماثلة التي يمكن أن تُحدِث تحولات ضخمة ومفاجئة، عن طريق إنتاج أجزاءٍ تشريحيةٍ اعتياديةٍ في أماكن غريبة. على سبيل المثال، للذباب العادي مجموعتان من الأجنحة وعضوان للتوازن، يسمَّيان الموازِنَين، في الموضع

الذي كان الزوج الثاني من الأجنحة سينمو فيه. ينتج عن الطفرة المتماثلة حالة «سيقان الاستشعار»، تتمثل في أنَّ الذبابة العادية تنمو لها ساق في رأسها بدلًا من قرن الاستشعار (الشكل ١٩-١(أ)). تقوم طفرة تماثلية أخرى بتغيير الموازِنَين مرة أخرى إلى الأشكال السالفة من الأجنحة، مما يُنتِج ذبابًا رباعي الأجنحة (الشكل ١٩-١(ب)). واكتشف العلماء مؤخرًا أن سلسلة من الجينات التماثلية المعروفة باسم مجموعة Hox «هوكس»، تتحكم في التقسيم الأساسي للجسد، وليس ذلك في المفصليات فحسب، بل في الفقاريات أيضًا. من الواضح أن الجينات التماثلية أساسية لتخطيط أجساد الحيوانات جميعها تقريبًا، ويمكن لتغيير بسيط في الجينات التماثلية أن يؤثر بشكل هائل على النمط الظاهري، مما ينتج عنه مخططات جديدة للجسد، أو أطراف إضافية، أو مقاطع جسدية إضافية في جيل واحد. يتناقض هذا بشكل مباشر مع إصرار الداروينيين الجدد على أنَّ السمات الجديدة لا تنشأ إلا عن طريق الانتخاب التدريجي على مدى أجيال عديدة.



(ب)

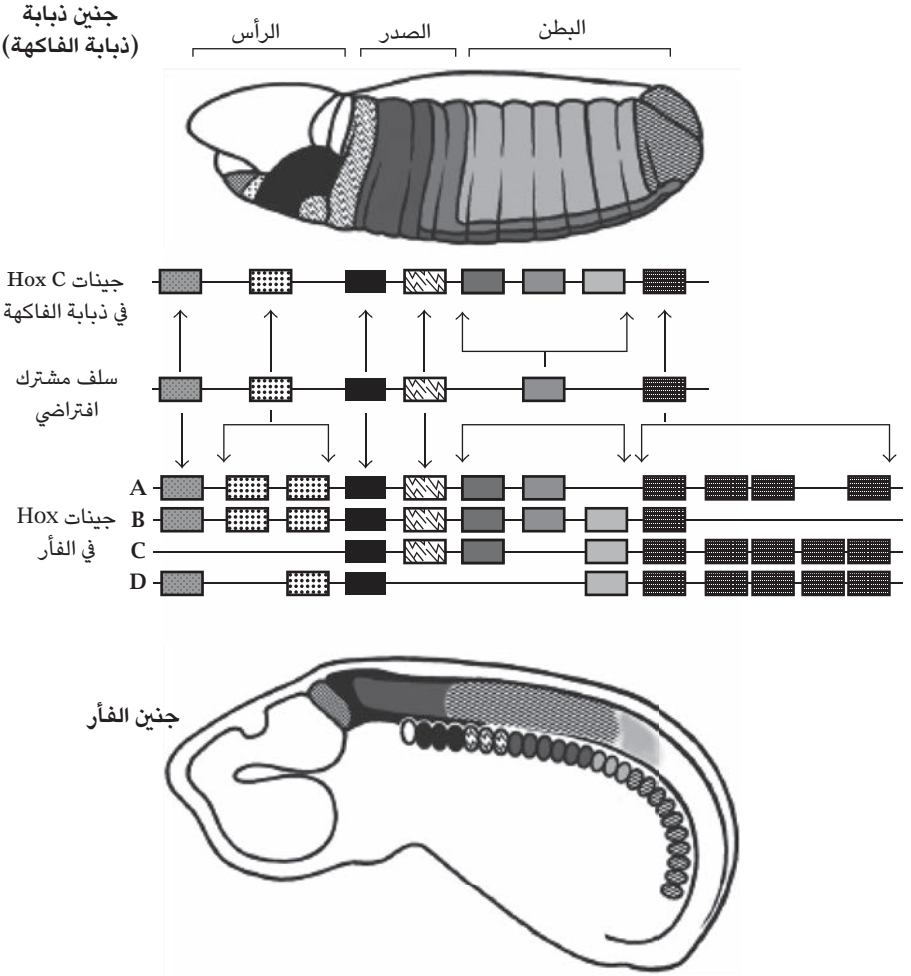
(أ)

شكل ١٩-١: توضح الكائنات الطافرة المتماثلة أن التغيرات الكبيرة في النمو يمكن أن تنتج عن طفرات جينية صغيرة، مما يؤدي إلى اختلافات كبيرة في مخطط الجسد. (أ) طفرة سيقان الاستشعار، التي تنمو فيها للحشرة ساق حيث ينمو قرن الاستشعار. (ب) ذبابة بايثوراكس الطافرة، والتي لها زوج ثانٍ من الأجنحة بدلًا من الموازِنَين اللذين يوجدان عادة خلف الزوج الأمامي من الأجنحة. ([أ] بتصريح من إف آر ترنر؛ [ب] بتصريح من والتر جيرينج وجي باكهاوس)

من خلال هذه الاكتشافات المبكرة، حدد مختصُّو علم الأحياء الجزيئي معظم جينات Hox في عدد من الكائنات الحية، ووجدوا أن جميع الحيوانات تقريبًا (بما في ذلك الذباب والفئران والبشر) تستخدم مجموعة متشابهة جدًّا من جينات Hox، مع اختلافات وإضافات طفيفة. فكل جين من جينات Hox مسئول عن نمو جزء من الكائن الحي وجميع أجهزته العضوية الطبيعية (الشكل ١٩-٢). تعمل بعض الجينات التماثلية على المستوى الأساسي، وتوجد في جميع الكائنات الحية وتتحكم في نفس الأجزاء من النمو. على سبيل المثال، يوجد العديد من جينات Hox التي تتحكم في الأجزاء الأساسية لنمو الحيوان في الفطريات والخمائر والنباتات أيضًا، ولكنها تتحكم في بنًى مختلفة في كلٍّ منها.

يمكن للتغييرات الصغيرة في جينات Hox أن تضع زوائد مختلفة على جزء من الذبابة (كأن تضع ساقًا في موضع قرن الاستشعار، أو جناحًا في الموضع الذي ينتمي إليه الموازِن)، أو يمكن حتى أن تضاعف عدد المقاطع. يُطلَق على جين Hox الرئيسي في هذه الحالة اسم Distal-less، وهو يتحكم في نمو الأطراف لدى جميع الحيوانات تقريبًا؛ زوائد الحشرات، وزعانف الأسماك، وأطراف الدجاج، وشعيرات الديدان الحلقية البحرية، والممصات لدى الغلاليات أو «الكيسيات»، والأقدام الأنبوبية لقنافذ البحر. لذلك يجب أن يكون جينًا متحكمًا عتيقًا، يعود تاريخه إلى أكثر من ٦٠٠ مليون سنة مضت، عندما تشعَّبت الشُّعَب الرئيسية للحيوانات جميعها تقريبًا عن سلف مشترك. يمكن لتغيير طفيف في جينات Hox أن يُحدِث فارقًا تطوريًّا كبيرًا. في المفصليات مثلًا (الكائنات «ذات الأرجل المفصلية»، مثل الحشرات والعناكب والعقارب والقشريات) يمكن لتغييرٍ بسيطٍ في جينات Hox أن يؤدي إلى مضاعفة عدد المقاطع أو تقليلها، والاستغناء عن ملحق (ساق على سبيل المثال) من كل مقطع، وإنماء ملحق آخر بدلًا منه (على سبيل المثال، مخلب سلطعون أو قرن استشعار أو بعض أجزاء الفم). إنَّ المفصليات مثال كلاسيكي على هذا النمو النمطي لأجزاء يمكن أن يُستبدَل بعضها ببعض.

بتعديل بسيط في جينات Hox، يمكن أن تتطور تخطيطات جسدية جديدة بالكامل لاستغلال الموارد الجديدة. خير مثال على ذلك هو نمطية الهيكل العظمي للمفصليات. فمثلما رأينا في حالة ذباب الفاكهة، تحدد جينات Hox ما إذا كانت ستتمتع بالحالة البدائية لزوجين من الأجنحة (كما هو الحال في الحشرات البدائية، مثل اليعسوب)، أو ما إذا كانت إحدى زوائدها ستنمو إلى قرن استشعار أو ساق أو جزء من الفم أو جزء ما آخر. يؤكد السجل الأحفوري هذه الفكرة القائلة بأن مجرد تشغيل جينات Hox أو إيقاف



شكل ١٩-٢: خريطة لموضع عمل جينات Hox في الذبابة والفأر. لاحظ أن جينات Hox الأساسية تكاد تكون متشابهة في جميع الحيوانات الثنائية التناظر، مما يعني أن النظام راجع إلى الأصل المبكر للحيوانات المعقدة. والتغييرات الصغيرة في أيٍّ من جينات Hox تُحدِث اختلافات كبيرة في تخطيطات الجسد. (رسم كارل بويل)

تشغيلها يسمح بتغييرات مفاجئة، وليس ذلك في الزوائد والأجنحة فحسب، بل في عدد مقاطع الجسد أيضًا. فعلى سبيل المثال، يوضح عدد من الحفريات أن العديد من الحشرات البدائية كان لديها في الأصل أكثر من زوجين من الأجنحة، مما يشير إلى أن الاختزال إلى زوجين في اليعسوب وزوج واحد في العديد من الحشرات الأخرى؛ كان تغييرًا متماثلًا مفاجئًا. واتضح من دراسة أخرى أُجريَت في عام ٢٠٠٩ نشوء مجموعات جديدة كاملة من الديدان الألفية عن طريق التطور بالقفزات؛ إذ تمكَّن الباحثون من إضافة مجموعة من المقاطع الجديدة دفعة واحدة. وثمة دراسة أُجريتْ عام ٢٠٠٢ تضمنت وضع جين Ubx Hox الذي يوجد لدى القريدس في يرقة حشرة، واتضح منها أنَّ هذا الجين مسئول عن كبح نمو الأطراف في الحشرات (التي تمتلك ست أرجل، مقارنةً بعشر لدى معظم القشريات). قام علماء آخرون بالتغيير في جينات Hox لإثبات إمكانية الحصول على أي نوع أو عدد من الزوائد على كل مقطع من مفصليات الأرجل، أو إجراء تغييرات جذرية في تخطيط الجسد من خلال تغيير جيني بسيط.

هناك جين Hox رئيسي آخر، وهو Pax-6، والذي يقوم بتشغيل نمو الأعين في جميع الحيوانات تقريبًا. أظهرت الدراسات السابقة لأنواع مختلفة من المستقبلات الضوئية والعيون في المملكة الحيوانية أن هذا قد حدث بطرق عديدة ومختلفة، وذهب إرنست ماير وعلماء أحياء آخرون إلى أن شكلًا من أشكال العيون قد تطور بشكل مستقل ٥٠ مرة على الأقل (انظر الفصل العشرين). ففي النهاية، تتكون عين الحشرة أو ثلاثية الفصوص من مئات العدسات الصغيرة المتكتلة جميعها في حزمة كروية، في حين أن عين الفقاريات عبارة عن كرة مملوءة بالسوائل مع عدسة في أحد طرفيها، وتتسم عين الأخطبوط بالشكل نفسه لكنها تختلف كثيرًا في التفاصيل. بالرغم من ذلك، كشفت دراسات والتر جيرينج وزملائه منذ عام ١٩٩٤، أن كل هذه الأنواع المختلفة للغاية من المستقبلات الضوئية والعيون محكومة بالجين «Pax-6»، رغم أنها تطورت إلى وسائل مختلفة تمامًا لاستشعار المعلومات الضوئية ومعالجتها.

إن جميع هذه الأفكار هي جزء من مجالٍ بحثيٍّ جديد مثير يُعرَف بالنماء التطوري، وهو الآن أكثر المواضيع إثارةً في مجال التطور. لقد انتقلنا من إصرار الداروينية الجديدة على لزوم أن يتغير كل جين تدريجيًّا لإنتاج نوع جديد، إلى إدراك أن عددًا قليلًا فقط من الجينات التنظيمية الرئيسية هو الذي يجب أن يتغير لإحداث فارق كبير، وغالبًا ما يحدث ذلك خلال جيل واحد. ويجنِّبنا هذا المفهوم العديد من المشكلات السابقة بخصوص

التطور الكبروي. فمن الممكن ألَّا تكون العملياتُ التي تبني تخطيطات جسدية جديدة، وتسمح للكائنات الحية بإنماء علاقات بيئية جديدة؛ ناتجةً عن تغيرات تطورية صغروية على نطاق صغير تُعمَّم عبر الزمن. لا يزال بعض أنصار التطور يعتبرون النماء التطوري محض امتداد لفكرة الداروينية الجديدة، لكن آخرين يرَون أنه يشكِّل مسارًا من نوع مختلف تمامًا عن ذلك المتصوَّر في خمسينيات القرن الماضي.

في كلتا الحالتَين، تخبرنا فكرة أن جميع الكائنات المتعددة الخلايا على الكوكب — سواء كانت حيوانات أو نباتات أو فطريات — تشترك في مجموعة الأدوات الجينية نفسها؛ بالكثير عن مدى ارتباطنا الوثيق ببقية الكائنات الحية. ويمكن لهذه المفاتيح الجينية القليلة الموجودة في مجموعة الأدوات الخاصة بنا، أن تنتج العيون والأطراف وغيرها من البنى المختلفة تمامًا في جميع الكائنات، من ذباب الفاكهة إلى الفئران إلى البشر. إن اكتشاف أن بعض المفاتيح الجينية يمكن أن تُحدِث تغيراتٍ جذريةً في بنية الجسد في وقتٍ قصيرٍ يسمح لنا بالنظر في إمكانية حدوث تغيراتٍ تطوريةٍ كبروية من خلال التغيرات البيئية، وفي إمكانية تأثر الجينات التنظيمية الرئيسية بالظروف البيئية. ذلك شيء لم يكن من الممكن لشخصٍ أن يتخيله، ولو كان لامارك، فضلًا عن تشارلز داروين!

قراءات إضافية

Carroll, Sean, *Endless Forms Most Beautiful: The New Science of Evo Devo*, New York: Norton, 2005.

_____, *The Making of the Fittest: DNA and the Ultimate Forensic Record of Evolution*, New York: Norton, 2006.

Gregory, T. Ryan, ed., *The Evolution of the Genome*, Amsterdam: Elsevier, 2005.

Held, Lewis I., Jr., *Deep Homology? Uncanny Similarities of Humans and Flies Uncovered by Evo–Devo*, Cambridge: Cambridge University Press, 2017.

_____, *How the Snake Lost Its Legs: Curious Tales from the Frontiers of Evo–Devo*, Cambridge: Cambridge University Press, 2014.

_____. *Quirks of Human Anatomy: An Evo–Devo Look at the Human Body*, Cambridge: Cambridge University Press, 2009.

Levinton, Jeffrey, *Genetics, Paleontology, and Macroevolution*, 2nd ed., Cambridge: Cambridge University Press, 2001.

Ridley, Mark, *Evolution*. 2nd ed., Cambridge, Mass.: Blackwell, 1996.

Wills, Christopher, 1989, *The Wisdom of the Genes: New Pathways in Evolution*, New York: Basic Books, 1989.

الفصل العشرون

الأعين دليل على التطور

تطور الاستقبال الضوئي

إن افتراض أن العين — بما لها من خصائص فذة لضبط البؤرة بما يتماشى مع مسافات مختلفة، وإدخال كميات متباينة من الضوء، وتصحيح الانحراف الكروي واللوني — يمكن أن تكون قد تشكَّلت بواسطة الانتخاب الطبيعي هو افتراض لا بد أن أعترف بمنتهى الصراحة أنه يبدو منافيًا للعقل لأقصى حد. عندما قيل لأول مرة إن الشمس تقف ساكنة في مكانها والعالم يدور حولها، أعلنَ الحدس البشري أنها فكرة خاطئة، لكننا لا يمكن أن نثق بالقول القديم: «صوت الناس هو صوت الرب» في مجال العلم، وذلك أمر يعرفه كل فيلسوف. إنَّ المنطق يدلنا على أنه إذا كان بالإمكان إثبات وجود درجات عديدة من عين بسيطة وغير كاملة إلى عين معقدة وكاملة، وكل درجة تؤدي فائدة لمالكها، كما هو الحال بالتأكيد، وإذا كان الأمر أنَّ العين تتنوع باستمرار وتورث هذه التنويعات، وهو الحال أيضًا بالتأكيد، وإذا كان المفترض أن تكون مثل هذه التنويعات مفيدة لأي حيوان في ظل ظروف الحياة المتغيرة؛ فلا ينبغي اعتبار صعوبة الاعتقاد بتشكُّل العين الكاملة والمعقدة عن طريق الانتخاب الطبيعي؛ أمرًا يدحض النظرية، وإن كنا غير قادرين على تصوره. إن الكيفية التي يصبح بها العصب حساسًا للضوء لا تعنينا تمامًا، مثلما لا تعنينا كيفية نشأة الحياة نفسها، لكن يجوز لي أن أشير إلى أنه لما كانت بعض الكائنات الحية الأقل تعقيدًا التي لا يمكننا رصد أعصاب لديها، قادرةً على إدراك الضوء، فلا يبدو

من المستحيل أن تتجمع في بنيتها الحيوية بعض العناصر الحساسة؛ ومن ثَم تنمو إلى أعصاب تتمتع بهذه القدرة الحسية الخاصة.

تشارلز داروين، «أصل الأنواع» (١٨٥٩)

في كتاب «أصل الأنواع»، تناول داروين واحدًا من أكبر الاعتراضات على أفكاره، وهو ما أسماه «الأعضاء البالغة الكمال». كان داروين يعلم أن أمثلة التصميم الاستثنائي، وتناسق البنى التشريحية هي جوهر مدرسة «اللاهوت الطبيعي» القديمة، وقد بذل جهدًا كبيرًا للتأكيد على أمثلة التصميم الرديء، أو غير الفعال في الفصل التاسع من كتابه. غير أنه لم يكن يستطيع تجنُّب الحديث عن التصميم الجميل إلى الأبد. ولهذا تناوله مباشرة في الفصل السادس، وركز تحديدًا على أعضاء مثل العين. كيف أمكنَ لمثل هذه البنية المثالية أن تُنتَج بواسطة الانتخاب الطبيعي العشوائي؟ يبدو أن داروين «اعترف بصراحة» أن هذا «يبدو منافيًا للعقل لأقصى حد».

عندما نشر داروين أفكاره لأول مرة، واجه هجومًا بالفعل من النقاد، مثل سانت جورج جاكسون ميفارت، بشأن هذه القضية. لقد ظهر الاقتباس الوارد في بداية هذا الفصل في طبعات لاحقة من كتابه كإجابة مباشرة على ميفارت. والحق أنَّ منكري العلم وَلِعون باقتباس الجملة الأولى من هذا الاقتباس على وجه التحديد؛ فهم يزعمون أن داروين اعترف بأن فكرة التطور «منافية للعقل لأقصى حد». إنهم يتجاهلون بقية الاقتباس بالكامل دونما نزاهة؛ لأن الجملة الأولى بالطبع هي التي تؤسس للمعضلة الأولية، بينما يوضح باقي الاقتباس أن داروين لديه إجابة بالفعل عن الكيفية التي يمكن أن تكون قد أدت إلى تطور العين. لقد رأيتهم يفعلون ذلك في المناظرات، وبفضل هاتفي الذكي، يمكنني عرض هذا الاقتباس بالكامل وقراءته عليهم مرة أخرى. وهم إما يفشلون تمامًا في فهم ما قاله داروين، ويستمرون في الإصرار على أن الجملة الأولى فقط هي التي تهم، وإما يصمتون عن هذه المسألة ويحيلون النقاش إلى موضوع آخر.

في عام ١٨٥٩، لم يكن لدى داروين الكثير من الأدلة لدعم قضيته. استطاع أن يشير إلى أن الكائنات الحية البسيطة الشبيهة بالأميبا (كانت تسمَّى «ساركوديات» في زمن داروين) لديها خلايا حساسة للضوء في أنسجتها تساعدها على التنقل باتجاه الضوء أو بعيدًا عنه، وقد قدَّم ثلاث صفحات من أمثلة لكائنات حية تتمتع بأنواع مختلفة من الإدراك الضوئي. ولكن في زمن داروين، كان هناك القليل جدًّا من العمل الذي أُجريَ

على الاستقبال الضوئي في مجموعات أخرى من الحيوانات. ومن حسن الطالع، خلال أكثر من ١٦٠ عامًا منذ نُشِر كتاب داروين، أُنجزَ قدر هائل من الأبحاث فيما يتعلق بالاستشعار الضوئي في مملكة الحيوان، ونحن نمتلك الآن تسلسلًا استثنائيًّا لأنواعٍ مختلفة من المستقبلات الضوئية والأعين، التي توضح كيف يمكن للبصر حقًّا أن يتطور. (إذا كنت مهتمًّا، فإنني أوصي بكتاب إيفان شواب من عام ٢٠١٢، المصوَّر بشكل جميل، «شاهد على التطور: كيف تطورت العيون؟»، والذي يحتوي على مئات الرسوم التوضيحية والصور الملونة التي تعرض كل أنواع العيون المعروفة تقريبًا.)

أو بعبارة داروين:

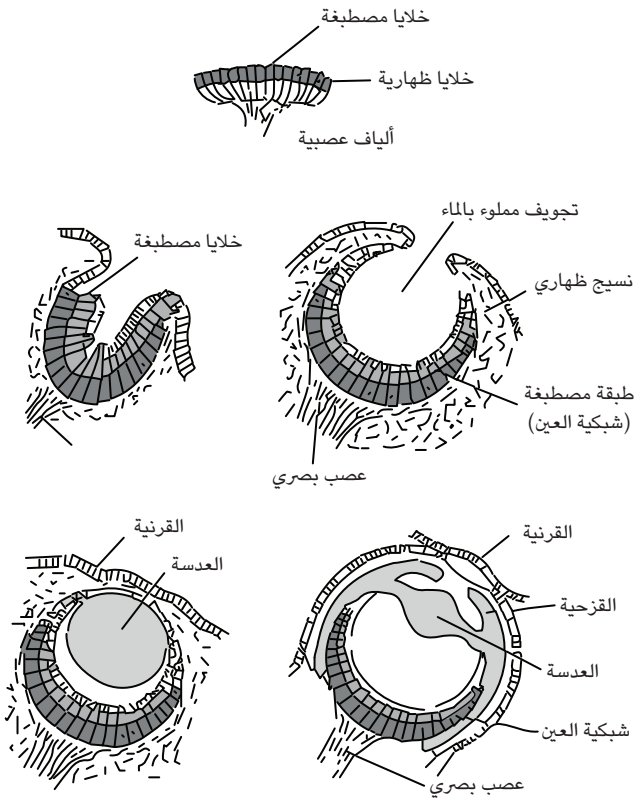
> إنَّ المنطق يدلنا على أنه إذا كان بالإمكان إثبات وجود درجات عديدة من عين بسيطة وغير كاملة إلى عين معقدة وكاملة، وكل درجة تؤدي فائدة لمالكها، كما هو الحال بالتأكيد، وإذا كان الأمر أنَّ العين تتنوع باستمرار وتورث هذه التنويعات، وهو الحال أيضًا بالتأكيد، وإذا كان المفترض أن تكون مثل هذه التنويعات مفيدة لأي حيوان في ظل ظروف الحياة المتغيرة؛ فلا ينبغي اعتبار صعوبة الاعتقاد بتشكُّل العين الكاملة والمعقدة عن طريق الانتخاب الطبيعي؛ أمرًا يدحض النظرية، وإن كنا غير قادرين على تصوره.

تحدث المرحلة الأولى من هذا الانتقال، من كائنات عمياء إلى كائنات يمكنها إدراك الضوء، في العديد من الكائنات الوحيدة الخلية التي غالبًا ما تسمَّى «الطلائعيات» أو «الأوليات»، والتي كان يُطلَق على بعضها اسم «ساركوديات» في زمن داروين. يمتلك العديد من هذه الكائنات بروتينات حساسة للضوء، لا سيما تلك الكائنات التي تحمل أيضًا البلاستيدات الخضراء، والتي تقوم بعملية التمثيل الضوئي، ومنها «يوجلينا»؛ ولهذا كان لا بد لها أن تطلب الضوء وتسعى وراءه. كل ما يحتاج إليه الكائن الحي للاستقبال الضوئي هو بروتين أوبسين الحساس للضوء، الذي يحيط بالخلايا الصبغية المسماة بالخلايا الحاملة للَّون، والتي يمكنها تمييز الألوان (الشكل ٢٠-١(أ)). يُعتقد أن مثل هذه «البُقَع العينية» البسيطة، وهي مجموعة من الخلايا الحساسة للضوء، قد تطورت بشكل مستقل، ربما من ٤٠ إلى ٦٥ مرة، في سلالات حيوانية متعددة لا تجمع بينها صلة قرابة. لكن جينات تسلسل «الصندوق المثلي» نفسها هي التي تتحكم في هذه البقع العينية، وخاصة جين Pax-6 Hox (انظر الفصل التاسع عشر)؛ ومن ثَم فإن المخطط الجيني

لصنع عينٍ بسيطةٍ موحدٌ في مملكة الحيوان، وحتى في الطلائعيات الأحادية الخلية. وهذا لا يحدث في المخلوقات الوحيدة الخلية فحسب، وإنما يحدث أيضًا في بعض أنواع القناديل البحرية، مثل نوع كلادونيما، الذي يمتلك مستقبلات ضوئية دون دماغ. فتنتقل الرسائل الكهربائية من أعينها إلى العضلات مباشرةً؛ لتحفيز الحركة بالنسبة لمصدر الضوء. في الكائنات الحية العليا جميعها تقريبًا، تقوم حاملات الضوء الموجودة في المستقبِل الضوئي باستقبال فوتونات الضوء، التي تتحوَّل إلى إشارة كهربائية تنتقل عبر الجهاز العصبي إلى أي عقدة عصبية مركزية، أو دماغ موجود في الكائن الحي.

المرحلة التالية في تطور العين من بقعة العين هي مستقبِل بسيط للضوء على شكل وعاء أو كوب (الشكل ٢٠-١(ب)). لا يمكن لبُقَع العين تحديد الاتجاه الذي يأتي منه الضوء، لكنَّ مستقبِلًا على شكل كوب يسمح للحيوان باكتشاف زاوية مصدر الضوء واتجاهه؛ إذ يصيب الضوء أجزاءً معينة من السطح الشبيه بالكوب مرارًا وتكرارًا. هذا هو نوع العين الموجود في الديدان المسطحة أو البلانريا، والتي تُعَد من أبسط الحيوانات ذات التناظر الثنائي والرأس والذيل (وهو ما لا يوجد في الكائنات الشعاعية الأكثر بدائية التي تسمَّى اللواسع، مثل قناديل البحر أو شقائق النعمان، أو في الإسفنج). توجد هذه العين الشبيهة بالكوب أيضًا لدى معظم الحلزونات، الحية منها والمنقرضة على الأرجح، وهي في هذه الحالة من أوائل الكائنات في أوائل العصر الكمبري القادرة على استشعار الضوء. يستخدم معظم هذه الكائنات القدرة على استشعار اتجاه الضوء للعثور على الظل والمأوى، أو استشعار ظل حيوان مفترسٍ يسبح أعلاها.

في بعض الحيوانات، تزداد العين البسيطة الشبيهة بالكوب عمقًا، ويصبح لديها كثافة أعلى من الخلايا المستقبلة للضوء، فتصير العين قادرة على معالجة قدر من المعلومات عن البيئة أكثر بكثير من الاتجاه العام لمصدر الضوء. وفي نهاية المطاف، يصبح الكوب أعمق وأعمق حتى يتقيَّد حجم الفتحة، مما يخلق تأثيرًا شبيهًا بتأثير الكاميرا ذات الثقب (الشكل ٢٠-١(ج)). وهذه الفتحة ذات الثقب، إضافةً إلى شبكية عميقة على شكل كوب، مع طبقة كثيفة من الخلايا المستقبلة للضوء؛ لا تسمح بالاستشعار الاتجاهي فحسب، بل تتيح للكائن أيضًا قدرًا من الاستشعار بالشكل والتصوير الخافت. يقلل ذلك من التشوه والتشتت من خلال السماح بشعاع رفيع فقط من الضوء في العين. لكن مستشعِر الضوء من نوع الثقب لا يحتوي على قرنية أو عدسة؛ ومن ثَم فإن قدرات العين تقتصر على دقة ضعيفة للغاية وتصوير خافت. على أنَّ هذا تحسُّن هائل عن عين الدودة المسطحة أو عين الحلزون الشبيهة بالوعاء. من بين الرخويات، عُثِر على هذه العين التي تتخذ شكل الثقب



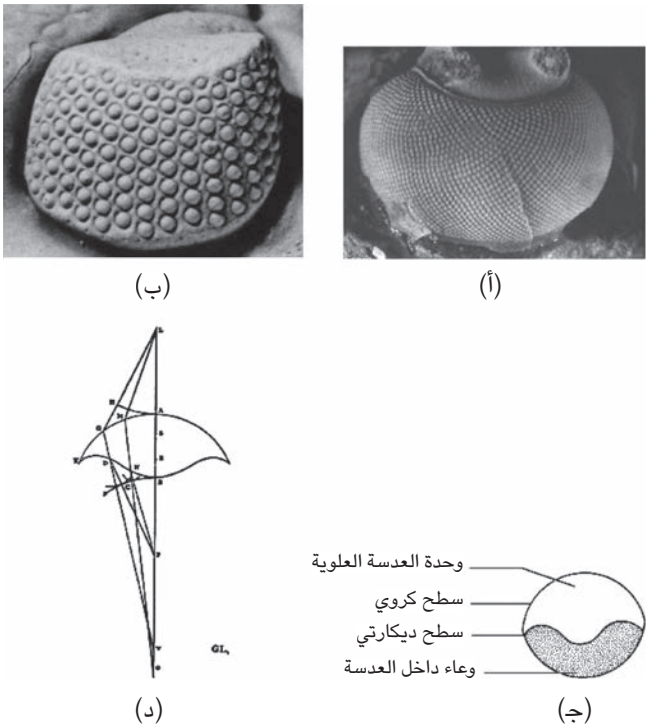
شكل ٢٠-١: مراحل تطور المستقبلات الضوئية. (أ) أبسط المستقبلات الضوئية هي بقعٌ من الخلايا المصطبغة الحساسة للضوء في الطبقة الخارجية من الأنسجة، في العديد من الكائنات الحية البسيطة. (ب) مستقبِل ضوئي أكثر تقدمًا بقليل، وهو جيب على شكل وعاء أو كوب في الأدمة، مع مستقبلات ضوئية في الأسفل تساعد على تمييز الاتجاه الذي يأتي منه الضوء والظلام. (جـ) نوع أكثر تقدمًا من العين يتمثل في جيب دائري عميق، بفتحة صغيرة يخلق تأثير الكاميرا ذات الثقب، ويعرض صورة منخفضة الدقة للعالم على شبكية العين. (د) الشكل الأكثر تقدمًا منها هو العين الكروية المحاطة بغشاء قرني واضح، وتتفوق على أنواع الأعين الأخرى بالعديد من المزايا. (هـ) الأعين الأكثر تقدمًا على الإطلاق هي مُقَل الأعين المغلقة التي لا تحتوي على القرنية وحسب، بل تتضمن آلية العدسة والقزحية أيضًا، مما يمكِّن العين من تكوين صور واضحة. تطور هذا النوع من العين بشكل مستقل، وبطرق مختلفة في الحبار والأخطبوط والفقاريات. (إهداء من «ويكيميديا كومنز»)

في نوع نوتيلوس Nautilus المُجوَّف. من المفترض أن هذا النوع المتقدم من العين كان موجودًا أيضًا في أواخر العصر الكمبري، عندما تطور أقرب أقرباء النوتويديات لأول مرة، ومكَّنت هذه النوتويديات الضخمة ذات الصدفة المستقيمة من العثور على الفرائس، وأن تصبح أولى الحيوانات المفترسة الكبيرة على الأرض.

الخطوة التالية هي تغطية فتحة الثقب بطبقة من الخلايا الشفافة وتشكيل القرنية (الشكل ٢٠-١(د)). من خلال إغلاق الحجرة الداخلية يمكن للعين تطوير حشوة سائلة شفافة (تسمَّى في مجال التشريح بـ «الخلط»)، تمنحها إمكانية تصفية الألوان أو تكوين مُعامِل انكسار أعلى، وحجب الأشعة فوق البنفسجية، إضافة إلى إعطائها القدرةَ على العمل في الهواء، كما تعمل في الماء. كما أنَّ هذا الغطاء يمنع حدوث تلوث داخل العين أو انتهاكها بعدوى أو بإصابة طفيلية. ويزيد وجود القرنية من طاقة العين الانكسارية. توجد مثل هذه العيون البسيطة في أجزاءٍ كثيرةٍ من المملكة الحيوانية. من هذه المجموعات مثلًا «الديدان المخملية» أو حاملات المخالب، ولها عين كروية بسيطة مملوءة بسائل وقرنية. خلال انسلاخها، تتخلص الديدان المخملية من جلدها الخارجي بالكامل، بما في ذلك غطاء القرنية مع بقية الهيكل الخارجي. ويصبح لديها بعد ذلك طبقة أو طبقتان من القرنية، وفقًا لمدى حداثة انسلاخها.

تتمثل المرحلة التالية من تطور العين في إنماء طبقة من الخلايا داخل القرنية لتشكيل عدسة، وتتشكل هذه الطبقة من بروتين يسمَّى كريستالين العدسة (الشكل ٢٠-١(هـ)). يوجد نوعان مختلفان من هذا البروتين؛ كريستالين-ألفا، وكريستالين بيتا-جاما، وكلاهما بروتينان طوِّرا في الأصل لوظائف أخرى، وأعيدَ توجيههما ليصبحا جزءًا من عدسة العين. تتفرد هذه البروتينات بشفافية عالية، والقدرة على التراصِّ بالقرب من بعضها بأعدادٍ كبيرة، والقدرة على البقاء طوال فترة حياة الكائن الحي.

تُعَد خلايا العين نسيجًا حيًّا في الجنين، غير أنه لا بد من إزالة الآلية الخلوية المعتمة التي أنتجت بروتينات العدسة فور ولادة الكائن الحي؛ فتصبح العدسة مصفوفة من الخلايا الميتة المليئة ببروتينات الكريستالين. ويمثل الاحتفاظ بطبقة من الخلايا الشفافة مشكلة بالنسبة لمعظم أعين الحيوانات. ولهذا ففي بعض الكائنات الحية مثل ثلاثية الفصوص (الشكل ٢٠-٢)، حل معدن الكالسيت محل كريستالين العدسة. في بعض الأحيان، تُحفَظ هذه العيون المتحفرة جيدًا، لدرجة أن علماء الحفريات استطاعوا النظر من خلالها ورؤية ما كان الكائن الثلاثي الفصوص يراه في الأصل، وتصويره أيضًا. في



شكل ٢٠-٢: البنية التشريحية لأعين ثلاثيات الفصوص. (أ) تتكون أعين هولوكرول من عدسات متراصَّة عن قرب. (ب) أعين شيزوكرول مع عدسات مفصولة بجُلَيدة صلبة. (جـ) مقطع عرضي لعدسة عين شيزوكرول، يتضح فيه التقسيم إلى وحدتَين منفصلتَين. (د) رسم هوجنس البياني من عام ١٦٩٠ لمسار الشعاع البصري للعدسات، موضحًا كيفية تصحيحها للانحراف الكروي. حلَّت وحدة العدسة العلوية لأعين ثلاثيات الفصوص هذه المشكلة قبل ٤٠٠ مليون سنة من قيام البشر بذلك. ([أ، ب] ريكاردو ليفي سيتي، «ثلاثيات الفصوص» [١٧٥٨، أعيدَ طبعها، شيكاجو: شيكاجو يونيفرستي برِس، ١٩٩٣]؛ [جـ] ريتشارد إس بوردمان، ألان إتش تشيتام، إيه جيه رويل، «اللافقاريات الأحفورية» [بالو ألتو، كاليفورنيا: بلاكويل، ١٩٨٧]؛ [د] ملكية عامة)

بعض ثلاثيات الفصوص الأكثر تقدمًا، تكون العدسة مزدوجة، ولها جزء سفلي مقعر وجزء علوي محدب، مما يصحح الانحراف الكروي في العدسات السميكة. ابتكرت ثلاثيات

الفصوص هذا الحل لمشاكل الرؤية منذ حوالي ٤٠٠ مليون سنة، ولم يُعِد البشر اكتشافه إلا في القرن الثامن عشر.

تُعَد إضافة عدسة بمثابة تحسُّن هائل. ففي العين البسيطة التي لا يوجد بها سوى قرنية، تُدخِل الفتحة رقعة واسعة من الضوء على مساحة كبيرة من الشبكية. لكن إضافة العدسة تركز الإشعاع المرئي الوارد على منطقة صغيرة من شبكية العين، مما يسمح لها باستشعار حتى الضوء الخافت، وتشكيل صورة أفضل بكثير في الضوء الساطع. وتحتوي بروتينات العدسة أيضًا على مُعامِل انكسار عالٍ، مما يسمح لها بتركيز الضوء بشكل أكثر وضوحًا.

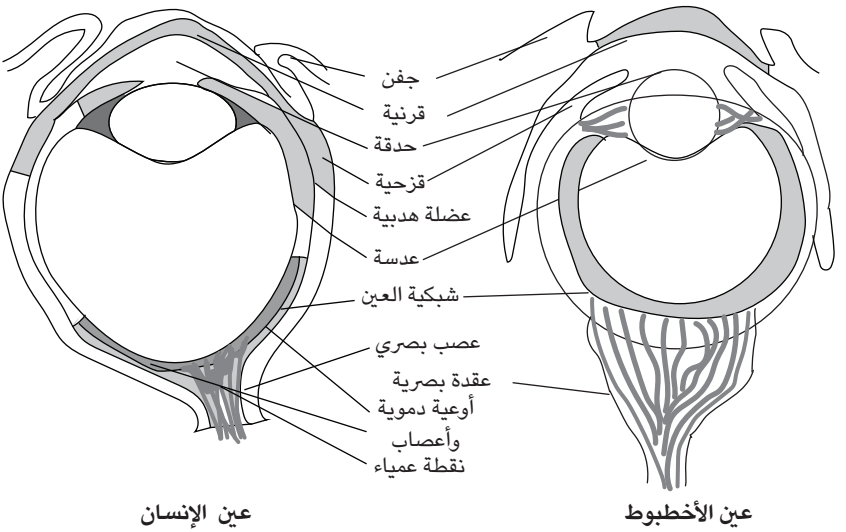
من هذه المرحلة التطورية، تباين تركيب العدسات في العين وعددها تباينًا كبيرًا على مستوى المملكة الحيوانية. فمعظم الحيوانات ذات الأرجل المفصلية، أو المفصليات (الحشرات، والعناكب، والعقارب، والقشريات، والديدان الألفية، ومئويات الأرجل، ومعظم ثلاثيات الفصوص، وأقاربها) تمتلك العديد من العدسات الصغيرة المعبأة في عين مركبة. تستشعر كل عدسة صغيرة اختلافًا بسيطًا في الضوء أو الظلام، وعندما تُدمَج معًا، يمكن لدماغ الكائن تجميع فسيفساء معقدة من البقع الفاتحة والداكنة التي يفسرها على هيئة صورة. يحتوي العديد من هذه الأعين المركبة على مئات العدسات، وهي تنتفخ للخارج في شكل شبه كروي كي يرى الحيوان جميع الجوانب الموجودة حوله تقريبًا، ليَحذَر من الحيوانات المفترسة القادمة من أي اتجاه.

في شُعَب أخرى، يمكن تتبع تسلسل مختلف من المراحل التطورية لدى كائنات المجموعة. فعلى سبيل المثال، تتسم الرخويات عن غيرها من الشُّعب بأنها تتضمن أكبر تنوع من الأعين. بعض الرخويات الأكثر بدائية عمياء، أو لديها بقع صغيرة من الخلايا الحساسة للضوء منتشرة في جميع أنحاء أجسادها، لاكتشاف الظل الداكن لحيوان مفترس يقترب. المرحلة التالية هي العين البدائية المسطحة، أو البقعة العينية، والتي تتمثَّل في وجود مجموعة من الخلايا الحساسة للضوء مجتمعة معًا. إنها لا تسمح للكائن الحي باستشعار الظلام والنور فحسب، بل تسمح بتمييز مصدر الضوء أيضًا. يوجد هذا النوع من الأعين حاليًّا في قناديل البحر، إضافةً إلى مجموعةٍ صغيرةٍ من الرخويات البدائية جدًّا.

وتتمثل الخطوة التالية على ذلك في العين التي تتخذ شكل الكوب، والتي تحتوي على طبقة مصطبغة في الأسفل لاستشعار الضوء. تنتشر هذه الأعين بين الرخويات التي تحتاج إلى اكتشاف أي مفترس قادم، وتوجد في البطلينوس، والخيتون، وأنواع معينة

من المحار. تُبعثْ هذه الخطوة بنمط الكاميرا ذات الثقب، الذي يعطي صورة مُركَّزة منخفضة الإضاءة على شبكية العين. عُثِر على مثل هذه في نوع نوتيلوس، وكذلك في أذن البحر والأنواع القريبة منهما. تحتوي العين الأكثر تقدمًا على قرنية (وهي في هذه الحالة نسيج ظهاري شفاف) بدون وجود عدسة دائمة تُذكَر، على الرغم من أن بعض الرخويات تستخدم حويصلة أو فقاعة من السائل لتقوم بدور العدسة. إنَّ هذه الأنواع من الأعين توجد في الحلزونات البحرية المفترسة ومعظم الحلزونات البرية، ومما يثير الدهشة أنها توجد لدى المحار المروحي الذي يمتلك العديد من الأعين الصغيرة حول حافة وشاحه، وهي تمكِّنه من استشعار اقتراب حيوان مفترس.

بالنسبة إلى الأعين الأكثر تقدمًا لدى الرخويات، يوجد بها مُقَل كروية محكَمة الغلق بالكامل، مليئة بسائل وعدسة بِلَّورية، وقزحية لتنظيم الضوء الوارد، والعديد من الصفات الأخرى التي تبدو شديدة الشبه بمقلة العين الفقارية. وربما يبدو النوعان متشابهين بالفعل من الناحية السطحية، لكنهما مختلفان تمامًا في التفاصيل. ففي أعين الفقاريات، تُستخدَم العضلات الهدبية الموجودة حول العدسة للضغط على العدسة المرنة أو إرخائها، كي تغير شكلها وتركِّز الضوء بشكل أفضل (الشكل ٢٠-٣). بينما تستخدم الرخويات العضلات نفسها لتحريك العدسة للأمام والخلف، مغيِّرةً بذلك المستوى البؤري، حتى تحصل على تركيز جيد بدون تغيير شكل العدسة. الأكثر لفتًا للنظر هو ترتيب الخلايا المستشعرة للضوء في شبكية العين. في الرخويات، على غرار الأخطبوط والحبار والحبار القاعي، توجد هذه الخلايا في الطبقة العليا من شبكية العين؛ فهي تواجه مصدر الضوء مباشرة. وعلى العكس من ذلك، نجد أنَّ الخلايا المستشعرة للضوء في عين الفقاريات تتَّجه إلى الخلف بعيدًا عن مصدر الضوء، وتكون مغطاة بشبكة الأعصاب والأوعية الدموية التي تحافظ عليها. وهذا يشوِّه الصورة القادمة إلى مستشعرات الضوء إلى حد ما، مما يمنحنا رؤية أدنى، مقارنةً بالأخطبوط. إضافةً إلى ذلك، ينتج عن هذا التصميم الأخرق أن الحزمة العصبية التي تربط العين بالمخ تأتي من منتصف الشبكية، مما يخلق نقطة عمياء. لا تحتوي عين الأخطبوط على نقطة عمياء، فنجدها تتفوق مرة أخرى على عين الفقاريات في هذا الصدد. إن كائنات كالأخطبوط والحبار والحبار القاعي تجيد استخدام أعينها الممتازة. فهذا الاستخدام لا يقتصر على رؤية فرائسها جيدًا للإمساك بها والهروب من الحيوانات المفترسة فحَسْب (فهي ليس لديها قشرة خارجية مثل النوتيلوس ومعظم الرخويات الأخرى)، بل هي تدرك خلفيتها بوضوح أيضًا، ويمكنها تغيير أنماط جلدها



شكل ٢٠-٣: مقارنة بين الأعين المتقدمة للأخطبوط والفقاريات. تحتوي المقلتان كلتاهما على مركز مملوء بالسوائل، وقرنية، وعدسة، وقزحية، وتتمتعان بالقدرة على رؤية صور معقدة واضحة، ورؤية الألوان في كثير من الأحيان. لكن عين الفقاريات بها عيب كبير في التصميم؛ المستقبلات الضوئية (الخلايا العصوية والمخروطية) تقع تحت طبقة الأعصاب والأوعية الدموية التي تدعمها، وهي موجَّهة بطريقة خاطئة، مما يحدُّ من الرؤية في هذا النوع من الأعين. كما أن لديها عصبًا بصريًّا يجب أن يتصل بهذه الطبقات من الأنسجة أعلى الشبكية، ثم يخرج من خلال ثقب في الشبكية، مكونًا بقعة عمياء. في المقابل، لا تحتوي عين الأخطبوط على أيٍّ من هذه العيوب؛ تتوجه المستقبلات الضوئية نحو مصدر الضوء وتتصل من الأسفل، وترتبط مباشرة بالعصب البصري؛ لذلك لا توجد بقعة عمياء. بغضِّ النظر عن مدى جودة التصميم الذي تبدو عليه أعيننا، فهي ارتجالية وسيئة التصميم إذا قارناها بعيون الأخطبوط. (أعاد رسمه إي بروثيرو من عدة مصادر)

لتمويه أنفسها في مقابل أي خلفية. إضافةً إلى ذلك، تتواصل هذه الكائنات المذهلة عن طريق إطلاق مجموعة متنوعة مذهلة من الألوان والأنماط، عبر جلدها في أجزاءٍ من الثانية. إذا لم تكن قد شاهدتَ هذه العروض الرائعة من قبل، فإنني أوصيك بشدةٍ بمشاهدة بعض مقاطع الفيديو التي تظهر فيها وهي تغير ألوانها، وستجدها على شبكة الإنترنت.

إنَّ مُقَل الفقاريات في العموم تشبه مقلنا، والتي نعتقد أنها «اعتيادية» بالنسبة لأعين الحيوانات. لكن الفقاريات الأكثر بدائية، مثل سمكة الجريث اللزجة اللافكية، ليس لها سوى عين بسيطة على شكل كوب. تعيش هذه السمكة في المياه العميقة المظلمة، وهي تتنقل وتتغذى بواسطة حاستَي التذوق والشم. أما أقاربنا البدائيون من اللافقاريات، مثل الغلاليات (بخاخات البحر) والسُّهيمات أو الرُّميحات، فلديها بقعة عينية بسيطة، عندما تكون يرقات على الأقل. ويبدو أيضًا أن حفريات أقدم سمكة لا فكية من العصر الكمبري في الصين امتلكت بقعة عينية بسيطة أيضًا. لكن بدءًا من الجلكيات التي امتلكت عينًا بها عدسة بدون مقلة مملوءة بالسوائل، ثم أسماك القرش، التي لها مقلة تشبه مقلتنا إلى حد كبير، تمتلك جميع الفقاريات تقريبًا عينًا أكثر تعقيدًا لها عدسة، وقزحية، إضافةً إلى الخصائص الأخرى المتعلقة بقدرتنا على الإبصار.

لقد وُفِّق داروين في التحدي الذي طرحه. أشار الرجل إلى أنَّ تطور عين معقدة من عين أبسط قد تضمن، لا بد، خطوات عديدة، وذكر الأمثلة القليلة التي كانت معروفة في عصره. ونحن رأينا أنه يوجد بالفعل العديد من الخطوات الوسيطة التي مرت بها العين، بدءًا من بقعة عين بسيطة، ثم أعين معقدة لها عدسات وخصائص أخرى، وقد مرت عدة مجموعات أخرى، مثل الرخويات والفقاريات، بجميع هذه الخطوات بشكل مستقل لتطوير مقلة العين المعقدة التي نمتلكها. لقد اقترح داروين أنه «بالإمكان إثبات وجود درجات عديدة من عين بسيطة وغير كاملة إلى عين معقدة وكاملة»، وقد وثَّق العلم الآن كل هذه الدرجات، وليس ذلك في أقاربنا الأحياء الأكثر بدائية فحسب، بل في السجل الأحفوري أيضًا في بعض الأحيان. إن تصوُّر كيفية تطور العين لم يَعُد «منافيًا للعقل لأقصى حد».

قراءات إضافية

Glaeser, Georg and Hannes F. Paulus, *The Evolution of the Eye*, Berlin: Springer, 2015.

Lamb, Trever D., "Evolution of the Eye," *Scientific American* 305, no. 1 (2011): 64–69.

Land, Michael F., *Eyes to See: The Astonishing Variety of Vision in Nature*, Oxford: Oxford University Press, 2019.

Land, Michael F. and Dan-Eric Nilsson, *Animal Eyes*, 2nd ed., Oxford: Oxford University Press, 2012.

Oakley, Todd H. and Daniel I. Speiser, "How Complexity Originates: The Evolution of Animal Eyes," *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics* 46 (2015): 237–260.

Parker, Steven, *Color and Vision: The Evolution of Eyes and Perception*, New York: Firefly Books, 2016.

Schwab, Ivan, *Evolution's Witness: How Eyes Evolved*, Oxford: Oxford University Press, 2012.

الجزء الخامس

الإنسان والتطور

الفصل الحادي والعشرون

مصلِّح، لا مهندس

هل البشر مصمَّمون جيدًا؟

> يجب على أي شخص يعتقد أن أجسادنا من عجائب الهندسة الميكانيكية أن يحضر دليل الهاتف، ويتصفح قوائم اختصاصيي تقويم الأسنان، وأطباء العظام، واختصاصيي تصحيح البصر، ومعالجي تقويم العمود الفقري، وذلك على سبيل المثال لا الحصر. إنَّ هؤلاء الأطباء يكسبون رزقهم عن طريق معالجة عيوبنا المتعددة. علينا إذن مواجهة الواقع؛ إنَّ أجسادنا بها العديد من الخصائص التي يمكن أن تؤدي وظائفها بشكل أفضل. إن الحقيقة المحزنة هي أن التطور ليس مهندسًا، بل هو مُصلِّح فحسب.
>
> لويس آي هيلد جونيور، «غرائب تشريح الإنسان: نظرة نمائية تطورية في الجسد البشري» (٢٠٠٩)

على مدار القرنين السابع عشر والثامن عشر الميلاديين، كان علماء الطبيعة واللاهوتيون (وغالبًا ما كان التخصصان متصلين يجمع الباحث بينهما) يرَون الجسد البشري على أنه نموذج للتصميم والهندسة المثاليَّين. أفلا تخبرنا الآية السادسة من الإصحاح التاسع من سِفر التكوين أن «الإله قد خلق الإنسان على صورته»؟ لا بد إذن أنَّ جسد الإنسان مثالي، أو هو بأفضل درجةٍ ممكنةٍ من التصميم على الأقل. وغالبًا ما كانت مدرسة «التفاؤل الفلسفي» الفكرية التي شكَّلها جوتفريد فيلهلم ليبنتز ومفكرون آخرون في سبعينيات

وثمانينيات القرن السابع عشر، هي القوة الدافعة لهذه النظرة المتطرفة. وقد سخر فولتير بشراسة من هذه المدرسة الفكرية في روايته «كانديد» الصادرة عام ١٧٥٩، والتي عبَّرت فيها شخصية البروفيسور بانجلوس عن فلسفة ليبنتز، عندما قال إن هذا العالم هو «أفضل العوالم الممكنة» (على الرغم من كل مشاكله الجليَّة، مثل الموت والمرض والكوارث الطبيعية). ويذهب بانجلوس إلى أبعد من ذلك بإطلاقه سخافات مثل «لقد خُلقتْ أرجلنا كي نتمكن من ارتداء البناطيل»، أو «من الواضح أن الأشياء لم يكن من الممكن أن تكون بخلاف ما هي عليه؛ لأن كل الأشياء قد خُلقتْ لغاية ما، ولا بد أنها خُلقتْ للغاية المُثلى. لاحظ، على سبيل المثال، أن الأنف قد شُكِّل كي يحمل نظارات، ولهذا نرتدي النظارات».

تضع القصة كانديد، وأحيانًا بانجلوس، وسط كل أهوال الحياة التي يمكن تخيلها، من فقدان عائلته وثروته ومنزل أجداده، والحرب التي كادت تودي بحياته، إلى نجاته بصعوبة بالغة بعد غرق سفينته، ووصوله إلى ميناء لشبونة لا لشيء إلا ليخوض تجربة زلزال لشبونة وإعصارها وحرائقها المروعة عام ١٧٥٥. يتعرض كانديد وبانجلوس للتعذيب، ويكادان أن يُعدَما بأمر محاكم التفتيش عندما ألقي عليهما اللوم على زلزال لشبونة. يتمكنان من الهروب في النهاية، لكنهما يصبحان عبدَين في العالم الجديد. لقد أدَّت سخرية فولتير البارعة إلى فقدان مدرسة التفاؤل لمصداقيتها تمامًا، حتى إنَّ المرء كاد يعتقد أنها لم تكن لتعود أبدًا. لكن العقيدة الدينية لها قوتها المؤثرة، وكانت الفكرة الأساسية نفسها موجودةً في مدرسة اللاهوت الطبيعي المشهورة في القرن الثامن عشر (انظر الفصل التاسع). الحق أنَّ النهج الذي اتبعته هذه المدرسة كان أقل عبثًا من نهج ليبنتز؛ إذ اكتفت بالاستدلال على وجود مصمم إلهي من خلال التصميم المعقد للطبيعة. ورغم ذلك، فقد روَّجت مدرسة اللاهوت الطبيعي لأفكار مماثلة لتلك التي طرحها ليبنتز.

في عام ١٧٧٩، جاء الفيلسوف الاسكتلندي ديفيد هيوم بكتابه «محاورات في الدين الطبيعي»، ودحض فيه الفكرة الأساسية للَّاهوت الطبيعي تمامًا. لكن الفكرة المستبشرة بأن الطبيعة دليل على صنع الرب وتصميمه الإلهي كانت لا تزال واضحة في عام ١٨٠٢ في كتاب القس ويليام بايلي «اللاهوت الطبيعي». كان داروين يعرف كتاب بايلي عن ظهر قلب عندما كان طالبًا. ولكن بحلول الوقت الذي كتب فيه داروين كتابه «أصل الأنواع» في عام ١٨٥٩، كان قد رأى في الطبيعة العديد من الأمثلة على البنى السيئة التصميم الارتجالية، والتي هي دون المستوى الأمثل، حتى لم يعد بإمكانه أن يقبل وجهة نظر بايلي الساذجة.

ناقش داروين مشكلة الأعضاء التي هي دون المستوى الأمثل والأعضاء الأثرية في كتابه الصادر عام ١٨٥٩، لكنه حرص بشدة على أن يتفادى مناقشة البشر كأمثلة على التطور في الكتاب. وعندما كتب داروين «أصل الإنسان» في عام ١٨٧١، لم يعد من الممكن تجنب هذه المسألة، وناقش مشكلة الأعضاء الأثرية والأعضاء السيئة التصميم لدى البشر في ذلك الكتاب بإسهاب:

> إن جميع الحيوانات الأعلى رتبةً لديها جزء ما في حالة أثرية، وليس الإنسان باستثناء من هذه القاعدة. ولا بد لنا من تمييز الأعضاء الأثرية عن الوليدة، وإن كان التمييز بينهما ليس بالأمر الهيِّن في بعض الحالات. فالأولى إما عديمة الفائدة على الإطلاق، مثل أثداء الذكور من ذوات الأربع، والأسنان القاطعة التي لا تخترق اللثة أبدًا لدى المجترات؛ وإما ذات فائدة طفيفة للكائنات التي توجد لديها الآن، بحيث لا يمكننا أن نفترض أنها قد تطورت في ظل الظروف الحالية. إنَّ الأعضاء في هذه الحالة الثانية ليست أثرية تمامًا، لكنها تميل في هذا الاتجاه. أما الأعضاء الوليدة، فهي تقدم فائدة عظيمة لمالكيها، على الرغم من عدم اكتمال نموها، وهي قادرة على تحقيق مزيد من النمو. تتنوع الأعضاء الأثرية تنوعًا كبيرًا، وهذا أمر مفهوم جزئيًّا؛ لأنها عديمة الفائدة تمامًا أو بصورة شبه كلية؛ ومن ثَم لم تعُد تخضع للانتخاب الطبيعي. غالبًا ما تُكبَح هذه الأعضاء بالكامل. وحتى عندما يحدث هذا، تظل عرضة للظهور من حين لآخر من خلال الارتداد، وهو ظرف جدير بالاهتمام.

ومثلما أشار داروين، لم يُصمَّم البشر ولا أي كائنات أخرى بشكل مثالي، بل تتكون جميع الكائنات من أعضاء وأنسجة تعمل بشكل جيد فقط، بما يكفي لبقاء الكائن الحي وتكاثره. إضافةً إلى ذلك، نظرًا لأن الغرض من الانتخاب الطبيعي هو نقل الجينات إلى الجيل التالي، فإن أي صفات تتطور أو تتغير بعد التكاثر الناجح لا تهم. فبالنسبة لمجموعة متنوعة من الحشرات واللافقاريات الأخرى، وكذلك بعض الأسماك، مثل السلمون، فإن التزاوج الناجح ووضع البيض هما كل ما يلزم، وبعدها يموت البالغون بسرعة. وفي حالاتٍ أخرى، غالبًا ما تُصاب الكائنات البالغة غير القادرة على التكاثر بالجروح وتموت، أو تقتلها المفترسات، مما يجعل بقية المجموعة أصغر سنًّا وأكثر نشاطًا. ومن بين الاستثناءات التي تثبت القاعدة الأفيالُ وغيرها من الحيوانات الطويلة العمر ذات

الروابط المجتمعية القوية. فأكبر الأفراد سنًّا تصبح هي الأم الحاكمة، صحيحٌ أنها لم تعد قادرة على التكاثر، لكن قوتها وخبرتها وحكمتها تضمن نجاة إناث القطيع الأصغر سنًّا وبقاءها على قيد الحياة.

يشير علماء الأنثروبولوجيا إلى أن المجتمعات البشرية جمعت بين عناصر من كلتا الخبرتين عبر الزمن. حتى وقت قريب، نادرًا ما كان الأفراد في معظم مجموعات الصيد وجمع الثمار أو في الحضارات الزراعية البسيطة؛ يتجاوزون سن الثلاثين أو الأربعين، ويكونون قد نجحوا بحلول ذلك الوقت في إنجاب الأطفال أو لم ينجحوا في ذلك. لم يكن السرطان، وأمراض القلب، والسكتات الدماغية، والخرف، والأسقام الأخرى التي تصيب مسنِّينا الآن؛ مصدر قلق في المجتمعات السابقة لأن البشر نادرًا ما كانوا يعيشون فترة طويلة بما يكفي لأن يختبروا مثل هذه المشكلات. من الممكن أن يشكِّل الأفراد الأكبر سنًّا عبئًا على القبيلة، وفي بعض المجموعات كانوا يُتركون ليموتوا إذا ازدادت قسوة الظروف، وأصبحت المجموعة بأكملها في خطر من الموت جوعًا، أو من بعض الضغوط البيئية. وفي المجتمعات البشرية الأخرى، كان هؤلاء الأفراد الأكبر سنًّا يحظَون بالطعام والمأوى، على الرغم من أنهم قد يبطئون القبيلة، أو يحتاجون إلى رعاية إضافية. فهؤلاء المسنُّون لديهم مخزون من الخبرة والحكمة القبلية التي يقدرها الأفراد الأصغر سنًّا القادرون على الإنجاب. لقد وجدت حسابات الطبيعة القاسية، التي تُفضِّل مَن يضمنون اللياقة الإنجابية للمجموعة كلها، استثناءات أيضًا تثبت القاعدة في المجتمعات البشرية. ومعظم المجتمعات البشرية اليوم تُقدِّر حياة جميع الأفراد.

ومن أجل التغلب على نزعة الطبيعة لتفضيل مَن هم في سن الإنجاب والكائنات الأكثر لياقة بشكل عام، تقبل المجموعات الاجتماعية البشرية هؤلاء الأفراد الأقل لياقة، وغالبًا ما تُعوِّض عن ضعفهم وأسقامهم. إنَّ مَن لا يتمتعون من اللياقة بما يكفي للركض مع قبيلة من الصيادين وجامعي الثمار، أو غير القادرين منا على قتل الطرائد بسبب ضعف بصرهم، يتمكنون اليوم من البقاء على قيد الحياة لأن الثقافة تطغى على الطبيعة. ثم إن الأجهزة التي صنعناها من خلال إبداعاتنا، مثل النظارات وأجهزة تقوية السمع والأطراف الصناعية والأدوية، تمكننا من البقاء على قيد الحياة لفترات أطول بكثير مما كانت تسمح به الطبيعة في العادة.

وعلى الرغم من ذلك كله، فإن الطبيعة الارتجالية العشوائية لأجسادنا تظل حقيقة. فما دامت هذه الصفات «جيدة بما يكفي» لبقاء الكائن الحي (أو لا تؤذينا بشكل مباشر

على الأقل)، فسوف تستمر. وفي كثير من الحالات، تكون هذه الصفات دون المثالية موجودة لأن الأنواع القريبة منا كانت تمتلكها، أو كانت لدى أسلافنا، وهي مُتأصِّلة في الجينوم البشري رغم أنها لم تَعُد تؤدِّي وظيفة. ذلك أنَّ تحديث جيناتنا للتخلُّص من هذه الصفات العديمة الفائدة أمرٌ مكلفٌ للغاية في معظم الحالات. وعن ذلك كتب لويس هيلد جونيور في كتابه «غرائب تشريح الإنسان»؛ أننا لا نزال نتأقلم مع:

> الأداء دون المثالي للبنية بسبب ما يلي: (١) استخدامها في سياق جديد (كالوقوف على قدمَين بدلًا من أربعة أطراف)؛ و(٢) عدم قدرة التطور على إصلاحها (بسبب المتطلبات التقييدية لإعادة تحديث الجينومات، على سبيل المثال). وذلك يشبه أن يظل النوع غير قادر على التطور بدرجة كبيرة في بيئة تكيفية وعرة. (٣٣)

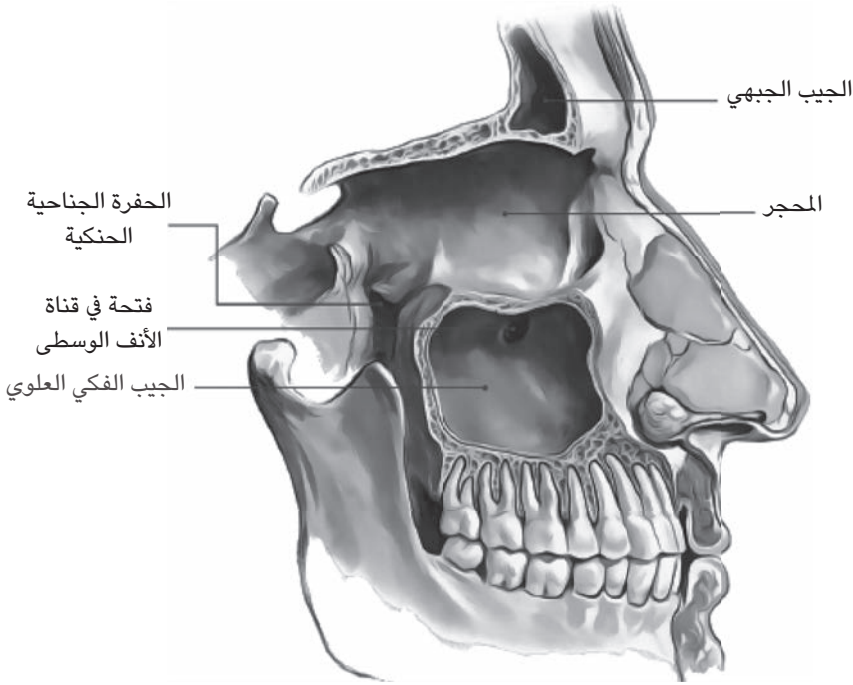
فلنستعرض الآن بعضًا من القائمة الطويلة الحافلة بأمثلة على التصميمات السيئة، والصفات الأثرية لدى البشر، لتذكيرنا بأصلنا المتواضع. لقد تشكَّل العديد من هذه الصفات بطريقةٍ معينةٍ في أسلافنا، وظلت على هذا الإعداد غير المباشر، والتصميم الأخرق غير الأنيق، على الرغم من أنه لا يعمل كما ينبغي. إحدى هذه الصفات هي عين الفقاريات (انظر الفصل العشرين). إن أعيننا موصَّلة عكسيًّا، حيث تتجه المستقبلات الضوئية الموجودة في شبكية العين بعيدًا عن مصدر الضوء، وتقع شبكة الأوعية الدموية والأعصاب فوقها في الشبكية، مما يجعل رؤيتنا أقل حدة مما يمكن أن تكون عليه. ويستلزم هذا الإعداد أيضًا وجود فتحة للعصب البصري، مما يخلق بقعة عمياء في شبكية العين. لو أنَّ البشر كانوا من تصميم إله، فلا بد أنَّ عيننا كانت ستشبه عين الأخطبوط، حيث تتوجه المستقبلات الضوئية إلى الاتجاه الصحيح، وتكون في الطبقة العليا من شبكية العين دون أن يعيقها أي شيء، ودون وجود أي بقعة عمياء (انظر الشكل ٢٠-٣).

من الأمثلة المشهورة أيضًا، تدلِّي الخصيتين لدى البشر. في الحيوانات ذات الدم البارد، توجد الخصيتان داخل الجسد للحفاظ على ثبات درجة حرارتها قدر الإمكان. لكن وجود الخصيتين في التجويف البطني في ذوات الدم الحار غالبًا ما يجعلها شديدة الحرارة، مما يمكن أن يُثبِّط النمو الصحي للحيوانات المنوية. وتتمتع بعض الحيوانات بنظام تبريد داخلي يَحُول دون حدوث ذلك، لكن في البشر والرئيسيات الأخرى، تنبثق الخصيتان من تجويف الجسد الداخلي في كيس يسمى الصفن، وتتدلى من الجسد. وصحيحٌ أنَّ هذا

يساعد في الحفاظ على الخصيتين من السخونة الزائدة، لكنه يخلق مجموعة جديدة من المشاكل. فالأمر لا يقتصر على أنَّ خروجهما من الجسد يجعلهما أكثر عرضة للأذى أو لهجوم المنافسين، بل يجب حمايتهما أيضًا من البرودة الشديدة في الطقس البارد. غير أنَّ المشكلة الأكبر هي أن تدلِّي الخصيتين عبر جدار البطن يخلق ضعفًا في الغشاء البريتوني، مما قد يؤدي إلى فتق أُرْبي، وهي حالة مرضية مؤلمة جدًّا ومنهكة. إنَّ معظم الرئيسيات تمشي على أطرافها الأربعة، ويتدلى وزن بطنها من العمود الفقري، ويمتد عبر بطنها؛ ولهذا لا يمثل خروج الخصيتين مشكلة كبيرة بالنسبة لها. ولكن عندما بدأ الإنسان في المشي منتصبًا، دُفِع ثِقَل أعضائنا البطنية إلى أسفل مباشرة، وتحملتها منطقة الورك، مما شكَّل ضغطًا كبيرًا على الغشاء البريتوني، وهو الوضع المثالي للفتق.

ويتسبَّب تحمُّل الوركَين وأسفل العمود الفقري لوزن الجزء العلوي من الجسم بأكمله؛ في حدوث العديد من مشاكل أسفل الظهر. لقد تكيَّف عمودنا الفقري السفلي في الأصل لمشيةٍ رباعية الأرجل، ولم يكن على العمود الفقري أن يتحمَّل سوى جزءٍ فقط من وزننا. ونظرًا لأن تصميم العمود الفقري ليس جيدًا لتحمل وزن الجسد بالكامل في وضعية الجسد الثنائي القدمين، يعاني العديد من الأشخاص من آلام الظهر ومشاكل العمود الفقري، مثل الانزلاق الغضروفي، وانحناء العمود الفقري (الجَنَف).

ثمة مثال آخر على تصميمنا السيئ مألوف لنا جميعًا؛ فنحن نعاني من نزلات البرد والحساسية وصداع الجيوب الأنفية. إن جيوبنا الأنفية عبارة عن تجاويف كبيرة في منطقة الوجه، تأخذ الهواء الذي نستنشقه عبر الأنف، وتمرِّره فوق الأغشية المخاطية الرطبة التي تزيل الغبار والأوساخ، وتعدِّل درجة حرارته وترطبه قبل أن يصل إلى رئتينا. في حيوان ذي خطم طويل يسير على أربع، مثل كلب أو قرد بابون، تكون الجيوب الأنفية طويلة وبها قنوات تصريف في أسفل كل جيب. لكن إحدى النتائج المترتبة على وضعية جسدنا المنتصبة أن قنوات التصريف قد تحولت من موقعها في أسفل الجيب، وصارت متجهة إلى جانب الجيب أو حتى إلى أعلاه، لا سيما في الجيوب الفكية العلوية الموجودة أسفل عظام الوجنتين مباشرةً (الشكل ٢١-١). ليس هذا وحسب، ففي عملية تقصير خطمنا، أصبحت الجيوب الأنفية مفلطحة وضيقة، ولا تقوم بالتصريف كما يجب. ومن ثَم، فإن المخاط الذي يُصرَّف من الجيوب في الوجه يحتاج إلى السفر صعودًا ضد الجاذبية للوصول إلى قناة الخروج، مما يؤدي إلى الكثير من مشاكل تصريف الجيوب الأنفية، والْتهابات الجيوب الأنفية المتكررة.



شكل ٢١-١: إن تصميم جيوبنا الأنفية سيئ ولا يناسب وضعيتنا المنتصبة. فالفتحات التي كان من الممكن أن تسمح للجيوب بالتصريف بسهولة؛ بسبب الجاذبية عندما كنا نسير على أربع، أصبحت توجد الآن في مكانٍ يستلزم أن يتحرَّك المخاط صعودًا عبر القناة ضد الجاذبية. في هذه الحالة، يُصرَّف الجيب الفكي العلوي عن طريق قناة توجد فتحتها بالقرب من الجزء العلوي من التجويف، فيتعيَّن على المخاط أن يتدفق عكس الجاذبية، مما يؤدي في كثير من الأحيان إلى تصريف سيئ، واحتقان الجيوب الأنفية، والْتهابات الجيوب الأنفية. (إهداء من «ويكيميديا كومنز»)

ثمة مثالٌ آخر على التصميم السيئ يتمثَّل في المسار الحَلَقي السخيف الذي يسلكه الإحليل في الجهاز التناسلي الذكري. يمر الإحليل عبر منتصف غدَّة البروستاتا التي يمكن أن تصاب بالالتهابات أو السرطان. وعندما تتضخم غدة البروستاتا، تضغط على مجرى البول، مما يزيد من صعوبة تدفق البول من المثانة إلى القضيب. وكما يعلم الرجال الأكبر سنًّا الذين عانَوا من مشاكل البروستاتا، من الممكن أن تسبب هذه الحالة ألمًا شديدًا،

وتضطر المصابين بها إلى التبول مرارًا وتكرارًا، خاصة في الليل. إن سرطان البروستاتا هو السبب الأول للوفاة بين الذكور فوق سن الخمسين، وهو يجعل هذه المنطقة معرضة للأذى بشدة. وقد نتج هذا المسار الحَلَقي عن تطورنا الجنيني وتدلي الخصيتين، وكلاهما من القيود التي تجعل تصميم هذا المسار سيئًا بالنسبة لوظيفته.

وليست بقية أعضاء الجهاز التناسلي أفضل حالًا. فقنوات فالوب التي توجد لدى الإناث طويلة بشكل غير ضروري، مما يؤدي في بعض الأحيان إلى الحمل البوقي أو الحمل خارج الرحم. إنَّ فتحتَي القناتَين لا تتصلان حتى بالمبيضين مباشرةً، مما يؤدي في حالات نادرة إلى خروج البويضة المخصبة إلى تجويف الجسد، ويتسبب في مشكلة صحية تُعرَف باسم (الحمل البطني). القناة الدافقة التي توجد لدى الذكور هي أيضًا طويلة جدًّا؛ إذ تتخذ مسارًا حلقيًّا طويلًا، بدلًا من مسار أقصر وأكثر كفاءة. يخصص ناثان لينتس فصلًا كاملًا في كتابه «أخطاء في الإنسان»، يسرد فيه سلسلة من المشاكل الأخرى في أنظمتنا التناسلية التي لا توجد في أي حيوان آخر، والتي تجعل البشر أقل خصوبة مما كان يمكن أن يكونوا. ما من حيوان آخر لديه مثل هذا المعدل المرتفع لحالات الحمل الفاشلة، والعيوب الخلقية، وفرص الإنجاب الضائعة، وغيرها من المشاكل.

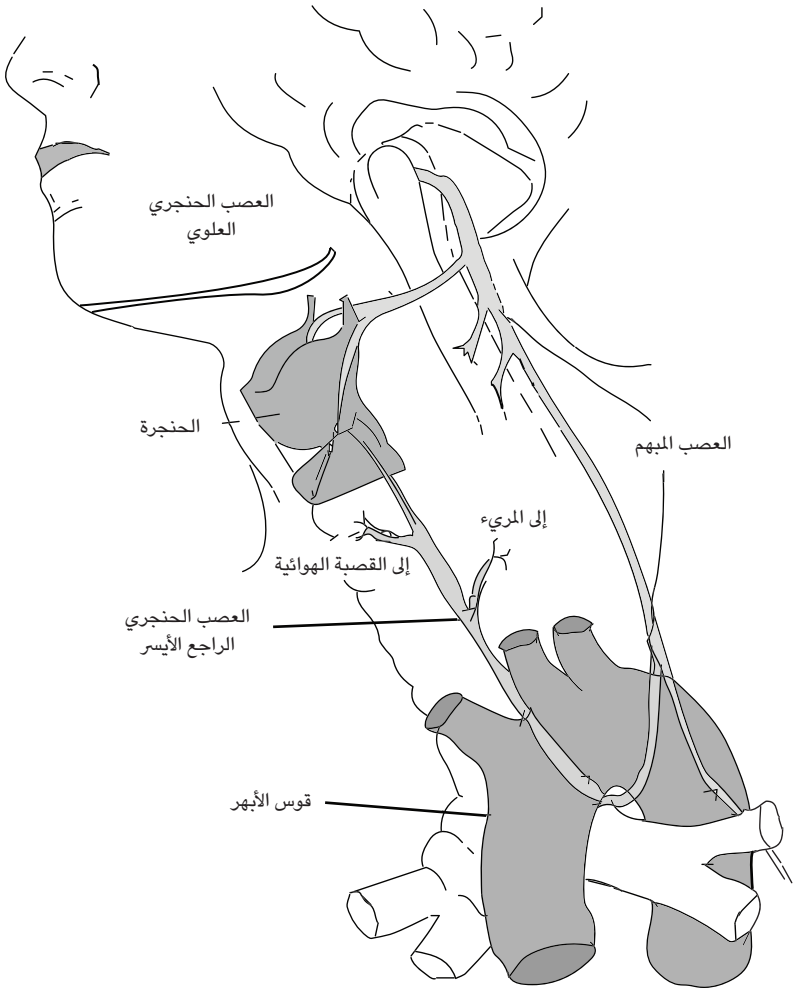
أما المشكلة الكبرى في التكاثر فهي الزيادة الكبيرة في حجم دماغ الوليد، مما يجعل رأسه أكبر من أن يمر عبر الفتحة العظمية الموجودة في حوض الإناث، والتي تشكل جزءًا من قناة الولادة. ولو كانت فتحة الحوض أكبر لدى إناث البشر لاستيعاب هذا التوسع الدماغي، لصارت الوركان عريضتَين جدًّا لدرجة تجعل المشي في وضعية الجسد الثنائي القدمين أكثر صعوبة. وبدلًا من ذلك، يتغلب البشر على هذه المشكلة عن طريق الولادة المبكرة (تسعة أشهر من الحمل مقابل الوقت الأطول المتوقع لحيوان ثديي بحجم جسدنا). يسمح هذا للطفل المولود مبكرًا أن يعبر قناة الولادة بدماغه الأصغر (على الرغم من أنَّ دفع الطفل لا يزال عملية صعبة، وقد تُوفي العديدُ من النساء أثناء الولادة بسبب هذه المشكلة). يكتمل نمو دماغ الطفل فيما بعد خارج الرحم. ويأتي ذلك في مقابل أنَّ الطفل لا ينمو في فترة الحمل بالدرجة الكافية، فيحتاج إلى رعاية كبيرة من الوالدين بعد الولادة. أما الثدييات التي يحظى أطفالها بفترات حمل مناسبة، فتكون أكثر قدرةً على العناية بأنفسها بعد الولادة بفترةٍ وجيزة. غير أنَّ بعض الباحثين في مجال الأنثروبولوجيا يتشككون في صحة هذا المفهوم.

أما التصميم غير المتقَن لأطرافنا ذات القدمين، فيعود إلى أسلافنا من ذوات الأربع؛ فلم تكن الوركان والركبتان والكاحلان والقدمان بحاجة لتحمل كل هذا الوزن. لكن في

حالة السير على قدمين، تتحمل كل هذه المفاصل وزن أجسادنا بالكامل، والذي يَعظُم عندما نحمِّل تلك المفاصل مجهودًا شديدًا بالقفز أو الجري كثيرًا. إنَّ الوركين والركبتين والكاحلين والقدمين تسبب للبشر القدر الأكبر من مشاكل الحياة؛ لأنها لم تُصمَّم لاحتمال كل هذا الضغط. ونجد أنَّ أكثر الإصابات التي يعاني منها الرياضيون (لا سيما مَن يمارسون الرياضات القاسية، مثل كرة القدم وكرة السلة، حيث يتحرَّك هؤلاء الرياضيون الضخام بسرعةٍ كبيرة، ويغيرون اتجاههم بشكل سريع) هي إصابات في هذه المفاصل، وبخاصة في مفصل الركبة السيئ التصميم. لقد أنهى العديد من الرياضيين مسيرتهم المهنية في وقتٍ مبكر؛ بسبب إصابات مفصل الركبة (لا سيما تمزُّق الأربطة في الركبتين)، أو تمزق وتر أخيل في الكاحل، أو بسبب مشكلات في القدم. الواقع أن البشر ليسوا مصمَّمين جيدًا على الإطلاق للمشي على قدمين أو الجري عليهما، كما يتضح من مشاكل أقدامنا على وجه الخصوص. وإذا كنت ترغب في رؤية فقاريات ذات تصميم جيد للسير على طرفين، فتأمَّل النعامةَ التي يمكنها الركض بشكل أسرع، ولا تعاني من مشاكل القدم أو المفاصل التي يعاني منها البشر.

يمكننا أيضًا أن نتخذ من المسارات السخيفة التي تسلكها بعض الأعصاب مثالًا على رداءة تصميم البشر. لقد عرضنا في الفصل الخامس عشر مسار العصب الحنجري الراجع الأيسر، والذي يمتد من العمود الفقري العلوي إلى الحنجرة. ينعطف هذا العصب لمسافة طويلة للغاية في الزرافات، وليس تصميمه بأحسن حالًا لدى البشر (انظر الشكل ١٥-٤). فهذا العصب يكون متصلًا بالقوس الخيشومي السادس خلال تطورنا الجنيني، وهو ما لا يمثل مشكلة لسمكة ليس لديها رقبة. لكن مع نمو رقبتنا، لا بد للعصب الحنجري الراجع الأيسر (المتصل بالقوس الخيشومي الذي يصبح هو موضع الشريان الأورطي) أن ينزل أسفل الرقبة، وأن يلتف حول الشريان الأورطي، ثم يعود إلى الرقبة مرة أخرى للوصول إلى حنجرتنا (الشكل ٢١-٢). وصحيحٌ أنَّ هذا التصميم ليس بسخافة المسار الذي يتخذه ذلك العصب في رقبة الزرافة — وهو مسار طوله ١٥ قدمًا — لكنه لا يزال تصميمًا سيئًا. ومن الأمثلة الأخرى على رداءة التصميم مسار العصب الوركي في الورك والعمود الفقري. فالوضع الحالي لهذا العصب يجعله عرضة بسهولة لأن يُحصَر بين الأجزاء العظمية الواقعة أسفل العمود الفقري والورك، مما يتسبب في حالة عصبية مؤلمة تسمَّى عرق النَّسا.

إنَّ أي شخص قد استنشق طعامًا بالخطأ قد خاض تجربة سوء تصميم تجويف الحلق. فليس لدينا سوى صمام صغير واحد — لسان المزمار — لمنع الطعام أو السوائل

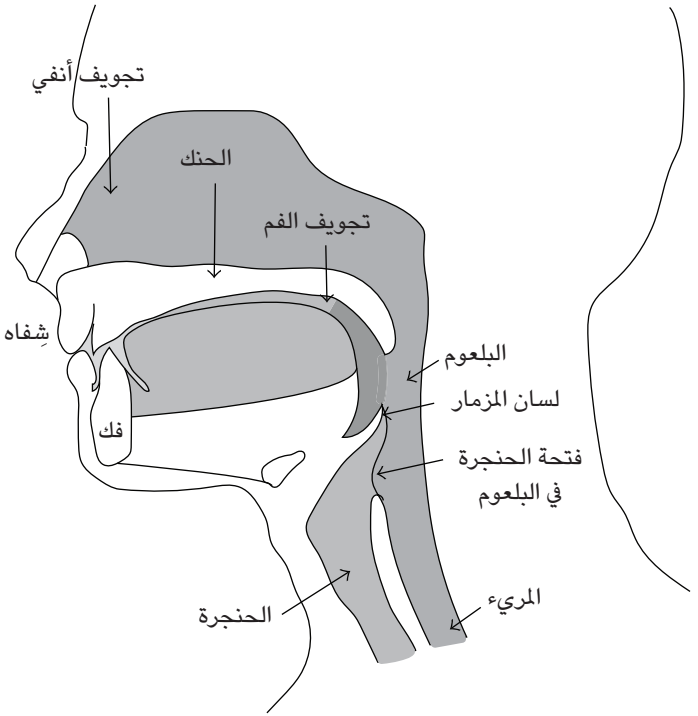


شكل ٢١-٢: الاتجاه غير المباشر السيئ التصميم للعصب الحنجري الراجع الأيسر في البشر، والذي يبدأ من الحنجرة، ثم ينعطف إلى تجويف الصدر في الأسفل، ملتفًا حول الشريان الأورطي، ثم يعود إلى الرقبة حيث النخاع الشوكي في مسار دائري، بينما كان من الممكن ربطه مباشرة ببضع بوصات فقط من الحبل العصبي. (أعاد رسمه إي بروثيرو من عدة مصادر)

من الدخول إلى القصبة الهوائية والرئتَين بدلًا من المريء؛ ولهذا لا نستطيع البلع وأخذ نفس عميق في الوقت نفسه (الشكل ٢١-٣). إذا ابتلعنا الطعام ولسان المزمار غير مغلق تمامًا، فسوف نستنشق الطعام أو السوائل ونختنق، وقد يؤدي هذا إلى الموت إذا لم نطرده خارجًا، أو إذا لم يكن ثمة أحد بالقرب يستطيع إجراء ضغطات البطن، وهو ما يُعرَف بمناورة هايمليش. لقد تُوفي ما يقرب من ٥ آلاف أمريكي بسبب الاختناق بالطعام في عام ٢٠١٤ وحده، ويرجع ذلك في الغالب إلى استنشاق الطعام أو الشراب. ومما يزيد الأمر سوءًا أنَّ رد فعلنا الغريزي للمفاجأة هو أننا نشهق فجأة، مما يمتص الطعام أو السوائل إلى داخل رئتينا. لا شك أن هذا النظام كان من الممكن تصميمه بشكل أفضل. معظم الحيوانات لا تشاركنا في هذه المشكلة؛ فلديها أنظمة منفصلة تمامًا للتنفس والأكل لا يتداخل أحدها مع الآخر. لقد ورثنا نظامنا من نظام جنيني نمت فيه الرئتان والجهاز الهضمي بشكل معين، ولم يكن الإعداد غير المتقن ضارًّا بما يكفي لأنْ يُبطِل الانتخابُ النموَّ الجنيني، ويقوم بتصميم نظام أفضل. والحق أنَّ هذا النظام أسوأ للإنسان بدرجة أكبر من الحيوانات الأخرى؛ لأننا في أثناء تطويرنا للكلام، تحركت الحنجرة لدينا إلى أعلى الحلق أكثر مما تحركت لدى الحيوانات الأخرى، مما يجعل تكوين الحلق والقصبة الهوائية لدينا أكثر عرضة لخنقنا حتى الموت. ينطبق هذا بشدة على الأطفال الرُّضَّع الذين لم يتطور لديهم التنسيق العضلي للحلق ولسان المزمار بشكل كامل بعد. إن ممرات الحلق القصيرة جدًّا والحلوق الضحلة تجعلهم أكثر عرضة للاختناق.

تأتي معظم هذه الأنظمة السيئة التصميم نتيجة للنمو الجنيني وللمسارات النمائية، أو بسبب تراكب المشية الثنائية القدمين على جسدٍ ورث مشية رباعية. وما يثير الدهشة بالقدر نفسه أمثلة الأنظمة العضوية التي لم يعد لها أي وظيفة، وهي بالفعل أعضاء بدائية أو أنظمة أثرية. تتنوع هذه الأنظمة من مثال بسيط، كالقشعريرة، إلى أنظمة أكثر تعقيدًا. تَنتُج القشعريرة عن تقلُّص العضلات الموجودة حول جذور شعر الجسد لرفع الشعر ونفخه، إما لإنشاء طبقة عازلة عندما يكون الجو باردًا أو لإخافة الأعداء (كما يفعل العديدُ من الحيوانات عندما تنفش فراءها أو ريشها لتبدو أكبر إذا شعرت بالتهديد). غير أنَّ معظم البشر لا يمتلكون سوى القليل من شعر الجسد، وتُشكِّل العضلات المحيطة ببصيلات الشعر تأثيرًا ضئيلًا بدلًا من ذلك، وهي عديمة الفائدة تمامًا.

في عام ١٨٩٣، نشر عالم التشريح روبرت ويدرشايم كتاب «بنية الإنسان: فهرس لتاريخه السابق»، وأدرج فيه ما لا يقل عن ٨٦ عضوًا بشريًّا جميعها من الأعضاء الأثرية



شكل ٢١-٣: المسار المعقد للجهاز الهضمي والجهاز التنفسي في رأس الإنسان ورقبته. في أثناء البلع، من المفترض أن تغلق السديلة اللحمية، التي تسمَّى لسان المزمار، فتحة القصبة الهوائية والحنجرة من الأعلى، مما يمنع الطعام أو السوائل من الدخول إلى رئتينا. وبرغم ذلك، يحدث خطأ ما في كثير من الأحيان، ونستنشق الطعام أو السوائل ونبدأ في الاختناق. (أعاد رسمه إي بروثيرو من عدة مصادر)

(زادت لاحقًا إلى ١٨٠ مثالًا). وكتب عالم الأحياء هوراشيو نيومان، في شهادته لصالح التطور خلال محاكمة سكوبس في عام ١٩٢٥ أنه «وفقًا لفيديرشايم، يوجد ما لا يقل عن ١٨٠ بنية أثرية في جسد الإنسان، تكفي لأن تجعل منه متحفًا فعليًّا مليئًا بالآثار يمشي على قدمين». ومنذ ذلك الحين، ثبت أن بعض هذه البنى لها وظيفة بسيطة على الأقل، لكن معظمها في الحقيقة أجزاء أثرية عديمة الفائدة لأنظمة كانت تعمل في السابق. كما يشير فيديرشايم، لا يلزم أن يكون العضو عديم الفائدة تمامًا لكي يُعَد من الأعضاء

الأثرية، بل يكفي أن يكون «عديم الوظيفة كليًّا أو جزئيًّا». لقد تضاءل استخدام هذه الأعضاء بشكل كبير، إن لم يختفِ، أو يمكن القول، على حد تعبير فيديرشايم، إنَّ هذه الأعضاء «فقدت أهميتها الفسيولوجية الأصلية». يحاول منكرو التطور حفظ ماء الوجه، من خلال الإشارة إلى بعض الأعضاء الأثرية التي لا تزال تحتفظ بالقليل من الوظائف المتبقية، في محاولةٍ لتكذيب جميع هذه الأدلة. لكن هذا يجانب الصواب. فإذا اختُزِل نظام عضوي بشكل كبير (مقارنة بحالة الأسلاف) وأصبح يؤدي الحد الأدنى من الوظائف، فإنه لا يزال دليلًا على وجود نظام وظيفي سابق قد تعرض للاضمحلال؛ ومن ثَم فهو ليس مُصمَّمًا جيدًا.

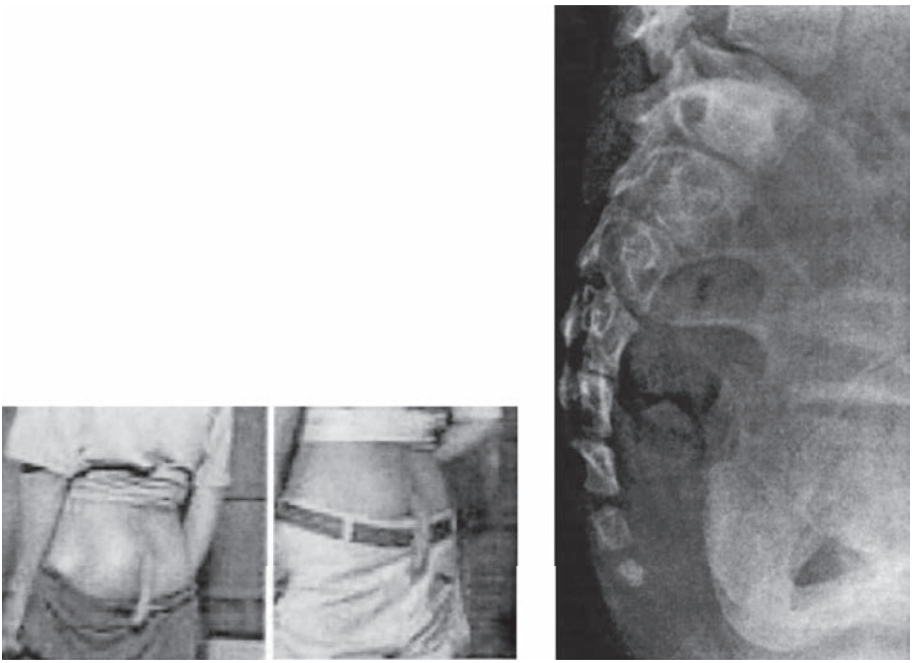
أحد أشهر هذه الأنظمة هو الزائدة الدودية، وهي عضو زائد عن الحاجة يمد الثدييات العاشبة بإنزيمات للأمعاء للمساعدة في هضم السليلوز. لكن الزائدة لم تعد تعمل بهذه الطريقة عند البشر؛ لأننا لسنا في الأساس من الحيوانات العاشبة، وليست لدينا بكتيريا الأمعاء المتخصصة لهضم السليلوز بكفاءة. ظلت الزائدة الدودية توصَف لفترة طويلة بأنها عضو أثري كلاسيكي، وهي تشكل مصدر قلق للبشر بالتأكيد عندما تصاب بالعدوى. وإذا انفجرت الزائدة الدودية، يمكن أن تتسبَّب في وفاة حامل العدوى. لكنَّ ثمة أبحاثًا حديثةً تشير إلى أنَّ الزائدة قد تمد النبيت الجرثومي المعوي ببعض البكتيريا، لا سيما إذا كان قد نضب بسبب المضادات الحيوية. وبالرغم من ذلك، يجب الموازنة بين هذه الفائدة الصغيرة للزائدة الدودية والمخاطر الهائلة التي تهدد الحياة من الْتهابها أو انفجارها.

ومن الأمثلة الأخرى عظم العُصْعُص الصغير للغاية لدينا. إنَّ جميع القرود والرئيسيات الأكثر بدائية تمتلك ذيلًا طويلًا لتحقيق التوازن ولوظائف أخرى (حتى إن بعضها لديه ذيول تستخدمها كأطراف قابضة)، وهو ما ينطبق أيضًا على معظم الثدييات. ونحن البشر أيضًا كان لدينا ذيل طويل عندما كنا أجنة (انظر الشكل ٥-٣). لكن هذا الجين الذي يصنع الذيل يتوقف خلال النمو الجنيني في جميع القردة والبشر، ويُعاد امتصاص ذيلنا الجنيني المبكر. بدلًا من أن نولد بذيل يعمل بالكامل، كل ما لدينا هو ثلاث عظمات ذيل صغيرة في نهاية عمودنا الفقري (العُصْعُص). ولا تزال بعض العضلات الصغيرة ملحقةً بمنطقة الذيل؛ لذا فهي ليست غير وظيفيةٍ بالكامل، ولكن حقيقة أنها اختُزلَت إلى عُقْب صغير يُظهِر أن وظيفتها غير مهمةٍ نسبيًّا الآن. ولم تندثر جينات ذيل القردة والبشر تمامًا. فمن حين لآخر، يختل التنظيم الجيني، ولا يعمل

الجين الذي يوقف نمو الذيل. وفي هذه الحالة، ينمو للإنسان ذيل كامل النمو، ويكون لديه فقرات أكبر بكثير في العصعص (الشكل ٢١-٤). وتُعَد هذه الحالة مثالًا شهيرًا على التأسل، أو الارتداد التطوري، والتي تتمثل في ظهور صفات مفقودة منذ زمن طويل على نحو مفاجئ. في أي وقت تريد فيه إنكار أنك من أقرباء القرد، تذكر فقط أن لديك جينات ذيل القرد.

ولتتأمل المشكلة التي يعاني منها بعضنا مع «ضروس العقل»، وهو الضرس الثالث والأخير في فكوكنا (الشكل ٢١-٥). إن معظم أقاربنا من الرئيسيات لديها أنوف وفكوك طويلة نسبيًّا، ولديها مساحة تكفي لجميع أسنانها. كان لدى البشر الأوائل خَطْم بارز، وكانوا يستخدمون أضراسهم الكبيرة لتناول النباتات الحبيبية. أما نحن البشر المعاصرين، فقد صارَت وجوهنا وأخطامنا قصيرةً جدًّا مع صف أسنان قصير؛ لذلك لم يعُد لدينا مساحةٌ كافيةٌ لجميع أسناننا. وفي أواخر سنوات المراهقة، عندما تبدأ ضروسنا الأخيرة في البروز أخيرًا، لا تجد في الغالب مساحةً كافية في فكوكنا القصيرة لتنبثق منها بشكلٍ كامل، فتنطمر أو تتسبب في مشكلات صحية، وغالبًا ما يلزم استئصالها جراحيًّا. إن ضروس العقل ليست عديمة الفائدة فحسب، بل يمكن أن تؤدي إلى المرض أو الوفاة إذا أصيبت بضرر أو تشوُّه أو أصيبت بعدوى. أصبحت ضروس العقل عديمة الفائدة الآن، لدرجة أنها لم تعُد تظهر على الإطلاق لدى العديد من المجموعات البشرية (مثل السكان الأصليين من تاسمانيا)، وذلك بفضل نشاط الجين Pax-9، الذي يتحكم في التسلسل المسئول عن ظهور ضرس العقل. وبمرور الوقت الكافي، ستختفي ضروس العقل تمامًا من جميع المجموعات البشرية.

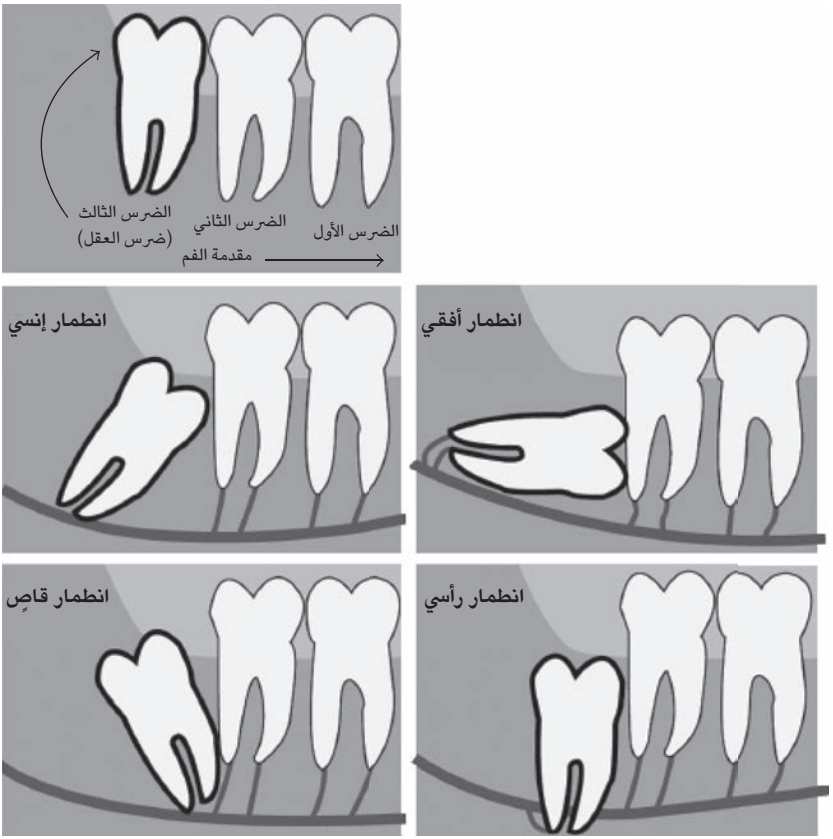
ولنا في الأذن الخارجية أيضًا مثال أكثر غرابة. فأقرباؤنا من القردة (مثل قرود المكاك) يمتلكون أذنًا يمكن أن تدور في أي اتجاه لالتقاط الصوت من حولها. تأمل حصانًا أو بقرة أو قطة أو كلبًا قصير الأذن يحرك أذنيه لتتبع الأصوات. تستطيع هذه الحيوانات القيام بذلك، حتى لو كانت غافيةً في قيلولة أو تنظر في اتجاه مختلف. ويمتلك أقرباؤنا من القردة عضلات الأذن نفسها، لكن لديها قدرة محدودة على تحريك آذانها الخارجية. وبالنسبة لآذاننا نحن الخارجية، تكاد تكون غير قابلة للحركة تمامًا، وهي مضغوطة إلى جانبَي رأسنا. لا تزال عضلات الأذن موجودة لدى معظمنا، على الرغم من أنها صغيرة الحجم وبلا وظيفة (الشكل ٢١-٦). نسبة ضئيلة من البشر فقط لديهم عضلات أذن قوية بما يكفي لهز آذانهم قليلًا، لكن وظيفة عضلات الأذن المتمثلة في إدارة آذاننا نحو



(ب) (أ)

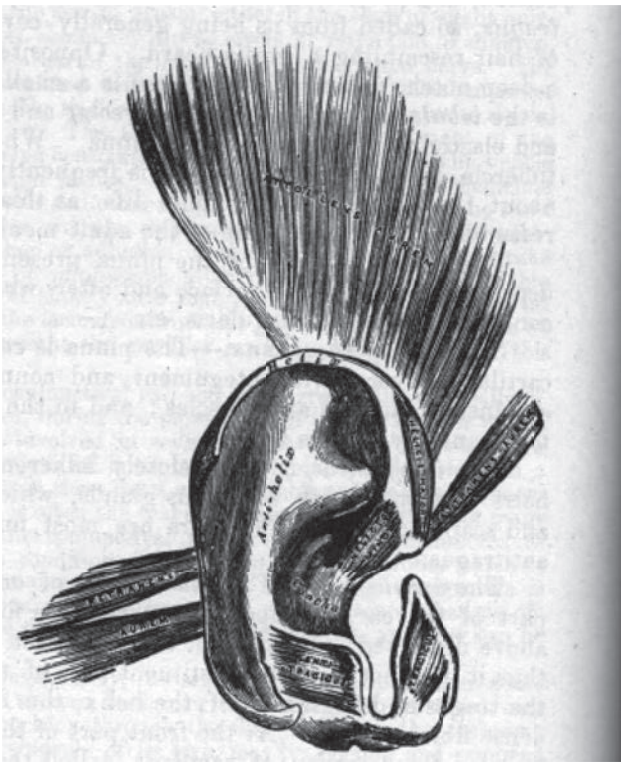
شكل ٢١-٤: بين الحين والآخر يولد إنسان ما بذيل تأسلي، وهو ارتداد لماضينا التطوري يحدث عندما يفشل التنظيم الذي يعطل جينات الذيول لدينا في المعتاد. ينمو الذيل البشري كاملًا، وتكون فقراته وعضلاته مكتملة النمو، ويتمتع أيضًا بصفات أخرى تتسم بها ذيول الحيوانات. (أ) أشعة سينية لإنسان لديه فقرات ذيل نامية. (ب) صورة لشخصين لهما ذيول متطورة بالكامل. (من جيه إيه بار-ماور، كيه إم كيسنر، جيه كافتون، «ذيول بشرية»، «جورنال أوف بون آند جوينت سيرجيري» ٦٢-ب، رقم ٤ [نوفمبر ١٩٨٠]، ٥٠٨–٥١٠؛ استُخدمت بتصريح)

مصدر الصوت قد اختفت تمامًا. وأحد الأسباب التي تجعلنا لا نملك آذانًا متحركة، هو أن القردة والبشر يمكنهم إدارة رأسهم يمنة ويسرة على المستوى الأفقي بسهولة، وهو أمر لا تستطيع معظم الثدييات القيام به بسهولة. وبهذا طورنا قدرة وظيفية جديدة لتحريك رأسنا لتتبع الصوت، وفقدنا القدرة على استخدام آذاننا لهذه الوظيفة.



شكل ٢١-٥: بدلًا من خطم الأسلاف الذي تمتلكه القردة، أصبح وجه الإنسان وصفُّ أسنانه الآن قصيرين جدًّا، فلا توجد في كثير من الأحيان مساحة كافية للسماح للأضراس الأخيرة («ضروس العقل») بالانبثاق بشكل كامل. غالبًا ما ينتج عن هذا ضرس عقل منطمر أو معوج، ويُضطر الكثيرون إلى استئصاله جراحيًّا. في بعض الأفراد، لا تتطور الأسنان أو تنبثق على الإطلاق؛ لذلك نجد أنَّ العديد من المجموعات البشرية تفقدها تدريجيًّا. (أعاد رسمه إي بروثيرو من عدة مصادر)

يمكن لهذه القائمة أن تستمر وتطول (انظر الكتب التي كتبها هيلد أو لينتس في قائمة القراءات الإضافية للاطلاع على العديد من الأمثلة الأخرى). إذا كنا قد خُلِقنا خلقًا



شكل ٢١-٦: على الرغم من أن معظم البشر لا يستطيعون هز آذانهم على الإطلاق، أو تحريك أيٍّ من عضلات آذانهم؛ لم نزل نحتفظ بهذه الأعضاء الأثرية وإن لم تعد تؤدي أي وظيفة مفيدة. (إهداء من «ويكيميديا كومنز»)

خاصًّا مستقلًّا وصُمِّمنا بشكل مثالي، فلماذا لا يزال لدينا بقايا صغيرة من الغشاء الرامش في زاوية العين؟ يعمل هذا الغشاء على تغطية مقلة العين وحمايتها في العديد من الثدييات والفقاريات الأخرى، لكن الرئيسيات لا تمتلك منه سوى آثارٍ صغيرةٍ على هيئة ثنيةٍ غير وظيفيةٍ من الأنسجة، توجد في الزاوية الداخلية للعين. للعديد من الحيوانات عضو ميكعي أنفي في حنكها يعمل مصدرًا ثانويًّا لتمييز الرائحة. لكنه اندثر في البشر، أو لم يعد يتبقى منه سوى أثر صغير، واضمحلَّت الحزم العصبية التي تخدمه ولم تعد تعمل، وحتى

الجينات التي تؤدي إلى نمو هذا العضو أصبحت جينات زائفة غير وظيفية. علاوة على ذلك، لا يزال أطفال البشر يتمتعون باستجابة انعكاسية قوية لقبض راحة اليد، وهي تفيد الصغار في التشبث بفراء أمهاتهم، لكن أمهات البشر ليس لديهن فراء؛ ومن ثَم لم تعد هذه الاستجابة تؤدي وظيفة مفيدة. يمكنك أيضًا أن تتأمل القائمة الطويلة للجينات غير الوظيفية والحمض النووي النفاية الذي يحمله جميع البشر (انظر الفصل الثامن عشر).

إليك مثالًا أخيرًا بسيطًا؛ إذا كان البشر قد خُلقوا خلقًا خاصًّا مستقلًّا وصُمِّموا جيدًا، فلمَ يمتلك الذكور حلمات غير وظيفية؟ إنه أمر منطقي من الناحية التطورية؛ لأن الحلمات والصفات الجنسية الثانوية الأخرى لا تُحدَّد على نحو صارم في الأجنة، ولا يبدأ الجنين في تطوير جميع الأعضاء الجنسية المتمايزة بين الذكور والإناث، إلا بعد تحفيز هذه الأعضاء بهرمون الإستروجين أو التستوستيرون. لكن جينات الحلمات موجودة دائمًا في الأجنة، حتى لو لم يطور الذكور غددًا ثديية كبيرة لإرضاع أطفالهم كما تفعل الإناث. وفي بعض البشر، يضل المسار النمائي طريقه أبعد من ذلك، ويصنع حلمات إضافية غير وظيفية لدى الذكور، وقد يصل عدد هذه الحلمات الإضافية إلى سبعة! إنَّ هذا كله يضيف إلى قائمة ضخمة من الأدلة على أن البشر ليسوا مصمَّمين بشكل جيد؛ فلسنا سوى كومةٍ من الأعضاء شبه الوظيفية وغير الوظيفية التي تقف كشاهد صامت على ماضينا التطوري.

قراءات إضافية

Dao, Anh H. and Martin G. Netsky, “Human Tails and Pseudotails,” *Human Pathology* 15, no. 5 (1984): 449–453.

Fallon, John F. and B. Kay Simandl, “Evidence of a Role for Cell Death in the Disappearance of the Embryonic Human Tail,” *American Journal of Anatomy* 152, no. 1 (1978): 111–129.

Held, Lewis I., Jr., *Quirks of Human Anatomy: An Evo–Devo Look at the Human Body*, Cambridge: Cambridge University Press, 2009.

Lents, Nathan H., *Human Errors: A Panorama of Our Glitches, from Pointless Bones to Broken Genes*, New York: Houghton Mifflin Harcourt, 2018.

Mukhopadhyay, Biswanath, Ram M. Shukla, Madhumita Mukhopadhyay, Kartik C. Mandal, Pankaj Haldar, and Abhijit Benare, “Spectrum of Human Tails: A Report of Six Cases,” *Journal of Indian Association of Pediatric Surgeons* 17, no. 1 (2012): 23–25.

Pereira, Tiago V., Francisco M. Salzano, Adrianna Mostowska, Wieslaw H. Trzeciak, Andrés Ruiz-Linares, José A. B. Chies, Carmen Saavedra, Cleusa Nagamachi, Ana M. Hurtado, Kim Hill, Dinorah Castro-De-Guerra, Wilson A. Silva-Júnior, and Maria-Cátira Bortolini, “Natural Selection and Molecular Evolution in Primate PAX9 Gene, a Major Determinant of Tooth Development,” *Proceedings of the National Academy of Sciences* 103, no. 15 (2006): 5676–5681.

Saraga-Babić, Mirna, Eero Lehtonen, Anton Švajger, and Jorma Wartiovaara, “Morphological and Immunohistochemical Characteristics of Axial Structures in the Transitory Human Tail,” *Annals of Anatomy: Anatomischer Anzeiger* 176, no. 3 (1994): 277–286.

Shubin, Neil, *Your Inner Fish: A Journey Into the 3.5 Billion-Year History of the Human Body*, New York: Vintage Books, 2009.

Spiegelmann, Roberto, Edgardo Schinder, Mordejai Mintz, and Alexander Blakstein, “The Human Tail: A Benign Stigma,” *Journal of Neurosurgery* 63, no. 3 (1985): 461–462.

Spinney, Laura, “Remnants of Evolution,” *New Scientist* 198, no. 2656 (2008): 42–45.

Wiedersheim, Robert, *The Structure of Man: An Index to His Past History*, London: Macmillan, 1893.

الفصل الثاني والعشرون

الشمبانزي الثالث

هل نحن فعلًا متشابهون بنسبة ٩٩ بالمائة؟

يبدو لي إذن أنَّه يجب علينا الاعتراف بأن الإنسان بما له من كل هذه الصفات النبيلة، لا يزال يحمل في هيئته الجسدية أثرًا لا يُمحَى يدل على أصله المتواضع.

تشارلز داروين، «أصل الإنسان» (١٨٧١)

في المرة القادمة التي تزور فيها حديقة حيوانات، احرص على المشي بجوار أقفاص القردة. تخيل أن القردة فقدت معظم شعرها، وتخيل قفصًا قريبًا به بعض الأشخاص التعساء العرايا الذين لا يستطيعون الكلام، لكنهم بخلاف ذلك طبيعيون. والآن حاول تخمين مدى تشابه هذه القردة معنا في جيناتها. هل ستُخمِّن على سبيل المثال أنَّ الشمبانزي يتشارك في برنامجه الجيني مع البشر بنسبة ١٠ بالمائة أم ٥٠ بالمائة أم ٩٩ بالمائة؟

جاريد دايموند، «الشمبانزي الثالث» (١٩٩٢)

أحد الاكتشافات الجوهرية عن البشر هو مدى ارتباطنا الوثيق بالقردة العليا الأخرى. فنجد أنَّ مؤسس التصنيف الحديث، كارولوس لينيوس، وضع البشر في فئة الرئيسيات مع القردة والسعادين والليمور منذ عام ١٧٣٥، وقد شخص جنسنا بالعبارة اليونانية القديمة «اعرف نفسك». وفي عام ١٧٦٦، كتب كونت بوفون في المجلد الرابع عشر من

كتابه «التاريخ الطبيعي» أن القرد «ليس سوى حيوان، لكنه حيوان فريد جدًّا لا يمكن للإنسان مراقبته دون أن يرى فيه شبهًا من نفسه». وأشار علماء الطبيعة الفرنسيون الآخرون، ومنهم كوفييه وجوفروا، إلى التشابه التشريحي الشديد بين القردة والبشر، لكنهم رفضوا القول بأن البشر نوع من القردة. وقال عالم الأحياء الفرنسي الرائد لامارك صراحةً في كتاب «فلسفة علم الحيوان» عام ١٨٠٩:

> من المؤكد أنه إذا اقتضت الظروف لسبب أو لآخر أن تفقد بعض سلالات القردة، وخاصة الأكثر كمالًا بينها، عادة تسلق الأشجار وإمساك الأغصان بالأقدام ... وإذا أُرغمَ أفراد هذا الجنس على مر أجيال على استخدام الأقدام للمشي فقط وتوقفت عن استخدام أيديها كأرجل ... فستتحول هذه القرود إلى كائنات ذات يدين ... ولن يكون لأقدامها أي غرض آخر سوى المشي.

لا شك أن تشارلز داروين أدرك التشابه الوثيق بين القردة والبشر، وكان يتفاعل مع الأورانجوتان الصغيرة «جيني» بعد عام واحد فقط من عودته من رحلة البيجل (انظر الفصل الثالث والعشرين). وعلى الرغم من ذلك، عندما حان الوقت لينشر داروين أفكاره، كان يعلم أن معظم الناس لن يكونوا مستعدين لقبول فكرة أننا نرتبط بالقردة ارتباطًا وثيقًا، أو الأسوأ من ذلك، أننا ننحدر من سلف يشبه القرد. الْتفَّ داروين حول المشكلة في كتابه الثوري «أصل الأنواع» الصادر عام ١٨٥٩، مكتفيًا بالقول: «سنسلِّط الضوء على أصل الإنسان». لم ينطلِ ذلك على الناس حينها بالطبع، وأدانوا أفكاره القائلة بأن «البشر انحدروا من القرود»، واتهموه بالإلحاد والهرطقة. لم يعالج داروين المسألة بشكل مباشر حتى عام ١٨٧١، وكان ذلك في كتابه «أصل الإنسان». أما نصيره ومؤيده، توماس هنري هكسلي، فلم يكن مواربًا مثله. فمنذ فترة مبكرة في عام ١٨٦٣، عرض هكسلي بجرأة في كتابه «أدلة علم الحيوان على موضع الإنسان في الطبيعة» أوجه التشابه الشديدة بين الهياكل العظمية للإنسان وللقردة، والتي لا تختلف إلا في النِّسب بين الأطراف وفي شكل الجمجمة (انظر الشكل ١٢-٢(ب)). فعظام البشر تتطابق عظمة بعظمة مع عظام بقية القردة العليا، ولا تختلف إلا في الحجم والنِّسب. فالقردة التي تتأرجح بين الأشجار بأذرعها، وتستخدم التحرك التعلقي (الجيبون والأورانجوتان) لديها أذرع أطول بكثير مقارنة بالبشر، ويمتلك البشر أطول السيقان من بين جميع القردة العليا.

لقد ضاقت الهُوة بين البشر وبقية القردة إلى حد كبير على مر السنين. فبدلًا من الصورة النمطية القديمة لـ «القرد الصاخب الصائح»، اكتشفنا مدى التشابه الكبير

بين القردة والبشر. فقد أدت عقود من البحث الميداني الذي أجراه الرواد من علماء الأنثروبولوجيا — جين جودال مع الشمبانزي، وبيروت جالديكاس مع الأورانجوتان، والراحلة ديان فوسي مع الغوريلا الجبلية — إلى إزالة الغموض عن هذه المخلوقات المهيبة، وفاجأتنا نتائج هذه الأبحاث بأوجه التشابه السلوكية المذهلة مع البشر (انظر الفصل الثالث والعشرين). يستطيع كلٌّ من الشمبانزي والغوريلا تعلم لغة الإشارة والتواصل بجمل بسيطة، وصنع أدوات بسيطة واستخدامها. ثم إن مجتمعات هذه الكائنات متطورة للغاية مقارنة بأي حيوان آخر، وهي تسلط الضوء على تعقيدات المجتمعات البشرية أيضًا. لقد وثَّقت الأبحاث التي أجراها مئات من علماء الأنثروبولوجيا خلال ما يزيد عن قرنٍ، المزيدَ والمزيد من الروابط بين القردة العليا والبشر. اختفى الحد الفاصل بين «الإنسان» و«الحيوان»؛ ففي كل مرة كان شخص ما يحاول فيها إثبات أننا أكثر «تميزًا» عن أي حيوان، يُظهِر الدليل التشريحي أو السلوكي أن بعض الحيوانات على الأقل تتمتع بتلك الصفة أيضًا. ونتيجة لذلك، صار المجتمع العلمي بأكمله وأصحاب التعليم الجيد يتقبلون الآن أن البشر جزء من الطبيعة، وتربطهم بالحيوانات الأخرى الكثير من الصلات العميقة.

إذا لم يكن السجل الأحفوري للتطور البشري دليلًا كافيًا (انظر الفصل الرابع والعشرين)، فإن الحجة الحاسمة موجودة في كل خلية في جسدك. ثمة مصدر آخر للبيانات يثبت بوضوح علاقتنا بالقردة العليا وببقية المملكة الحيوانية، ولم يكن داروين ولا أي عالم أحياء آخر قبل ستينيات القرن الماضي على دراية بهذا المصدر؛ إنه بنية الحمض النووي والجزيئات الحيوية الأخرى لدينا، مثل البروتينات. فحتى التقنيات الجزيئية الأولى أظهرت أن حمضنا النووي متشابه للغاية مع الحمض النووي للشمبانزي والغوريلا. عندما تضع أمصالًا من الأجسام المضادة لدى الإنسان والقردة في نفس المحلول، تكون التفاعلات أقوى بكثير من تلك الموجودة بين البشر وأي حيوان آخر، مما يشير إلى أن جينات المناعة لدى البشر والقردة هي الأكثر تشابهًا. ويُسمَّى هذا الأسلوب في تقدير مدى قرابتنا بالكائنات الحية الأخرى بطريقة المسافة المناعية. بعد ذلك، في أواخر الستينيات، أظهرت تقنية تسمَّى تهجين الحمض النووي أن الحمض النووي للشمبانزي يكاد يكون متطابقًا مع حمضنا النووي.

في الثلاثين عامًا الماضية، أتاحت القفزات التكنولوجية، ومنها تقنية تفاعل البوليميراز المتسلسل (بي سي آر)، إجراء تسلسل مباشر للحمض النووي للبشر، إضافةً إلى العديد

من الحيوانات الأخرى والنباتات. استخدم علماء الوراثة هذه التقنية وتوصلوا إلى تسلسل الحمض النووي للإنسان بالكامل أولًا في عام ٢٠٠٠، ثم تسلسل الحمض النووي للشمبانزي في عام ٢٠٠٥. وعند المقارنة بينهما، حصلنا على النتيجة نفسها؛ إذ يتشارك البشر والشمبانزي في حمضهم النووي بنسبة تتراوح بين ٩٨–٩٩ بالمائة. إنَّ ما يميزنا عن الشمبانزي وعن الغوريلا أيضًا أقل من ٢ بالمائة من حمضنا النووي. تذكر أن نسبة تتراوح من ٦٠ إلى ٩٠ في المائة من حمضنا النووي غير مُشفِّر (يشار إليه أحيانًا باسم مخلفات الحمض النووي)، وهو لا يُقرأ أو يُستخدَم على الإطلاق، بل يُنقَل سلبيًّا من جيل إلى جيل (انظر الفصل الثامن عشر). ومن هذا الحمض النووي الذي يُعد بمثابة المخلفات الفيروساتُ الراجعة الداخلية، وهي بقايا حمض نووي فيروسي أُدخِلت في جيناتنا عندما أصيب أحد الأسلاف البعيدة بالفيروس، ولا تزال موجودة على الرغم من أنها لم تعد تُشفِّر أي شيء.

أحد الجينات الزائفة التي يمتلكها البشر هو نسخةٌ غير نشطةٍ من جين GULO، الذي يقوم بتصنيع فيتامين ج. يبدو أنَّ أسلافنا من الرئيسيات كانوا يأكلون الكثير من الفاكهة، فلم يعودوا بحاجة إلى صنع فيتامين ج الخاص بهم، وتعطل هذا الجين لديهم دون أن يصابوا بضرر. (المجموعة الأخرى الوحيدة التي تعيش دون أن تصنع فيتامين ج الخاص بها هي خفافيش الفاكهة.) عندما لا يحصل البشر على ما يكفي من فيتامين ج، يمكن أن يصابوا بمرض بشع يسمَّى الأسقربوط. وقد كان البحارة يعانون من نزيف اللثة، وفقدان الأسنان، والعديد من أعراض الأسقربوط بشكل منتظم؛ بسبب نظامهم الغذائي المحدود في البحر الذي لم يكن يشمل الفاكهة الطازجة أو الخضراوات. اكتشفت البحرية الملكية البريطانية في النهاية أن ثمار الحمضيات، مثل الليمون الحامض، توفر هذا الفيتامين الأساسي، وأصبحت تضيفه بانتظام إلى وجبات البحارة (وهذا هو السبب في أن البحارة البريطانيين يطلَق عليهم اسم «لايمي» (بالإنجليزية limey، مشتقة من lime، ومعناها حامض)). فبالنسبة إلينا نحن البشر، لا بد لنا من أكل الكثير من الفاكهة، أو تناول حبوب الفيتامينات لتحل محل هذا الفيتامين الأساسي؛ لأن جين فيتامين ج لدينا لم يعد يعمل حتى نتمكن من تصنيعه بأنفسنا.

والواقع أنَّ أجسادنا لم تعد قادرة على تصنيع مجموعة كاملة من «العناصر الغذائية الأساسية»، ونحن بحاجة إلى استهلاكها في نظامنا الغذائي لدرء المعاناة من نقص الفيتامينات المختلفة. على سبيل المثال، يتسبب نقص فيتامينات ب في مجموعة من

الأمراض لدى البشر لا تعاني منها أي حيوانات برية تقريبًا. يتسبب نقص فيتامين «ب١» (الثيامين) في مرض البري بري ويتسبب نقص فيتامين «ب٣» (النياسين) في البلاجرا، ويتسبب نقص فيتامين «ب٦» (البيريدوكسين) في اضطرابات عصبية، ويؤدي غياب فيتامين «ب٩» (حمض الفوليك) إلى حدوث عيوب خلقية وفقر الدم، ويؤدي نقص فيتامين «ب١٢» (كوبالامين) إلى فقر الدم الكبير الكريات. إن العديد من الحيوانات تمتلك الجينات لصنع هذه العناصر الغذائية بنفسها أو تحصل عليها من غذائها، أما نحن فلا نستطيع إنتاج هذه العناصر، وإذا كان نظامنا الغذائي يفتقر لأيٍّ من هذه العناصر، فسوف نعاني من العواقب.

إلى جانب مخلفات الحمض النووي الفعلية، تتكون نسبة أصغر من الجينوم من جينات بنيوية تُشفِّر جميعَ البروتينات والبنى الموجودة في أجسادنا، بما في ذلك الجينات التي لم نعد نستخدمها. إن نسبة الواحد إلى اثنين بالمائة التي تميزنا عن الشمبانزي هي في الغالب جينات تنظيمية، أي مفاتيح «تشغيل/إيقاف» التي تعطي الأمر لبقية الجينوم بالتعبير عن جين معين أو عدم التعبير عنه. هذه الجينات هي السبب الذي يجعل البشر مختلفين تمامًا عن القردة الأخرى، على الرغم من أن جيناتنا تكاد تكون متطابقة.

ماذا نجد إذن عندما نمحِّص في نسبة الواحد إلى اثنين بالمائة المتبقية التي تميزنا عن الشمبانزي؟ مثلما أشار عالم الأعصاب والأنثروبولوجيا البيولوجية، روبرت سابولسكي، فإن ما يقرب من نصف هذا الحمض النووي المختلف مخصَّص لمنطقة الشم؛ فالشمبانزي يتمتع بحاسة شم أقوى منا بكثير. لقد تعطل العديدُ من الجينات الخاصة بحاسة الشم لدينا وأصبحت جينات زائفة. ثمة اختلاف آخر في الجينات الخاصة بتطور عظام الورك والفخذ، مما يسمح لنا بالمشي منتصبين بسهولة، في حين أن الشمبانزي لديه مشية غريبة. هذه هي الجينات التي تُحدِث الفارق الأكبر في هيكلنا العظمي وفي وضعية جسدنا. يوجد عدد قليل من الجينات التي تُشفِّر شعر الجسد، والذي يمتلكه الشمبانزي في جميع أنحاء جسده على عكس معظم البشر. وتوجد جينات أخرى تُشفِّر الاستجابات المتباينة للأمراض؛ فنحن نتمكن من النجاة من مرض السل، الذي يؤدي إلى الوفاة سريعًا في الشمبانزي، بينما يقاوم الشمبانزي إيدز السعليات، أما نظيره البشري (الذي انتقل في الأصل من القردة إلى البشر) فهو قاتل للإنسان. يكمن الاختلاف الجيني الأكبر بين البشر والشمبانزي والقردة في الجينات التي تُشفِّر تكوين الخلايا العصبية. إن بنية أدمغتنا

هي في الأساس نفس بنية أدمغة الشمبانزي ومعظم الثدييات، لكن نمو الخلايا العصبية في دماغ الشمبانزي يتوقف عند مستوًى معين، بينما تسمح الجينات البشرية بجولات إضافية من نمو الخلايا العصبية، مما يُنتِج أدمغتنا الكبيرة بشكل غير عادي. من هذا الجزء الصغير من جينومنا، ننتج آلاف الخلايا العصبية الإضافية مقارنة بالحيوانات الأخرى، ومنه أيضًا ننتج كل شيء من الموسيقى إلى الفن إلى الفلسفة إلى العلم إلى الدين، إضافة إلى كل ما ينتجه دماغ الإنسان ولا يمكن لأي دماغ حيواني آخر أن يتخيله.

إنَّ هذا التشابه الشديد بين جيناتنا وجينات نوعَي الشمبانزي (الشمبانزي الشائع، بان تروجلودايتس، والشمبانزي القزم أو البونوبو، بان بانيسكس) ينبغي أن يكون في حد ذاته دليلًا دامغًا ومقنعًا على علاقتنا الوثيقة. وعلى الرغم من نفور بعض الناس من هذه الفكرة، فإننا في الواقع انعكاس للقرد. يضع عالم الأحياء جاريد دايموند الأمر على هذا النحو: تخيلْ أن بعض علماء الأحياء الفضائيين أتَوا إلى الأرض، وأن العينات الوحيدة التي تمكنوا من الحصول عليها هي عينات من الحمض النووي. وقاموا بإجراء تسلسل الحمض النووي للعديد من الحيوانات المختلفة، بما في ذلك البشر ونوعا الشمبانزي الآخران. بناءً على هذه البيانات وحدها، سوف يستنتجون أن البشر ليسوا سوى نوع ثالث من الشمبانزي. ذلك أنَّ حمضنا يتشابه مع نوعَي الشمبانزي الآخرَين أكثر من تشابه الحمض النووي لمعظم أنواع الضفادع بعضها ببعض. ونتشابه نحن ونوعا الشمبانزي الآخران أكثر من تشابه الأسود والنمور بعضها ببعض، رغم أنها تشترك في حوالي ٩٥ بالمائة من حمضها النووي، ويمكنها التزاوج فيما بينها في حدائق الحيوان. إن الاختلافات في المظهر بين القردة والبشر ناتجة عن تغييرات طفيفة في الجينات التنظيمية، والتي تؤدي إلى نتائج هائلة. إن الأدلة المستقاة من جيناتنا، وكذلك من بنيتنا التشريحية، ساحقة. فالحمض النووي في كل خلية من خلايا جسدك شاهدٌ على علاقتك الوثيقة بالشمبانزي.

إن نسبة الواحد إلى اثنين بالمائة من الجينوم التي تميزنا عن الشمبانزي، هي نتيجة جيناتٍ تنظيميةٍ تعمل على تشغيل الجينات البنيوية وإيقافها (والتي تشكِّل معظم الجينوم المتشابه الذي تبلغ نسبته ٩٨ بالمائة). نحن لا نزال نمتلك الجينات لمعظم أجزاء جسد القرد، وجسد السعدان أيضًا، ومن حين لآخر يحدث خطأ وراثي، أو تأسل، فيعبِّر حمضنا النووي عن جينات مكبوتة منذ فترة طويلة لا نزال نحملها (كأن ينمو لأحد البشر ذيل على سبيل المثال، انظر الفصل الحادي والعشرين).

منذ عشرينيات القرن الماضي، يزعم العديد من علماء الأحياء والأنثروبولوجيا أن الكثير مما يميزنا عن الشمبانزي هو ظاهرةٌ معروفةٌ في الطبيعة تُسمَّى استدامة مرحلة الطفولة (بالإنجليزية neoteny، وتعني حرفيًّا «التمسك بالشباب»). فالعديد من الحيوانات في الطبيعة تجد طرقًا للتكاثر وإنجاب ذرية، بينما لا تزال أجسادها في بنيتها اليافعة. بعض أنواع السلمندر المعروف باسم عفريت الماء على سبيل المثال (جنس سلمندر الخُلد)، الذي يعيش في بحيرات المكسيك؛ تستطيع التكاثر بينما لا تزال لديها الخياشيم التي تتنفس بها وهي يافعة. لكن إذا فسدت مياه البحيرة أو جفت، يُكمِل هذا النوع نموه ليصل إلى مرحلة البلوغ، وتفقد السلمندرات خياشيمها وتطور رئتين، ثم تزحف إلى أي بركةٍ أخرى. إن القدرة على تغيير توقيت التكاثر بالنسبة للنماء تمنح الحيوانات مرونةً كبيرةً للاستفادة من تعليماتها الجينية الحالية، دون الحاجة إلى إجراء تغيير جيني أو تطوري جذري.

إذا نظرت إلى شمبانزي يافع (الشكل ٢٢-١(أ))، فستجد أن جمجمته شديدة الشبه بجمجمة الإنسان، حيث يمتلك دماغًا كبيرًا، وأقواسًا حاجبية صغيرة، وخطمًا قصيرًا، ووضعية منتصبة. وفي أثناء نموه إلى فرد بالغ (شكل ٢٢-١(ب))، ينمو للشمبانزي خطم أكبر بأنياب طويلة، وأقواس حاجبية كبيرة، ووضعية للرأس متراخية للأمام. إذا قامت الجينات التنظيمية بتعديل نمونا الجنيني قليلًا، فإن معظم الخصائص التي تميزنا كبشر يمكن التعبير عنها فقط بأن نبقى قردة يافعة، نصل إلى مرحلة النضج الجنسي دون أن نكبر حقًّا.

ربما اطَّلعت على بعض الكتب الرائعة التي كتبها ألدوس هكسلي، الروائي ومؤلف رواية الديستوبيا الكلاسيكية «عالم جديد شجاع». لقد كان شقيقه عالم الأحياء التطوري الشهير جوليان هكسلي، وكلاهما حفيدا أكبر مناصري داروين، توماس هنري هكسلي. متأثرًا بأخيه، كان ألدوس على دراية جيدة بهذه الأفكار المتعلقة باستدامة المرحلة الطفولية للإنسان. وفي عام ١٩٣٩ في روايته «بعد عدد فصول صيف عديدة تموت البجعة»، استكشف ألدوس هكسلي فكرة الخلود والرغبة البشرية في إيجاد طريقة لإطالة الحياة إلى ما هو أبعد مما اعتزمته الطبيعة. الشخصية الرئيسية في هذه الرواية هي المليونير جو ستويت (مستوحًى من إمبراطور الصحافة الأسطوري ويليام راندولف هيرست، الذي الْتقى به هكسلي عندما كان كاتب سيناريو في هوليوود في عشرينيات القرن الماضي)، الذي يحاول شراء الحياة الأبدية من خلال توظيف شخصية «العالم المجنون»

(ب) (أ)

شكل ٢٢-١: استدامة المرحلة الطفولية في القردة والبشر. (أ) لدى الشمبانزي اليافع العديد من الخصائص الموجودة في البشر البالغين، بما في ذلك الوضعية المنتصبة، والدماغ الكبير نسبيًّا، والأقواس الحاجبية الصغيرة، والخطم الأقصر. (ب) خلال نمو الشمبانزيات، تصبح هذه الصفات أكثر شبهًا بصفات القردة. منذ عشرينيات القرن الماضي، ذهب العديد من علماء الأنثروبولوجيا إلى أن الكثير مما يجعلنا بشرًا هو الاحتفاظ بخصائص القرد اليافع إلى البلوغ. (من أدولف نايف، «عن أنماط الجسد البشري وتاريخ تطور السلالات للجمجمة البشرية»، «ناتورفيسينشافتن» ١٤، [١٩٢٦]: ٤٤٥–٤٥٢)

الكلاسيكية، دكتور أوبيسبو، لإجراء أبحاث عن تأخير الشيخوخة وإطالة العمر. يكتشف أوبيسبو أن إيرل جونيستر الثالث في إنجلترا قد عاش عدة قرون، دون أي علامات على تقدم في العمر، على ما يبدو عن طريق تناول أحشاء سمك الشبوط. وقد أظهرت السجلات الأرشيفية أنه أنجب أطفالًا عندما كان عمره أكثر من ١٠٠ عام. يحدث تغير مفاجئ في حبكة القصة، ويغتصب أوبيسبو عشيقة المليونير (على غرار عشيقة هيرست الحقيقية، الممثلة ماريون ديفيز)، وقتل المليونير مساعد أوبيسبو العلمي بالخطأ في فورة من غضب الغيرة. تعيَّن على ستويت وأوبيسبو الفرار من العدالة؛ لذلك هربوا إلى إنجلترا محاولين اكتشاف ما حدث لإيرل جونيستر الثالث. وأخيرًا، اقتحموا قلعته ووجدوه في القبو، وهو لا يزال على قيد الحياة ويبلغ من العمر ٢٠١ عام، وقد أصبح قردًا بالغًا.

قراءات إضافية

Diamond, Jared, *The Third Chimpanzee: The Evolution and Future of the Human Animal*, New York: HarperCollins, 1992.

Harris, Eugene E., *Ancestors in Our Genome: The New Science of Human Evolution*, Oxford: Oxford University Press, 2015.

Jurmain, Robert, Lynn Kilgore, Wenda Trevathan, Russell L. Ciochon, and Eric Bartelink, *Introduction to Physical Anthropology*, 15th ed., New York: Cengage Learning, 2017.

Lewin, Roger and Robert A. Foley, *Principles of Human Evolution*, 2nd ed., Malden, Mass.: Wiley–Blackwell, 2003.

Marks, Jonathan, *Human Biodiversity: Genes, Race, and History*, London: Routledge, 2017.

_____, *What It Means to Be 98 percent Chimpanzee: Apes, People, and Their Genes*, Berkeley: University of California Press, 2002.

Potts, Richard, and Christopher Sloan, *What Does It Mean to Be Human?* Washington, D.C.: National Geographic, 2010.

Reich, David, *Who We Are and How We Got Here: Ancient DNA and the New Science of theHuman Past*, New York: Pantheon, 2018.

Roberts, Alice, *Evolution: The Human Story*, London: DK Books, 2018.

Rutherford, Adam, *A Brief History of Everyone Who Ever Lived: The Human Story Retold through Our Genes*, New York: The Experiment LLC, 2016.

Shipman, Pat, *The Animal Connection: A New Perspective on What Makes Us Human*, New York: Norton, 2011.

Sibley, Charles G., and Jon E. Ahlquist, "The Phylogeny of Hominoid Primates, as Indicated by DNA–DNA Hybridization," *Journal of Molecular Evolution* 20 (1984): 2–15.

الفصل الثالث والعشرون

انعكاس القرد

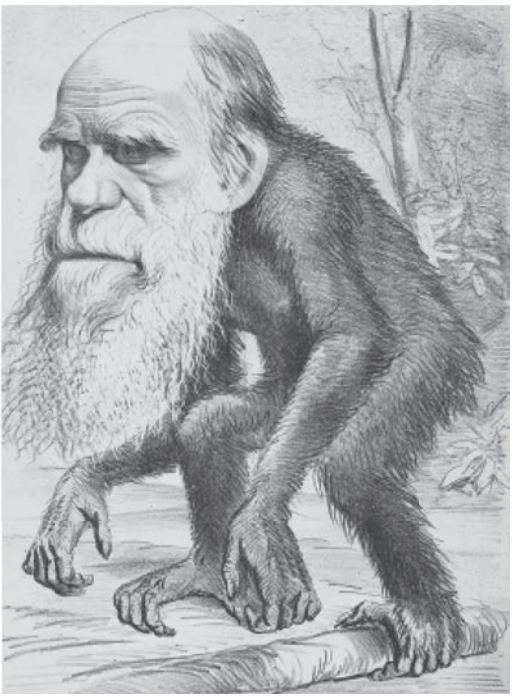
هل يختلف البشر حقًّا لهذه الدرجة عن الحيوانات الأخرى؟

> لا يمكن لأي شخص ينظر في عينَي الغوريلا — بذكائها، ورقَّتها، وهشاشتها — ألَّا يتأثر؛ إذ تتلاشى حينها الفجوة بين القرد والإنسان، نحن نعلم أن الغوريلا لا تزال تعيش بداخلنا. فهل تدرك الغوريلا أيضًا هذه الصلة القديمة؟
>
> جورج شالر

لقد لاحظ الناس أوجه التشابه بين البشر والقردة منذ زمن بعيد حتى قبل لينيوس (انظر الفصل الثاني والعشرين). عندما صدر كتاب داروين «أصل الأنواع» في عام ١٨٥٩، كان ما صدم الناس ونفَّرهم على وجه التحديد؛ فكرة أنهم مرتبطون ارتباطًا وثيقًا بالقردة المُشعِرة التي كانوا يرَونها تصرخ في حديقة الحيوانات أو السيرك (شكل ٢٣-١). كان الجميع في حالة إنكار شديد، محاولين العثور على ما يميزنا بوضوح عن بقية مملكة الحيوان.

في عامَي ١٨٥٧ و١٨٥٨، قبل نشر كتاب داروين، كان أشد نقاد داروين، عالم الطبيعة البارز ريتشارد أوين، يتوقع هذه المسألة. زعم أوين أننا مميزون ومختلفون عن القردة؛ لأننا نمتلك بنية في الدماغ تسمَّى الحُصين (هيبوكامبوس (Hippocampus))، وهي لا توجد لدى القردة. اسم «هيبوكامبوس» يعني «فرس البحر»، وهو بالفعل يشبه فرس البحر إلى حد ما. (نحن نعلم الآن أن الحُصين يساعد نصفَي الدماغ على التواصل

(ب)



(أ)

شكل ٢٣-١: سَخِر العديد من الرسوم الكاريكاتورية المعاصرة من فكرة أن البشر مرتبطون بالقرود، (أ) رسم يصور ظهر داروين على هيئة قرد، (ب) داروين وقرد ينظران في المرآة ليريا مدى الشبه بين أحدهما والآخر. (إهداء من «ويكيميديا كومنز»)

معًا وتحويل الذاكرة القصيرة الأمد إلى ذاكرة طويلة الأمد.) في عامَي ١٨٦٠ و١٨٦١، بينما كان الجدل محتدمًا بشأن التطور، تصدى أقوى مؤيدي داروين، توماس هنري هكسلي، لتصريحات أوين وتحداها. قام هكسلي بتشريح غوريلا وشمبانزي وغيرهما من الرئيسيات، ووجد بنية الحُصين لديها جميعًا. استمر هذا الجدل ليصبح أكثر الجدالات العلمية إثارة في بريطانيا عام ١٨٦٢، ولكن سرعان ما أكد العديد من العلماء الآخرين عمل هكسلي من خلال قيامهم هم أنفسهم بالتشريح. خلال بضع سنوات، لم يعد الحُصين نقطة خلاف لأن التشريح كان هو نفسه في الأساس. تراجع علماء الطبيعة عن

هذه الحجة، وبدءوا في تحديد خصوصية البشر من ناحية استخدام البشر للأدوات واللغة الرمزية وغيرها من الخصائص الفريدة المفترضة.

لقد طُرِحَت الفكرة المهينة القائلة بأننا قد نكون مرتبطين بالقردة في العديد من المناظرات، ولا سيما في مناظرة هكسلي-ويلبرفورس الشهيرة في عام ١٨٦٠. كانت قد مرت عدة شهور في ذلك الوقت على نشر كتاب داروين الجديد المثير للجدل، وكان هكسلي قد قضاها في مناصرته. وفي ٢٧ يونيو ١٨٦٠، تصدى ريتشارد أوين لمحاضرة مؤيدة للداروينية في اجتماع الجمعية البريطانية لتقدم العلوم الذي عُقِد في أكسفورد. وانتشرت شائعات بعد ذلك بأن أسقف أكسفورد، ويلبيرفورس أو «سام الصابوني» (بالإنجليزية Soapy Sam، سُمي بهذا الاسم لأنه كان مراوغًا ويصعب التغلب عليه في المناظرات)، سيحضر الاجتماع، ويلقي خطابًا يوم السبت التالي. اعتزم هكسلي مغادرة الاجتماع، لكن روبرت تشامبرز أقنعه بالبقاء. لم يكن لدى ويلبرفورس فهم حقيقي لما كان يتحدث عنه، لكن أوين (صديق طفولته) درَّبه وأمدَّه بالكثير من المشاكل المفترضة عن التطور. كان خطاب ويلبرفورس في ٣٠ يونيو ١٨٦٠ مرحًا وذكيًّا، لكنه كان هجومًا غير عادل على الداروينية، منتهيًا بالسؤال الشهير الذي وجَّهه إلى هكسلي حول «ما إذا كان قد انحدر من قرد عبر جده أم جدته». عند هذه الإهانة، يُزعَم أن هكسلي قال لأستاذ الكيمياء برودي الجالس بجانبه: «لقد سلَّمه الرب إلى يديَّ.»

عندما نهض هكسلي ليلقي كلمته، أجاب بأنه لم يسمع من ويلبيرفورس ما يدحض حجج داروين، والتي لا تزال تقدم أفضل تفسير طُرِح لأصل الأنواع حتى ذلك الوقت. وانتهى برد مشهور مماثل على سؤال ويلبرفورس، بأنه «لا يخجل من أن يكون جده قردًا، لكن المخجل أن يكون أحد أسلافه رجلًا متعدد المصالح، ويصرف انتباه مستمعيه عن النقطة الحقيقية محل الخلاف عن طريق الاستطراد البليغ، وعبر استخدام حاذق للتحيز الديني». يُزعَم أن القاعة المزدحمة اندلعت فيها أعمال شغب، وأُغمي على النساء، ولم يُسمَع أي شيء آخر بسبب الصراخ والصياح من الجانبين. ومن سوء الحظ أنَّ أحدًا لم يدوِّن ما قيل بالتحديد في المناظرة، والكثير مما وصلنا يعتمد على الروايات المنقوصة لَمن كانوا حاضرين.

لا شك أنَّ تشارلز داروين كان يدرك مدى التشابه بين القردة والبشر، وكان لذلك تأثير قوي على أفكاره. فمنذ فترة مبكرة في عام ١٨٣٨، وبعد عام واحد من عودته من رحلته التاريخية حول العالم على متن سفينة البيجل، زار عالم الطبيعة الشاب حديقة

حيوانات لندن، ورأى صغيرة الأورانجوتان المسماة جيني. أمضى داروين معها ساعات عديدة في قفصها، ملاحظًا عواطفها وسلوكياتها، ومدى تشابهها مع البشر من نواحٍ عديدة. إضافة إلى ذلك، درس اثنتَين أخريَين من الأورانجوتان في حديقة الحيوان. في دفاتر ملاحظاته غير المنشورة، كتب داروين الكثير عن استخدامها الواضح للأدوات وإبداعها في صنع ألعابها الخاصة من العصي.

كتب داروين عن جيني:

> إنها مغرمة بكسر العِصِي، وبقلب الأشياء للقيام بذلك (وهي قوية جدًّا)؛ فهي تضع الرافعة في الحفرة وتضغط على أحد طرفيها بيدها كما رأيت ... تأخذ السوط وتضرب الزرافات، وتأخذ عصًا وتضرب الرجال ... يخبرني الحراس أنها عندما ترى كلبًا، تمسك أي شيء لإدراكها أنها ستكون قادرة، من خلال ذلك، على أن تتسبب له في أذًى أكبر مما ستتسبب فيه من استخدامها لكفِّها.

وكانت تحديات الأورانجوتان مع الوعي الذاتي لدى إعطائهم مرآة أكثر إثارة للإعجاب. ونجد وصف هذه التجربة في دفاتر داروين على النحو التالي:

> ذُهِلت كلتاهما للغاية عندما نظرا إلى المرآة، ونظرا إليها من كل ناحية ومن الجانب، وكل ذلك وهما في غاية الدهشة ... وبعد مرور بعض الوقت، مدا شفاههما إلى الأمام، كأنهما يُقبِّلان الزجاج، وفعلا ذلك أيضًا عندما وُضِعا معًا لأول مرة ... وأخيرًا، وضعا أيديهما خلف الزجاج على مسافات مختلفة، وراحا ينظران إليها من ورائه، ودعكا الزجاج الأمامي، ورسما بعض التعابير على وجهيهما، فحصا الزجاج بالكامل، وضعا كلا وجهَيهما بالقرب تمامًا وضغطا عليه — وكأنهما يرفضان النظر إليه — ذُهِلا وبدا كأنهما خائفان، وكان من الواضح أنهما غاضبان؛ لأنهما لم يستطيعا فَهْم اللغز. وضعا جسديهما في جميع المواضع الممكنة عند الاقتراب من الزجاج لفحصه.

وفي عام ١٨٣٩، عندما وُلد وليام، ابن داروين الأول، أجرى تشارلز الأنواع نفسها من التجارب، حيث قام بتحليل مشاعر طفله وتعبيراته ومعالم نموه وقارَنها بالقردة. واصل عادة مراقبة أطفاله علميًّا مع ابنته الأولى، آن إليزابيث، عندما وُلدت في عام ١٨٤١. وفقد الاهتمام بهذا المشروع بالنسبة للأطفال الثمانية اللاحقين الذين ولدتهم له

زوجته إيما (ثلاثة منهم ماتوا في الطفولة). تأثر داروين بشدة بكثرة المشاعر والسلوكيات البشرية التي تُظهِرها القردة العليا، وتجاوز الصورة النمطية السطحية الساخرة المتمثلة في السلوك الصاخب دون البشري، والتي كان معظم الناس يؤمنون بها في ذلك الوقت.

بالرغم من ذلك، نفر معظم الناس من فكرة أن البشر أقرباء للقردة والسعادين، وتشير عبارات مثل «حسنًا، سأكون عمًّا للقرد» إلى هذا النفور. عندما شن المعترضون هجومهم على التفكير التطوري خلال محاكمة سكوبس، أو «محاكمة القرد»، في صيف عام ١٩٢٥، نجد أنَّ لقب المحاكمة يعكس هذا الهوس بعلاقتنا بالرئيسيات، مثلما كانت المبادئ التي أعلنها المنخرطون في المحاكمة، وحتى اللافتات التي حملتها الجماهير، تعكس الرعب من أن نكون على صلة وثيقة بالقردة والسعادين. خلال الأجواء الكرنفالية للمحاكمة في مدينة دايتون في ولاية تينيسي، افتُتِح في المدينة معرض يضم اثنين من الشمبانزي و«حلقة مفقودة» مفترضة، وكان الباعة يبيعون الأناجيل، ودُمى قرود، والنقانق الساخنة، وعصير الليمون. كانت الحلقة المفقودة في الواقع هو جو فينس، من بيرلينجتون، بولاية فيرمونت، وهو رجل يبلغ من العمر ٥١ عامًا كان قصير القامة عريض الجبين لانحسار شعره إلى الوراء، وفكه بارز. كان أحد أفراد الشمبانزي — يُدعى جو ميندي — يرتدي بدلة منقوشة، وقبعة من طراز فيدورا بنِّية اللون، ومشابك بيضاء، وكان يسلِّي مواطني دايتون بلهوه حول حديقة المحكمة. تضمنت جميع الرسوم الكاريكاتورية التحريرية في ذلك الوقت (كما في أيام داروين) صورًا للسعادين أو القردة؛ لأنها كانت أكثر الصور المثيرة بصريًّا التي استدعت فكرة التطور.

استمر تأثير فشل المحاكمة في قضية سكوبس لعقود، وقد تمثل هذا في التخفيف من محتوى التطور في مناهج علم الأحياء أو إزالته. ثم، في عام ١٩٥٧، أثبت إطلاق القمر الصناعي سبوتنيك أن العلوم الأمريكية قد تخلفت كثيرًا عن السوفييت. فطُوِّرت مناهج أكثر صرامة للعلوم (بما في ذلك علم الأحياء)، وأصبح التطور يُدرَّس مجددًا في المدارس العامة، وفي جميع أنحاء الولايات المتحدة. رغم ذلك، ظلت وجهة النظر عن السعادين والقردة أنها سخيفة وبدائية وجلفة، وقد لعبت دورًا هزليًّا في الأفلام والتليفزيون لعدة عقود. كان الشمبانزي الصاخب الصائح هو الدعامة الأساسية لأفلام مثل «بيدتايم فور بونزو»، لرونالد ريجان، بالإضافة إلى العديد من أفلام ديزني العائلية التي استخدمت قرود الشمبانزي المُدرَّبة لتسلية المشاهد. (من المفارقات أن «ابتسامة» الشمبانزي التي يكشف فيها عن أسنانه ليست ابتسامة، بل هي استعراض للتهديد، وعلامة على الخوف والعداء.)

في هذه الأثناء، كان الناس ينظرون إلى الغوريلا على أنها متوحشة وقوية، ويمكنها بسهولة تمزيق أطراف البشر، وذلك بفضل فيلم «كينج كونج»، وأفلام «طرزان»، والعديد من أفلام المغامرات الأفريقية الأخرى، التي حارب فيها المستكشفون الجريئون الغوريلات المرعبة والوحشية.

معظم ما كان الناس يعرفونه عن السعادين والقردة أتى من البيئة الاصطناعية لحدائق الحيوان، ورؤية حيوانات مدربة في الأَسر. وقد كانت هذه الأفكار مشوهة بالطبع؛ لأن هذه الرئيسيات لم تتفاعل بشكل طبيعي مع أفراد جنسها في كثير من الأحيان، أو لم تحظَ بمثل هذا التفاعل الطبيعي على الإطلاق. صحيحٌ أنَّ بعض الرواد من علماء أحياء الحياة البرية قد أجرَوا دراساتٍ ميدانيةً محدودةً على الغوريلا والشمبانزي في البرية، لكن الكثير منها ظل غير موثَّق على مدى فترات طويلة من الزمن. وفي عام ١٩٥٩، بدأ عالم الأحياء جورج شالر، البالغ من العمر حينها ٢٦ عامًا، دراساته عن الغوريلا الجبلية في براكين فيرونجا على حدود رواندا وأوغندا وجمهورية الكونغو الديمقراطية. تُوِّجتْ سنواته العديدة التي قضاها في الدراسات الميدانية بكتابين عن الغوريلا في عامَي ١٩٦٣ و١٩٦٤، كشف شالر فيهما زيف الخرافات القديمة، وأظهر أن الغوريلات مخلوقات رقيقة للغاية وذكية وعطوفة، وأنها نادرًا ما تقوم بسلوك الضرب على الصدر الذي ينم عن التهديد، والذي أصرَّت الصور النمطية لهوليوود على عرضه لعقود. ومثلما كتب شالر في مقال نُشر عام ١٩٩٥ في ناشيونال جيوجرافيك: «لا يمكن لأي شخص ينظر في عينَي الغوريلا — بذكائها، ورقَّتها، وهشاشتها — ألَّا يتأثر؛ إذ تتلاشى حينها الفجوة بين القرد والإنسان، نحن نعلم أن الغوريلا ما زالت تعيش بداخلنا. فهل تدرك الغوريلا أيضًا هذه الصلة القديمة؟» واصل شالر أبحاثه، واكتسب سمعة باعتباره أحد علماء الأحياء الميدانيين، وأحد رواد السلوك الحيواني؛ إذ قضى سنوات في الأبحاث الميدانية عن النمور والباندا والأسود ونمور الثلج والجاجوار وخنزير الماء والكايمان. واكتشف أيضًا ثلاثة أنواع من الثدييات كانت جديدة على العلم، أو كان يُعتقَد أنها قد انقرضت.

وبخلاف شالر، قليلون فقط قضَوا وقتًا طويلًا في دراسة القردة العليا في البرية؛ لتحديد أنماط سلوكها الطبيعي مقارنةً بالسلوكيات الملحوظة في الحيوانات الأسيرة. تصدى لهذه الفجوة لويس إس بي ليكي، أحد عمالقة الأنثروبولوجيا. ففي أواخر الخمسينيات من القرن الماضي، وبعد ما يقرب من ٣٠ عامًا من البحث، كان ليكي لا يزال يكافح للعثور على حفريات بشرية مبكرة في الصخور القديمة في شرق أفريقيا. وفي عام ١٩٥٩،

عثرت زوجته ماري على حفريات القرد الجنوبي القوي robust australopithecine، وأطلقوا عليها اسم «الفتى العزيز»، لكنها سُميت رسميًّا زينجانثروبوس بويزي (ويُطلَق عليها الآن بارانثروبوس بويزي). أحدثَ هذا الاكتشاف ضجة كبيرة، وعزَّز سمعة ليكي كأحد أبرز علماء الحفريات البشرية، خاصةً عندما أرجع تاريخ الحفرية إلى أكثر من ١,٨ مليون سنة في عام ١٩٦٠، مما جعلها (والتطور البشري) أقدم بكثير مما كان يتخيله أي شخص آنذاك. سرعان ما أصبح الزوجان ليكي أعزاء «ناشيونال جيوجرافيك»، وأصبح لديهما تمويل لا ينقطع لمواصلة عملهما لفترةٍ طويلةٍ، وقد استمر بعد وفاة لويس.

حتى قبل نجاحاته الكبيرة، كان لويس ليكي معروفًا كمتحدث ساحر يمكنه أن يأسر الجماهير، لا بأوصافه لاكتشافاته لأصولنا البشرية فحسب، بل بتأملاته الفلسفية أيضًا عما يعنيه عصر ما قبل التاريخ للبشرية. غالبًا ما كان يغادر أفريقيا للذهاب في جولات يلقي فيها المحاضرات، مما ساعده على جمع الأموال في الأيام التي سبقت نجوميته التي رعتها ناشيونال جيوجرافيك، ومنحته عليها دعمًا سخيًّا. وفي كل محطة، كان أسراب من الناس المبهورين يتهافتون عليه، ويطلبون فرصًا ليصبحوا علماء أنثروبولوجيا مثله. ومنذ عام ١٩٤٦، كان ليكي يبحث بالفعل عن مجندين لدراسة القردة العليا في البرية. كان هذا الاهتمام البحثي مستوحًى من دراسة بيئة حفرية القرد القديم بروكونسول، والتي وجدها ليكي في جزيرة روسينجا في عام ١٩٣١. وفي عام ١٩٥٦، أرسل سكرتيرته، روزالي أوزبورن، لدراسة الغوريلا الجبلية، لكنها لم تصمد هناك إلا لأربعة أشهر فقط في ظل الظروف القاسية.

وفي عام ١٩٥٧، جاءت سيدة بريطانية تبلغ من العمر ٢٣ عامًا تُدعى جين جودال إلى كينيا لدراسة حيوانات أفريقيا. في البداية وجدت عملًا كسكرتيرة، ثم اتصلت بليكي وأصبحت سكرتيرته. كان ليكي مقتنعًا بأن جودال تمتلك ما يلزم لتكون باحثة ميدانية في مجال الرئيسيات، وفي عام ١٩٥٨ أرسل ليكي جودال إلى إنجلترا لتتلقى تدريبًا على سلوك الرئيسيات من أوسمان هيل، وفي تشريح الرئيسيات من جون نابير. وفي نهاية المطاف، جمع ليكي الأموال لدعم أبحاث جودال، وفي ١٤ يوليو ١٩٦٠، بدأت جودال أبحاثها على الشمبانزي في متنزَّه جومبي ستريم الوطني، وبدأت دراسة واصلتها على مدار ٥٥ عامًا قد تلت.

كانت المجندة التالية لليكي هي ديان فوسي، التي تركت عملها الممل في المستشفى، وأنفقت مدخراتها في عام ١٩٦٣ لزيارة أفريقيا ومعرفة المزيد عن دراسة الحياة البرية. زارت الزوجَين ليكي في مستوطنة أولدوفاي جورج، حيث تعثرت والْتوى كاحلها، وسقطت

في إحدى الحفريات، ثم تقيأت على حفرية زرافة. عادت فوسي إلى مسقط رأسها لتتولى وظيفة، ولتسدد الأموال التي اقترضتها من أجل رحلتها إلى أفريقيا. ألقى ليكي محاضرة في عام ١٩٦٦ في لويزفيل حضرتها فوسي، وبعد المحاضرة تحدثت إليه وتذكَّرها. بعد ذلك بفترة وجيزة، عيَّنها لتأتي إلى براكين فيرونجا في يناير ١٩٦٧، لمواصلة دراسات الغوريلا الجبلية، حيث توقف جورج شالر قبل عقد من الزمان تقريبًا. نما لدى فوسي تعاطف هائل مع الغوريلا، وقامت بالعديد من الاكتشافات المهمة، وقاومت الصيادين الجائرين الذين كانوا يقتلون الغوريلات. قُتلت فوسي عام ١٩٨٥، على الأرجح على يد الصيادين الجائرين الذين كانوا يكرهونها.

كانت آخر النساء الثلاث (الملقَّبات بـ «ترايميتس»، أي: ثلاثي الرئيسيات، أو «ملائكة ليكي») اللواتي جنَّدهن ليكي؛ هي بيروتي جالديكاس. كانت جالديكاس قد استمعت إلى محاضرة ليكي في جامعة كاليفورنيا في لوس أنجلوس عام ١٩٦٩، وكانت قد وضعت بالفعل خطة لدراسة الأورانجوتان في إندونيسيا. بعد محاضرته، أجريا محادثة طويلة، وسرعان ما اقتنع ليكي أنها تستطيع القيام بالعمل الميداني في جنوب شرق آسيا، لدراسة ثالث أقربائنا العظماء من القردة. وبحلول عام ١٩٧١ كانت جالديكاس في أدغال بورنيو، وأرسى عملها الأساس لجميع الدراسات المستقبلية لسلوك الأورانجوتان. هؤلاء النساء الثلاث كُن رائدات فيما أصبح الآن مجالًا بحثيًّا كبيرًا في سلوك الرئيسيات. كُن استثنائياتٍ من حيث إنهن كُن جميعًا من النساء (في وقتٍ لم يكن يُسمَح فيه إلا لعددٍ قليل من النساء بإجراء أي بحث ميداني دقيق في أي مكان)، وقد مهَّدْن الطريق للعديد من باحثي الرئيسيات البارزين ليحذوا حذوهن (وكان العديد منهم أيضًا من النساء، تأثروا بالترايميتس).

كان لأبحاث جودال عن الشمبانزي التأثير الأكبر؛ لأنها كانت تعمل مع أقرب أقربائنا الباقين على قيد الحياة، وكانت جودال إحدى أوائل من أمضَوا شهورًا في مراقبة الكائنات التي تدرسها من مكان قريب بعد أن اعتادت عليها. على عكس الطريقة الأكاديمية المعتادة المتمثلة في تمييز العينات الميدانية بالأرقام، أعطت جودال اسمًا لكل شمبانزي، وسرعان ما رأت أن لكلٍّ منها شخصيةً مميزة، وهو أمر لم يلاحظه أحدٌ من قبل. كما كتبت: «ليس البشر وحدهم من يتسمون بشخصيةٍ تميز أحدهم عن الآخر، وليسوا وحدهم القادرين على التفكير العقلاني، [و]على امتلاك مشاعر مثل الفرح والحزن.» رأت جودال لدى الشمبانزي الكثير من السلوكيات البشرية الأخرى؛ العناق والقبلات والتربيت على الظهر

والدغدغة. تؤسس هذه السلوكيات «الروابط الوثيقة والداعمة والحنونة التي تتطور بين أفراد الأسرة والأفراد الآخرين داخل المجتمع، والتي يمكن أن تستمر طوال فترة حياة تتجاوز ٥٠ عامًا». كلما راقبتْهم جودال أكثر، وجدت أنها أظهرت جميع الاستجابات العاطفية تقريبًا، والتي كان يُعتقَد أنها فريدة للبشر.

على مدار سنوات من الملاحظة في محمية جومبي، شهدت جودال العديد من السلوكيات التي غيَّرت مفاهيمنا عن الشمبانزي والبشر. كان الاعتقاد السائد هو أن الشمبانزي كائن عاشب لطيف للغاية، لكن جودال رأت أنها يمكن أن تكون عدوانية ومحاربة، حيث تصطاد قرود كولوبوس في الأشجار، وتقتلها، وتتقاسم الذبيحة بين مجموعة الشمبانزي بأكملها. الواقع أنها كانت تقتل حوالي ثلث مجموعة سعادين كولبس في جومبي كل عام. والأكثر إثارة للدهشة هو أن جودال لاحظت سلوكيات شبيهة بسلوكيات الحرب بين مجموعات معادية من الشمبانزي، أو داخل المجموعة الواحدة. لاحظت جودال أن الإناث المهيمنة يقتلن صغار أخريات للحفاظ على هيمنتهن، ويأكلن لحوم الصغار أيضًا في بعض الأحيان. كما كتبت جودال: «خلال السنوات العشر الأولى من الدراسة كنت أعتقد [...] أن قِرَدة شمبانزي جومبي، في أغلبها، أجمل من البشر. [...] ثم اكتشفنا فجأة أن الشمبانزي يمكن أن يكون وحشيًّا، وأن لديه — مثلنا — جانبًا مظلمًا لطبيعته.»

غير أنَّ الاكتشاف الأبرز حتى ذلك الوقت هو ملاحظة أن الشمبانزي قادر على صنع الأدوات واستخدامها. فيمكن للشمبانزي تعديل غصن شجرة ليشكِّل «سنارة صيد» تلتصق بعش للنمل الأبيض؛ ومن ثَم تلعق النمل الأبيض عندما تسحب العصا (الشكل ٢٣-٢). وقبل ذلك الوقت، كان العلماء يرَون أن الخط الفاصل بين البشر والحيوانات الأخرى هو صنع الأدوات؛ «الإنسان صانع الأدوات». لكن الشمبانزي صانع أدوات جيد تمامًا، حتى وإن كانت الأداة بسيطة ولا تُستخدَم كثيرًا. كما كتب لويس ليكي بعد هذا الاكتشاف: «يجب علينا الآن إعادة تعريف الإنسان، أو إعادة تعريف الأداة، أو نقبل بالشمبانزي كإنسان!»

بعد هذه الاكتشافات، عرف العلماء أيضًا أن الكثير من الحيوانات، بما في ذلك الغوريلا والأورانجوتان وقرود الكبوشي والبابون والماندريل، يصنع العديدَ من الأدوات لمختلف الأغراض، ومنها صيد الطعام (معظمه من اللافقاريات والأسماك)، وجمع العسل، ومعالجة الفاكهة والمكسرات والخضراوات والبذور. تُستخدَم بعض الأدوات لجمع المياه أو لتوفير المأوى، بل إنَّ بعض الرئيسيات تَستخدم في القتال أسلحةً صنعتها من أشياء

شكل ٢٣-٢: شمبانزي يستخدم أداة، وهي غُصين شجرة معدَّل، لصيد النمل الأبيض. (إهداء من «ويكيميديا كومنز»)

في بيئتها. فالحرب بالأسلحة ليسَت مقصورةً على البشر. ويتمتَّع الشمبانزي وغيره من القردة بالقدرة على حل المشكلات المعقدة، مثل تكديس صناديق للوصول إلى الموز الموجود في أعلى القفص، أو تشكيل العِصِي أدواتٍ لجلب الموز من خارج قضبان القفص، وتظهر هذه المهارات لديها في كلٍّ من البرية والأَسر. وهي لا تفعل ذلك عن طريق التجربة والخطأ، بل عن طريق البصيرة والتخطيط وحل المشكلات، جميعها مهارات كان يُعتقَد في السابق أنها مقصورة على البشر.

جاءت دراسة قرود الشمبانزي في الأَسر مُكمِّلة للاكتشافات عن الرئيسيات في البرية، وأظهرت تلك الأبحاث أن الرئيسيات تمتلك مهارات مذهلة، وذكاء لم يُوثَّق من قبل. أشهر هذه القرود كانت أنثى شمبانزي تُدعى واشو (الشكل ٢٣-٣)، كانت قد أُسِرت في أفريقيا بغرض تجارب عسكرية، لكنها نشأت بعد ذلك كأنها طفل بشري تحت رعاية ألين وبياتريكس جاردنر، من جامعة نيفادا في مدينة رينو. كانت الدراسات السابقة

شكل ٢٣-٣: واشو، الشمبانزي التي تعلمت لغة الإشارة وكسرت حاجز التواصل بين القردة والبشر. (إهداء من «ويكيميديا كومنز»)

التي أُجريت على قردة شمبانزي، لمساعدتها على التواصل أو تطوير القدرة على الكلام قد فشلت، ويرجع ذلك أساسًا إلى أن حنجرة الشمبانزي غير مُهيأةٍ على النحو الملائم للكلام البشري. لكن الشمبانزي لديه أيدٍ ماهرة يمكن أن تشكِّل أشكالًا ورموزًا؛ لذلك حاول الزوجان جاردنر تعليم واشو استخدام لغة الإشارة الأمريكية. قاموا بتربية واشو في مقطورتها الخاصة، كما لو كانت طفلة بشرية، بأريكتها وسريرها وثلاجتها وملابسها وأمشاطها ولعبها وكتبها وفرشاة أسنانها. خضعت واشو لروتين منظم للأطفال يتمثل في اللعب، والأعمال المنزلية، وركوب السيارة، والتفاعل مع الزوجين جاردنر كما لو كانا

والديها. أخيرًا، تعلمت واشو إشارات أكثر من ٣٥٠ كلمة، وكانت تستطيع الإشارة إلى ما تريده أو إلى ما تفكر فيه. عندما جمعت بين إشارتَي «ماء» و«طائر» للإشارة إلى بجعة، كانت أول قرد شمبانزي يُظهِر نوعًا من التفكير المجرد بعض الشيء. قال روجر براون، عالم النفس بجامعة هارفارد، إن مهارات الاتصال الأكثر تقدمًا لديها كانت «مثل الحصول على نداء استغاثة من الفضاء الخارجي». في نهاية المطاف، كانت واشو قادرة على الإشارة لتكوين جمل بسيطة تتكون من ٥ إلى ١٠ كلمات، جميعها تنقل أفكارًا وعواطف معقدة. تدربت موجا رفيقة واشو بنفس الطريقة، وأشارت: «مشروب كأسٍ معدنية» للدلالة على ترمس. بعد خمس سنوات، ترك الزوجان جاردنر العمل، وتولى روجر فوتس وديبورا فوتس رعاية واشو في معهد جامعة أوكلاهوما لدراسات الرئيسيات. هناك لاحظا المزيد من المشاعر البشرية لدى واشو. كان ذلك، على سبيل المثال، عندما حملت إحدى مربياتها وذهبت في إجازة أمومة قبل أن تخسر حملها. وعن ذلك كتب روجر فوتس:

> هي تُعرِض عن هؤلاء الذين يجب أن يكونوا هناك من أجلها ولا تجدهم، وتتجاهلهم؛ فتلك طريقتها في إخبارهم بأنها منزعجة منهم. وبهذه الطريقة، استقبلت واشو كات [راعيتها] عندما عادت أخيرًا للعمل مع الشمبانزي. قدمت كات اعتذارها إلى واشو، ثم قررت إخبارها الحقيقة، وأشارت بعبارة «مات طفلي». حدقت واشو في وجهها، ثم نظرت إلى أسفل. أخيرًا نظرت في عينَي كات مرة أخرى وأشارت بحذر: «بكاء»، ولمست خدها ومرَّت بإصبعها على المسار الذي قد تصنعه دمعة على الإنسان (الشمبانزي لا يذرف الدموع). أشارت كات لاحقًا أن إشارة أخبرتها عن واشو وقدراتها العقلية، أكثر مما أخبرتها جميع جملها الطويلة السليمة نحويًّا.

أظهرت واشو أيضًا علامات تدل على الإدراك الذاتي. عندما رأت نفسها في المرآة وسُئلتْ عما رأت، أشارت: «أنا واشو». كانت جين جودال ترى أن هذا دليل قوي جدًّا على أن واشو لديها إدراك عن نفسها بالمعنى الإنساني. كانت واشو أيضًا مرتبكة إلى حد ما لأنها نشأت كإنسان، وكانت تتصرف تجاه الشمبانزيات الأخرى كما لو كانت تعتقد أنها أيضًا بشر. وعندما أُحضِرَ طلاب «للتحدث» مع واشو، أبطأت إشاراتِها حتى يتمكنوا من مواكبتها.

وليست إنجازات قردة مثل واشو بالفريدة من نوعها. فمن الثدييات «المتكلمة» الشهيرة الأخرى الغوريلا كوكو. وُلدتْ كوكو في حديقة حيوان سان فرانسيسكو، تسبب مرض هدَّد حياتها في العام الأول من حياتها بأخذها بعيدًا عن والديها إلى مستشفى حديقة الحيوان. هناك وُضعت كوكو تحت رعاية فرانسين باترسون من جامعة ستانفورد، والتي عملت معها في مجمع «غوريلا فاونديشن» في وودساید في ولاية كاليفورنيا، بجانب ذكور الغوريلا (الذين تعلموا أيضًا لغة الإشارة). طورت كوكو مفردات وظيفية لأكثر من ١٠٠٠ كلمة في صيغة «لغة إشارة الغوريلا» المعدَّلة الخاصة بها، وتمكَّنَت من الجمع بين الإشارات بطرقٍ جديدةٍ لنقل مفاهيم جديدة. على سبيل المثال، لم يكن لدى كوكو كلمة تعني: «خاتم»؛ لذا جمعت الكلمتَين «إصبع» و«سوار» لوصف الخاتم بأنه «سوار-إصبع». تعلَّمت أيضًا الاستماع إلى الكلمات المنطوقة والتعرُّف عليها باللغة الإنجليزية، وتعلَّمت كوكو في النهاية التعرف على حوالَي ٢٠٠٠ كلمة، بالإضافة إلى تلك التي يمكنها الإشارة بها. استخدمت الإزاحة (القدرة على التواصل بشأن أشياء غير موجودة في الوقت الحالي)، وتعرفت على نفسها في المرآة، وروت ذكريات شخصية. كانت أيضًا قادرة على استخدام مهارات ما فوق اللغة للتحدث عن اللغة؛ فقد أشارت لغوريلا أخرى تبلي بلاءً حسنًا في لغة الإشارة: «إشارة جيدة». كانت لدى كوكو أيضًا قطتها الأليفة الخاصة التي أطلقت عليها اسم «أول بول»، وكانت تهتمُّ بها كما لو كانت غوريلا صغيرة. عندما هربت أول بول من القفص وصدمتها سيارة وقتلتها، أخبرت باترسون كوكو بذلك، وأشارت كوكو: «سيئ، حزين، سيئ»، ثم: «عبوس، بكاء، عبوس، حزين، مشكلة». أصدرت كوكو أيضًا صوتًا مشابهًا للبكاء البشري.

الأرجح أنَّ كوكو لم تستخدم النحو أو قواعد اللغة كما هو مفهوم بشكل عام في الكلام البشري، لكن مهاراتها اللغوية كانت في مثل مستوى مهارات الأطفال الصغار على أقل تقدير. قدَّر بعض العلماء معدل ذكائها بين ٧٠ و٩٠، وهي نتيجة أقل من المتوسط بقليلٍ إذا أُجريَ اختبار الذكاء نفسه لطفل صغير، لكن أدمغة الغوريلا تتطوَّر بشكلٍ مختلف تمامًا عن أدمغة الأطفال، وتعتمد بشكلٍ أكبر على المهارات الحركية، وهي مهاراتٌ مختلفةٌ لدى البشر.

أُجريَ العديد من الدراسات الأخرى على شمبانزي وغوريلا وغيرهما من القرود، مع تباين شاسع للنتائج. بعض الأفراد متعلمون استثنائيون، مثل واشو وكوكو، وآخرون لا يستوعبون نفس القدر من المشاعر الإنسانية، أو القدرة على الإشارة مثل هاتَين الشهيرتَين.

بالرغم من ذلك، توضِّح لنا هذه الدراسات السمات العاطفية والنفسية التي تمتلكها هذه الرئيسيات، وهي سماتٌ كان يُعتقَد في السابق أنها خاصةٌ بالإنسان. لقد نشأ مجال بحثي كامل عن لغة الرئيسيات، ونظرية العقل، والإدراك، وإلى أي مدًى يمكن لأقربائنا غير البشريين أن يتعلموا أن يقوموا بما يمكن للبشر القيام به (خاصة الأطفال). لقد أصبح الحد الفاصل بين «القرود الصاخبة» والبشر الآن غير واضح تمامًا.

ومثلما كتب ستيفن جاي جولد في مقالته «مسألة مدًى»، فإن الاختلافات والفوارق بين البشر والقردة هي مسألة اختلاف في الحجم النسبي والنمو (مسألة درجة وليست مسألة نوع). إننا نستمر في محاولة رسم خط فاصل بين البشر والحيوانات الأخرى، لكن لا يمكننا العثور على أي ميزة بشرية متفردة (الحُصين، استخدام الأدوات، اللغة، التفكير المجرد) لا يزال من الممكن اعتبارها خاصة بالبشر دون غيرهم. يقول:

> لطالما كان الشمبانزي والغوريلا ساحة المعركة في بحثنا عن التفرد؛ لأننا إذا تمكنا من البرهنة على وجود اختلاف لا لبس فيه بيننا وبين أقرب أقربائنا — في الدرجة وليس النوع — فقد نحصل على التبرير الذي طالما سعينا إليه لغطرستنا الكونية. لقد تحولت المعركة منذ فترة طويلة من كونها جدالًا بسيطًا عن التطور؛ فالمتعلمون الآن يقبلون بالاستمرارية التطورية بين البشر والقردة. غير أننا مرتبطون بشدة بتراثنا الفلسفي والديني، حتى إننا لم نزل نبحث عن معيار فاصل بين قدراتنا وقدرات الشمبانزي. لأنه، كما يرد في المزامير: «فمن هو الإنسان حتى تذكره؟ ... وتنقصه قليلًا عن الملائكة، وبمجدٍ وبهاءٍ تُكلِّله». لقد جرَّبنا معايير عديدةً فشلت جميعها واحدًا تلو الآخر. البديل الصادق الوحيد هو الاعتراف باتصالنا الدقيق في النوع بيننا وبين الشمبانزي. وماذا نخسر بذلك؟ لا نخسر سوى مفهوم قديم للروح، لنكسب بدلًا منه رؤية أكثر تواضعًا، وربما أكثر تمجيدًا، تفيد باتحادنا مع الطبيعة.

قراءات إضافية

De Waal, Frans, *Are We Smart Enough to Know How Smart Animals Are?* New York: Norton, 2016.

_____, *The Bonobo and the Atheist: The Search for Humanism Among Primates*, New York: Norton, 2013.

_____, *Mama's Last Hug: Animals Emotions and What they Teach Us About Ourselves*, New York: Norton, 2019.

_____, ed., *Tree of Origin: What Primate Behavior Can Tell Us About Human Evolution*, Cambridge, Mass.: Harvard University Press, 2001.

Fossey, Dian, *Gorillas in the Mist*, New York: Houghton Mifflin, 1983.

Fouts, Roger, with Stephen Tuket Mills, *Next of Kin: What Chimpanzees Have Taught Me About Who We Are*, New York: William Morrow, 1997.

Galdikas, Biruté M. F., *Orangutan Odyssey*, New York: Harry Abrams, 1999.

_____, *Reflections on Eden: My Years with the Orangutans of Borneo*, New York: Little Brown, 1995.

Gardner, R. Allen, Beatrix T. Gardner, and Thomas E. Van Cantfort, eds., *Teaching Sign Language to Chimpanzees*, Albany: State University of New York Press, 1989.

Goodall, Jane, *The Chimpanzees of Gombe: Patterns of Behavior*, Cambridge, Mass.: Belknap Press of the Harvard University Press, 1986.

_____, *40 Years at Gombe*, New York: Stewart, Tabori, and Chang, 1999.

_____, *In the Shadow of Man*, Boston, Mass.: Houghton Mifflin, 1971.

_____, *My Friends the Wild Chimpanzees*, Washington, D.C.: National Geographic, 1967.

_____, *Through a Window: My Thirty Years with the Chimpanzees of Gombe*, Boston, Mass.: Houghton Mifflin, 1990.

Gould, Stephen Jay, "A Matter of Degree," In *Ever Since Darwin* (1979; repr. New York: Norton, 2007), 49–55.

King, Glenn E., *Primate Behavior and Human Origins*, London: Routledge, 2015.

Montgomery, Sy, *Walking with Great Apes: Jane Goodall, Dian Fossey, Biruté Galdikas*, New York: Houghton Mifflin, 1991.

Morell, Virginia, *Ancestral Passions: The Leakey Family and the Quest for Humankind's Beginnings*, New York: Simon & Schuster, 1995.

Mowat, Farley, *Woman in the Mists: The Story of Dian Fossey and the Mountain Gorillas of Africa*, New York: Warner, 1987.

Patterson, Francine, and Eugene Linden, *The Education of Koko*, New York: Holt Rinehart & Winston, 1981.

Shipman, Pat, *The Animal Connection: A New Perspective on What Makes Us Human*, New York: Norton, 2011.

Silvey, Anita, *Undaunted: The Wild Life of Biruté Mary Galdikas and Her Quest to Save Orangutans*, Washington, D.C.: National Geographic, 2019.

الفصل الرابع والعشرون

عظام أسلافنا

السجل الأحفوري للبشر

نحن جميعًا عائلة واحدة، مفكَّكة
أينما تجولنا نحن الرحالة
جوَّالي الوادي المتصدع؛ نتَّجه نحو موطننا جينومًا بجينوم
ألقِ نظرة على جيناتك يا رفيقي وسترى
جميعنا لدينا شهادة ميلاد من كينيا

روي زيمرمان، «جوَّالو الوادي المتصدع»

نحن البشر لدينا فضول لمعرفة أصلنا وموضعنا في الطبيعة. من نحن؟ من أين أتينا؟ ما معنى أن نكون من البشر؟ وقد شكَّل العديدُ من الثقافات أساطير عن الخلق تُفسِّر موضع البشر من الطبيعة ومن الآلهة. لكننا — وقد صرنا أشخاصًا متعلمين في القرن الحادي والعشرين — مهتمون بالأدلة العلمية بشأن كيفية تطورنا وأصلنا.

ازدادت الأدلة على أصل الإنسان بشكل هائل في الخمسين عامًا الماضية، وأصبحت القصة الآن معروفة جيدًا (الشكل ٢٤-١). ولكنها لم تكن دائمًا كذلك. في وقت ما، لم نكن نعرف سوى القليل عن السجل الأحفوري للبشر، ولم تظهر الأدلة من علم الأحياء الجزيئي إلا في الأربعين عامًا الماضية. لكن المشكلة الأكبر هي أن ما يعتقد معظم الناس أنهم «يعرفونه» عن التطور البشري هو ببساطة غير صحيح، ويستند إلى مفاهيم عتيقة

أو مشوهة أو خاطئة. وهذه «الخرافات» تَحُول دون أي فهم جاد أو أي نقاش عن هذا الموضوع. وعلى أية حال، فإنَّ تصور الناس لأفكار قديمة أو خاطئة لا يعني بطلان هذا الكم الهائل من الأدلة على التطور.

شكل ٢٤-١: يؤكد هذا العرض المتحفي للنُّسَخ المطابِقة للأصل لجماجم العديد من الحفريات البشرية؛ على أننا نمتلك الآن سجلًّا أحفوريًّا ممتازًا لتطور الإنسان، حيث يوجد العديد من الحفريات الانتقالية، بدايةً من الحفريات الأشبه بالقردة، إلى تلك التي لا تختلف عن البشر المعاصرين إلا قليلًا. (تصوير المؤلف)

إنَّ التطور، كما ذكرنا في الفصل السابع، شُجيرة وليس سُلمًا. كانت الفكرة القديمة لـ «سُلم الحياة» تضع «الأشكال الدنيا» من الحياة، مثل الإسفنج والشعاب المرجانية في الأسفل، ثم الرخويات، فالأسماك، فالبرمائيات، فالزواحف، فالطيور، فالثدييات، ووضعتْنا نحن البشر في قمة السلم. يعود تاريخ هذه الفكرة الخاطئة إلى أيام أرسطو منذ أكثر من ٢٥٠٠ عام، لكن بطلانها قد ثبت في عام ١٨٥٩ عندما أوضح داروين أن الطبيعة تنتج تاريخًا كثيفًا متفرعًا، أي شجرة عائلة. تشعبت الكائنات الحية من شجرة الحياة في أزمنة مختلفة في الماضي الجيولوجي، تمكَّن بعضها، مثل الشعاب المرجانية البسيطة أو الإسفنج، من البقاء على قيد الحياة، بينما طور البعض الآخر طرقًا أكثر تعقيدًا للعيش.

وصحيح أن الشُّعب المرجانية والإسفنج كائنات بسيطة مقارنةً بغيرها، لكنها ليست «أدنى»، وهي ليست إخفاقات تطورية لم تتقدم في السلم. فهي لا تحاول التطور إلى كائن «أعلى» كالديدان أو الرخويات. وهي بارعة فيما تفعله (وهي تفعله منذ أكثر من ٥٠٠ مليون سنة)، ثم إنها تنتفع من مواضعها الخاصة في الطبيعة، وما من سبب يدفعها إلى التغير إلى شيء مختلف.

كان العلماء قبل زمن داروين يطلقون على سلم الحياة «سلسلة الوجود العظمى»، واقترحوا الفكرة السخيفة البالية المتمثلة في وجود «حلقة مفقودة» في هذه السلسلة. إن مفهوم الحلقة المفقودة بأكمله لا معنى له من الناحية البيولوجية، وليس هناك أي عالم يستخدم هذا المصطلح. إنما يستخدمه مَن لا يفهمون كيفية عمل التطور. إن مفهوم الحلقات المفقودة في التطور البشري قديم وعديم الفائدة. وقد صار لدينا الآن الآلاف من الحفريات البشرية، التي تقدم لنا سجلًّا شبه مكتمل، وليس به سوى فجواتٍ صغيرةٍ فحسب، وهو ما يكفي وزيادة لإثبات أن البشر قد تطوروا.

وعلى الرغم من ذلك، لا تزال هذه النظرة العتيقة للحياة، والمرفوضة منذ زمن طويل، متمثلةً في وجود سلم للخلق أو سلسلة الوجود العظمى، مصدرًا للكثير من المفاهيم المغلوطة عن علم الأحياء والتطور. لا يزال من الشائع مثلًا أن يتردد هذا السؤال: «إذا كان البشر قد تطوروا من القردة، فلماذا لا تزال القردة موجودة؟» يحار العلماء عندما يسمعون هذا السؤال للمرة الأولى؛ لأنه سؤال غير منطقي على الإطلاق، ثم يدركون أن هذا الشخص يؤمن بمفاهيم قد تخلى عنها العلماء منذ أكثر من ١٦٠ عامًا. فنحن نعلم الآن أن الطبيعة تنتج مجموعة من العلاقات التي تتفرع فيها السلالات وتتنوَّع، مما يشكِّل نمطًا أشبه بالشُّجيرة، حيث تحيا سلالات الأجداد أحيانًا بجانب أحفادها (انظر الشكل ٧-١). وقد كان للإنسان والقردة سلف مشترك منذ حوالي سبعة ملايين سنة (بناءً على أدلة من الحفريات وعلم الأحياء الجزيئي)، وكلتا السلالتين مستمرة منذ ذلك الحين. إن قول «إذا كان البشر قد تطوروا من القردة، فلماذا لا تزال القردة موجودة؟» مماثل للقول: «إذا كنت من نسل والدك، فلماذا لم يمت والدك عندما ولدت؟ لماذا لم يمت جدك عندما وُلد والدك؟» نحن نفهم جميعًا أن الأطفال يتفرعون من والدَيهم، ويتداخلون معهم في الزمن، لكن والدَينا لا يموتان تلقائيًّا عندما نولَد. وبالمثل، تشعبت شجرة العائلة البشرية من سلفنا المشترك مع بقية القردة الحية منذ حوالي سبعة ملايين سنة، لكن كلا الفرعين لا يزالان موجودين.

وعلى هذا المنوال نفسه، نجد أنَّ النزعة إلى وضع الأشياء في ترتيب خطي بسيط من المجازات الشائعة للتطور، وهو أحد أكبر تحريفات النظرية. فالصورة الأيقونية الكلاسيكية للتطور هي «مسيرة التقدم من سعدان إلى قرد إلى إنسان»، والتي تمثل سلسلة من الكائنات التي تصعد سلم التطور (انظر الشكل ١٢-٢). إن هذه الصورة الأيقونية للتطور مألوفة للغاية، وهي محطُّ السخرية دومًا في الرسوم الكاريكاتورية السياسية وفي الإعلانات. ذلك أنَّ معظم الناس يعتقدون أنها تعبر عن التمثيل الدقيق للتطور البشري، لكن ذلك غير صحيح. فالتطور ينتج شجرة حياة كثيفة متفرعة، وليس سلمًا بسيطًا مستقيمًا!

في الأيام الأولى لعلم الأنثروبولوجيا، كان العلماء مقتنعين بأن أهم ما يجعلنا بشرًا هو دماغنا الكبير على نحو استثنائي، والذي يمكِّننا من القيام بمهام معقدة، وتشكيل المجتمعات، واستخدام اللغة. ولأنهم كانوا يعتقدون أن هذا ما يجعل البشر مميزين؛ افترض علماء الأنثروبولوجيا أن دماغنا الأكبر ظهر قبل أيٍّ من صفاتنا الأخرى، بما في ذلك الوضعية الثنائية القدم، وقدرتنا على المشي والجري، على عكس معظم الثدييات (بما في ذلك الشمبانزي والغوريلا)، التي كانت تمشي على جميع أطرافها الأربعة. وقد ترسَّخ هذا المبدأ بعمق، حتى إنَّ علماء الأنثروبولوجيا كانوا يرفضون الحفريات التي توضح أن البشر كانوا يسيرون على قدمين منذ وقت مبكر جدًّا، قبل امتلاكهم لأدمغة كبيرة بزمن طويل.

إن أول حفرية بشرية قديمة حقًّا عُثِر عليها، هي جمجمة «طفل تونج» الشهيرة للقرد الجنوبي الأفريقي، التي اكتشفها رايموند دارت في جنوب أفريقيا عام ١٩٢٤ (الشكل ٢٤-٢). كان ثقب العمود الفقري (الثقبة العظمى) يقع أسفل مركز الجمجمة مباشرة، وهو دليل واضح على أنه كان يسير منتصبًا على قدمين. على الرغم من ذلك، كان لديه دماغ صغير. رفض العلماء الأوروبيون هذه الحفرية كأحد أقرباء البشر لعقود من الزمن؛ لأنهم شعروا أن حجم الدماغ يجب أن يزداد قبل أن يسير الإنسان على قدمَين، أو تتطور لديه أي صفات متقدمة أخرى. كان هناك أيضًا تحيزٌ عنصريٌّ بين العلماء الأوروبيين لفكرة أن البشر الأوائل نشئوا في أوراسيا، وليس في قارة أفريقيا الداكنة، حيث الناس لديهم بشرة سوداء. في المقابل، اعتقد داروين أن البشر نشئوا في أفريقيا لسبب بسيط، وهو أن أقرب أقربائنا، الشمبانزي والغوريلا، يعيشون هناك.

خُدِع العلماء أيضًا بحفرية «إنسان بلتداون»، وهي حفرية مزيَّفة أُعلنَ عنها لأول مرة في عام ١٩١٢. جُمِّعت هذه الحفرية معًا من جمجمة إنسان حديث وفك أورانجوتان كُسِر

شكل ٢٤-٢: جمجمة طفل تونج من جنوب أفريقيا، التي وصفها رايموند دارت عام ١٩٢٤. العينة هي طفل للقرد الجنوبي الأفريقي، بوجه كامل وقالب طبيعي لدماغه أيضًا. كانت هذه الجمجمة أول حفرية مبكرة من البشرانيات عُثِر عليها خارج أوراسيا، وتحدَّت المفهوم السائد بأن البشر قد تطوروا في أوراسيا، وليس في أفريقيا. رفض معظم العلماء الأوروبيين طفل تونج في البداية لأنه كان يمتلك دماغًا صغيرًا، ومن الواضح أنه كان يسير على قدمين رغم ذلك. لكن عقودًا من الاكتشافات الإضافية في أفريقيا أثبتت أن دارت كان على حق وأن الآخرين كانوا على خطأ؛ فمعظم التطور البشري المبكر قد حدث في أفريقيا. (إهداء من «ويكيميديا كومنز»)

بمهارة في الأماكن الصحيحة، وصُبِغ ليبدو قديمًا. كان المزوِّر (عالم الآثار الهاوي تشارلز داوسون، وربما بعض المتواطئين معه) يعرف بالضبط ما كان علماء الأنثروبولوجيا البريطانيون يتوقعونه، فاستخدم جمجمة بشرية من العصور الوسطى لها دماغ كبير وفك أورانجوتان حديث؛ ليجعل الأمر يبدو مقبولًا لعلماء الأنثروبولوجيا آنذاك. كانت هذه الحفرية مصدر فخر للمؤسسة الأنثروبولوجية البريطانية لسنوات، وغالبًا ما كان يوصَف

بفخر بأنه «أول بريطاني». كُشِف زيف حفرية إنسان بلتداون في عام ١٩٥٣، مع ظهور المزيد والمزيد من الاكتشافات من أفريقيا، والتي اتضح منها أن البشر قد تطوروا هناك في البداية؛ ومن ثَم لم تعُد «حفرية» بلتداون منطقية. وعندما حلَّل العلماء الحفرية بعناية، وجدوا أدلةً على التزوير.

منذ خمسينيات القرن الماضي، اكتُشِف معظم الحفريات الأقدم لأقرباء البشر في أفريقيا، وكانوا جميعًا يسيرون على قدمَين، ويرجع تاريخ أقدم هذه الحفريات من ستة إلى سبعة ملايين سنة. لقد كان المشي على قدمَين من أول السمات البشرية التي تطورت لدى أسلافنا. أما سعة دماغنا الكبير، فلم تظهر إلا منذ فترة تتراوح بين ١٠٠ ألف و٣٠٠ ألف سنة على أقرب تقدير؛ لذا كانت الأدمغة الكبيرة سمةً متأخرةً جدًّا في تطوُّر الإنسان.

ربما يعود السبب جزئيًّا في أنَّ علماء الأنثروبولوجيا ظلوا مقتنعين لعقودٍ بأن نوعًا واحدًا فقط من البشر كان يعيش على الكوكب؛ إلى الفكرة الخاطئة السابقة عن «مسيرة التقدم» الخطية عبر الزمن. لقد نظروا إلى انتشار الإنسان العاقل في وقتنا الحالي في جميع أنحاء العالم كنوع واحد، ولم يتخيلوا أن أسلافنا استطاعوا تحمل نوع آخر من البشر في نفس المكان والزمان. إذن فخرافة «مسيرة التقدم» الخطية تدعم فكرة أن نوعًا واحدًا فقط من البشر كان موجودًا في أي لحظة زمنية. وقد بذل علماء الحفريات البشرية جهدًا استثنائيًّا لجمع كل الحفريات التي كانوا يجدونها في نوع واحد، ولكن بحلول الستينيات والسبعينيات من القرن الماضي، بدا من الواضح أن العديد من الحفريات المحفوظة جيدًا من الصخور في جنوب وشرق أفريقيا ينتمي إلى أنواعٍ مختلفة، فلم تعُد هذه الفكرة متماسكة.

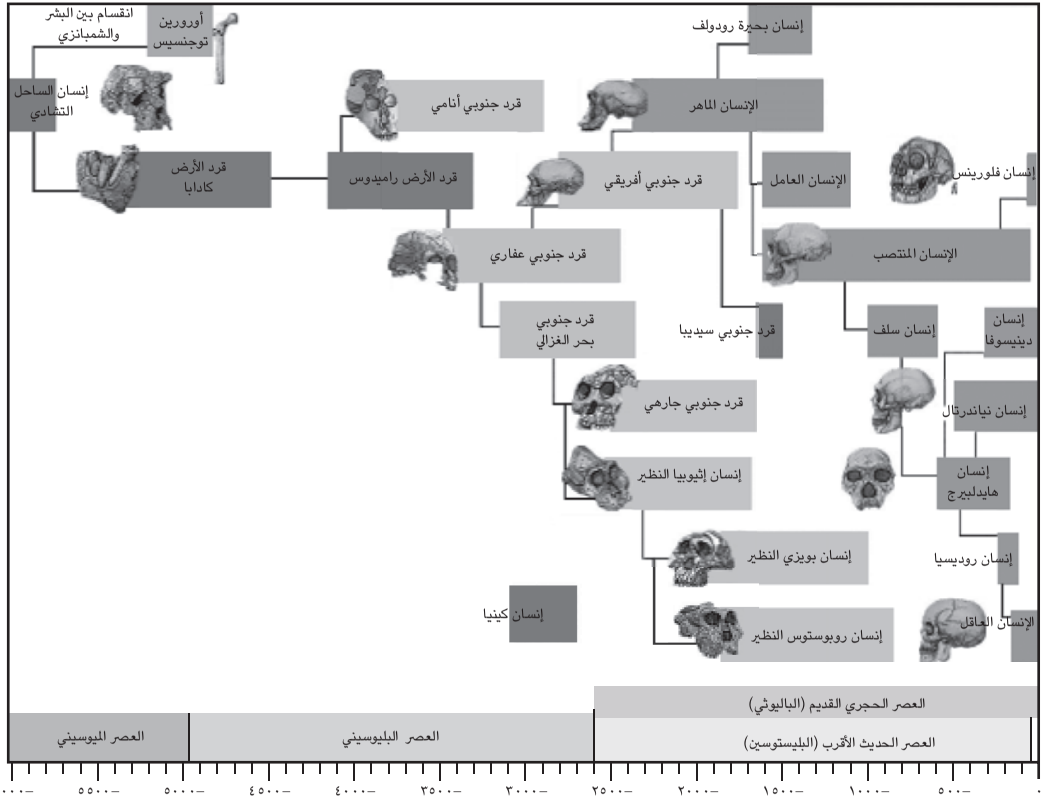
ومن أمثلة جهودهم غير الموفَّقة أن هؤلاء العلماء قد أشاروا إلى الاختلافات المذهلة بين جماجم الغوريلا من ذكورٍ وإناث، وذهبوا إلى أن حفريات القرد الجنوبي النحيل والقرد الجنوبي المتين، هي حفريات لذكور وإناث من نفس النوع. في نهاية المطاف، وبعد العثور على أنواع مختلفة من الجماجم والفكوك (وليس اثنَين فحسب، كما هو متوقع في حالة الذكور والإناث) في الطبقات نفسها، وجميعها من نفس العمر ومن نفس المكان، صار التمسك بهذه الفكرة أكثر من ذلك مستحيلًا. إضافة إلى ذلك، بدأ علماء الحفريات البشرية يدركون أن التطور عملية متفرعة، كثيفة، وأن التسلسل الخطي المُبسَّط للحفريات لا يُمثِّل تعقيد القصة الحقيقية. لقد عثر العلماء في السجل الأحفوري على عشرات الأنواع من أقرباء البشر (البشرانيات، أحد أفراد فصيلتنا الفرعية البشرانوية)،

وأحيانًا كانوا يكتشفون ما يصل إلى أربعة من هذه الأنواع أو خمسة تعيش في نفس المكان. لقد أصبحت البيانات الأحفورية الآن ثريةً للغاية بما لا يدع مجالًا لإنكارها.

إنَّ السجل الأحفوري للبشر لم يعُد بالفقر الذي كان عليه قبل ٤٠ عامًا، وإن كان معظم الناس لا يدركون ذلك. لقد أدى العمل الشاق الذي قام به مئات العلماء في هذا المجال إلى اكتشاف الآلاف من حفريات البشرانيات (انظر الشكل ٢٤-١)، بما في ذلك عدد قليل من الهياكل العظمية الكاملة إلى حدٍّ كبير، والعديد من الجماجم المحفوظة جيدًا، والتي تُظهِر لنا بوضوحٍ كيفية تطور البشر على مدى سبعة ملايين سنة. لقد حدث هذا الفيض من الاكتشافات الجديدة عامًا بعد عام، على الرغم من أن حفريات البشرانيات رقيقة ونادرة، وتوجد واحدة أو اثنتان منها فقط مقابل مائة أو أكثر من حفريات الخنازير أو الخيول الموجودة في نفس الآدام في شرق أفريقيا. إنَّ العديد من المتاحف في أفريقيا وأوروبا وآسيا يضمُّ الآن مجموعاتٍ كبيرةً من حفريات أسلافنا الأوائل متوفرة للعلماء ليدرسوها.

إن القصة الكاملة للتطور البشري طويلة للغاية، وتتكون من العديد من التفاصيل بحيث لا يمكن مناقشتها في فصل واحد؛ ولهذا سأكتفي بتوضيح النقاط البارزة. تتمثل النسخة المقتضبة فيما يلي: نعرف الآن بوجود العشرات من الأنواع والأجناس البشرية، وهي تُشكِّل شجرة عائلة كثيفة للغاية تمتد لما يقرب من سبعة ملايين سنة من التطور البشري، حدث معظمه في أفريقيا (الشكل ٢٤-٣). ولا تزال التفاصيل الدقيقة لكيفية تسمية كل هذه الحفريات، وصِلتها بعضها ببعض دائمًا عرضة للتنقيح والمناقشة؛ لأن العديد من العينات غير مكتمل، وبسبب العثور على اكتشافات جديدة بوتيرة مذهلة.

أقدم حفرية يمكن أن توصف حقًّا على أنها عضو في فصيلتنا الفرعية، اكتُشِفت ووُصِفت منذ حوالَي ١٥ عامًا. أطلق عليها مكتشفوها اسم «توماي»، واسمها العلمي الرسمي هو إنسان الساحل التشادي. أفضل عينة منها هي جمجمة شبه مكتملة (الشكل ٢٤-٤(أ)) من صخور يعود عمرها لفترة تتراوح بين ستة وسبعة ملايين سنة، وتقع بمنطقة ساحل جنوب الصحراء في تشاد (ومن هنا جاء الاسم العلمي Sahelanthropus tchadensis، الذي يُترجَم إلى «إنسان الساحل التشادي»). تتشابه هذه الجمجمة للغاية مع جمجمة الشمبانزي، بحجمها الصغير ودماغها الصغير والأقواس الحاجبية الكبيرة، لكنها تتميز بملامح إنسانية واضحة؛ وجه مسطح، وأنياب مُصغَّرة، وأسنان خدية متضخمة، مع تآكل شديد في التاج، ووضعية منتصبة، وكل هذا في بداية التطور البشري.



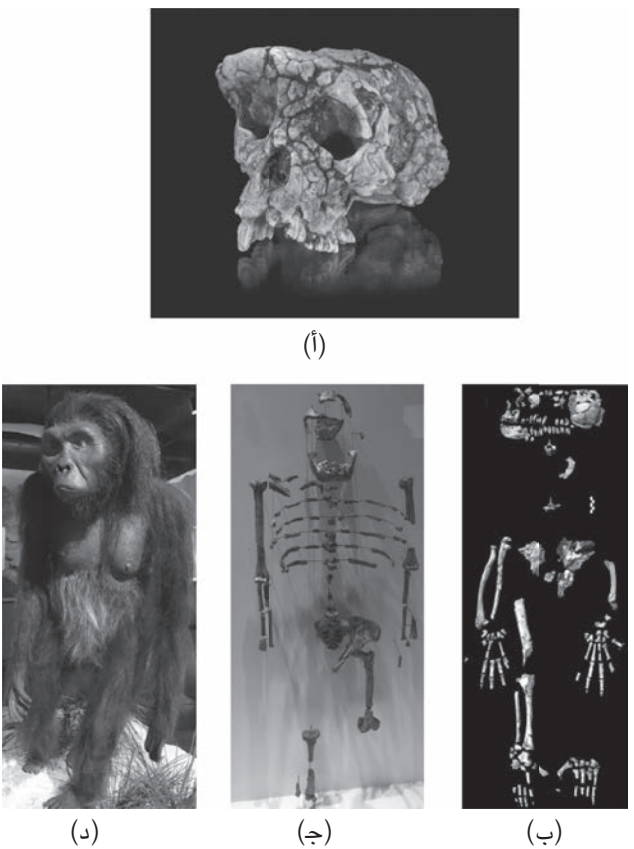
شكل ٢٤-٣: شجرة العائلة الحالية لعشرات الأنواع والأجناس المختلفة للحفريات البشرية المعروفة الآن. لا تزال العلاقات الدقيقة بين السلالات خلافية، لكن وجود كل هذه الأنواع المختلفة ونطاقها الزمني موثَّقان جيدًا.

الأحدث منها بقليل هي حفرية أورورين توجنسيس، المكتشَفة بتكوين لوكينو من الميوسين العلوي في تلال توجن في كينيا، ويرجع تاريخها إلى ما بين ٥,٧٢ و٥,٨٨ ملايين سنة. يُعرَف أورورين بشكل أساسي من بقايا متشظية، لكن الأسنان تتسم بالمينا السميك المميز للبشرانيات الأولى، وتُظهِر عظام الفخذ بوضوح أنه كان يسير في وضع مستقيم. والأحدث منها بقليل هي بقايا قرد الأرض كادابا، التي عُثِر عليها في الصخور الإثيوبية، ويعود تاريخها إلى ما بين ٥,٢ و٥,٨ ملايين سنة، وتتألف من عدد من الحفريات المتشظية. تُظهِر عظام القدم أن البشرانيات اعتمدت على «إصبع القدم» في المشي المنتصب منذ ٥,٢ ملايين سنة. وبناءً على هذا، فإن سلالتنا البشرية كانت قد ترسَّخت جيدًا في العصر الميوسيني الأحدث، وانتصبت وضعية جسدها، على الرغم من أن أدمغتنا كانت لا تزال صغيرة، وحجم أجسادنا كان لا يختلف كثيرًا عن حجم أجساد القردة المعاصرة.

شهد العصر البليوسيني تنوعًا أكبر في البشرانيات (انظر الشكل ٢٤-٣)؛ إذ تداخَل عدد من الأنواع القديمة، وتشعبت البشرانيات الأكثر تقدمًا. ومن الآثار القديمة للعصر الميوسيني قرد الأرض راميدوس، الذي اكتُشِف في إثيوبيا في عام ١٩٩٢ في صخور يبلغ عمرها ٤,٤ ملايين سنة، والذي كانت لديه أنياب مُصغَّرة شبيهة بأنياب الإنسان، وفك سفلي على شكل حرف U (بدلًا من الفك السفلي للقردة الذي يتخذ شكل الحرف V). يُعرَف قرد الأرض راميدوس الآن من هيكل شبه كامل (الشكل ٢٤-٤(ب))، مما يجعله أقدم هيكل عظمي معروف للبشرانيات. وتقدِّم صخور كينيا التي يُقدَّر عمرها بحوالي ٣,٥ ملايين سنة أشكالًا أخرى أكثر بدائية، ومنها إنسان كينيا.

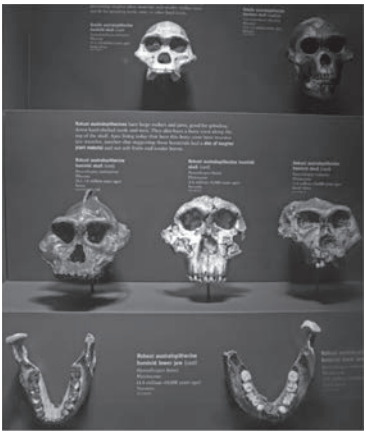
وقبل ٤,٢ ملايين سنة، يمكننا أيضًا العثور على أول أفراد جنس القردة الجنوبية المتقدم، وهو الجنس الأكثر تنوعًا في فصيلتنا خلال العصر البليوسيني. أقدم هذه الحفريات هو القرد الجنوبي الأنامي المكتشَف في الصخور الموجودة بالقرب من بحيرة توركانا في كينيا، ويتراوح عمره بين ٣,٩ إلى ٤,٢ ملايين سنة. كان القرد الجنوبي يسير على قدمين بالكامل، ولا يتضح هذا من خلال عظامه فحسب، بل من خلال مسارات البشرانيات أيضًا بالقرب من ليتولي، تنزانيا. في عام ٢٠١٩، أعلن العلماء عن اكتشاف جمجمة كاملة لهذا النوع لأول مرة، فأصبحنا نفهم تشريحه وعلاقاته بشكل أفضل. أشهر هذه القردة الجنوبية المبكرة هو القرد الجنوبي العفاري (من صخور عمرها ٢,٩٥ إلى ٣,٨٥ ملايين سنة بالقرب من هادار في إثيوبيا)، والمعروف باسم «لوسي» كما أسماه مكتشفه دون جوهانسون. ففي أثناء احتفال فريق جوهانسون على نيران

المخيم في الليلة التي أعقبت الاكتشاف، غنَّوا مع شريط تسجيلي لأغنية البيتلز «لوسي في السماء مع الماس». ثم اقترحت عضو الفريق، بام ألدرمان، تسمية الحفرية لوسي (الشكل ٢٤-٤(جـ)؛ الشكل ٢٤-٤(د)). كان اكتشاف القرد الجنوبي في عام ١٩٧٤، أول اكتشاف من حفريات البشرانيات تتضح فيه الوضعية الثنائية القدمين (بناءً على مفصل الركبة وعظام الحوض)، لكنه لم يكن منتصبًا كالبشرانيات اللاحقة. كانت لا تزال كائنات صغيرة (يبلغ طولها حوالي متر واحد [ثلاث أقدام]) ولها أدمغة صغيرة، وتشبه القردة بأنيابها الكبيرة وفكها البارز الضخم.



(أ)

(ب) (جـ) (د)



(هـ)

شكل ٢٤-٤: بعض من أفضل حفريات البشرانيات الأوائل. (أ) جمجمة إنسان الساحل التشادي الملقَّبة بـ «توماي»، أقدم عضو معروف في سلالتنا، ينتمي إلى طبقات يتراوح عمرها من ستة إلى سبعة ملايين سنة في تشاد. (ب) الهيكل العظمي شبه الكامل لقرد الأرض راميدوس، أقدم حفرية بشرانية معروفة من هيكل عظمي مكتمل كهذا، وُجدت في صخور يبلغ عمرها ٤,٤ ملايين سنة، وتقع في إثيوبيا. (ج) هيكل عظمي جزئي لقرد جنوبي عفاري من طبقات يتراوح عمرها بين ٢,٩٥ و٣,٨٥ ملايين سنة توجد في إثيوبيا، أُطلق عليه مكتشفه دون جوهانسون لقب «لوسي». (د) إعادة تصور لـ «لوسي» التي كان طولها حوالي متر واحد فقط (ثلاث أقدام)، ولكنها كانت تسير بالكامل على قدمين. ([أ] إهداء من «ويكيميديا كومنز»؛ [ب] بتصريح من تيم وايت؛ [ج، د] صور المؤلف)؛ (هـ) عرض متحفي يُظهِر المقارنة بين القردة الجنوبية والأناسي النظير. في الجزء العلوي توجد جماجم للقرد الجنوبي الأفريقي النحيل. في الصف الأوسط توجد جماجم لثلاثة أنواع من الأناسي النظير تُظهِر مدى قوتها ومتانتها مقارنةً بالقردة الجنوبية. على اليسار توجد «الجمجمة السوداء» من طبقات يبلغ عمرها ٢,٥ مليون سنة من ضفاف بحيرة توركانا، وهي تنتمي لإنسان إثيوبيا، أقدم عضو في جنس أناسي النظير. توجد في الوسط نسخة طبق الأصل من عينة ليكي الشهيرة من إنسان بويزي النظير، والتي تسمَّى «إنسان كسَّارة البندق»؛ نظرًا لفكَّيه القويين، وأضراسه الضخمة ذات المينا السميك (انظر الفكَّين في الصف السفلي). عُثِر عليه في طبقات عمرها من ١,٩ إلى ٢,٣ مليون سنة في أولدوفاي جورج في تنزانيا. على اليمين يوجد أول نوعٍ جرى تسميته من هذا الجنس؛ إنسان روبوستوس النظير. يوجد في الصف السفلي الفكان السفليان من الأناسي النظير، تتضح فيهما الأضراس العريضة الهائلة التي تكيَّفت لسحق الطعام، وهي مختلفة تمامًا عن أضراس القردة الجنوبية. ([هـ] بتصريح من بريدجيت ماكجان.)

بحلول أواخر العصر البليوسيني، زاد تنوع البشرانيات في أفريقيا بدرجة كبيرة (انظر الشكل ٢٤-٣). لم يقتصر ذلك على الأشكال البدائية مثل القرد الجنوبي جارهي (الذي كان يوجد قبل ٢٫٥ مليون سنة)، والقرد الجنوبي بحر الغزالي (كان يوجد قبل ٣٫٥ ملايين سنة) وحسب، بل تضمن أيضًا أحد أشهر القردة الجنوبية؛ القرد الجنوبي الأفريقي (انظر الشكل ٢٤-٢). وُصِف القرد الجنوبي الأفريقي في الأصل على يد رايموند دارت في عام ١٩٢٤، لكن المجتمع الأنثروبولوجي الذي يتسم بالمركزية الأوروبية ظل على مدار عقود من الزمن يرفض أنه سلف للبشر. بالرغم من ذلك، فمع اكتشاف عالم الحفريات روبرت بروم وغيره من العلماء لعينات أفضل في المزيد من الكهوف في جنوب أفريقيا (بالأخص الجمجمة البالغة الملقبة «السيدة بليس»)، أصبح من الواضح أن القرد الجنوبي الأفريقي كان من البشرانيات الأفريقية السائرة على قدمين التي لها أدمغة صغيرة، ولم يكن قردًا. كان القرد الجنوبي الأفريقي نحيلًا وصغيرًا إلى حد ما، وله فك رقيق، وأسنان خدية صغيرة، ولا يمتلك عرفًا سهميًّا، ويبلغ حجم دماغه ٤٥٠سم مكعبًا فقط. بناءً على سماته النحيلة والشبيهة بالإنسان، غالبًا ما يُعتبر القرد الجنوبي الأفريقي أفضل مُرشَّح لأن يكون هو سلف جنسنا البشراني، أو جنس هومو.

إضافة إلى القرد الجنوبي الأفريقي، قدَّم لنا العصر البليوسيني المتأخر في أفريقيا عددًا من البشرانيات الشديدة القوة. وعلى مدار فترة طويلة، جُمِعتْ كلها معًا ضمن مفهوم شامل جدًّا لجنس القردة الجنوبية، إما كأنواع متمايزة أو حتى بصفتها الذكور القوية من القردة الجنوبية الأفريقية. لكن في السنوات الأخيرة، اعتبر علماء الأنثروبولوجيا أنَّ القردة الجنوبية الأفريقية سلالةٌ منفصلة، وُضعت الآن في جنس الأناسي النظير. أقدمها حفرية «الجمجمة السوداء» (ترجع التسمية إلى اللون الأسود للعظام)، التي اكتُشفت عام ١٩٧٥ على شواطئ بحيرة ويست ليك توركانا في كينيا من صخور يبلغ عمرها حوالي ٢٫٥ مليون سنة (الشكل ٢٤-٤(هـ))، ووصفها صديقي الراحل آلان ووكر. على الرغم من صغر حجم الدماغ، فإن الجمجمة قوية، وبها حافة عظمية كبيرة توجد في الجزء العلوي بمنتصف الجمجمة (تُسمَّى العرف السهمي)، وأضراس ضخمة، ووجه مقعَّر على شكل طبق. حاليًّا، يعتبر العلماء الجمجمة السوداء أول عضو في جنس الأناسي النظير، نوع إنسان إثيوبيا. يتْبعه أقوى أنواع البشرانيات، إنسان بويزي النظير، من صخور شرق أفريقيا التي تتراوح أعمارها بين ٢٫٣ و١٫٢ مليون سنة (الشكل ٢٤-٤(هـ)). أُطلقَ على العينة الأولى التي عُثِر عليها من هذا النوع «إنسان كسَّارة البندق»؛ بسبب أضراسه الضخمة

ذات المينا السميك، والفكين المتينين، وعظام الوجنتين العريضة، والعرف السهمي القوي على قمة رأسه، مما دلَّ على أنه كان يعتمد في غذائه على الجوز أو البذور أو حتى تكسير العظام. كانت ماري ليكي هي التي اكتشفته في أولدوفاي جورج في عام ١٩٥٩، وقد أطلق عليه لويس ليكي اسم «زينجانثروبوس بويزي»، وهو الذي أكسب ليكي سمعته. أسفرت صخور جنوب أفريقيا، التي يتراوح عمرها بين ١,٦ و١,٩ مليون سنة، عن النوع النموذجي لجنس الأناسي النظير، إنسان روبوستوس النظير (شكل ٢٤-٤(هـ)). كان هذا النوع أيضًا يمتلك فكين ضخمين وأضراسًا كبيرة وعرفًا سهميًّا كبيرًا، لكنه لم يكن في مثل قوة إنسان بويزي النظير. عاش إنسان روبوستوس النظير بجانب القرد الجنوبي الأفريقي في الكهوف نفسها بجنوب أفريقيا. وهو لم يكن أقوى من القرد الجنوبي الأفريقي فحسب، بل أكبر منه أيضًا؛ إذ وصل وزن بعض أفراده إلى ١٢٠ رطلًا.

وأخيرًا، يقدم لنا العصر البليستوسيني المبكر الحفريات الأولى لجنسنا البشري، والتي يمكن تمييزها بسهولة عن القردة الجنوبية والأناسي النظير المعاصرة من خلال دماغها الأكبر، والوجه المسطح، وعدم وجود عرف سهمي، وصغر حجم الأقواس الحاجبية والأسنان الخدية، والأنياب. أول ما وُصِف من هذه الحفريات هو الإنسان الماهر (باللاتينية هومو هابيليس، الذي يعني حرفيًّا «إنسان بارع في الحِرَف»)، وقد اكتشفه لويس وماري ليكي في الستينيات من القرن الماضي في أولدوفاي جورج في تنزانيا، من طبقات يبلغ عمرها حوالي ١,٧٥ مليون سنة (الشكل ٢٤-٥(أ)).

كانت جميع العينات المبكرة لحفريات جنس «الإنسان» تُصنَّف ضمن نوع «الإنسان الماهر» في البداية، لكن علماء الحفريات البشرية أصبحوا يدركون الآن أن هذه العينات غايةٌ في التنوع؛ فلا يمكن أن تنتمي إلى نوعٍ واحد، وقد صار العديد منها مميَّزًا في نوعٍ مستقل. من هذه العينات، الجمجمة ذات المظهر الأكثر تقدمًا (شكل ٢٤-٥(أ)) المعروفة الآن باسم إنسان بحيرة رودولف (يُقدَّر عمره بحوالَي ١,٩ مليون سنة)، والتي تسببت في شهرة ريتشارد ليكي، والإنسان العامل المتقدم جدًّا، وإن كان قصير العمر (الشكل ٢٤-٥(ب))، وهو من طبقات عمرها من ١,٦ إلى ١,٨ مليون سنة. إنَّ هذه الأنواع لم تُعرَف من العظام فحسب، بل من أدواتها الحجرية البدائية أيضًا، لا سيما القواطع والفئوس اليدوية التي تميز التكنولوجيا الأولدوانية.

استمر العديد من أصنوفات العصر البليوسيني القديم حتى العصر الجليدي المبكر (منذ ١,٦ مليون سنة)، بما في ذلك إنسان روبوستوس النظير، وإنسان بويزي النظير،

(أ)

(ب)

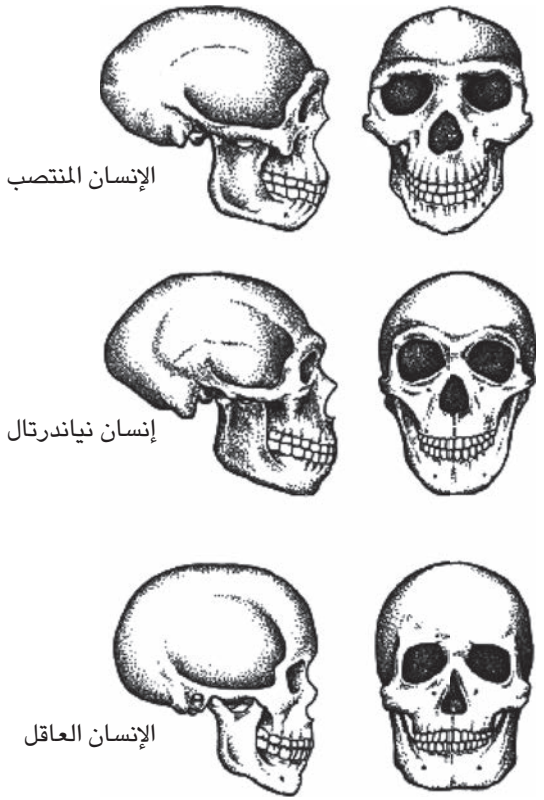
شكل ٢٤-٥: حفريات أقدم أعضاء جنس الإنسان؛ «هومو». (أ) مقارنة بين جماجم «إنسان بحيرة رودولف» (على اليسار)، و«الإنسان الماهر» (على اليمين)، وهما أقدم الأنواع في جنسنا. (ب) الهيكل العظمي شبه الكامل لنوع «الإنسان العامل»، المعروف باسم «صبي ناريوكوتوم»، الذي عثر عليه آلان ووكر وفريقه على شواطئ غرب توركانا في عام ١٩٨٤. يعود تاريخه إلى حوالي ١,٧ مليون سنة. (تصوير المؤلف)

والإنسان العامل، والإنسان الماهر. أشهر حفرية للإنسان العامل هي هيكل عظمي شبه مكتمل لطفل تُوفي عندما كان عمره ثماني أو تسع سنوات، عثر عليه آلان ووكر وطاقمه

على شواطئ بحيرة ويست ليك توركانا في عام ١٩٨٤. لُقِّبت الحفرية بـ «صبي ناريوكوتوم» (الشكل ٢٤-٥(ب))، ويُقدَّر أنَّ طوله كان يمكن أن يصل إلى مترين (ست أقدام وخمس بوصات) إذا كان قد أكمل نموه.

قبل ١,٩ مليون سنة، ظهر نوع جديد؛ «الإنسان المنتصب» (شكل ٢٤-٦). لم يكن هذا الإنسان يسير على قدمين ويقف منتصبًا وحسب (كما يدل اسم نوعه)، بل كان جسده كبيرًا أيضًا، في حجم جسدنا تقريبًا. وبلغت سعة دماغه لترًا واحدًا تقريبًا (ألف سم مكعب)، أي أقل بقليل من دماغنا. صنع الإنسان المنتصب قواطع بسيطة وفئوسًا يدوية (أدوات «الثقافة الأشولية»)، وكان هو أول مَن صنع النار واستخدمها. كان وجود الإنسان المنتصب مقتصرًا في البداية على أفريقيا، حيث عاش جميع أسلافنا الآخرين لفترة طويلة. ولكننا نمتلك أدلة على أن الإنسان المنتصب هاجر خارج وطننا الأفريقي منذ حوالي ١,٨ مليون سنة؛ إذ وجد العلماء عينات في إندونيسيا (وُصِفت في الأصل باسم «الإنسان القرد المستقيم» أو «رَجل جاوة»)، وأرجعوا تاريخها إلى ذلك العصر. إضافةً إلى ذلك، توجد عينات من العصر نفسه تقريبًا، قد اكتُشفتْ في أماكن أخرى في أوراسيا، مثل رومانيا وجمهورية جورجيا. ولدينا حفريات وفيرة تعود للإنسان المنتصب، يعود تاريخها إلى ما قبل ٥٠٠ ألف عام تقريبًا، وُجدتْ في أجزاء كثيرة من أوراسيا، بما في ذلك العينات الشهيرة من الكهوف الصينية في تشوكوديان، والتي كانت تُسمَّى في الأصل «رجل بكين»، ويرجع تاريخها إلى ٤٦٠ ألف عام. يُرجِّح التأريخ الأخير إلى أن الإنسان المنتصب ربما ظل موجودًا إلى ما قبل ٧٤ ألف عام تقريبًا، وأن وجوده قد تداخل مع وجود «الإنسان العاقل» الحديث. لم يكن الإنسان المنتصب أول أنواع البشرانيات التي انتشرت على نطاق واسع وحسب، بل كان أيضًا أحد أكثر الأنواع نجاحًا وأطولها عمرًا، حيث استمر لأكثر من ١,٨ مليون سنة، امتدَّت في الفترة ما بين ١,٩ مليون سنة مضت و٠.٠٧٣ مليون سنة مضت. خلال معظم تلك الفترة الطويلة، كان هو النوع الوحيد من جنس الإنسان على هذا الكوكب، ولم يتغيَّر كثيرًا فيما يتعلق بحجم الدماغ أو نِسَب الجسد. إذا كان طول العمر مقياسًا للنجاح، يمكن القول إن الإنسان المنتصب كان أكثر نجاحًا منا.

قبل حوالي ٤٠٠ ألف عام، تأكَّد العلماء من وجود نوع آخر في أوروبا الغربية والشرق الأدنى؛ إنسان نياندرتال (انظر الشكل ٢٤-٣؛ الشكل ٢٤-٦). كانت هذه أول حفريات بشرية تُكتشَف على الإطلاق في عام ١٨٥٧، على الرغم من أن حفريات إنسان نياندرتال المتشظية أُغفِلت في البداية باعتبارها لمرضى من شعب القوزاق ماتوا في الكهوف. استندت



شكل ٢٤-٦: مقارنات بين جماجم الإنسان المنتصب (في الأعلى)، وإنسان نياندرتال (في المنتصف)، والإنسان العاقل الحديث (في الأسفل). لدى جميع هذه الأنواع أدمغة كبيرة نسبيًّا، بسعة حوالي ألف سم مكعب في الإنسان المنتصب، وسعة تتراوح بين ١٥٠٠ و١٧٠٠سم مكعب لكلٍّ من إنسان نياندرتال والإنسان الحديث. النوعان المنقرضان لهما أقواس حاجبية قوية، وخطم بارز بدون ذقن، وعظام خد أغلظ وأوسع مقارنة بالإنسان الحديث. لا يختلف حجم دماغ إنسان نياندرتال كثيرًا عن حجم دماغ البشر المعاصرين، لكن جمجمته مسطَّحة قليلًا، وبها نقطة مدببة في الجهة الخلفية. (رسم كارل بويل)

الأوصاف الكاملة الأولى للهياكل العظمية إلى عينة مبكرة من كهف في بلدية «لا شابيل أو سان» في فرنسا، لأفراد كانوا يعانون من الشيخوخة والكساح؛ لذا ظل الاعتقاد السائد

لعقود من الزمن أن إنسان نياندرتال بدائي مُنحني الأكتاف، مُقوَّس الأرجل، وكل الصور النمطية وصفتهم بأنهم ليسوا سوى بشر عاشوا في الكهوف، ولم يكونوا يمتلكون أي قدراتٍ عقلية عليا.

لكن الأبحاث الحديثة أظهرت أن إنسان نياندرتال كان مختلفًا كل الاختلاف عن هذه الصورة النمطية العتيقة. على الرغم من أن جماجمهم تختلف عن جماجمنا؛ من حيث بروز الوجه، وكبر حجم الأقواس الحاجبية، وغياب الذقن، وجمجمتهم المسطحة بعض الشيء والناتئة من الخلف (انظر الشكل ٢٤-٦؛ الشكل ٢٤-٧)، فقد كانت سعة دماغهم في المتوسط أكبر منا بقليل، وكانت لديهم ثقافةٌ معقدة كانت تتضمن وجود شعائر للدفن، مما يشير إلى وجود معتقدات دينية. كانت عظامهم (وأجسادهم أيضًا على الأرجح) قوية وعضلية وأقصر قليلًا من الإنسان الحديث في المتوسط. لقد عاش إنسان النياندرتال حصريًّا في المناخات الباردة في الحواف الجليدية لأوروبا والشرق الأوسط، حيث ربما كانت لبنيتهم المكتنزة (مثل شعب الإنويت الحديث أو اللابلاندر) أفضلية. كانت أدواتهم وثقافتهم أيضًا أكثر تعقيدًا؛ إذ صنعوا فئوس اليد الموستيرية، ورءوس الرماح وغيرها من الأجهزة المعقدة، فضلًا عن الأدوات العظمية والخشبية. تُظهِر بعض هذه الأدوات عملًا معقدًا وبعض النحت البسيط، مما يدل على تمتع هذا النوع بمهارات فنية لم يمتلكها قبله أحد من البشرانيات. أظهرت الاكتشافات الشهيرة في كهف شانيدار في العراق أن إنسان النياندرتال دفن أنواعًا متعددة من الزهور الملونة مع موتاه، مما يشير إلى أنه ربما كان لديهم على الأقل معتقدات دينية من نوعٍ ما، وربما إيمان بالحياة الآخرة.

لعقود من الزمان، عامل علماء الأنثروبولوجيا إنسان نياندرتال باعتباره نوعًا فرعيًّا من الإنسان العاقل، لكن آخر الأبحاث قد أشارت إلى أنه كان نوعًا متمايزًا. يأتي أفضل دليل أحفوري على ذلك من كهفَي سخول وقفزة على جبل الكرمل في إسرائيل، حيث تتداخل الطبقات التي تحمل بقايا إنسان نياندرتال، وتتبادل مع طبقات تحتوي على الأفراد الأوائل من الإنسان الحديث. في عام ١٩٩٧، اكتشف العلماء تسلسل الحمض النووي لإنسان نياندرتال، وأصبح من الواضح أنه يختلف عن الإنسان العاقل، وهو متمايزٌ عنه وراثيًّا أيضًا. ومع ذلك، فإن جميع البشر المعاصرين من أصلٍ غير أفريقي لديهم القليل من الحمض النووي لإنسان نياندرتال؛ ومن ثَم لا بد أن النوعَين تزاوجا فيما بينهما في أوراسيا حيث تداخلا.

شكل ٢٤-٧: هيكل عظمي مُعاد بناؤه، ونموذج بالحجم الطبيعي لإنسان نياندرتال. (إهداء من «ويكيميديا كومنز»)

كان إنسان نياندرتال هو النوع المنقرض الوحيد من البشر المعروف بواسطة تسلسل الحمض النووي حتى عام ٢٠١٠، عندما صَدم علمُ الأحياء الجزيئي العالم بإعلان وجود نوع آخر من البشر خلال الأربعين ألف سنة الماضية. ففي أثناء الحفر في كهف دينيسوفا في جبال ألتاي في سيبيريا بالقرب من الحدود المنغولية الصينية، اكتشف علماء الآثار الروس عظم إصبع يد وعظم إصبع قدم لطفل، وبعض الأسنان المعزولة من بشرانيات مختلطة، مع قطع أثرية منها سوار. أُرِّخت القطع الأثرية بالكربون المشع إلى ٤١ ألف عام؛ لذلك كان العمر مؤكَّدًا. ولكن عندما حلل مختبر سفانتي بابو ويوهانس كراوس لعلم

الأحياء الجزيئي في معهد ماكس بلانك في لايبزيج بألمانيا (أول مختبر توصل إلى تسلسل الحمض النووي لإنسان نياندرتال) الحمض النووي للميتوكوندريا لعظم الإصبع، وجدوا أنه يحتوي على تسلسل جيني متمايز عن التسلسل الجيني لكلٍّ من إنسان نياندرتال والإنسان الحديث. كان الحمض النووي في النواة متمايزًا أيضًا، لكنه أشار إلى أن هؤلاء الأشخاص كانوا على صلة وثيقة بالنياندرتال. وربما تفاعلوا أيضًا مع البشر المعاصرين؛ لأنهم يتشاركون في نسبة تتراوح من ثلاثة إلى خمسة في المائة من حمضهم النووي مع الميلانيزيين وسكان أستراليا الأصليين. تشير بيانات الحمض النووي للميتوكوندريا إلى أنهم تفرعوا عن سلالة البشر منذ حوالي ٦٠٠ ألف عام، وهم يُمثِّلون هجرة «خارج أفريقيا» منفصلة تختلف عن هجرة الإنسان المنتصب السابقة (منذ ١,٨ مليون سنة)، أو الهجرة الأحدث بكثير لإنسان هايدلبيرج وإنسان روديسيا من أفريقيا إلى أوراسيا (قبل ٣٠٠ ألف سنة).

هؤلاء الأشخاص الغامضون الذين كان حمضهم النووي مميزًا للغاية، يُسمَّون مؤقتًا بـ «إنسان دينيسوفا». وليس لدينا سوى عدد قليل جدًّا من الحفريات التي لا تمكِّننا من قول الكثير عن مظهرها الجسدي أو أي شيء آخر، سوى أنها تمتلك حمضًا نوويًّا مميزًا لا يوجد في أي نوع بشري آخر. الحق أنَّ العلماء ما يزالون مترددين في إعطاء إنسان دينيسوفا اسمًا علميًّا رسميًّا؛ لعدم وجود مادة أحفورية كافية لوصف بنيته التشريحية بأي وسيلة اعتيادية. إن إنسان دينيسوفا غامض، ويظهر لنا أن العظام لا تروي القصة كاملة. من الممكن إذن أن يكون العديد من الأنواع البشرية الأخرى قد عاشوا على هذا الكوكب، لكنهم لم يتركوا سجلًّا أحفوريًّا.

وما لا يقل إدهاشًا عن اكتشاف دينيسوفا في عام ٢٠١٠، الإعلانُ في عام ٢٠٠٣ عن اكتشاف نوع مُتقزِّم من البشر لا يوجد إلا في جزيرة فلوريس في إندونيسيا (الشكل ٢٤-٨). وُجدتْ حفريات هذا النوع والقطع الأثرية الخاصة به في موقع يُسمَّى كهف ليانج بوا، ويشير التأريخ إلى أنها تعود إلى ما بين مليون سنة و٧٤ ألف سنة. كانت الميزة الأكثر لفتًا للنظر لهؤلاء الأشخاص هي حجمهم الصغير، حيث يبلغ طول شخص بالغ حوالَي ١,١ متر (ثلاث أقدام وسبع بوصات). ولهذا أُطلقَ عليهم لقب «الهوبيت»، لكنهم ليسوا بأقزام أفارقة معاصرين (وهم بشر حديثون تمامًا لكنهم صغار الحجم فقط). وإنما هي مجموعة كاملة من الأشخاص المُتقزِّمين الذين يبدو أنهم ينحدرون من سلالة

شكل ٢٤-٨: العظام المحفوظة للهيكل العظمي لـ «الهوبيت»، النوع البشري المُتقزِّم من جزيرة فلوريس في إندونيسيا، «إنسان فلوريس». الهيكل العظمي بأكمله غير معروف، ولكن بناءً على نِسَب الأطراف، كان طول هؤلاء الأشخاص في البلوغ حوالي ١,١ متر (ثلاث أقدام وسبع بوصات). (تصوير المؤلف)

الإنسان المنتصب (أو ربما حتى من سلالة الإنسان الماهر) منذ حوالَي مليون سنة، ثم أصبحوا مُتقزِّمين. يُعَد تضاؤل الحجم من التأثيرات الشائعة على الجزر المحيطية، وثمة أنواعٌ كثيرة من الحيوانات (خاصة الأفيال والماموث وأفراس النهر) تتعرض للتقزُّم على الجزر، ما بين مالطا إلى كريت إلى قبرص إلى مدغشقر. وليس سبب هذا التقزُّم بخفي؛ إنها تعيش في الجزيرة على قاعدة أصغر من الموارد الغذائية، ولا تحصل على تغذية كافية لتنمو إلى أحجام طبيعية. إضافة إلى ذلك، لا تتعرض هذه الكائنات في المعتاد لضغوط من

الحيوانات المفترسة الكبيرة على الجزر، كما أنها لا تتنافس مع آكلات الأعشاب الكبيرة. على الرغم من أن تفسير هذه الحفريات مثير للجدل، فإنَّ معظم علماء الأنثروبولوجيا يتفقون على أنهم نوعٌ متمايز سُمي رسميًّا بـ «إنسان فلورينس».

وأخيرًا، وجدنا أول جماجم وهياكل عظمية أحفورية لا يمكن تمييزها تقريبًا عن جنسنا البشري. نعرف بعضها — يُطلَق عليها اسم «الإنسان العاقل القديم»، والاسم الرسمي: «إنسان هايدلبيرج» — من رواسب قليلة في أفريقيا يعود تاريخها إلى ٣٠٠ ألف عام. منذ حوالي ٩٠ ألف عام، نجد أنَّ الجماجم المكتشَفة في مواقع في أفريقيا (مثل كهف فم كلاسياس في جنوب أفريقيا) تكاد تبدو حديثة تمامًا في مظهرها، وثمة اتفاق على أنها تنتمي لنوع الإنسان العاقل (نوعنا). وعلى غرار الإنسان المنتصب، قضى الإنسان العاقل معظم تاريخه في أفريقيا، وهاجر إلى آسيا منذ حوالي ٢٠٠ ألف عام، ثم إلى أوروبا منذ حوالي ٧٠ ألف عام. هناك، تواصل هؤلاء الأشخاص مع إنسان نياندرتال، وتعايشوا معًا لمدة ٣٠ ألف عام. وفي ظروف غامضة، اختفى إنسان نياندرتال منذ ٤٠ ألف عام. وليس من الواضح ما إذا كان الإنسان العاقل هو من قضى عليه أم أنه اختفى لسبب آخر. إنَّ هذه المسألة محل جدل وتكهنات لا نهاية لها. يذهب بات شيبمان إلى أن البشر المعاصرين كانت لديهم أفضلية تتمثل في الكلاب المستأنَسة، مما ساعدهم على التغلب على إنسان نياندرتال في الصيد وفي الحروب. وأيًّا كان ما حدث، فسرعان ما سيطر الإنسان العاقل الحديث على العالم القديم بأكمله، وطور ثقافات معقدة («شعب كرومجنون»)، ومن ذلك أيضًا رسوم الكهوف الشهيرة في أوروبا، والعديد من أنواع الأسلحة والأدوات.

إن هذه المراجعة الموجزة للسجل الأحفوري للبشرانيات لا تنصف ثراء العينات وجودتها، أو الكمية الهائلة من التفاصيل التشريحية التي كشف العلماء عن أسرارها. وإذا بدا لك أنَّ هذا أكثر من أن تستوعبه، فما عليك سوى التأمل في وجوه الجماجم في الشكل ٢٤-١. إنها شبيهة بجماجم الإنسان الحديث إلى حد ما، لكنها تُظهِر بالتأكيد التغيير من البشرانيات الأكثر بدائية التي يعتبرها بعض الناس «مجرد قرود» (على الرغم من أنهم كانوا جميعًا يسيرون على قدمين تمامًا، ولديهم العديد من الخصائص البشرية الأخرى)، مرورًا بأشكال يتفق الجميع على أنها شبيهة بـ «البشر المعاصرين» إلى حد كبير (على الرغم من أن لديهم العديد من السمات التشريحية المميزة، مثل تلك الموجودة في إنسان نياندرتال، والتي تجعلهم نوعًا متمايزًا). وحتى هؤلاء الذين ليسوا بعلماء يمكنهم إلقاء نظرة على هذه الحفريات ورؤية السمات المميزة لأسلافهم.

قراءات إضافية

Beard, Chris, *The Hunt for the Dawn Monkey: Unearthing the Origin of Monkeys, Apes, andHumans*, Berkeley: University of California Press, 2004.

Conroy, Glenn C., *Primate Evolution*, New York: Norton, 1990.

Delson, Eric, ed., *Ancestors: The Hard Evidence*, New York: Liss, 1985.

Harari, Yuval Noah, 2015, *Sapiens: A Brief History of Humankind*, New York: Harper, 2015.

Johanson, Donald, and Maitland Edey, *Lucy: The Beginnings of Humankind*, New York: Simon & Schuster, 1981.

Johanson, Donald, and Blake Edgar, *From Lucy to Language*, New York: Simon & Schuster, 1996.

Johanson, Donald, and Kate Wong, *Lucy's Legacy: The Quest for Human Origins*, New York: Crown, 2009.

Johanson, Donald, Lenora Johanson, and Blake Edgar, *Ancestors: In Search of Human Origins*, New York: Villard, 1994.

Jurmain, Robert, Lynn Kilgore, Wenda Trevathan, Russell L. Ciochon, and Eric Bartelink, *Introduction to Physical Anthropology*, 15th ed., New York: Cengage Learning, 2017.

Larsen, Clark Spencer, *Our Origins: Discovering Physical Anthropology*, New York: Norton, 2014.

Lewin, Roger, *Bones of Contention: Controversies in the Search for Human Origins*, Chicago: University of Chicago Press, 1987.

_____, *In the Age of Mankind: A Smithsonian Book on Human Evolution*, Washington, D.C.: Smithsonian Institution Press, 1988.

Lewin, Roger, and Robert A. Foley, *Principles of Human Evolution*, 2nd ed., Malden, Mass.: Wiley–Blackwell, 2003.

Pääbo, Svante, *Neanderthal Man: In Search of Lost Genomes*, New York: Basic Books, 2014.

Roberts, Alice, *Evolution: The Human Story*, London: DK Books, 2018.

Sawyer, G. J., Viktor Deak, Esteban Sarmiento, and Richard Milner, *The Last Human: A Guide to the Twenty–Two Species of Extinct Humans*, New Haven, Conn.: Yale University Press, 2007.

Shipman, Pat, *The Invaders: How Humans and their Dogs Drove Neanderthals to Extinction*, Cambridge, Mass.: Belknap Press of Harvard University Press, 2015.

_____, *The Man Who Found the Missing Link: Eugene Dubois and His Lifelong Quest to Prove Darwin Right*, New York: Simon & Schuster, 2001.

Stringer, Chris, *Lone Survivors: How We Came to Be the Only Humans on Earth*, London: Times Books, 2012.

Stringer, Chris, and Peter Andrews, *The Complete World of Human Evolution*, London: Thames & Hudson, 2005.

Stringer, Chris, and Clive Gamble, *In Search of Neanderthals: Solving the Puzzle of Human Origins*, London: Thames & Hudson, 1993.

Swisher, Carl, III, Garniss Curtis, and Roger Lewin, *Java Man*, New York: Scribner, 2000.

Tattersall, Ian, *The Human Odyssey: Four Million Years of Human Evolution*, Upper Saddle River, N.J.: Prentice Hall, 1993.

_____, *Masters of the Planet: The Search for Our Human Origins*, London: St. Martin's Griffin, 2012.

_____, *The Strange Case of the Rickety Cossack and Other Cautionary Tales from Human Evolution*, New York: St. Martin's Press, 2015.

Tattersall, Ian, and Jeffrey Schwartz, *Extinct Humans*, New York: Westview, 2000.

Walker, Alan, and Pat Shipman, *The Wisdom of the Bones: In Search of Human Origins*, New York: Knopf, 1996.

الفصل الخامس والعشرون

الإنسان السابق والمستقبلي

هل لا يزال البشر يتطورون؟

إنني أعلمكم الإنسان الأعلى. لا بد من تجاوز الإنسان. فما الذي فعلتم كي تتجاوزوه؟ ... لقد خَلقت جميع الكائنات حتى الآن شيئًا أسمى منها، فهل تريدون أن تكونوا انحسار هذه الموجة العظيمة، وتعودوا إلى حالة الوحش بدلًا من تجاوز الإنسان؟ ما القرد للإنسان؟ أضحوكة ومصدر للخزي. وهكذا أيضًا سيكون الإنسان في نظر الإنسان الأعلى؛ مصدرًا للسخرية أو الخزي المؤلم. لقد سلكتم الطريق الطويل من الدودة إلى الإنسان، لكنكم ما زلتم تحملون الكثير من الدودة بداخلكم. كنتم قردة ذات يوم، وما يزال الإنسان حتى الآن أشبه بالقردة من القرود نفسها ... الإنسان الأعلى هو معنى الأرض. فلتعلن إرادتكم، ليكن الإنسان الأعلى هو معنى الأرض. الإنسان حبل مربوط بين الحيوان والإنسان الأعلى، حبل فوق هاوية ... ما هو عظيم في الإنسان أنه جسر لا نهائي.

فريدريك نيتشه، «هكذا تكلم زرادشت» (١٨٨٣)

لقد ملأ الخيال العلمي مخيلتنا بصور وأفكار عديدة بشأن كيفية تطور البشر في المستقبل، وما قد نبدو عليه بعد مائة سنة من الآن أو ألف. يتصور العديدُ من هذه الأفكار أن البشر سيطورون أدمغة أكبر وأكبر إلى أن نمتلك رءوسًا صلعاء ضخمة منتفخة، أو أننا سنطوِّر عيونًا ضخمة. خلال ذلك، سيتدهور حال أجسادنا وأطرافنا مع اعتمادنا المتزايد

على التكنولوجيا. ففي فيلم «وال-إي»، يصبح البشر كُرَيات سمينة تعتمد على الجاذبية المنخفضة، وجميع أنواع التكنولوجيا للعمل في مركباتهم الفضائية بعد أن هجروا الأرض الخَرِبة. وتصور فيلم «حماقة» («إديوكراسي») الذي أخرجه مايك جادج عام ٢٠٠٦ عالمًا أصبح فيه البشر أكثر وأكثر غباءً بشكل تدريجي على مدى ٥٠٠ عام؛ بسبب وسائل الإعلام والشركات الكبرى. لقد وصل بهم الحال إلى أنَّ مَن يتولى منصب رئيس الولايات المتحدة مصارع سابق متبجِّح، يمارس الجنس مع نجمات الأفلام الإباحية، ويبالغ في مزاعمه وقدراته أمام ناخبيه، بينما هو لا يمتلك أدنى فكرة عما يفعله. ونتيجة لهذا، فإنَّ اثنين من المسافرين عبر الزمن (يقوم بدورهما لوك ويلسون ومايا رودولف) كانا يمتلكان ذكاءً متوسطًا عندما وُضِعا في الكبسولة الزمنية قبل ٥٠٠ عام، أصبحا الأذكى على هذا الكوكب.

كانت رواية إتش جي ويلز «آلة الزمن» أكثر تشاؤمًا، حيث انحدر البشر إلى سلالتَين؛ المورلوك الذين يعيشون تحت الأرض الشبيهين بالأورك (كائنات خرافية تظهر في عدة روايات من أدب الفانتازيا)، والإلوي القاطني الغابات الشبيهين بالآلف (كائن من الأساطير النوردية والجرمانية). ومن بين الرؤى الديستوبية الأخرى للإنسانية؛ «سلالة إبسيلون سالب شبه المعتوهة»، التي وردت في رواية «عالم جديد شجاع» لألدوس هكسلي، وقصة «زحف الحمقى» لسيريل كورنبلوث. أما فيلم «أفاتار»، فقد تصور أنَّ البشر بلغوا من الطول ١٢ قدمًا، وصارت بشرتهم زرقاء، ولهم خصلة من الشعر على شكل ذيل حصان يتخاطرون عبرها. وتخيلت شركة «مارفل كومكس» تطور البشر الطافرين إلى أبطال خارقين يتمتعون بقوًى خارقة، مثل «رجال إكس» («إكس مين»). وتصور فريدريك نيتشه أن «الإنسان الخارق» (الإنسان الأعلى) هو النتيجة الطبيعية للتطور البشري. وعلى أحد مواقع الويب، توقع الدكتور آلان كوان من جامعة واشنطن (الباحث في مجال علم الجينوم الحاسوبي، وليس علم الأحياء التطوري) أن البشر سيكون لديهم أدمغة أكبر وعيون ضخمة.[1] من المفترض أننا سنحتاج إليها من أجل الضوء الخافت للسفر في الفضاء، وسيكون لدينا المزيد من الجلد المصطبغ للتخفيف من التأثير الضار للمستويات الأعلى من الأشعة فوق البنفسجية في الفضاء. وفي عام ٢٠١٩، أعلن عالم الفلك رويال مارتن رييس أن البشر سيصبحون نوعًا جديدًا عندما يسافرون عبر الفضاء، وسيصبح لديهم أدمغة كبيرة ورؤية مذهلة.[2]

كان العديدُ من هذه الأفكار شائعًا في الخيال العلمي ووسائل الإعلام الرائجة لما يقرب من قرنٍ من الزمان، لكن القليل جدًّا منها كان مبنيًّا على فهم لكيفية عمل التطور، أو

ما يُظهِره السجل الأحفوري بشأن كيفية تطور البشر في الماضي. غير أنَّ مراجعةً سريعة للسجل الأحفوري للبشر تقدِّم منظورًا مختلفًا تمامًا (انظر الفصل الرابع والعشرين). ذلك أن البشر المعاصرين من الناحية الهيكلية (وفقًا للخصائص العظمية المتحجرة) موجودون منذ ١٠٠ ألف عام على الأقل، وربما ٣٠٠ ألف عام. وكانت سعة الجمجمة لدى الغالبية العظمى من حفريات الإنسان العاقل، أو أسلافنا المباشرين، مثل إنسان هايدلبيرج، مساويةً (في المتوسط) لما يمتلكه البشر المعاصرون. الواقع أنَّ السعة الدماغية لأقربائنا المقربين، إنسان نياندرتال، أكبر منا قليلًا في المتوسط، لكنهم لم يطوروا مجموعة الأدوات المعقدة أو التقدمات الثقافية الأخرى التي طورها الإنسان العاقل المعاصر.

ليس ذلك فحسب، بل إن حجم أدمغة البشر قد تناقص بشكل طفيف في المتوسط على مدار العشرين ألف عام الماضية،[3] وربما يرجع ذلك إلى حجم الجسد الأصغر قليلًا لدى البشر في آخر ١٠ آلاف عام. إن حجم الدماغ أكثر ارتباطًا بحجم الجسد من ارتباطه بالذكاء؛ لذا فإن أدمغة النساء في المتوسط أصغر من أدمغة الرجال بسبب حجم أجسادهن الأصغر، لكنهن يتمتعن بمعدل الذكاء نفسه. ويعتقد آخرون أن الدماغ الأصغر قد نشأ منذ حوالي ١٠ آلاف عام؛ إذ إنَّ التحضر جعل التعامل مع البيئة المعادية المعقدة أقل ضرورة، على عكس ما واجهته مجتمعات الصيد وجمع الثمار. ثم إنَّ الأدمغة الأكبر ليست في صالحنا على الدوام؛ فهي تستهلك الكثير من الطاقة، ويجب على جسد الإنسان التضحية بوظائف أخرى لتغذيتها. إن سيناريوهات الخيال العلمي التي تتخيل الرءوس المنتفخة لأدمغة ضخمة لا تتفق مع السجل الأحفوري، الذي يُظهِر أنَّ حجم الدماغ ثابت تقريبًا على مدى ٣٠٠ ألف عام، بل ربما تقلص خلال العشرة آلاف عام الماضية، حتى عندما أصبحنا أكثر ذكاءً. يبدو أن عالم الخيال العلمي أو وسائل الإعلام الشعبية لا تُدرك عدم وجود ارتباط بين حجم الدماغ والذكاء.

عندما تلقيت بعض أسئلة من متصلين بعدما أجريت مقابلة عن التطور في برنامج إذاعي، اطلعت على قدر جيد من المفاهيم الخاطئة بشأن التطور البشري التي لا تزال شائعة اليوم. مرارًا وتكرارًا، تكهَّن السائلون عن كيفية تطور البشر في المستقبل. لقد كرروا الافتراض الخاطئ بأن الأدمغة ستزداد حجمًا، وأن هذا يعني ذكاءً أكثر، كما أنهم طرحوا مفهومًا خاطئًا آخر عن التطور، وهو أن التطور يجعلنا أفضل، وأننا في النهاية سنصل إلى الحالة المثلى لجسد الإنسان. لكننا تعلمنا في هذا الكتاب أن الانتخاب الطبيعي غير معني بصنع كائنات حية مثالية، أو تهذيب كائن ما حتى يصل إلى الكمال

(هذا مفهوم خاطئ شائع في أدب القرن العشرين). فكما ناقشنا في الفصلين التاسع والواحد والعشرين، فإن التطور يتعلق بالتكيف مع الظروف المحلية في وقت ما، وخلال هذه العملية يبقى الكثير من الأعضاء الأثرية والصفات غير المفيدة والحمض النووي الذي يُعد من المخلفات. نادرًا ما تُفقَد هذه البنى؛ حيث إنها لا تنتقص من ملاءمة الكائن الحي لمجموعة الظروف المحلية في وقت محدد عندما يتكاثر، وتنتقل الجينات إلى جيل جديد، بينما تكلفة التخلص من هذه الصفات، أو إعادة تحديث الجينوم للتخلص منها، مرتفعة للغاية. غير أنَّ العلوم الشعبية والخيال العلمي مليئة بالافتراضات الزائفة والمفاهيم القديمة التي تتجاهل هذه الحقائق.

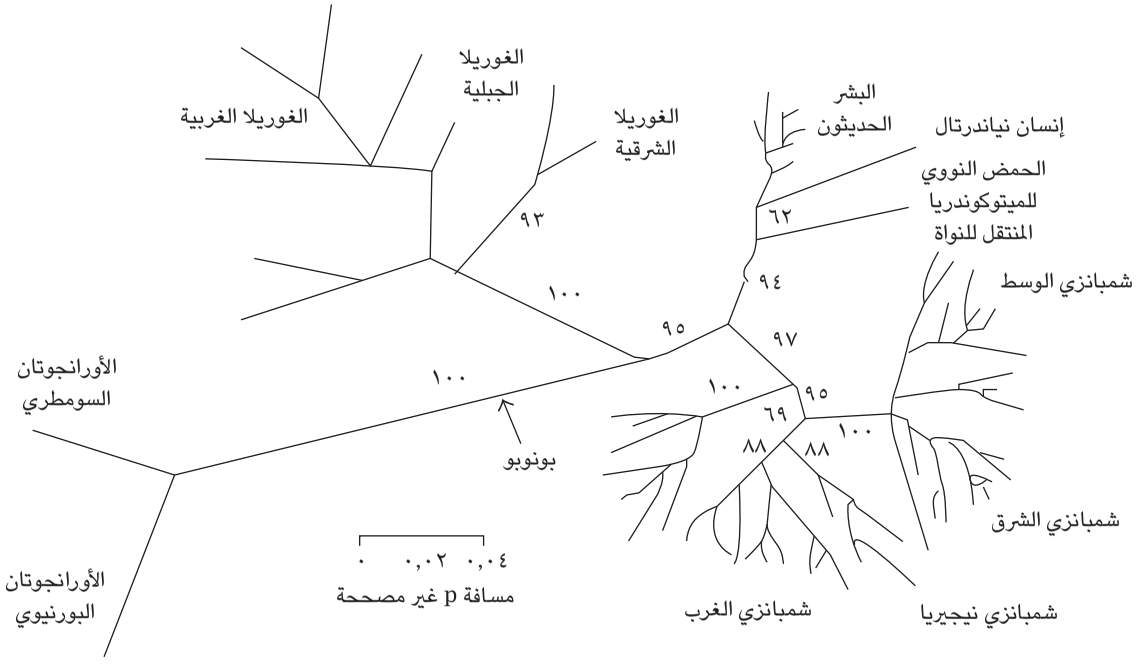
صار إدراك أن الجمجمة والهيكل العظمي البشريين لم يتغيرا إلا بدرجة طفيفة جدًّا على مدار ١٠٠ ألف عام تقريبًا أو أكثر؛ أمرًا مقبولًا على نطاق واسع منذ أواخر الستينيات وحتى الثمانينيات من القرن الماضي. ولهذا، زعم العديد من علماء الأحياء التطوريين البارزين، ومنهم ستيفن جاي جولد وإرنست ماير وريتشارد دوكينز وديفيد أتينبورو، أن البشر قد توقفوا تمامًا عن التطور فيما يتعلق بهيكلهم العظمي، ومعظم أجزاء بنيتهم التشريحية. فلأن إحداث تغيير في النمط الظاهري يستغرق مئات من الأجيال؛ كانت الفكرة المهيمنة هي أن التغييرات السريعة في الثقافة جعلت التطور الظاهري والوراثي أقل ضرورة. نحن الآن نتكيف عن طريق الاستعانة بالأدوات والأسلحة، وتدجين الحيوانات، وباستخدام العلم والتكنولوجيا في النهاية، ولا شيء من هذا يتطلب أكثر من تغيير بسيط في تركيبتنا الجسدية. إن الثقافة قادرةٌ بالفعل على إحداث تغييراتٍ سريعةٍ للغاية خلال سنواتٍ أو أسابيع أو أيام، وفي عصر الإنترنت تنتشر الأفكار والاكتشافات حول العالم في ثوانٍ، بينما تستغرق التغيرات الجسدية والتغيرات في جينومنا عشرات الأجيال، ومن المئات إلى الآلاف من السنوات. الواقع أنَّ ريتشارد دوكينز صاغ كلمة «ميم» في الأصل لوصف سمة ثقافية تنتشر بسرعة من خلال التواصل والمحاكاة، على عكس «جين»، الذي ينتشر ويتغير ببطء، استجابة للتكاثر على مدار أجيال. الآن تُستخدَم كلمة «ميم» لأي فكرة تقريبًا، وخاصة للأفكار والرسومات المثيرة أو البارزة التي تنتشر عبر الإنترنت.

وعلى الرغم من ذلك، كانت الفكرةُ القائلة بأن البشر توقفوا عن التطور الجسدي مفرطةً في التبسيط، وقد ثبت خطؤها منذ ذلك الحين. تُظهِر الأدلة أن التطور البشري الحالي والمستقبلي، ليس هو نوع التطور الذي تصوَّره كُتاب الخيال العلمي. فهو لا

ينطوي على تطوير البشر لرءوس منتفخة بها أدمغة أكبر، أو عيون أكبر، أو أجسام وأطراف متداعية. بل على العكس من ذلك، نجد أنَّ معظم التغيير خفي، والكثير منه داخلي (فسيولوجي أو وراثي)، وليس واضحًا لمعظم الناس، وهي تغييرات لا تُحفَظ في العظام التي قد تتحجر.

يتمثل العائق الأول في إدراك مدى حداثة تشعب جميع المجموعات البشرية الموجودة على ظهر الأرض بعضها عن بعض. لقد اكتشف العلماء هذا لأول مرة في تسعينيات القرن الماضي، عندما أظهر التحليل الجيني أن جميع شعوب الأرض متشابهة وراثيًّا للغاية (الشكل ٢٥-١). إن جميع البشر الموجودين على قيد الحياة متشابهون وراثيًّا بعضهم مع بعض، أكثر مما تتشابه مجموعات شمبانزي وسط أفريقيا، ومجموعات شرق أفريقيا، ومجموعات غرب أفريقيا بعضها مع بعض. لم يكن لهذا أن يحدث إلا إذا كان جميع البشر الموجودين على الأرض ينتمون إلى عدد صغير من الأزواج المتكاثرين (يتراوح عددهم بين ألف وعشرة آلاف) وكنا جميعًا أحفادهم، وأصبح لدينا العدد المحدود فقط من الجينات التي حملها هذا العدد الصغير من الأجداد في الأصل. تُعرَف هذه الظاهرة باسم عنق الزجاجة الجيني. غالبًا ما يكون التنوع الجيني للمجموعة الباقية على قيد الحياة منخفضًا للغاية، حيث تتكرر بعض الجينات الغريبة بشكل غير عادي. يمكننا اكتشاف هذا بسهولة عن طريق إجراء تحليل جيني، واستخدام تقنيات الساعة الجزيئية لحساب المدة التي انقضَت منذ حدوث هذا الانهيار السكاني. مرَّ العديد من الحيوانات الباقية على قيد الحياة اليوم عبر عنق زجاجة من نوع ما، عندما كانت مجموعاتها على وَشْك الانقراض. على سبيل المثال، مرَّت الفهود عبر عنق زجاجة منذ حوالَي ١٠ آلاف عام، واليوم لدى الفهود تنوعٌ جينيٌّ منخفض، ولديها أيضًا معدل تزاوج داخلي مرتفع، مما يهدد بقاءها. ينطبق الشيء نفسه على كلٍّ من البيسون الأوروبي والأمريكي؛ حيث كانا مستهدفين للصيد إلى أن أوشكا على الانقراض، لكن أعدادهما تعافت منذ ذلك الحين. كانت فقمة الفيل الشمالية أيضًا من الحيوانات التي تُصاد بكثرة إلى أن أصبح تعدادها حوالي ٣٠ فردًا في تسعينيات القرن التاسع عشر، لكنها تعافت الآن، وهي مهددة بسبب انخفاض تنوعها الجيني.

يبدو أن عنق الزجاجة قد حدث في كثير من الأنواع، ولا سيما في البشر. فمن الصادم أنَّ الأرض اليوم مأهولة بما يقرب من ثمانية مليارات إنسان، وأن هذا العدد يتزايد بسرعة، لكن عدد السكان كان أقل بكثير في عصور ما قبل التاريخ. في عام ٢٠٠٥، وجدت مجموعة



شكل ٢٥-١: تطور السلالات الجزيئي للقردة والبشر يُظهِر المسافة الجينية بينهما بناءً على الحمض النووي للميتوكوندريا. جميع «الأعراق» البشرية أكثر تشابهًا بعضها مع بعض من تشابه مجموعتين من الغوريلا أو الشمبانزي إحداهما مع الأخرى. (أُعيدَ رسمه من باسكال جانيو وآخرين، «متواليات الميتوكوندريا تُظهِر تاريخًا تطوريًّا متنوعًا للبشرانيات الأفارقة»، «بروسيدينجس أوف ذا ناشيونال أكاديمي أوف ساينس أوف ذا يونياتد ستايتس أوف أمريكا» ٩٦، رقم ٩ [١٩٩٩]: الشكل ١-ب؛ © ١٩٩٩، بتصريح من الأكاديمية الوطنية للعلوم بالولايات المتحدة الأمريكية)

من العلماء أدلة وراثية تشير إلى أن حوالي ٧٠ فردًا فقط هم الذين تسببوا في ظهور جميع مجموعات السكان الأمريكيين الأصليين، الذين انتشروا من آسيا إلى الأمريكتين منذ فترة تتراوح من ١٨ ألف عام إلى ١١ ألف عام. هذا يعني أن جميع الشعوب الأصلية، من شعب الإنويت في ألاسكا، إلى شعب لاكوتا في السهول، إلى شعوب الإنكا والأزتيك وتولكس والمايا، وحتى الفوجيون في باتاجونيا؛ ترتبط ارتباطًا وثيقًا للغاية، ولديها تنوع جيني منخفض.

الواقع أنَّ الدراسات التي أُجريتْ على التنوع الكامل لنوع الإنسان العاقل الحي الآن، توضِّح أننا مررنا بعنق زجاجة صغير للغاية منذ وقتٍ ليس ببعيد. تتفاوت التقديرات، لكن أحدث دليل جيني يُقدِّر إجمالي عدد مجموعة نوع الإنسان العاقل في عنق الزجاجة بـ ٣٠ ألف شخص، وربما قلَّ عددهم حتى ٤٥٠٠ شخص فحسب، بل إنَّ بعض التقديرات أكثر من ذلك انخفاضًا، وتقدِّر العدد بأربعين زوجًا متكاثرًا. تشير معظم التقديرات إلى أن حوالي ٥٠٠٠ شخص فقط كانوا على الأرض في ذلك الوقت. هذا أقل من عدد سكان بلدة صغيرة في أمريكا اليوم!

متى مر البشر بعنق الزجاجة هذا؟ تشير أحدث الأدلة الأثرية إلى ما قبل ٤٨ ألف عام على الأقل كحد أدنى. لا يوجد العديد من المواقع الأثرية من هذه الفترة الزمنية؛ لذلك يمكن أن يكون التاريخ قبل ذلك بكثير. يمكننا استخدام الساعة الجزيئية لتقدير المدة التي تشعَّب فيها جميع البشر الحديثين على هذا الكوكب من مجموعةٍ ناجيةٍ صغيرة. تقدِّر بعض الدراسات الجينية الحديثة وقوع ذلك قبل حوالي ٧٤ ألف عام.

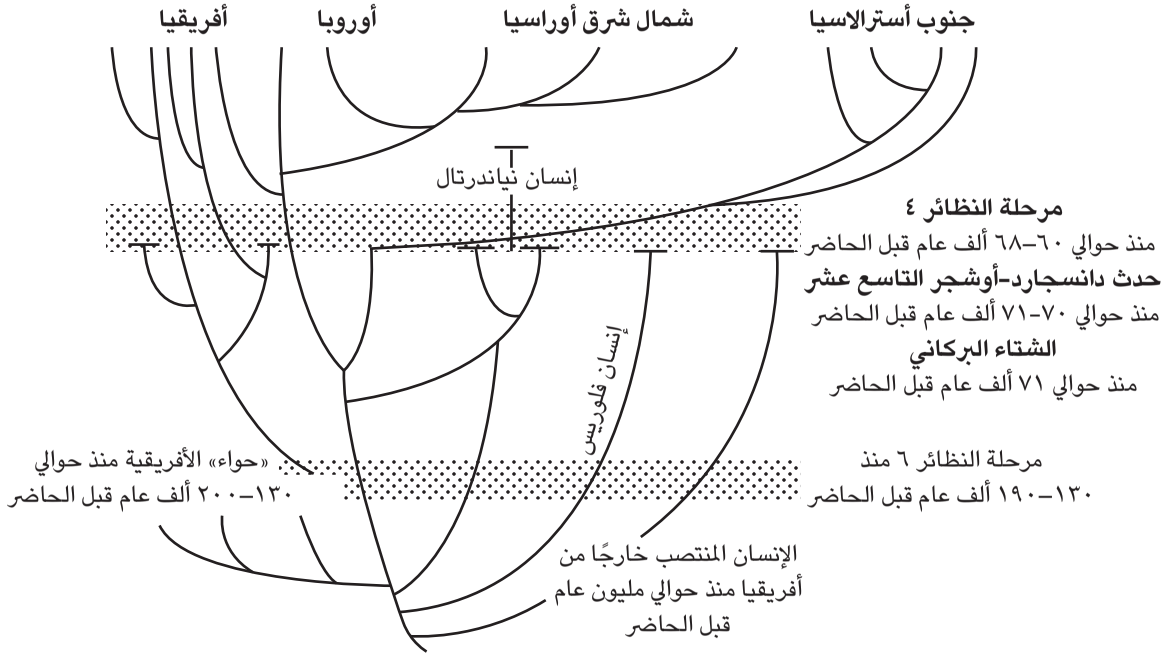
يُعَد تقدير ٧٤ ألف عام صدفة مثيرة للاهتمام؛ لأن هذا هو تاريخ أحد أكبر الانفجارات البركانية في تاريخ الأرض، وهو انفجار بركان توبا في الطرف الشمالي من جزيرة سومطرة في إندونيسيا. كان ثوران توبا أكبر ثوران بركاني على هذا الكوكب في الثمانية والعشرين مليون سنة الماضية، أضخم بأكثر من ألف مرة من الانفجارات الكارثية لجبل تامبورا في إندونيسيا عام ١٨١٥، أو بركان كراكاتوا بين جاوة وسومطرة في إندونيسيا في عام ١٨٨٣، وقد تسبَّب كلاهما في تغير مناخي لعدة سنوات بعد ثورانهما. في عام ١٨١٦، تسبب ثوران تامبورا في «عام بلا صيف»، وعلى النقيض من ذلك، تسبب ثوران توبا في انخفاض درجة الحرارة العالمية بمقدار ٣–٥ درجات مئوية (٥–٩ درجات فهرنهايت)، مما زاد من برودة العصور الجليدية التي كانت ما تزال مستمرة. انخفض خط الشجر وخط الثلج بمقدار ٣٠٠٠ متر (٩٠٠٠ قدم)، مما جعل معظم الارتفاعات العالية غير صالحة للسكن. انخفض متوسط درجات الحرارة العالمية إلى ١٥ درجة مئوية

فقط بعد ٣ سنوات، واستغرق الأمر عقدًا كاملًا للعودة إلى درجات حرارة ما قبل الثوران. تُظهِر عينات اللب الجليدي من جرينلاند الدليل على هذا التبريد الهائل في الرماد المحتبَس وفقاعات الهواء القديمة.

ماذا حدث للناس والحيوانات في هذا الوقت العصيب؟ وجد علماء الوراثة وعلماء الآثار أدلة على أن كارثة توبا كادت أن تقضي على الجنس البشري. نجا بضعة آلاف فقط من البشر في جميع أنحاء العالم على ما يبدو، ومرُّوا عبر عنق الزجاجة الجيني. وجدت دراسة أخرى عنق زجاجة جينيًّا مماثلًا في جينات قمل الإنسان، وفي بكتيريا الأمعاء الملوية البوابية، التي تسبِّب قرحة المعدة، ويعود تاريخ كلتا الحالتين إلى زمن ثوران توبا، وذلك وفقًا لتحليل الساعة الجزيئية لكلٍّ منهما، والذي يُظهِر المدة الزمنية التي مرَّت منذ حدوث التغيير الجيني. ينطبق الشيء نفسه على جينات عددٍ من الحيوانات الأخرى، بما في ذلك النمور والأورانجوتان والعديد من السعادين والغوريلا والشمبانزي والباندا، أي الغالبية العظمى من الثدييات الكبيرة في جنوب آسيا أو أفريقيا، والتي اكتشف العلماء تسلسل الحمض النووي الخاص بها حتى الآن. لقد كان توبا أضخم ثوران يحدث منذ أن ظهر البشر على الأرض، وقد أوشك أن يقضي عليهم تمامًا، هم والعديد من الحيوانات الأخرى. لا يزال نموذج كارثة توبا محل خلاف شديد بين علماء الأنثروبولوجيا، على الرغم من أن عنق الزجاجة الجيني مؤكَّد، وحدوثه في وقت قريب من ثوران توبا العملاق مدعوم بالبيانات بقوة.

إنَّ الأدلة الجينية لـ «نموذج الخروج من أفريقيا» تقدِّم دعمًا كبيرًا لفكرة أن أسلاف جميع البشر الأحياء في أوراسيا والأمريكتين لم يغادروا أفريقيا إلا منذ حوالي ٧٠ ألف عام، أي بعد فترة من كارثة توبا (الشكل ٢٥-٢). يبدو أنهم هاجروا على طول الساحل الجنوبي لآسيا واستعمروا أستراليا منذ فترة تتراوح بين ٥٠ ألف عام و٦٥ ألف عام. ثمة سلالة أخرى من هذه الهجرة غادرت منطقة أفريقيا والشرق الأوسط (التي عاش بها الإنسان الحديث أيضًا في وقت سابق، ربما قبل ٣٠٠ ألف عام) ووصلت إلى جنوب أوروبا منذ حوالي ٥٥ ألف عام. أخيرًا، وصلت السلالات التي عبرت جسر بيرينج البري إلى الأمريكتين قبل فترة تتراوح من ١٣ ألف عام إلى ١٦ ألف عام، على الرغم من أن بعض التواريخ المثيرة للجدل من موقع مونت فيردي في تشيلي، تشير إلى أن بعض أوائل البشر ربما وصلوا منذ ٣٠ ألف عام.

قد ينزعج بعض الناس لمعرفة أن جميع «الأعراق» البشرية ليست سوى تنويعات حديثة طفيفة في التطور البشري، وأن ما تمثله من اختلاف في الجينوم أقل من الاختلافات



شكل ٢٥-٢: كان هناك العديد من السلالات البشرية المختلفة على هذا الكوكب قبل كارثة توبا منذ ٧٤ ألف عام، ولكن معظمها قد اختفى (بما في ذلك إنسان فلوريس، وربما الإنسان المنتصب). لم ينجُ من الكارثة سوى عدد قليل فقط (مثل إنسان نياندرتال وأسلاف جميع البشر الحديثين غير الأفارقة)، وعاشوا خلال العصر البليستوسيني الأخير. (أعيدَ رسمه من عدة مصادر)

التي نجدها بين مجموعات الشمبانزي في غرب أفريقيا وتلك الموجودة في وسط أفريقيا. ولعل ما يصدمنا أكثر من ذلك فكرة أن ثوران توبا كاد أن يمحو البشر من على وجه الأرض قبل ٧٤ ألف عام. إن إدراك أن الاختلافات بين كل ما يُسمَّى بالأعراق هي مجرد تغييرات ضئيلة وحديثة جدًّا في الجينوم البشري؛ يمكن أن تغيِّر منظورك بالتأكيد. في وقتنا الحاضر الذي يتسم بالاضطهاد العنصري في الأوساط السياسية، وإثارة الكراهية الشديدة ضد المهاجرين والأجانب، من المهم أن نتذكر أن جميع البشر، أيًّا كان لون بشرتهم، متشابهون وراثيًّا بنسبة ٩٩,٩٩٩ في المائة، وأن التغيرات الصغيرة في لون البشرة وبعض السمات السطحية الأخرى حديثة للغاية، ولا معنى لها من الناحية العلمية والتطورية.

منذ حوالَي ٣٠ ألف عام، كان جميع البشر على الأرض يعيشون في المناطق الاستوائية أو شبه الاستوائية، وكانت بشرتهم جميعًا داكنة للغاية. إن معظم الاختلافات في لون البشرة هي تكيفات مع مستويات الضوء واختلافات الإشعاع الشمسي. يساعد التصبغ الداكن على منع الأشعة فوق البنفسجية من التسبب في حروق الشمس وسرطان الجلد (وهذا مفيد لشعوب المناطق الاستوائية وشبه الاستوائية)، ولكن في المناطق ذات الإضاءة الأقل بكثير (مثل خطوط العرض العالية في نصف الكرة الشمالي)، تنخفض مستويات الضوء بحيث يتمتَّع الجلد بدرجةٍ منخفضةٍ من التصبغ، كي يكون بإمكان الطاقة الشمسية أن تخترق الجلد وإنتاج فيتامين د. لقد تطورت هذه الاختلافات الطفيفة في لون الجلد حسب خط العرض، والكمية الإجمالية للإشعاع الشمسي في بعض المجموعات السكانية شمال أوراسيا بشكل مستقل خلال العشرين ألف سنة الماضية أو أقل (بعد الذروة الجليدية الأخيرة، حينما عاد البشر لأول مرة إلى المناطق شبه القطبية، عندما تراجعت الأغطية الجليدية القطبية). ووفقًا للأدلة الجينية، يُعتقد أن انتشار المجموعات ذات البشرة الفاتحة في جميع أنحاء أوروبا قد حدث منذ حوالي ٥ آلاف عام، خلال العصر الحجري المتوسط. أصبح البشر الآن كثيري التنقل وينتشرون بسرعة كبيرة حول الأرض، بحيث إن لون البشرة لم يعُد تتحكم فيه الظروف المحلية. علاوة على ذلك، يتزاوج البشر بسرعةٍ وبحريةٍ كبيرة، لدرجة أنه مهما كانت الاختلافات الإقليمية التي كانت موجودةً في يومٍ من الأيام، فهي تنصهر إلى حدٍّ كبير؛ حيث يولَد المزيد والمزيد من الأطفال لأزواجٍ من أعراق مختلفة. علاوةً على ذلك، تتوفر وسائل صناعية لتعويض اختلافات لون البشرة، مثل واقي الشمس لمنع الأشخاص ذوي البشرة الفاتحة من حروق الشمس، وأقراص فيتامين د لَمن لا يحصل على الكفاية منها؛ فلا يحتاج أحد إلى أن يعاني في كلتا الحالتين.

لقد حدث العديد من التغييرات الجينية الصغيرة الدقيقة الأخرى في آخر بضعة آلاف من السنين. قبل ٣٠ ألف عام، كان لدى جميع البشر شمع أذن لزج، وكانوا يفرزون الكثير من العرق. منذ حوالَي ٢٠ ألف عام، ظهرت في معظم سكان شرق آسيا طفرة تُسمَّى «إيه بي سي ١١»، وصار لدى جميع أحفادهم الآن شمع أذن جاف قشري، ويميلون إلى التعرق بدرجة أقل.

ما هي الاختلافات الجسدية التي يمكن أن تحفظها هياكلنا العظمية إذن، والتي يمكن لعلماء الأنثروبولوجيا رصدها في المستقبل؟ أول ما ستلاحظه هو أنه منذ حوالي ١١ ألف عام، عندما ظهرت الحضارات الزراعية الأولى، وبدأ الناس في طهو طعامهم؛ تقلَّصت أسنانهم وفكوكهم بنسبة ١٠ بالمائة تقريبًا مقارنة بشعوب العصر الجليدي الذين أمضَوا وقتهم في الصيد وجمع الثمار. كما أشرنا في الفصل الحادي والعشرين، أصبحت وجوهنا وأفواهنا أقصر؛ ومن ثم تقلَّصت المساحة المخصَّصة لأسناننا. غالبًا ما تكون الأضراس الأخيرة في فكوكنا («أضراس العقل») مكتظة ويمكن أن تنطمر، وفي بعض المجموعات البشرية لا تنمو أضراس العقل على الإطلاق. ولأننا لم نعُد بحاجةٍ إلى مجموعةٍ من الأضراس الشديدة التحمل لطحن البذور الصلبة والمكسرات، فسوف تنتشر الجينات للأشخاص الذين ليس لديهم أضراس العقل، ولن تنمو لدى البشر في المستقبل.

حديثًا، زاد متوسط طول الأشخاص في الدول الصناعية الغربية في المتوسط بنحو ١٠ سنتيمترات (أربع بوصات) في آخر ١٥٠ عامًا. ففي عام ١٨٨٠، كان متوسط طول الرجل الأمريكي ٥ أقدام و٧ بوصات، والآن يبلغ متوسط طوله ٥ أقدام و١٠ بوصات. إن هذه الزيادة في طول الإنسان ترجع بالتأكيد إلى تحسينات في الأنظمة الغذائية. وقد ظهر هذا بشكل بارز في اليابان خلال أربعينيات القرن الماضي. قبل الحرب العالمية الثانية، كان معظم اليابانيين يعيشون في فقر، وكانت أنظمتهم الغذائية فقيرة تتكون في معظمها من الأرز مع كمية محدودة من الخَضراوات والبروتينات. بعد انتهاء الحرب، وتحديث اليابان خلال الاحتلال الأمريكي؛ تحسَّن اقتصادها ونظامها الغذائي، حيث تضمَّن الكثير من البروتين والفواكه والخضراوات. نتيجة لذلك، فإن متوسط طول أجيال ما بعد الحرب أطول بشكل ملحوظ من جيل أجدادهم. كان هذا التغيير سريعًا للغاية (بضعة عقود فقط) فهو لم يُشفَّر في الجينوم بعد، لكنه مثال على التنوع في النمط الظاهري نتيجة للبيئة؛ استجابات قصيرة المدى غير جينية لظروف مباشرة تؤثر على النمو.

من الأمثلة الأخرى على التكيف الجسدي المحلي هي البنية القصيرة الأطراف، الممتلئة، التي تحتفظ بالدهون، لشعبَي الإنويت (الإسكيمو) واللابلاندر، اللذين يعيشان في مناخات

شديدة البرودة. فالأطراف الطويلة عبء في المناخات الباردة؛ حيث إن مساحة سطحها المتزايدة تفقد الحرارة، وهي ظاهرة تُعرَف في علم الأحياء باسم قاعدة ألين. لا بد أن هذا التعديل الوراثي أيضًا قد بدأ منذ أقل من ٢٠ ألف عام، عندما بدأت الأنهار الجليدية في التراجع لأول مرة من المناطق القطبية، وجعلتها صالحة للسكن.

إن الميزة الانتخابية للجينات التي تمنحها بعض الجينات الأخرى أقل وضوحًا. فالسبب في ظهور العيون الزرقاء على سبيل المثال، هو جين يشير التحليل الجيني إلى ظهوره في إيطاليا ومنطقة البحر الأسود منذ حوالي ١٤ ألف عام. لسبب ما، اعتُبِرت العيون الزرقاء جذابة وانتُخِبت، مما كان يمنح فرصة أكبر بنسبة ٥ في المائة للتكاثر الناجح، والآن تنتشر العيون الزرقاء بين حوالَي نصف مليار شخص، معظمهم من أصول شمال أوراسيا.

بعض التغيرات الأخرى توجد في وظائفنا الفسيولوجية وخصائصنا الجينية بدلًا من بنيتنا التشريحية. أحد الأمثلة على التكيفات الحديثة هي قدرة البشر الذين يعيشون في الجبال العالية (على سبيل المثال، شعب الشيربا في جبال الهيمالايا) على تحمل مستويات الأكسجين المنخفضة. وقد نشأ هذا التكيف في البشر بشكلٍ مستقلٍّ ثلاث مرات على الأقل.

قبل ٨ آلاف عام (وحتى اليوم في الثقافات التي لا تستهلك منتجات الألبان تقريبًا) فقدَ معظم البشر قدرتهم على هضم اللاكتوز بعد فطامهم من حليب أمهاتهم، وأصبح لديهم حساسية من اللاكتوز. واليوم، يحتفظ العديدُ من المجموعات البشرية بالجينات التي تنتج إنزيم اللاكتاز لبقية حياتهم، حتى يتمكَّنوا من هضم الحليب ومنتجات الألبان، واستخدام هذا المصدر من البروتين بعد فترة طويلة من توقفهم عن الرضاعة من أثداء أمهاتهم. يبدو أن هذا التطور قد حدث على الأقل ٥ مرات في آخر ثمانية آلالف عام، والتي شهدت الاحتفاظ بالحيوانات المستأنَسة لإنتاج الحليب. واليوم، يمتلك حوالَي ٩٥٪ من شعوب شمال أوروبا الجين الذي يصنع إنزيم اللاكتاز، لكنه أقل شيوعًا في الثقافات التي لا تربِّي الحيوانات من أجل الحليب. إضافةً إلى ذلك، فإن الجماعات السكانية المنحدرة من الثقافات الزراعية تنتج نسخًا أكثر بكثيرٍ من الجينات التي تصنع إنزيم الأميليز اللعابي، وهو ضروريٌّ لهضم النشا، بينما تمتلك ثقافات الصيد والالتقاط الصغيرة في أفريقيا عددًا أقلَّ بكثيرٍ من هذه الجينات.

يطور البشر أيضًا بسرعةٍ جينات لمقاومة مختلف الأمراض. ينتشر فقر الدم المِنجَلي في أفريقيا وفي المجتمعات الآتية من أفريقيا. عندما يحصل شخصٌ ما على نسخةٍ من الجين المتنحي (متماثل اللواقح) من كلا الوالدين، فإنه عادة ما يكون مميتًا. لكن الأشخاص

الذين يكون لديهم نسخة من كلا أليلَي الجين (متغاير اللواقح) يتمكَّنون من مقاومة الملاريا. يساعد هذا في استمرار جين فقر الدم المِنجَلي المميت؛ لأن الأفراد المتغايري اللواقح لديهم أفضلية للنجاة من الملاريا، في حين أن الأشخاص ذوي الجين السائد المتماثل اللواقح أكثرُ عرضةً للإصابة بالملاريا. وما دام الأشخاص المتغايرو اللواقح يتمتعون بأفضلية، فإن الجين المتنحي المميت يبقى في المجموعة بسببهم. لكن جينًا آخر، يُدعى «دي إيه آر سي»، الذي يمنح مقاومة لأحد الناقلَين اللذين يحملان الملاريا؛ بدأ في الظهور في هذه المجموعات منذ حوالي ٤٥ ألف عام. لذا فإن جين فقر الدم المنجلي بدأ يفقد أفضليته في مكافحة الملاريا، وسيختفي في النهاية. تنتشر بين المجموعات البشرية جينات جديدة لمكافحة الجذام والسُّل أيضًا.

لقد قطعنا شوطًا طويلًا من تطور الكون والنظام الشمسي إلى تطور الحياة على الأرض. ومن خلال تتبُّع جميع الأدلة، الخفية والواضحة، أصبح لدينا الآن نموذج لكيفية تطور الحياة واستمرارها في التطور. لقد رأينا مدى ارتباطنا ارتباطًا وثيقًا ببقية أشكال الحياة، بدءًا من التشابه بنسبة ٩٩ في المائة في الحمض النووي مع الشمبانزي والغوريلا، إلى المقدار المذهل من السلوك المشترك والسيكولوجيا التي نتشارك فيها مع هذه الكائنات، إلى الأدلة الأحفورية المتعلقة بكيفية تطورنا، والبيانات التي تُظهِر أننا ما زلنا نتطوَّر. ومثلما كتب تشارلز داروين لأول مرة عام ١٨٥٩:

> إنَّ هذه النظرة للحياة لا تخلو من الجلال؛ فقد نُفخت الحياة بقواها المتعددة في أنواع قليلة أو نوع واحد، بينما استمر هذا الكوكب في دورانه وفقًا لقانون الجاذبية الثابت، ومن مثل هذه البداية البسيطة جدًّا، تطورت أنواع لا حصر لها في غاية الجمال والروعة، ولا تزال تتطور.

أو كما كتب عالم الوراثة العظيم ثيودوسيوس دوبجانسكي في عام ١٩٧٣: «لا معنى لعلم الأحياء إلا في ضوء التطور.»

قراءات إضافية

Barnett, Adrian, “Future Humans: Just How Far Can Our Evolution Go?” *New Scientist*, no. 3098 (November 2, 2016).

Cochran, Gregory, *The 10,000 Year Explosion: How Civilization Accelerated Human Evolution*, New York: Basic Books, 2009.

Hawks, John, "Still Evolving after All These Years," *Scientific American* 311, no. 3 (2014): 86–91.

Manco, Jean, *Ancestral Journeys: The Peopling of Europe from the First Ventures to the Vikings*, London: Thames & Hudson, 2016.

Prothero, Donald R., *When Humans Nearly Vanished: The Eruption of Toba Volcano*, Washington, D.C.: Smithsonian Books, 2018.

Reich, David, *Who We Are and How We Got Here: DNA and the New Science of the Human Past*, New York: Pantheon, 2018.

Rutherford, Adam, *A Brief History of Everyone Who Ever Lived: The Human Story Retold Through Our Genes*, New York: The Experiment, 2016.

Solomon, Scott, *Future Humans: Inside the Science of Our Continuing Evolution*, New Haven, Conn.: Yale University Press, 2016.

Wade, Nicholas, *Before the Dawn: Rediscovering the Lost History of Our Ancestors*, New York: Penguin, 2006.

_____, *A Troublesome Inheritance: Genes, Race, and Human History*, New York: Penguin, 2014.

Wells, Spencer, *Deep Ancestry: Inside the Genographic Project*, Washington, D.C.: National Geographic, 2006.

هوامش

(1) Cynthia McKanzie, "What Will Humans Look Like in the Future? Some Possible Scenarios," MessageToEagle.com, May 15, 2017, http://www.messagetoeagle.com/will-humans-look-like-future-possible-scenarios/.

(2) "Martin Rees: We Will Become a New Species by Expanding Beyond Earth," *New Scientist*, December 18, 2019, https://www.newscientist

.com/article/mg24432614-400-martin-rees-we-will-become-a-new-species-by-expanding-beyond-earth/.

(3) Cynthia McKanzie, “Why Did Our Brains Start Shrinking 20,000 Years Ago?” MessageToEagle.com, April 29, 2017, http://www.messagetoeagle.com/brains-startshrinking-20000-years-ago/.

هنـــداوي