

# جوهرُ الإنسانيّة

سَعْيٌ لا يَنْتَهِى وَحَرَكَاتٌ لا يَتَوَقَّفُ



تشارلز باسترناك



# جوهرُ الإنسانية

سَعْيٌ لا ينتهي وحرَاكٌ لا يتوقف

تأليف

تشارلز باسترناك

ترجمة

زينب عاطف

مراجعة

محمد فتحي خضر

## المحتويات

٩	شكر وتقدير
١١	تمهيد
١٥	١- مقدمة
٢٩	<b>الجزء الأول: التطور: الأساس الجيني للسعي</b>
٣١	٢- الوحدة والتنوع في الكائنات الحية
٦١	٣- النباتات والجراثيم: أصل الرؤية
٨٩	٤- الحيوانات والإنسان: تطور الصفات البشرية
١٢٣	<b>الجزء الثاني: الهيمنة: عواقب سعي الإنسان</b>
١٢٥	٥- الخروج من أفريقيا: الاستكشاف والتوسع
١٥٩	٦- السُّلْم: المَحَن والإنجازات
١٨٣	٧- الحضارة ١: المدن والمعابد
٢٠٧	٨- الحضارة ٢: التواصل والثقافة
٢٥١	٩- التكنولوجيا: الحرب والرخاء
٢٧٩	١٠- الدين: الإيمان والعقيدة
٣٠٧	١١- العلم: التفسير والتجريب
٣٣٥	<b>الجزء الثالث: الجدال الدائر: السعي الحالي</b>
٣٣٧	١٢- التلاعب بالجينات ١: الأطعمة المعدلة جينياً
٣٦٧	١٣- التلاعب بالجينات ٢: البشر المعدلون جينياً

٣٩٣	الجزء الرابع: تأمل متبصر: نظرة مستقبلية
٣٩٥	١٤- انقراض الفضول البشري أم بقاءه؟
٤١٧	الخاتمة
٤٢٧	مسرد المصطلحات
٤٣٧	المراجع

إلى جوليا (أوليفيا)، وهيلين، ومارجريت، وأودري، ومادلين، وآيريس، اللاتي  
دعمن رحلة سعبي على مدار نصف قرن.



## شكر وتقدير

أنا مُمتن أولاً وقبل كل شيء لكل من جون إليس وأرني بيترسون وجيمس روجرز لقراءتهم أجزاءً كبيرة من الكتاب ولتعليقاتهم البناءة. راجع كثير من الزملاء الآخرين أقساماً معينة من الكتاب وقدموا معلومات مفيدة؛ من بين هؤلاء ليزلي عبديلا وليزلي آيللو وروي أندرسون وفنسينت آنج ووالاس آرثر وريتشارد أسر وفرانسواز باربيرا-فريدمان وليندسي باشفورد ودوت بينيت وباروخ بلومبرج ونايجل براون وستيوارت براون وبول سيسلييترا وبروفيسي كولز وريتشارد دوكينز ونويل ديبي و(السير) ريتشارد دول وجابريل دوفر ودونالد إدموندز ومارك فيشر وميكي جيتوندي وفرانك هاي وأدريان هيل و(السير) جون كرييس وستيوارت نوتون وروبرت كروشنيسكي وديفيد جونز وكريس ليفر وستيفن مالتن وأن مكلاين و(اللورد) روبرت ماي ودينيس ميتشيسون وريتشارد موكسون وستيف نوسي وجوفينداراجان بادمانابان و(الراحل) روي بورتر ومارك ريدي وإيان روبنسون وجورج رولاند وريتشارد رادجلي وتشارلز شو وكريستوفر سترينجر وكيث طومسون و(السير) آلان والترز ودينيس فون دير فايد وأن وكريستوفر ويدنل وإنديميون ويلكنسون وديفيد وينتربورن ولويس ولبرت. بطبيعة الحال أنا أتحمل المسؤولية كاملة عن أي أخطاء في الحقائق أو أي تفسيرات غفلت عنها.

إلى أنثيا مورتون-سانير من وكالة كورتس براون، وكيرك جينسون من مطبعة جامعة أكسفورد في نيويورك، أشكرهما على إقناعي بعدم تأليف كتاب عن العلم في الدول النامية، وتحويل تفكيري إلى اتجاه آخر. ولقد تحمّل ديفيد سميث من وكالة أنيت جرين للمؤلفين وسالي سميث من شركة جون وايلي أند صنز المحدودة تحدي هذا الكتاب، وكانا مسؤولين عن خروج الكتاب للنور بمساعدة تحرير ليزلي ونشستر الرائع.

أُعبّر كذلك عن تقديري لصبر رؤساء القسم المتعاقبين في جامعة القديس جورج — أولاً مايك كليمنس ثم ليندسي باشفورد — لسماحهم لي في الاستمرار في استخدام مكتبي، الذي كان من فوائده الأخرى الحصول على اهتمام رائع من ستيفانينا بيلك في أثناء عملي على هذا الكتاب. كما حصلت على مساعدة لا تُقدَّر بثمن من فريق عمل المكتبة البريطانية ومكتبة لندن ومكتبات كنسينجتون وتشيلسي ومكتبة كلية الطب في جامعة القديس جورج ومكتبة الكلية الإمبريالية. وينطبق الأمر نفسه على صيانة نيك رامزي لجهاز الكمبيوتر المحمول العتيق الذي أمتلكه.

أدين بالكثير لهيلين وبيل رامزي؛ لتوفيرهما جَوْاً من الهدوء في منزلهما الإسباني متى احتجتُ إلى ذلك.

لندن وألمرية، ٢٠٠٣

## تمهيد

ألّف تشارلز باسترناك كتابًا مثيرًا للاهتمام يدور حول السعي المستمر، أحد أكثر السمات المحيرة في البشر، وربما الحيوانات الأخرى. وهو يتناول هذا الموضوع من منظور علم الأحياء الحديث، المبني في جزء كبير منه على المبدأ الذي سار عليه طوال القرن الماضي على الأقل؛ وهو أن الأحياء يُمكن تفسيرها من منظور كيميائي، وأن الكيمياء يُمكن تفسيرها من منظور فيزيائي. لكن من المعروف أن التفسير التحليلي للعمليات التي تتعرّض لها العناصر الكيميائية وحده لن يقدم تفسيرًا مُرضيًا أو عمليًا يمكنه أن يؤدي إلى التطبيق أو التدخّل، فلا بدّ أيضًا من فهم التفاعلات المعقّدة التي تحدث بمرور الوقت بين العمليات المنفصلة بعضها مع بعض، وطريقة التفاعل الكامل للكائن مع التراء الهائل في بيئته ومع الكائنات الأخرى التي يُقابلها، تلك التي تُشبهه والتي لا تشبهه. يصف جورج بيريك في روايته المثيرة للاهتمام «الحياة: دليل المستخدم» (التي ترجمها دي بيلوس، كولينز هارفيل، لندن ١٩٨٨) أُحجية الصور المقطعة في شكل يعبرّ على نحوٍ استعاريّ مفيد عن أخطار وجود علم اختزالي بالكامل؛ فالدراسة المتعمّقة لجزءٍ واحدٍ من الأُحجية لا تقدّم أي دليل مقارنةً بدراسة النمط بأكمله، و فقط عند الانتهاء من تكوين الصورة بأكملها نُدرك أهمية إسهام كل جزء فردي فيها.

العلم هو وسيلة أساسية في السعي الإنساني الدائم، والممارسة العملية بطبيعتها تضمّن ظهور ألغاز يجب حلّها؛ فعملية الإجابة عن الأسئلة تؤدي إلى ظهور بيانات جديدة يُمكن طرح أسئلة جديدة عنها؛ فعند وضع فرضية، يجب جمع بيانات جديدة من أجل اختبارها، ثم يُمكن استخدام هذه البيانات فيما بعد لتقرير إما دعم الفرضية أو رفضها، إلا أنّ هذه البيانات الجديدة يكون لها استخدام آخر؛ فهي تمتلك خاصية فطرية

— بسبب حداثتها — تتممُّ في الحث على طرح أسئلة لم تُطرح من قبل قطُّ، وعادةً تفوق الأسئلة التي تُطرح تلك التي يُجاب عنها، ومع زيادة المعرفة يُماط اللثام عن عدد متزايد من الأمور المجهولة. كان الشعراء والكتّاب الرومانسيون في القرنين الثامن عشر والتاسع عشر يَحشون من أن العلم سيُزيل الغموض من العالم؛ بسبب قدرته الشديدة على حل المشكلات. لكن ما كان بهم حاجة إلى الخوف؛ فقد كشف العلم وسيظلُّ يكشف عن المزيد من الألغاز في الكون من حولنا — وهو الموضوع الأساسي لسعي الإنسان — بما يفوق قدرة البشرية على الإجابة عنها من عصرنا حتى نهاية وجودها في هذا الكون. لقد ارتكب فيكتور فرانكنشتاين في رواية ماري شيلي الخالدة خطيئة الغطرسة الخلّاقة عندما حاول حلّ لغز الحياة من خلال خلق الوحش، ونجح جزئيًّا في محاولته هذه. إلا أنّ رواية «فرانكنشتاين» كانت قصة خيالية، ونحن ما زلنا لا نعلم كيف بدأت الحياة على الأرض أو في أي مكان آخر في الكون، ولا يرجع هذا إلى تقصير في المحاولات.

تكون السُّبل العلمية للسعي والاكتشاف عادةً معقّدة وتحدُّث بها تغيرات مفاجئة غير متوقعة. إنها تتسمّ بالسلمات نفسها التي تجعل قصص المغامرات الخيالية مُمتعة وسهلة القراءة. فكّر في الأحداث غير المتوقّعة التي حدثت في أثناء رحلة عودة أوديسيوس ورجاله من طروادة، وذلك اليوم الحافل الميء بالمعضلات غير المتوقّعة، التي واجهها ليوبولد بلوم في أسفاره حول دبلن في نسخة جيمس جويس من مغامرات أوديسيوس. ورغم الخيال الغني والمبتكر للروائيين، فإن القصص الواقعية للاستكشاف والاكتشاف العلمي عادةً ما تكون أغرب وأكثر استعصاءً على التوقع من أيّ قصة خيالية. ويعدُّ البحث الذي أجريته مع زملائي على اكتشاف فيروس التهاب الكبد «ب» مثال على هذه الطبيعة غير المتوقّعة للبحث العلمي؛ فقد بدأنا البحث ونحن مهتمُّون بالتنوع الوراثي وغيره من أشكال التنوع الكيميائي الحيوي في البشر؛ الذي يؤثّر على نحو متباين في قابلية الإصابة بالمرض، وخاصةً في الاستجابات للعوامل الناقلة للعدوى. وكجزء من استراتيجيتنا البحثية، استخدمنا المصل الخاص بالمرضى الذين خضعوا لعملية نقل دم حتى نرى إذا تكوّن لديهم ردُّ فعل تجاه بروتينات المصل التي حصلوا عليها في عملية نقل الدم ولم يرثوها أو يكتسبوها. وجدنا بالفعل اختلافات، ولكننا استطعنا أيضًا التعرف على فيروس التهاب الكبد «ب» الذي كان موجودًا في دم المتبرّعين، حتى إن كانوا في هذا الوقت لم تظهر عليهم بعدُ أعراض المرض. أدى هذا الاكتشاف إلى حماية الإمداد بالدم ضد انتقال فيروس التهاب الكبد «ب»، وابتكار لقاحٍ مضادٍّ لهذا الفيروس وبدء أكبر برامج تطعيم في العالم. كما مكّن كذلك من تحديد

أن فيروس التهاب الكبد «ب» هو السبب الرئيسي في سرطان الكبد الأوّلي، وهو نوع من السرطان شائع للغاية خاصةً في آسيا والدول الأفريقية جنوب الصحراء الكبرى (يُعتبر التهاب الكبد الفيروسي «ج» سبباً مهماً أيضاً). يُعتبر لقاح فيروس التهاب الكبد «ب» أول لقاح يقي من السرطان، كما أن برنامج التطعيم العالمي قد بدأ بالفعل من أجل تقليل حالات الإصابة بهذا السرطان المُميت. لم يكن من المُمكن توقُّع مثل هذه النتيجة الطيبة في بداية هذه المغامرة العلمية كثيرة التعرجات.

يشير باسترتناك إلى أن كثيراً من الحيوانات باحثة، بينما يقول في الوقت نفسه إنَّ البحث هو ما يميِّز الإنسان عن الشمبانزي والحيوانات الأخرى. ما حلُّ هذا التناقض الواضح؟ يأتي الاختلاف، على حد قوله، من قدرة الجنس البشري على السعي الذي لا ينتهي. يظهر هذا بوضوح في العلم الحديث؛ فوجود أدوات على درجة عالية من الدقة والثقة، مع وجود قياسات بالغة السرعة، يسمِّحُ بتراكمِ فعَّالٍ لكَمِّيات كبيرة من البيانات. وبرنامج علوم الفضاء مثال جيد للغاية على قدرة البشر على زيادة قدرتهم على السعي المستمر؛ فقد شهدت العقود القليلة الماضية إطلاق أقمار صناعية وسفن فضاء ذات استخدامات عديدة لم يكن من المُمكن تحيُّلها من قبل، ومن المزمع إطلاق أنواع أكثر إثارة. كذلك زارت بعثات روبوتية كافة كواكب مجموعتنا الشمسية عدا بلوتو، كما هبط البشر على القمر وأحضرت كيلوجرامات من العيِّنات إلى الأرض من أجل دراستها، كما أرسل العديد من الأقمار الصناعية لتدور حول المريخ، وهبطت أخرى عليه، وأعدت إلينا صوراً وقياسات. ومن المقرَّر إجراء برنامج مكثف للهبوط على المريخ يتمثل الهدف الأساسي منه في تحديد وجود مياه وحياة على هذا الكوكب حالياً أو ما إذا كانت موجودة في الماضي البعيد. هذا وتجري حالياً دراسة إرسال بعثة بشرية إلى المريخ رغم أن البعثة الفعلية تنظر نتائج الأبحاث التي ستجعل هذه المهمة المحفوفة بالمخاطر آمنة، كما أن الأقمار الصناعية التي تُراقب الأرض أمدَّتنا بفهم مفصَّل على نحوٍ استثنائي لديناميكا المناخ وأحوال الأرض والبحار. لقد تواجد البشر في المدار القريب من الأرض منذ عدة سنوات على متن محطة الفضاء الروسية/السوفييتية مير، و حالياً على متن محطة الفضاء الدولية. وسيضمُّ مشروع ناسا «الحياة مع نجم» أسطولاً صغيراً من الأقمار الصناعية من أجل دراسة الشمس؛ نجماً، وتحديد تأثيرها على مُناخ الأرض ووسائل الاتصال، والأخطار التي قد تمثِّلها العواصف الشمسية على الأقمار الصناعية وشبكة الطاقة الكهربائية، والبشر في الرحلات الفضائية القريبة والبعيدة. من المذهل التفكير في هذا بوصفه خطوة عظيمة إلى الأمام في رغبة الإنسان

في فهم طبيعة مركز الإمداد بالحياة في مجموعتنا الشمسية؛ الشمس التي لا تُقهر، التي أعلن الإمبراطور أوريليان في عام ٢٧٤ أنها رمزُ الألوهية العالمي.

أطلق ثلاثة من مراصد ناسا الكبرى، هي: تليسكوب هابل الفضائي المذهل (بل سيُطلق تليسكوب فضائي أكبر حجماً منه؛ هو تليسكوب جيمس ويب الفضائي، في خلال عقد أو أكثر)، ومرصد كومبتون لأشعة جاما، ومرصد تشاندرا الفضائي للأشعة السينية. ومن المقرر إطلاق تليسكوب فضائي للأشعة تحت الحمراء في مداره في عام ٢٠٠٣. كل هذه، وغيرها الكثير، من أدوات الملاحظة العلمية التي كانت مستحيلةً قبل هذا الوقت، تعتبر أمثلة على قدرات البشر على توسيع نطاق المغامرة. تَسْمَح هذه الأدوات بتدفُّق هائل للأفكار الجديدة من أجل إجراء مزيد من الدراسة المبنية على مشاهدات غير مسبوقة من قبل. لم تكن هذه المشاهدات مُمكنة في أي وقت من قبلُ بسبب عدم توافر مثل هذه المنصات المرتفعة.

ما الحافز وراء عمليات البحث والسفر الحاملة والمُكلِّفة هذه؟ بالطبع توجد نتائج جانبية تجارية مهمة؛ فبثُّ الرسائل والصور والبيانات عبر الأقمار الصناعية، والملاحة باستخدام نظام تحديد المواقع الجغرافية، ومراقبة المرضى عن بُعد في وحدات الرعاية المركزة، تُعتبر كلها أمثلة على التطبيقات المهمة لبرنامج الفضاء. ومن المرجح أن تتولى الدول المهتمة بالفضاء قيادة عالم التجارة في هذا القرن والقرون القادمة. ورغم أنَّ المساعي الفضائية عليها أن تُركِّز على الهندسة والمشكلات الفنية حتى يُمكن للأجهزة أن تحلّق، فإن الهدف هو إثراء الفهم العلمي للطبيعة وإنجاز مشروعات علمية أساسية لم تكن مُمكنة من قبل. إلا أنَّ ثمة هدفاً رئيسياً لبرنامج الفضاء، وغيره من البرامج المشابهة، يتمثل في إشباع قوة الفضول الدافعة التي تحرك البشر المتسعين بالسعي الذي لا نهاية له، وربما تعمل، كما يقول المؤلف، على تمييزهم عن الكائنات الحية الأخرى التي تتشارك معهم في كوكب الأرض.

باروخ إس بلومبرج (الحاصل على جائزة نوبل)

يونيو ٢٠٠٣

## الفصل الأول

### مقدمة

نحن جميعاً فئران تجارب في مختبر الرب؛ فالبشر هم مشروع لم يَنْتَه بعد.

(تينيسي ويليامز)<sup>١</sup>

لقد أماط العلماء اللثام عن الجينوم البشري، وحن الآن وقت تدبُّر النتائج؛ فما الذي يجعلنا بشرًا؟ تجادل الفلاسفة والعلماء طويلاً بشأن هذا الأمر، وأومن أن ما يجعلنا بشرًا هو ميلنا الفطري تجاه السعي بلا توقف.

إن كلمة سعي بالإنجليزية quest مشتقة من الفعل اللاتيني quaerere بمعنى البحث والتنقيب، ومن هذا الفعل اشتُقَّت كلمة تساؤل query وحب الاستطلاع inquisitiveness من ناحية، وكلمة غزو conquest من ناحية أخرى. تصف هذه الكلمات كلها الصفات التي جعلتْنا سادة الحياة على الأرض؛ فنحن نبحث عن آفاق جديدة، ونُنقب عن تفسيرات للظواهر من حولنا، لكننا نسعى أيضًا للسيطرة على الكائنات الأخرى.

إلا أن البحث سِمَة أساسية في كافة الكائنات الحية؛ فهو جزء أساسي في الحياة تمامًا مثل النمو والتكاثر؛ فالنباتات تبحث وكذا الجراثيم. وكما نعلم جميعًا تميل النباتات إلى النمو في اتجاه الضوء، فتمثّل الشمس مصدر الطاقة الوحيد لها، كما تسبّح بعض الجراثيم نحو مصدر غذائها؛ لذا لا عجب أن تُمارس الحيوانات أيضًا، التي لها سلف مُشترك مع النباتات والجراثيم، البحث عن الغذاء وعن رَوْج في الأساس، وعن ماءٍ ومأوى أيضًا في حالة الحيوانات غير المائية. ومع تطور الحيوانات أكثر على مدى نصف مليار سنة مضت، تطوّرت أيضًا قدرة الحيوانات على البحث، ووصلت إلى ذروتها لدى الإنسان العاقل؛ فنحن لا يقتصر بحثنا على الطعام والماء والزوج والمأوى، وإنما نبحث أيضًا دون وجود سبب

واضح على الإطلاق؛ فالفضول وحده، وليس الحاجة، هي التي دفعت الإنسان إلى البحث عن منبع النّيل والكشف عن أصل النجوم.

ربما يقول المتحذلقون إنني أستخدم كلمة «بحث» بمعنيين مختلفين؛ فالنباتات والجراثيم تستجيب للضوء والغذاء بطريقة لا إرادية ومبرمجة مسبقاً؛ فهي تنجذب فحسب لمصدر الضوء أو مصدر تركُّز العناصر الغذائية. أما بحث الإنسان فيكون إرادياً ومتنوعاً؛ فبعضنا يكون لديه فضول بشأن أصل العواصف الرعدية والزلازل، بينما لا يهتم آخرون بأسباب هذه الأشياء تماماً مثل عدم اهتمامهم بطريقة عمل السيارة أو جهاز الكمبيوتر، ولكنهم ربما يهتمون بمعرفة سبب ترك أشهر نجمة شعبية في هذا الوقت لصديقها، وما توقّعات أبراجهم لهذا الشهر، فيبحثون في وسائل الإعلام وعلى الإنترنت عن إجابات. وأنت نفسك تبحث عن شيء ما — عن تسليّة أو معرفة — في هذه اللحظة ذاتها التي تُمسك فيها بهذا الكتاب.

رغم هذا، أخبرنا علماء الفسيولوجيا والكيمياء الحيوية أنه لا يوجد اختلاف أساسي كبير بين الفعل اللاإرادي مثل خفقان القلب، والفعل الإرادي مثل رفع أحد الحاجبين، وبين شعور لا إرادي مثل الخوف، وشعور إرادي مثل اتخاذ قرار قراءة هذا الكتاب؛ فالآليات الأساسية هي نفسها تقريباً. لن أتحدّث في هذه المرحلة عن التفاصيل إلا بغرض الإشارة إلى أن الحياة بأكملها، سواء كانت حياة جرثومة أو نبات أو حيوان أو إنسان، تعتمد على التفاعلات الكيميائية بين الوحدات الأساسية للمادة التي تُسمى الجزيئات.

يتمثّل أهمُّ نوعين من الجزيئات في أي كائن حي في: الجينات، التي يعرفها علماء الكيمياء الحيوية أيضاً باسم الذي إن إيه، والبروتينات. علاقة الجينات بالبروتينات تُماثل تماماً علاقة تصميم المهندس المعماري بالبناء الذي سيبنه؛ فهو يحدّد شكله وحجمه فالجين هو مجموعة من التعليمات الخاصة بتكوين أحد البروتينات؛ فهو يحدّد حجمه وشكله. وظيفة البروتينات هي إمداد المادة بالحياة؛ بالحركة والنمو والتكاثر وإدراك بيئتها والقدرة على البحث. فالبروتينات هي أساس الاستجابات الإرادية واللاإرادية لدى الحيوانات المتشابهة. بالإضافة إلى هذا، نعرف أيضاً أن بعض الجينات المتعلّقة باستجابات النباتات والجراثيم؛ مثل بحثها عن الضوء والغذاء، توجد بالتكوين نفسه لدى الحيوانات والإنسان، بعبارة أخرى: بعض البروتينات التي تُمكّننا من البحث ترتبط في تكوينها بالبروتينات التي تملكها أشكال للحياة أكثر بساطة وقدمًا.

إذا كان ثمة استمرار في الوظيفة، وفي الجزيئات الأساسية من البكتيريا القديمة وحتى الأسماك والطيور والثدييات، فما الذي يميّز إذن أحد الرئيسيات، الإنسان العاقل، عن

كافة الكائنات الأخرى، خاصةً عن أقرب أقاربه: «بان تروجلوديت»، النوع الشائع من الشمبانزي، و«بان بانيسكوس»: البونوبو أو ما يُعرف بالشمبانزي القزم؟ هل يُمكن أن يكون الاختلاف شيئاً بسيطاً مثل الرغبة المتزايدة في السعي المستمر؟ طوال ١٥٠ عاماً، منذ عهد داروين، حاول علماء الأثنروبولوجيا (علم دراسة الإنسان) تحديد الصفات التي تميّز السلوك الفريد للإنسان، لكنهم فشلوا. فعند البحث عن كل صفة مقترحة لدى الرئيسيات غير البشرية، كان يُعثر عليها؛ مثل استخدام الأدوات البسيطة، والقدرة على التفكير، والشعور بالألم والسعادة، والإدراك والوعي للذات، وفهم الفكاهة، وفهم الكلمات واللغة.<sup>٢</sup> ربما تكون الصفة مُستخدمة بأقل قدر ممكن، ولدى بعض الأنواع تكون مكتسبة من البشر، لكن هذا يجعلنا غير قادرين على تحديد سمة محدّدة للإنسان. ولم تكن محاولات كُتّاب معاصرين مثل كينان مالك (٢٠٠٠) في كتابه «الإنسان والوحش والزومبي»، لفعل هذا الأمر — مُقنعة، فما كان منهم إلا تجنّب الموضوع من خلال إرجاع تفرّد الإنسان إلى بعض السمات السلوكية غير الجينية، مثل ظهور «الميمات»، وهو موضوع سنتحدّث عنه في الخاتمة.

لذا، في كتاب «أزدهار الشمبانزي الثالث وتدهوره» يصف عالم الأحياء جارد دياموند الإنسان وصفاً صادقاً أنه مجرد فرد آخر في مجموعة الرئيسيات، ويجب تصنيفه في النوع نفسه مع البونوبو والشمبانزي الشائع، وللاستفزاز يُطلق على هذا النوع «هومو» بدلاً من «بان». فعَل ديزموند موريس الأمر نفسه في كتابه «القرد العاري» قبل ذلك بثلاثين عاماً.<sup>٣</sup> فعلى ما يبدو لا توجد سمة تميّز الإنسان العاقل؛ فالحكمة بالتأكيد ليست سمة مميّزة. وإذا لم تكن توجد صفة محددة تفسر الاختلاف الجوهرى بين الشمبانزي والإنسان، فلا بدّ لنا من البحث عن عدد من السمات، التي ليست حكراً على الإنسان، التي نتج عنها بطريقة ما عند اجتماعها سلوكه المُعدّل، وقدرته المتزايدة على السعي. ماذا يُمكن أن تكون هذه الصفات؟

ثمّة مئات الصفات التي تميّز الإنسان عن الشمبانزي، ربما أكثرها وضوحاً للمُشاهد العادي وجود شعر أقل على الجسم، واختلاف شكل الوجه، وقصر طول الذراعين، والمشيّة المُنتصبّة. أما المتخصص فإن الصفات التي يركّز عليها هي التي ترتبط بمجال تخصصه؛ فسيصف اختصاصي علم التشريح بالتفصيل شكل الفكّ والحوض وكل عظمة أخرى في الجسم، أما اختصاصي التغذية فسيدرس النظام الغذائي من حيث استهلاك البروتين الحيواني في مقابل البروتين النباتي، أما المتخصص في الأثنروبولوجيا فسيركّز على الظهور

المبكر للقدرة الإنجابية وقصر متوسط العمر المتوقع، في حين سيلاحظ المتخصص في علم الاجتماع سلوك التزاوج من حيث طول فترة الرغبة الجنسية وعدد الأزواج، وسيلاحظ الخبير في الإحصاء الفروق النسبية في الطول بين الذكر والأنثى، وربما يعلّق على كبر حجم الثدي لدى أنثى الإنسان، وطول العضو التناسلي لدى الذكور.<sup>٤</sup>

سنركز نحن على أربع صفات فقط صاحبت تطوّر الإنسان عن الرئيسيات الأخرى. تتمثل الصفة الأولى في حدوث تغبّر في العمود الفقري جعله يسير منتصبًا. يعمل هذا على زيادة رؤيته للأفق ويحرّر يديه في الوقت نفسه؛ فتستطيع مسح العرق من فوق جبينك وتقشير موزة وأنت تسير، لكن الشمبانزي يجلس حتى يفعل هذا. أما الصفة الثانية فتتمثل في حدوث تغيير في الطول النسبي للإبهام والأصابع الأخرى وفي العضلات التي تتحكم في حركتها؛ فنحن نستطيع ثني إبهامنا وتحريكها كي نمس بها أطراف أصابعنا الأربع الأخرى على نحو أفضل من الشمبانزي، فتسمح لنا القبضة الدقيقة المحكمة بالشعور بشكل الأشياء والتعامل معها على نحو مميّز، فيستطيع بعضنا تعلّم العزف على الكمان، أو استئصال الزائدة الدودية، في حين أن أداء الشمبانزي في كلتا هاتين المهمتين يكون غير متقن. أما السمة المميزة الثالثة فتتمثل في الأحبال الصوتية؛ فهي توجد داخل الحنجرة، التي تتنفّس من خلالها كافة الرئيسيات، في مكان مُنخفض لدى البشر، وتوجد داخل صندوق صوت معقد بين قطعتين صغيرتين من الغضاريف، وقد نتج عن هذا قدرتنا على إصدار كمّ هائل من الأصوات المتنوعة — استمع فقط إلى المدى الصوتي للمغني لوتشيانو بافاروتي وتسجيلات ماريا كالاس — بينما لا يستطيع الشمبانزي إصدار صوت عدا النخير. ورغم هذا فإننا نولد بأحبال صوت بدائية في مكان مرتفع من الحنجرة، تمامًا مثل القرد، فلا يستطيع الأطفال الرضّع إلا البكاء والأنين، رغم أنهم مثل الشمبانزي يستطيعون التنفس والبلع في الوقت نفسه؛ أما البشر البالغون فلا يُمكنهم هذا؛ فالانخفاض البسيط في مكان الأحبال الصوتية في السنة الأولى تقريبًا من عمر الإنسان هو ما يمده بالقدرة على الكلام. أما الصفة الرابعة فتتمثل في ملايين العصبونات والخلايا العصبية المسؤولة عن التفكير والذاكرة، وعن القدرة على التفكير المنطقي. توجد هذه الخلايا في منطقة من الدماغ تُسمى القشرة، وفي الواقع هي تؤدي الوظيفة نفسها لدى الشمبانزي والبشر؛ فالاختلاف الوحيد أننا نملك ثلاثة أضعاف العدد الموجود لدى الشمبانزي.

أعتقد أن اجتماع هذه الصفات الأربع هو الذي مكّن الإنسان من توسيع نطاق بحثه، جسديًا وذهنيًا، أكثر من أي حيوان آخر. في تأكيدي على أن ما يميز الإنسان هو مجموعة

من الصفات، أعمل بذلك على تطبيق تعريف التفرّد الذي وضعه اختصاصيُّ المناعة بيتر مدورّ على هذا النوع: «يختلف فردٌ عن غيره ليس بسبب امتلاكه صفة فريدة، وإنما بسبب امتلاكه خليطاً فريداً من الصفات.»<sup>٥</sup> من ناحية أخرى، تعتمد قدرة الإنسان المضاعفة على البحث كثيراً على استخدامه للغة التي ربما أكون قد استخدمتها للتركيز على صفة الكلام وحدها. في كتابه المذهل «التهيوُّ والثروة وتطور اللغة» فعل عالم الأنثروبولوجيا هذا بالضبط، فهو يقول إنَّ الثرثرة بين البشر هي امتداد لعملية التنظيف بين القردة، وإن الثرثرة هي التي أدت إلى تطور اللغة؛ ومن ثم إلى سلوك الإنسان المعقد. لكن في حين يسهم الكلام دون شك في قدرة الإنسان المتفوقة على السعي الدائم، فإنه لا يفسّر وحده ظهور الحضارات وتطور الثقافة؛ فالثرثرة لم تشيّد هرم خوفو الأكبر، ولم تؤدّ إلى رسم الموناليزا أو اكتشاف النظرية النسبية، وإنما هذا كله نتاجٌ لسعي مستمر لا نهاية له.

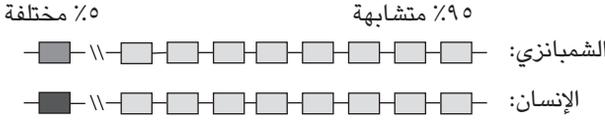
ظهرت الفروق التشريحية الأربعة بين الإنسان والشمبانزي التي ركّزت عليها؛ المشية المنتصبّة، واليد سلسة الحركة، والأحبال الصوتية المتطوّرة، والكم الهائل من العصبونات في قشرة الدماغ، بالتدرّج على مدار ٥ ملايين سنة مضت أو ما شابه. حدث ظهورها بالصدفة المحضة، وكان فقط نتيجةً لحقيقة أن أصحابها، أنواعاً متعاقبة من الرئيسيات، أنجبوا آخرين من النوع نفسه. لا تعبر أيُّ صفة عن تغرُّب مفاجئ وكبير في الشكل، تماماً مثلما حدث عند تطور الأسماك إلى حيوانات أرضية، وتطوّر الزواحف لتصبح طيوراً. وتتحدّد كل صفة تشريحية من هذه الصفات الأربع بعدد من الجينات. حتى الآن لم تُكتشف كافة هذه الجينات، ولكن من المحتمل أنها تنتمي إلى عائلات متشابهة لدى البشر والشمبانزي. وكما سنرى في الفصل الرابع، تُشبه الجينات المسؤولة عن الصفات البشرية الجينات المحدّدة لوظائف مشابهة في الرئيسيات الأخرى، فيما يتعلق بموضوع البحث ربما يبدو من غير الضروري افتراض وجود جينات «بشرية» من أجل تفسير الفروق الأساسية بين الإنسان والقرود.

ينطبق هذا الاستنتاج على كافة الوظائف الأخرى لدى البشر والشمبانزي أيضاً، ويتوافق بسهولة مع حقيقة أن تكويننا الجيني يُشبه تكوين الشمبانزي بنحو ٩٥٪، إلا أن وجود اختلاف بنسبة ٥٪ ما زال يعني تفرّد الإنسان بأكثر من ألف جين في مقابل تلك التي يشترك فيها مع الشمبانزي، ويواصل معتنقو وجهة النظر هذه البحث عن جينات مميزة للإنسان. لا أعتقد أنهم سيجدونها؛ فتفسيري أنا، الذي يُشاركني فيه كثير من علماء الجزيئات، مُختلف؛ فنحن نرى أن «التشابه بنسبة ٩٥٪» يُشير إلى أن كافة جينات

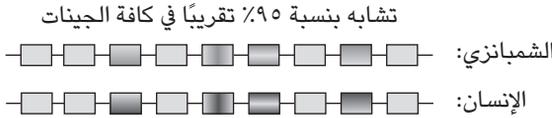
الشمبانزي والبشر متشابهة في المتوسط بنسبة ٩٥٪ ومختلفة بنسبة ٥٪، فبعض الجينات، مثل سلسلة ألفا التي تدخل في تكوين الهيموجلوبين، تكون مُتماثلَّة، بينما تكون بعض الجينات الأخرى، مثل الخاصة بالأنسولين، متطابقة تقريبًا، في حين تكون جينات أخرى مختلفة عن بعضها بنسبة تفوق ٥٪، لكن حتى هذه الجينات تنتمي إلى العائلة الجينية نفسها، فتحدّد الوظيفة نفسها لدى البشر والشمبانزي. فلا توجد جينات «بشرية» تختلف عن جينات «الشمبانزي» على الإطلاق (شكل ١-١).

الذي إن إيه الخاص بكائنات من العائلة نفسها: تشابه بنسبة ٩٥٪

#### التفسير ١



#### التفسير ٢



شكل ١-١: التكوين الجيني للشمبانزي والبشر. انظر النص والهامش رقم ٢٦ في الفصل الثاني من أجل الحصول على مزيد من التفاصيل.

إجمالاً، يدور هذا الكتاب حول فكرة أن كل الكائنات الحية، بدايةً من البكتيريا حتى النباتات والحيوانات، تبحث لدى البشر تكون النزعة إلى السعي ضخمة، في حين تكون قاصرةً لدى الرئيسيات الأخرى. وقد دانت للإنسان السيادة على العالم وكل الكائنات فيه، أما الشمبانزي فمُعزَّض الآن لخطر الانقراض.<sup>٧</sup>

ينقسم هذا الكتاب إلى أربعة أجزاء؛ في الجزء الأول نتحدث عن الأساس الجيني للبحث، وحتى نفعل هذا علينا التفكير في الطبيعة الجزيئية للحياة. يوجد توحّد وتنوع؛ فالكائنات

كلها مكوّنة من النوع نفسه من الجزيئات، لكن لا يوجد كائنان حتى من النوع نفسه مُتماثلان تمامًا؛ إذ يختلفان في التكوين الدقيق الذي إن إيه والبروتينات التي تتكوّن جسمهما منها، ونتيجةً لهذا تنمو شجيرة أطول من المُجاورة لها، وتَسبَح أميبا أسرع من قرينتها، ويُصبح هديل حمامة أعلى من إختوتها، ويُصبح إنسان أكثر فضولاً من إنسان آخر. كذلك فإن هذه التفاصيل الدقيقة في التكوين الجزيئي تكون هي المسؤولة عن ظهور نوع جديد؛ ظهورنا نحن البشر من البكتيريا القديمة، كما سنشرح في الفصل الثاني.

أُشرت من قبل إلى بحث النباتات عن ضوء الشمس وبحث الجراثيم عن الطعام؛ نظراً لكون هذه الأجهزة بسيطة نسبياً، أصبح كثير من الجزيئات المسؤولة عن عملية البحث لديها معروفاً، فأتضح أن كثيراً منها، كالبروتينات وجزيئات أخرى أصغر حجماً مثل الفيتامينات، يلعب دوراً أيضاً في العمليات الفسيولوجية التي تتحكم في البحث لدى كائنات أكثر تعقيداً. وكما سنرى في الفصل الثالث، فإن الرؤية، الأساسية في قدرة الحيوانات على البحث، تعتمد على آلية يرجع أصلها إلى استجابة النباتات وجراثيم معينة للضوء.

مع تحول الكائنات البحرية إلى الحياة على سطح الأرض منذ ٤٠٠ مليون سنة، اتسع نطاق البحث، وعندما حلّت الثدييات محلّ الزواحف منذ ٦٥ مليون سنة اتسع نطاق البحث مرةً أخرى، ومع بدء تطور أسلاف الإنسان الحديث من الرئيسيات الأخرى منذ نحو ٥ ملايين سنة، زادت القدرة على البحث بدرجة أكبر، فتظهر بوضوح مميزات الصفات التي تحدثت عنها عند البحث عن الطعام والماء، أو مُفترس محتمل، أو بيئة جديدة للاستقرار فيها. تظهر فوائد نجاح البحث جليةً في البقاء ونقل جينات الفرد؛ ونعني بهذا مفهوم الجين الأناني.<sup>٨</sup> وسنتحدث عن الجزيئات التي اكتُشفت مؤخراً وتتعلم بسعي الإنسان في الفصل الرابع.

يتبّع الجزء الثاني من الكتاب سعي الإنسان الحديث؛ الإنسان العاقل. إنه يتحدث في الأساس عن قصة آخر ١٠٠ ألف سنة وتحليلها من منظور بحث الإنسان المستمر. كل موضوع أتحدث عنه هو مقياس للفروق السلوكية بين الإنسان والشمبانزي؛ فنبتع كلٌّ منها من الأسلوب المتفوق للإنسان في ممارسة فعل السعي البدائي، فعقله يطرح الأسئلة ويبتكر تحديات جديدة، فتستجيب يديه؛ إذن ماذا كانت عواقب ذلك؟ أخذ الإنسان بحثه عن بيئات جديدة إلى أبعد من موطنه الأصلي في أفريقيا؛ إلى آسيا وأوروبا ثم إلى جميع أجزاء العالم، وقد قرر بعض أفراد هذا النوع الاستقرار في معظم الأماكن باستثناء الغطاء الجليدي القطبي والصحراء القاحلة والجبال المغطاة بالثلوج، وفي كثير من الحالات

لا يزال أحفادهم موجودين فيها حتى يومنا هذا. وستحدث بأمثلة توضيحية عن النزعة الاستكشافية لدى البشر، بدايةً من خروجهم من الوادي المتصدع الكبير في شرق أفريقيا وحتى هبوطهم على القمر، في الفصل الخامس.

منذ عشرات الآلاف من السنين بدأ البشر يشعرون بأمان أكثر عند الابتعاد عن الحيوانات المفترسة، فبدءوا يزرعون محاصيل خاصة بهم ويستأنسون الحيوانات من أجل الحصول على الطعام ولتأدية بعض الأعمال. ومع التخلي عن حياة الترحال في سبيل إنشاء مجتمع مستقر، لم تقنّع بعض المجموعات بالبقاء في المكان نفسه، فبحثت عن أماكن جديدة يُمكنها الاستقرار فيها، وبدأت في البحث عن أساليب جديدة تقضي بها حياتها اليومية؛ ليس فقط بتحقيق المزيد من الراحة بالحياة في المباني والأماكن المصنوعة من الحجارة، وليس بمجرد جعل الحياة صحية أكثر، باستخدام أنابيب المياه والمصارف، وإنما أيضًا من خلال إحاطة أنفسهم بأشياء مبهجة؛ فظهرت الحضارات. وستحدث عن ميلاد الحضارات ودور الوراثة في صنع القادة والبشر المثقفين في الفصل السادس.

سنعقد مقارنة بين الإنجازات المرتبطة بهذه الحضارات، التي نشأت في بلاد الرافدين ومصر والصين والهند وجزيرة كريت، وفي وسط أمريكا وجنوبها، والندرة النسبية لمثل هذه الإنجازات في أماكن أخرى في الفصل السابع. أما الفصل الثامن فيدور حول تطور اللغة، الذي سبق الكلام المكتوب، وأساس المعرفة العلمية والفرن.

عمل الإنسان بيديه منذ تشكيله لأول حجر صوّان وإشعاله النار منذ أكثر من مليون سنة مضت، فقد حدّدت التقنيات المستخدمة في العصر الحجري في الصين ولدى المسلمين طريقة ممارستنا لحياتنا، إلا أنّ كل تطور يحدث يصحبه ظهور أداة حربية جديدة. وقد خصصنا الفصل التاسع للحديث عن هذه الموضوعات ولتقييم العلاقة بين التكنولوجيا والثراء، ونختتمه بالحديث عن اختراعات رجل واحد؛ وهو ليوناردو دافينشي، فلم يضاها أحدٌ دافينشي قطُّ في الجمع بين المهارة اليدوية والإبداع العقلي.

لا بد أن الإنسان البدائي كان يخاف من العالم الطبيعي من حوله؛ من البرق والرعد، ومن الأعاصير والفيضانات، ومن الانفجارات البركانية والزلازل، وقد بحث عن تفسيرات لها. وكان أفضل تفسير توصل إليه البشر جميعًا، سواء في بلاد سومر أو في مصر أو الهند أو الصين أو جزيرة كريت أو وسط أمريكا وجنوبها، هو الدين؛ الإيمان بقوى خارقة للطبيعة تكون هي المسؤولة في النهاية عن الأحداث التي لا يستطيع البشر فهمها والتحكم

فيها. أثبتت هذه التفسيرات أنها مُرضية نظرًا لكون الأديان التي ظهرت — الهندوسية والبوذية واليهودية، ثم المسيحية والإسلام — ما زالت تُمارَس في جميع أنحاء العالم إلى يومنا هذا، من ملايين الرجال والنساء المتعلمين، وفي كافة المهن، في المعابد والأضرحة والمساجد والصلوات، وفي الكنائس والمنازل. لكن مع الإلحاح يَعترف قليل من الناس أنهم لم يعودوا يَنسبون الظواهر الطبيعية إلى قوَى إلهية. فما الذي يبحثون عنه؟ سنحاول الإجابة عن هذا التساؤل في الفصل العاشر.

بدأ التشكيك في الأصول الإلهية للأحداث المادية على يد الفلاسفة الإغريق؛ بحثًا منهم عن تفسيرات بديلة منذ نحو ألفي عام. توقَّفت بعد ذلك محاولات التفكير العلمي حتى بدأت تظهر تفسيرات لأحداث، مثل تحوُّل النهار إلى ليل والشتاء إلى ربيع، في القرن السادس عشر (رغم أننا ما زلنا نستخدم مصطلحات مثل «غروب الشمس» و«شروق الشمس»). يختلف التفسير العلمي عن غيره من كافة التفسيرات الأخرى في طبيعته العالمية؛ فمفهوم أن الأرض تدور حول الشمس، وليس العكس، هو نفسه في روما كما هو في كراكوف؛ فالعلم — المتمثِّل في التحقيق في المعتقدات عبر إجراء التجارب التي تؤدِّي إلى وضع فرضية، أو وضع فرضية ثم إتباعها بإجراء تجارب — واحدٌ أينما يُمارَس، ويُعتبر العلماء مستكشفين أيضًا؛ فهم يبحثون عن نجوم تُبعد عنا تريليونات السنين الضوئية، وعن جسيمات أصغر بمليارات المرات من جزيء السكر، وعن بقايا حيوانات انقرضت منذ ملايين السنين، وعن سلالات من الفيروسات لم تظهر إلا في عصرنا الحالي. نذكر في الفصل الحادي عشر إسهامات بعض العلماء العابرة، ونطرح سؤالًا بسيطًا: هل سنكتشف قريبًا كل ما يُمكن معرفته، أم أن البحث لا نهاية له؟

يركِّز الجزء الثالث من هذا الكتاب على النقاش الحالي حول العلم والتكنولوجيا؛ فالمعرفة التي حصلنا عليها في العقدين الماضيين بشأن التلاعب في جينات — جينات النباتات والحيوانات والإنسان أيضًا — تؤدِّي إلى تغيرات هائلة في مجالي الزراعة والطب، فالبحث من أجل إنتاج محاصيل مُقاومة للجفاف، أو البرد أو الآفات، أو محاصيل تنتج غلَّة أكبر من القمح أو الذرة أو بنجر السكر أو البطاطا؛ يؤدِّي إلى فوائد اقتصادية واضحة ذات أهمية بالغة لدول العالم المتخلفة. ومع ذلك يوجد نقاش محتدم حول تعديل الطعام جينيًا، كما وصل الجدل حول تطبيق الأمر نفسه على البشر إلى حدِّ الغليان؛ هل يجوز السماح باستنساخ البشر؟ وهل يجوز أن نستبدل بالجينات المسبِّبة للمرض جينات صحية؟ وهل علينا تشجيع زرع أعضاء مأخوذة من الحيوانات؟ وهل يجوز السماح للناس بتجميد

خلايا جسمهم من أجل الحصول عليها إذا اقتضت الحاجة؟ وهل فوائد العبت مع الطبيعة تفوق مخاطره؟ وهل سعي العلماء غير المقيد يكون مقبولاً؟ نحاول عرض وجهة نظر موضوعية عن هذا في الفصلين الثاني عشر والثالث عشر.

نلقي في الجزء الأخير من الكتاب نظرةً على المستقبل، إلى أين سيقود السعي الإنسان خلال السنوات المائة القادمة، وإلى أين في خلال مليون سنة قادمة؟ بالطبع لا يسعنا سوى التكهن. على المدى القصير أتوقع أن تراجع حب الاستطلاع، «تراجع المستوى الفكري» الذي يوجد حالياً في المجتمعات الغربية، سيؤدي إلى تدهورها مقارنةً بالثقافات في شرق آسيا. ومع ذلك، بوجه عام سيصبح البشر على القدر نفسه من الغباء والإبداع، ومن الطبيعة والقسوة التي هم عليها حالياً؛ فقد أثبتت التجربة أن أحداث الماضي يكون لها تأثير ضئيل على سلوك الإنسان، كما أن التغيير الذي يحدث في جيناته على مدار قرن من الزمن يُمكن بالكاد إدراكه. فحتى يمكننا دراسة التغيير التطوري الذي يتعرض له البشر علينا التفكير في الأمر على مدار ملايين السنين، وليس القرون. على مدار هذا الوقت، هل سيؤدي سعي الإنسان إلى ظهور نوع جديد من البشر، أم ستكون أبحاثه سبباً في دماره؛ بحيث يفرض «الإنسان الباحث عن المعرفة» قبل حدوث هذا؟ نعرض توقعاً لما سيحدث في الفصل الرابع عشر.

مع نمو فكرة تأليف هذا الكتاب في ذهني، بدأت أفكر في سبب عدم تفكير أي شخص آخر في «السعي» بوصفه صفة مميزة للبشر ومع ذلك أساسية في كافة أشكال الحياة. هل هي فكرة عديمة الأهمية أم أنها بديهية؟ تحدثت مع زملائي المتخصصين في مجال العلوم ومع علماء الأنتروبولوجيا، فاستمعوا إليّ في تهذيب وابتسموا واقترحوا عليّ التحدث مع أشخاص آخرين نظراً لكون هذا خارج مجال تخصصهم. جاء رد فعل آخرين على النحو نفسه. المهم في الأمر أن أحداً لم يستطع إرشادي إلى مقال أو كتاب تناول هذا الأمر بأكمله من قبل، على الأقل كان هذا أمراً مشجعاً.

ثم جاء ريتشارد دوكينز لإنقاذي؛ إذ كان يعتقد أن السير أليستر هاردي، أستاذ علم الحيوان في أكسفورد منذ نصف قرن، اقترح أمراً مشابهاً؛ كان يذكر وجود مقالٍ في مكان ما، لكنه لم يستطع تذكر المرجع بدقة، هل يمكن لأرثر كين، أحد زملاء هاردي السابقين الذي انتقل إلى ليفربول لكنه تقاعد الآن، المساعدة؟ لكن عندما تمكنت من معرفة مكانه كان مع الأسف قد توفي. واصلت بحثي، واعتقد متخصص آخر في علم الحيوان في

أكسفورد، مارك ريدلي، أن هذا المقال المثير ربما يوجد في إحدى محاضرات جيفورد التي ألقتها هاردي بعد وقتٍ قصيرٍ من تقاعده. وبالفعل نجحتُ! وكما يظهر في الاقتباس التالي لم تكن فكرتي حمقاء أو بديهية، على العكس، فيبدو أن تأليفي لهذا الكتاب يُجيب عن السؤال الذي طرحه هاردي. إليك الكلمات التي أقتبسها عنه:

رغم ذلك، من عملية التطور هذه، من مكانٍ ما، جاء الدافع، أو حب المغامرة، لدى الإنسان الذي قد يدفعه إلى المخاطرة بحياته بتسلُّق جبل إيفرست، أو الوصول إلى القطب الجنوبي أو إلى القمر. هل — إجمالاً — من السذاجة الاعتقاد بأن هذه النزعة الاستكشافية، وهذا الفضول، ترجع أصولهما إلى جزء راسخ في السلوك الحيواني يلعب دوراً أساسياً في تدفُّق الحياة؟<sup>٩</sup>

حتى أتمكَّن من كتابة هذا الكتاب اخترتُ التبخرُ في موضوعات مثل الدين والأنثروبولوجيا والتاريخ والفن، وهي موضوعات لم أحصل فيها على تدريبٍ رسمي، فأنا مجرد عالم كيمياء حيوية بسيط، إلا أنَّ السعي للتعبير عن أفكاري أمر متأصل في جيناتي؛ ألم يكن جدي فناناً وزوجته موسيقية وخالي كاتباً والدي فيلسوفاً؟! وعلى القارئ أن يُسامحني عن الأخطاء التي سيجدها فيما يلي؛ فقد كنتُ أكتب بوصفي عالماً، لكنني سمحتُ لأفكاري بأن تتحرَّك في كافة الاتجاهات.

أتخيل الآن في ذهني مجموعةً من أسلافنا القدامى يسرون منتصبين على طول منطقة أولدوفاي جورج في شمال تنزانيا بحثاً عن الطعام، وأرشميدس في سرقوسة يفكرُ في طريقة لقياس الكمِّيات التقريبية للذهب والفضة في تاج الملك هيرون، وكريستوفر كولومبوس وهو يقف في مقدمة السفينة سانتا ماريا يحدِّق في الأفق الغربي باحثاً عن الأرض، وكلود مونيه في حديثه في قرية جيفرني وهو يُحاول تصوير ضوء الشمس وهو يسقط على زنابق الماء، وأدولف هتلر وهاینريش هلمر في مستشارية الرايخ يبحثان عن أسرع الطرق لإبادة شعب بأكملها، والأم تيريزا في أحياء كلكتا الفقيرة وهي تحاول الاعتناء بالمُحتَضرين من الجوع وجعلهم يموتون بكرامة، ومجموعة من العلماء ذوي المعاطف البيضاء في مختبرهم يحاولون إدخال جينٍ مقاوم للبرودة داخل نبتة الطماطم. أعرف أن هؤلاء جميعاً ما هم إلا بشر، لكنني أعلم أيضاً أن هذا كله ما هو إلا تعبير عن صفة أساسية في المادة الحية؛ القدرة على البحث. منذ بداية تأليفي لهذا الكتاب، اكتُشف تسلسل الجينوم البشري، وما زال أماننا وقت طويل حتى تتضح وظيفة كافة البروتينات التي تُحدِّدها جيناتنا، والإشارات

الداخلية المعقدة التي تنتقل بينها، لكن إذا اعتقدت، مثلي تمامًا، أن مثل هذه التفاعلات الجزيئية هي أساس سلوكنا المعقد، ورغبتنا القوية في السعي، فإنك ستنضم إليَّ في رحلة مدتها ٣ مليارات ونصف مليار سنة سأحاول استعراضها في أقل من ٤٠٠ صفحة.

## هوامش

(١) من مسرحية «كامينو ريال» (١٩٥٣).

(٢) انظر، على سبيل المثال، كارل ساجان وأن دوريان، المرجع السابق؛ للحصول على ملخص مفيد في ص ٣٩٩. توجد معلومات جيدة حول تقنية استخدام الأدوات والاعادات الاجتماعية لدى الشمبانزي يقدمها فرانس بي إم دي وال وإيه وايتن وآخرون في مجلة نيتشر العدد ٣٩٩: الصفحات ٦٣٥-٦٣٦ و ٦٨٢-٦٨٥؛ ١٩٩٩ على التوالي. وللاطلاع على دراسة عن عقل الشمبانزي وعلاقته بعقلنا انظر ستيفن جيه ميثن، المرجع السابق، خاصة الصفحات من ٧٣ حتى ٩٤، وانظر أيضًا جين جودول، المرجع السابق.

(٣) صنّف جان جاك روسو، في عام ١٧٥٣ (قبل ١٠٠ عام من ظهور كتاب داروين «أصل الأنواع») الشمبانزي والبشر على أنهم ينتمون إلى النوع نفسه، وقال متنبئًا: إن القدرة على الكلام في البداية «لم تكن فطرية لدى الإنسان». من كارل ساجان وأن درويان، المرجع السابق، ص ٢٧٣.

(٤) إلا أن خصيتي الشمبانزي أكبر حجمًا، فينتج المزيد من الحيوانات المنوية، ويستطيع الجماع مرة كل ساعة على مدار اليوم بأكمله (مع إناث مختلفة). أما قردة البونوبو فهي أكثر خصوبة على وجه الخصوص، كما أنها النوع الوحيد من الرئيسيات، بخلاف الإنسان، التي تتزاوج في «وضع الاستلقاء». انظر كارل ساجان وأن درويان، المرجع السابق، ص ٣١٠.

(٥) انظر بيتر مدور، «تفرد الفرد»، الطبعة الثانية، دوفر للنشر، نيويورك، ١٩٨١،

ص ١٣٤.

(٦) لأكثر من عقدين من الزمن ساد الافتراض بأن النسبة هي ٩٨,٥٪. انظر بحث روي جيه بريتن «الاختلاف بين عيّنات تسلسل الـ دي إن إيه للشمبانزي والإنسان يقدر بنحو ٥٪ مع حساب الإنديلات». مجلة وقائع الأكاديمية الوطنية للعلوم، الولايات المتحدة الأمريكية العدد ٩٩: ١٣٦٣٣-١٣٦٣٥، ٢٠٠٢.

- (٧) في عام ١٩٩٦ كان ثمة ١٠ آلاف بونوبو في البرية (جميعها في الكونغو)، لكن بعد ٤ سنوات قلَّ العدد إلى النصف. انظر مجلة نيتشر العدد ٤٠٥: ٢٦٢، ٢٠٠٢.
- (٨) ذكر إدوارد أوه ويلسون (١٩٧٥) هذه الفرضية بوضوح شديد في المرجع نفسه، ص ٣ (الصفات الأخلاقية للجين)، وأثراها استخدام ريتشارد دوكينز لكلمة «أناني» في كتابه «الجين الأناني»، المرجع السابق. من أجل الاطلاع على نقد جريء لهذا المفهوم. انظر بحث جابريل دوفر «معارضة دوكينز» في كتاب «وا أسفاه، داروين المسكين»، تحرير هيلاري وستيفن روز، المرجع السابق، الصفحات ٤٧-٦٦.
- (٩) قارن هاردي التطور بنهر متدفق؛ فيبدأ الأول من نقطة واحدة ويتفرع، أما الثاني فيبدأ من مواضع كثيرة وينتهي عند مصب واحد. يفقد التطور صفة العشوائية مع تقدمه، بينما يكتسب النهر المتدفق وروافده عشوائية في أثناء تدفقه إلى أسفل. انظر إليه سي هاردي، المرجع السابق.



الجزء الأول

# التطور: الأساس الجيني للسعي



## الفصل الثاني

# الوحدة والتنوع في الكائنات الحية

### (١) الأساس الجزيئي للحياة

تتألف الحياة كلها، وفي الواقع الكون بأكمله، من جزيئات؛ جزيئات الهيدروجين والهيليوم الموجودة في الشمس والنجوم الأخرى، وجزيئات الماء في الأنهار والمحيطات الموجودة على سطح كوكبنا، وجزيئات سيليكات الألومنيوم الموجودة في قشرته الخارجية، وجزيئات النيتروجين والأكسجين الموجودة في غلافه الجوي، وجزيئات الحمض النووي (الحمض النووي الريبوزي منقوص الأكسجين (دي إن إيه)، والحمض النووي الريبوزي (آر إن إيه))، والبروتين والكربوهيدرات والدهون الموجودة داخل كل كائن حي يعيش على سطحه. تُسمى المجموعة الأخيرة من الجزيئات أحياناً الجزيئات العضوية؛ تمييزاً لها عن الجزيئات غير الحية وغير العضوية التي تتكوّن منها الصخور والرمال والبحار والهواء، ولا تزيد الجراثيم والنباتات والحيوانات عن كونها مجموعة من الجزيئات العضوية مع بعض الأملاح والماء.

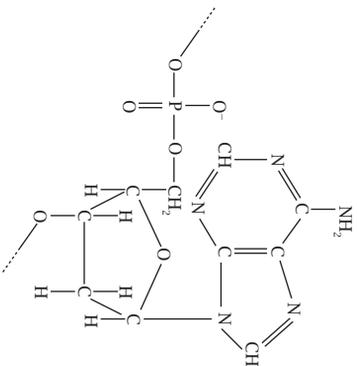
تتّسم الجزيئات بأنها متناهية الصّغر؛ فجزيئات مثل الماء أو الأكسجين أو ثاني أكسيد الكربون تقلُّ في حجمها بأكثر من مليار مرة عن حجم رأس الدبوس، والكربوهيدرات مثل الجلوكوز، والدهون مثل الكوليسترول أكبر منها بعشر مرات، والبروتينات والكربوهيدرات مثل النشاء أكبر منها بمائة مرة، والدي إن إيه، الذي يُعتَبَر أكبر جزيء في المادة الحية، أكبر منها بمليون مرة (لكن يظلُّ من المستحيل رؤيته إلا باستخدام مجهر إلكتروني).

نظرًا لأن الكائنات الحية لا تتكوّن إلا من الجزيئات، فمن البديهي وجود أعداد كبيرة للغاية منها في أي جرثومة أو نبات أو حيوان؛ نحو ألف مليون مليون مليون مليون (٢٣١٠) جزيء بروتين، وعشرة آلاف مليون مليون مليون مليون مليون (١٦١٠) جزيء دي إن إيه لدى الإنسان البالغ. تُكوّن هذه الجزيئات الأعضاء، مثل الكبد والكلى والمخ؛ والأنسجة، مثل العضلات والدهون والعظام، التي تتكوّن منها أجسامنا.

تنقسم الأعضاء (وبعض الأنسجة) إلى تكوينات أصغر حجمًا تُسمّى الخلايا، يحيط بكلّ منها غشاء، يتكوّن بالطبع أيضًا من جزيئات، تتألف في الأساس من بروتينات ودهون مع بعض الكربوهيدرات. تتّسم خلايا النباتات والحيوانات بأن لها الحجم نفسه (يبلغ قطرها تقريبًا واحدًا على مائة من المليمتر، فهي صغيرة للغاية بحيث تستحيل رؤيتها بالعين المجردة)، وهذا بصرف النظر عما إذا كانت جزءًا من زهرة أقحوان أو من خُنفساء، أو من شجرة السيكيويا العملاقة أو من فيل، أو من جنين عمره شهر واحد، أو من رجل عمره ٢٠ عامًا. والجراثيم كائنات أحادية الخلية، وتكون خلاياها حتى أصغر حجمًا؛ أقل من واحد على عشرة من حجم خلية النبات أو الحيوان. تستطيع مئات البكتيريا المسبّبة للعدوى، مثل «المتفطرة الجذامية»، الحياة داخل خلية بشرية واحدة، ومع ذلك فإن الفيروسات أصغر حجمًا منها؛ فهي تنمو داخل البكتيريا وتستطيع عشرات الآلاف منها الحياة داخل خلية حيوانية واحدة قبل انطلاقها.

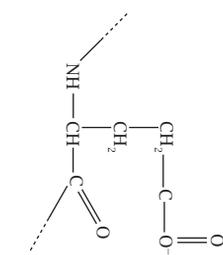
يعتمد عدد الخلايا الموجودة في الكائن الحي على حجمه؛ فالإنسان البالغ يحتوي جسمه على مائة مليون مليون (١٤١٠) خلية. وتُظهر لنا عملية حسابية سريعة أن أيّ خلية تحتوي على نحو عشرة ملايين مليون (١٣١٠) جزيء من الماء، ومائة مليون (١١٠) جزيء بروتين، ونحو مائة (٢١٠) جزيء دي إن إيه.

هكذا، فإن الجزيئات أصغر وحدة تتكون منها كافة المواد، ويختلف بعضها عن بعض ليس في الحجم فقط، وإنما في التكوين أيضًا؛ فالماء، على سبيل المثال، يتكون من ذرتي هيدروجين H تربطهما ذرة واحدة من الأكسجين  $O: H_2O$ . أما جزيء الجلوكوز فيتكون من ست ذرات من الكربون C، و١٢ ذرة من الهيدروجين وست ذرات من الأكسجين:  $C_6H_{12}O_6$  (شكل ٢-١). لا توجد الذرات ككيانات منفصلة (باستثناء حالة درجات الحرارة المرتفعة للغاية)، فالجزيئات والتفاعلات القائمة بينها هي التي تشكّل كيمياء الحياة. تُكوّن هذه التفاعلات معقّدة لأن بعض الجزيئات تكون معقّدة. يظهر



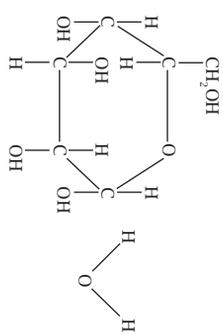
نيوكوتينيد

(د)



حمض أميني

(ج)



جلكوز

(ب)

(أ)

شكل ١-٢: تتمثل الجزيئات، التي تكون واحدة لدى كافة الكائنات، في: (أ) الماء، (ب) الجلكوز، (ج) الحمض الأميني، (د) النيوكوتينيد. يُسمى الحمض الأميني الواضح في الشكل الجلوتامات، ويظهر الروابط التي تربطه بالأحماض الأمينية المجاورة داخل البروتين في شكل خطوط متقطعة. أما النيوكوتينيد الموضح في الشكل فيُسمى أدنين ديوكسي نيوكوتينيد. تتمثل الحلقة العليا التي تحتوي في تكوينها على ذرات النيتروجين N جزءاً من الحلقة السفلى فيُسمى ديوكسي ريبوز. ويُسمى مجموعة الذرات الموجودة على يسارها، التي تحتوي على ذرة فسفور، فوسفات. تحتوي كل البيوتينات (تُسمى أحياناً نيوكوتينات للاختصار) على ديوكسي ريبوز وفوسفات؛ الحلقة التي تحتوي على النيتروجين هي التي تختلف بين أنواع النيوكوتينات الأربعة، التي يُشار إليها للتبسيط برموز A (الموضح في الشكل) و C و T. تظهر الروابط التي تصل نيوكوتينيد الأدينين بالنيوكوتينات المجاورة داخل جزيء الذي إن إيه في شكل خطوط متقطعة. كل النيوكوتينات سالبة الشحنة (ويظهر هنا من علامة السالب (-) الموجودة بجوار ذرة الأكسجين المتصلة بذرة الفسفور). تكون المجموعة الأمينية  $NH_2$  أحياناً موجبة الشحنة، وفي أحيان أخرى لا تكون كذلك، وهي تظهر هنا في شكل عديم الشحنة. تكون بعض الأحماض الأمينية موجبة الشحنة، ويكون البعض الآخر منها غير مشحون (محايداً)، في حين يكون بعضها، مثل الجلوتامات في الشكل (ج)، سالب الشحنة.

هذا جلياً في البروتينات والدي إن إيه؛ فعلى عكس جزيئات الماء أو الجلوكوز، التي تكون واحدة أينما وُجدت، تختلف جزيئات البروتينات والدي إن إيه من كائن لآخر.

## (٢) البروتينات والدي إن إيه

تتألف البروتينات من مئات ذرات الهيدروجين والأكسجين والكربون والنيتروجين N وبعض الكبريت S. ترتبط كلها معاً في سلاسل طويلة، تتألف كلُّ منها من سلسلة من وحدات أصغر حجماً تُسمى الأحماض الأمينية (شكل ٢-١). تخيل سلسلة حلقيّة معدنية تحتوي على مئات الحلقات؛ إذا كان البروتين في سلسلة، فإنَّ الأحماض الأمينية تمثّل كل حلقة فيها. وتاماً كما يُمكن ثني السلسلة الحلقيّة لتكوّن تكوينات أصغر حجماً، عن طريق وضعها في دلوٍ مثلاً، يُمكن ثني البروتين أيضاً على النحو نفسه في شكل ملفوف يتمثّل في الخلايا (شكل ٢-٢). لا تكون الأحماض الأمينية التي يتكوّن منها البروتين متشابهة؛ فيوجد ٢٠ نوعاً مختلفاً من الأحماض الأمينية، ويستطيع أيُّ منها الارتباط بالآخر. يتفاوت طول السلسلة أيضاً؛ فبعض البروتينات تتكون من سلاسل قصيرة نسبياً، بينما تتكون بروتينات أخرى من سلاسل أطول. يعتبر الأنسولين مثلاً على النوع الأول، والهيموجلوبين مثلاً على النوع الثاني؛ لذلك عندما يُوصف جزيء بأنه بروتين، فإن هذا يحدّد تكوينه؛ فيتكون من كثير من الأحماض الأمينية المرتبطة معاً في سلسلة. يختلف التكوين الدقيق من بروتين لآخر،<sup>١</sup> ولأنّ تكوين الجزيء يحدّد وظيفته، فإن البروتينات يُمكنها أداء أنشطة متنوعة للغاية؛ فالبروتينات في الواقع هي وسطاء الطبيعة.

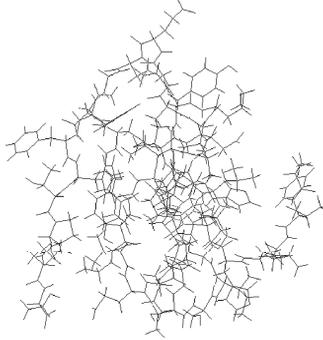
يحتوي جسم الإنسان على أكثر من ١٠٠ ألف نوع مختلف من البروتينات، كلُّ منها له وظيفته المحدّدة؛ فيساعد الأنسولين على امتصاص السكر من مجرى الدم في العضلات والكبد، ويحمل الهيموجلوبين الأكسجين عبر مجرى الدم، ويشكّل الأكتين والميوسين الشعيرات القابضة والباسطة للعضلة، وتحفّز بروتينات أخرى عملية التمثيل الغذائي؛ فتساعد في تفكيك الطعام الذي نتناوله؛ ومن ثم تُمكننا من استخدام الطاقة الناتجة في ضخّ الدم في جميع أنحاء الجسم، وفي الركض والقفز والقتال، في حين تكون بروتينات أخرى مسئولة عن جعل أعيننا زرقاء أو داكنة، وشعرنا أشقر أو أسود، مُجعّداً أو أملس، وقامتنا كبيرة أو صغيرة، وأفكارنا حزينة أو سعيدة، وقدرتنا العقلية يقظة أو بطيئة الاستيعاب؛ فكل صفة لدينا تُحددها البروتينات. كيف تنتقل إذن هذه الصفات من جيل لآخر، كما يحدث بوضوح لكثير منها؟ لا تكون البروتينات نفسها المسئولة عن هذا، وإنما

الجزيء الذي يمثل مخطّطاً تمهيدياً لكل بروتين في أجسامنا، ذلك الجزيء الذي يُسمّى الذي إن إيه.

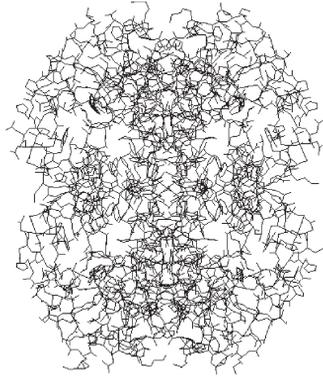
يتكون الذي إن إيه من ذرات الهيدروجين والأكسجين والكربون والنيتروجين والفوسفور P، والتي ترتبط معاً في سلسلة أطول من البروتينات. مرةً أخرى، تتكون هذه السلسلة من وحدات أصغر، تُسمى في هذه الحالة النيوكليوتيدات (شكل ٢-١)، ويتكوّن الحمض النووي من أربعة أنواع فقط من النيوكليوتيدات: نيوكليوتيد الأدينين (يُسمى A اختصاراً)، ونيوكليوتيد السيتوسين C، ونيوكليوتيد الجوانين G، ونيوكليوتيد الثيامين T. إن مدى ما تصل إليه سلسلة الذي إن إيه مذهل للغاية؛ فقد يصل طول جزيء الذي إن إيه البشري، عند بسطه، إلى نحو المترين، ومع ذلك فهو موجود داخل خلية يبلغ اتساعها ١٠ ميكرومترات. ونظراً لكون الميكرومتر يساوي واحداً على مليون من المتر، فإنّ هذا يعني تصغيراً للحجم بنحو ٥٠٠ ألف ضعف. وحتى يتحقق هذا يلتف الذي إن إيه داخل الخلية حول نفسه مراراً وتكراراً عدة مرات، ليس هذا فحسب وإنما في أثناء انقسام الخلية يُخزّن الذي إن إيه داخل الكروموسومات، الأصغر حجماً؛ مقارنةً بوضعه المضغوط للغاية داخل الكروموسومات، بينما «يُفكّ» الذي إن إيه نسبياً في أثناء الطور البيني (الفترة بين الانقسامات المتعاقبة للخلية). يمثل كل جزيء من الذي إن إيه في الواقع دائرة مغلقة، تماماً مثل العِقد المكوّن من خرزات صغيرة.

حتى نوضح الطول الهائل للذي إن إيه، تخيل أن يكون العِقد أرفع من شعر الإنسان بمائة مرة (سلسلة الذي إن إيه أرفع من هذا في الحقيقة)؛ لكنه يعادل في الطول مضمراً سباق دائرياً يبلغ طوله ميلاً. يكون الكروموسوم في حجم رأس الدبوس، وكل خرزة في العِقد — النيوكليوتيدات المنفصلة — حجمها واحد على ألف من حجم رأس الدبوس. توجد أربعة ألوان فقط لهذا الخرز؛ الكهرماني للأدينين A، والكريمي للسيتوسين C، والأخضر للجوانين G، والفيروزي للثيامين T. في الواقع يتكون العِقد (الذي إن إيه) من شريطين ملتفين أحدهما حول الآخر، بحيث تكون كل خرزة كهرمانية A أو فيروزية T على أحد الشريطين مقابلة لخرزة فيروزية T أو كهرمانية A على الشريط الآخر، وكل خرزة خضراء G أو كريمية C على أحد الشريطين تقابلها خرزة كريمية C أو خضراء G على الشريط الآخر. لا يسعني تصوير عِقد بهذا الشكل؛ لأنّ هذا الكتاب لا يحتوي على صور ملونة، ولكنني متأكد من أن أي قارئ محب للسعي والتحدي ويستطيع إعداد صورة لمثل هذا العِقد، سيجد أن ناشري النصوص الكيميائية الحيوية والأقراص المدمجة سيتهافتون عليه لشراء ابتكاره.

## جوهرُ الإنسانية



(أ)



(ب)

شكل ٢-٢: جزيئات مختلفة اختلافاً يسيراً لدى الكائنات كافة. يُظهر الشكل نوعين من البروتينات: (أ) الأنسولين البشري. و(ب) الهيموجلوبين البشري. تعبّر الخطوط عن الروابط بين الذرات كما في شكل ٢-١، بدرجة تكبير أقل (الذرات الفعلية حُذفت). هذه الأشكال نماذج ثلاثية الأبعاد قائمة على تصوير البلورات بالأشعة السينية. يبدو الهيموجلوبين مُناسقاً لأنه يتكون فعلياً من أربع سلاسل منفصلة من الأحماض الأمينية؛ سلسلتي ألفا وسلسلتي بيتا. أُعيدت طباعة هاتين الصورتين من قاعدة بيانات سويس بروت (الأنسولين: <http://ca.expasy.org/cgi-bin/niceprot.pl?1308>) و(الهيموجلوبين: <http://ca.expasy.org/contact.html>) من بنك بيانات البروتين. انظر إتش إم بيرمان وآخرين، «بنك بيانات البروتين»، مجلة نيوكليك أسيدس ريسيرش العدد ٢٨: ٢٣٥-٢٤٢، ٢٠٠٠.

ربما نتعجب من طريقة اصطفاف شريطي الذي إن إيه يمثل هذه الدقة أحدهما أمام الآخر. يرجع هذا لكونهما متكاملين؛ فيجذب كلُّ منهما الشريط الآخر. يُمكن تشبيه الوضع بانجذاب قضيبين من المغناطيس أحدهما إلى الآخر؛ فالقطب الشمالي في أحد القضيبين ينجذب للقطب الجنوبي في الآخر، والقطب الجنوبي في القضيب الأول ينجذب للقطب الشمالي في الثاني. يكون الانجذاب بين هذين القضيبين مغناطيسياً، أما الانجذاب بين شريطي الذي إن إيه فهو كيميائي، ويتطلب وجود قوة ضعيفة نسبياً تُعرف باسم الرابطة الهيدروجينية.<sup>٢</sup> لا يُمكن للحياة أن تبدأ على كوكبنا إلا عندما تنخفض درجة الحرارة بالقدر الكافي الذي يحافظ على سلامة الروابط الهيدروجينية التي تربط أجزاء الذي إن إيه معاً.

يحدّد التسلسل الذي تُرتّب فيه نيوكليوتيدات الأدينين والسيتوسين والجوانين والثيامين على طول جزء من شريط الذي إن إيه، التسلسل الذي ترتبط به الأنواع العشرين المختلفة من الأحماض الأمينية للبروتين معاً. ربما تتساءل كيف يُمكن لأربعة كيانات مختلفة أن تحدّد ٢٠ نوعاً آخر؛ فيجب على الأقل وجود ٢٠ نيوكليوتيداً مختلفاً في الذي إن إيه من أجل تحديد ٢٠ نوعاً مختلفاً من الأحماض الأمينية؟ إجابة هذا السؤال هي أن كل حمض أميني لا يتحدّد بفعل نيوكليوتيد واحد، وإنما بمجموعة تتكون من ثلاثة نيوكليوتيدات؛ فتكون الشفرة التي تحدّد بها نيوكليوتيدات الذي إن إيه أحماض البروتين الأمينية شفرة ثلاثية. يُمكن لأي من النيوكليوتيدات الأربعة شغل ثلاثة أماكن في هذه الشفرة الثلاثية؛ ومن ثم يوجد  $4 \times 4 \times 4 = 64$  احتمالاً مختلفاً، أكثر مما يكفي لعشرين حمضاً أمينياً. تحدّد بعض الشفرات الثلاثية إشارات إضافية، مثل «ابدأ» و«توقف»؛ وهي علامات الترقيم في الذي إن إيه التي تُخبر آلية الخلية أين يبدأ البروتين وأين ينتهي؛ ومن ثم فإنّ الشفرة «أدينين، ثيامين، جوانين»، على سبيل المثال، تشير إلى «بداية بروتين جديد»، بينما الشفرة «جوانين، أدينين، جوانين» تشير إلى حمض الجلوتامات الأميني، والشفرة «جوانين، ثيامين، جوانين» تشير إلى حمض الفالين الأميني، بينما الشفرة «ثيامين، جوانين، أدينين» تشير إلى «نهاية البروتين»، وهكذا.

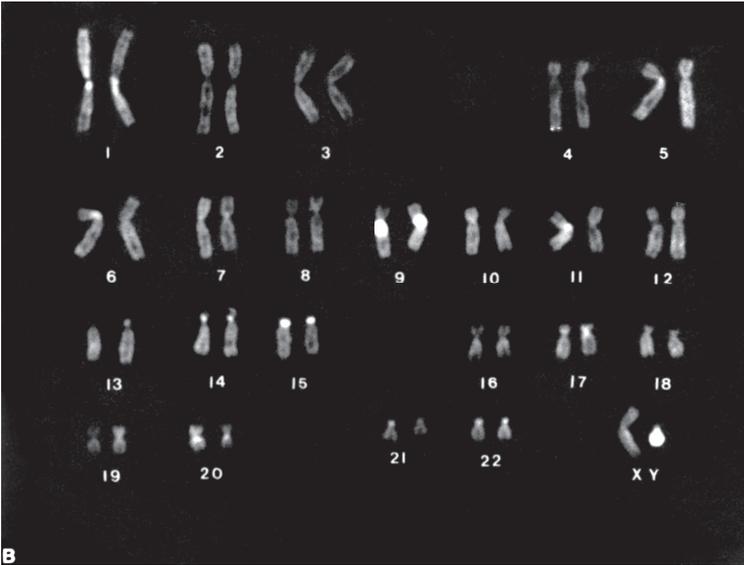
### (٣) الوراثة

ربما تبهر الجزيئات عالم الكيمياء الحيوية أو المتخصص في علم الصيدلة العصبية طوال حياته، لكنها تكون صعبةً بعض الشيء على المسافر الذي اشترى هذا الكتاب في المطار

خاصةً إذا كان لديه انطباع أن عنوان الكتاب هو شكل مبتكر من عناوين وكالات (المواعدة)، ومع ذلك، فإنَّ القارئ الذي ما زال يقظاً حتى الآن قد يلاحظ وجود تناقض، فكيف يستطيع جزيء من الذي إن إيه تحديد شفرة بروتين معيّن بينما لا يوجد إلا نحو ١٠٠ جزيء للذي إن إيه داخل الخلية، في حين يوجد أكثر من ١٠٠ ألف، وربما ٣٠٠ ألف، بروتين مختلف للاختيار من بينها داخل الخلية الواحدة؟ والإجابة عن هذا السؤال هي أنَّ جزيء الذي إن إيه الواحد لا يحدد شفرة بروتين واحد، وإنما عدة آلاف من البروتينات المختلفة. فيحدد جزء من الذي إن إيه شفرة أحد البروتينات، ويحدد الجزء التالي شفرة بروتين آخر، وهكذا؛ فجزيء الذي إن إيه أطول بمليون مرة من البروتين.<sup>٢</sup> يُسمى جزء الذي إن إيه الذي يحدد شفرة بروتين واحد بالجين؛ ومن ثم يوجد أكثر ألف جين، مجاورة لبعضها على امتداد كل جزيء من الذي إن إيه.<sup>٤</sup> يُسمى جزيء الذي إن إيه أيضاً كروموسوم، ويوجد ٢٣ كروموسوماً مختلفاً، تضم أشرطة دي إن إيه ذات أطوال مختلفة، في كل خلية بشرية. في الواقع إنَّ العدد الإجمالي للكروموسومات هو ٤٦، نظراً لوجود كل كروموسوم في شكل زوج (شكل ٢-٣). عندما تكون الخلية على وشك الانقسام، يتضاعف عدد جزيئات الذي إن إيه، أو بعبارة أخرى عدد الكروموسومات، ليصل إلى ٩٢؛ بحيث تُصبح كل خلية وليدة، بعد انقسام الخلية إلى نصفين، تحتوي مرةً أخرى على ٤٦ كروموسوماً (٢٣ زوجاً)؛ ومن ثمَّ يُصبح عدد الـ ١٠٠ جزيء دي إن إيه التقريبي داخل الخلية، الذي اقترحناه في بداية هذا الفصل، غير بعيد عن الصواب. لماذا توجد الكروموسومات في شكل أزواج؟ الإجابة على هذا السؤال بسيطة؛ فالإنسان يرث مجموعة تتكون من ٢٣ كروموسوماً من والدته، ومجموعة أخرى تتكون من ٢٣ كروموسوماً من والده.

يرجع سبب الالتباس الذي يحدث في أسماء مثل «الجين» و«الكروموسوم» إلى حقيقة أن ابتكار هذه الأسماء حدث قبل سنوات من معرفة تكوينها الكيميائي (الذي إن إيه)؛ فكلمة «جين» تشير إلى وحدة وظيفية للوراثة (من الكلمة الإغريقية واللاتينية بمعنى «ولادة»)، أما كلمة «كروموسوم» (الكلمة الإغريقية بمعنى «الجسم الملون») فتشير إلى تكوين يُرى باستخدام المجهر الضوئي داخل الخلايا المصبوغة بصبغة معينة قبل تهيوها للانقسام مباشرةً. يعود الفضل في ظهور مفهوم الجين إلى جريجور مندل، راهب من مورافيا، الذين عمل في صمت على تهجين سلالات مختلفة من البازلاء في حديقة أحد الأديرة في مدينة برون (التي تُعرف حالياً باسم برونو في جمهورية التشيك) منذ ١٠٠ عام.

## الوحدة والتنوع في الكائنات الحية



شكل ٢-٣: الكروموسومات. يعرض الشكل أزواج الكروموسومات في خلية بشرية لذكر في الطور الوسيط (قبل انقسام الخلية مباشرة). صُبغت الكروموسومات بصيغة مشعَّة ورُتِّبَتْ بحسب حجمها. أُعيدت طباعة الصورة من كتاب «الكروموسومات البشرية: مبادئ وتقنيات» لرام إس فايرما وأرفيند بابو، الطبعة الثانية، ماكجرو هيل، نيويورك، ١٩٨٥، بإذن من شركات ماكجرو هيل.

لقد أجرى أول تجربة علمية على عملية التهجين، التي مارسها الإنسان منذ ١٠ آلاف سنة، فلم يكن يبحث عن شيء عدا الآلية التي تنتقل بها صفات معيَّنة من جيلٍ إلى آخر، وقد اكتشف أن صفات نبتة البازلاء، مثل الطول أو القصر، ووجود لون أو غيابه في الزهور، وتجعُّد البذور أو ظهورها بمظهر أملس، تُورث منفصلةً عن بعضها، بطريقة يُمكن توقعها. واستنتج من هذا أن الصفات تنتقل كعناصر منفصلة، وأطلق عليها الجينات. وبفخر شديد يَعترف النمساويون (أو التشيكيون) أن جريجور مندل أحد أكبر علمائهم حتى وقتنا الحالي. لقد اكتُشفت مشاركة الكروموسومات في توريث صفات معيَّنة منذ وقت اكتشاف الجينات تقريباً، لكن لم تُكتشف الطبيعة الكيميائية للكروموسومات إلا

في وقت لاحق، في خلال السنوات الخمسين الأخيرة، وتحدّد أن الجينات المكوّنة لها هي ببساطة شريط طويل من الدي إن إيه.<sup>٥</sup>

بعد ذلك، في عام ١٩٥٠، ظهر اتفاق عام على أن تكوين المادة الوراثية — الكروموسومات والجينات المكوّنة لها — هو عبارة عن كيان كيميائي واحد يُسمى الدي إن إيه. اكتُشفت طريقة عمل الدي إن إيه مصادفةً، نتيجةً للتعرّف على تكوينه؛ ففي كامبريدج ابتكر ويليام براج وابنه لورنس تقنية تصوير البلورات بالأشعة السينية من أجل تحديد تركيب البلورات. وقد استطاعا توضيح تكوين الملح NaCl، الذي يُعتبر أحد أبسط المواد الكيميائية في الطبيعة. هل يُمكن تطبيق التقنية نفسها على الدي إن إيه، أكثر الجزيئات تعقيداً على وجه الأرض، الذي لا يُعتبر حتى بلورة فعلياً؟ تشجّع عالم شاب في كامبريدج، يُدعى فرانسيس كريك، لمحاولة ذلك، وراودت الفكرة نفسها زميلاً باحثاً شاباً يُجري أبحاث ما بعد الدكتوراه من الولايات المتحدة الأمريكية يُدعى جيمس واطسون، كان يعمل في القسم نفسه في هذا الوقت، وبدا تحديد تكوين الدي إن إيه مشروعاً مناسباً لتعاونهما المشترك، وإن كان ينطوي على تحدٍّ كبير. في الواقع لم يكن كريك قد حصل بعد على درجة الدكتوراه؛ لأنّ دراساته توقفت بسبب الحرب، ففي الواقع كان من المفترض أن يعمل على أطروحته عن تركيب الهيموجلوبين تحت إشراف ماكس بيروتس، في حين عُرض على واطسون مكاناً في المختبر نفسه لينضم إلى جون كندرو في دراساته للميوجلوبين. يُخبرنا هذا الكثير عن سماحة بيروتس وكندرو، وعن المناخ الخالي من التوتر الذي كانا يعملان فيه — في مختبر كافندش، أشهر قسم للفيزياء في بريطانيا — الذي سمح لواطسون وكريك بإشباع حماسهما للدي إن إيه، بدلاً من تكريس طاقتهما لدراسة تركيب البروتينات. إلا أنّ أهمية الدي إن إيه بوصفه المادة الوراثية المحتملة كان مُعترفاً بها بالفعل، ويُقال إن لينوس باولنج في الولايات المتحدة الأمريكية، الذي أظهر أنّ أساس كثير من البروتينات يكون في شكل لولب ألفا، كان على وشك التوصل إلى تركيب الدي إن إيه (كان يعتقد أنه ذو تركيب لولبي ثلاثي). بالتأكيد لم يكن كندرو وبيروتس ورئيس القسم، الذي أصبح في هذا الوقت السير لورنس براج، ضد احتمال توصل هذا الثنائي الشاب الذي تظهر عليه علامات الذكاء لهذا الاكتشاف ونسبته لإنجلترا.

أصبحت بقية القصة معروفة تماماً مثل صيحة أرشميدس الشهيرة «وجدتها!» وهو يقفز خارجاً من حوض الاستحمام؛ إذ قصّها جيمس واطسون على نحو رائع في كتابه «اللؤلؤ المزدوج». ورغم عدم وجود دليل فعلي على ركض أرشميدس عارياً في شوارع

سَرْقوسة، فإن التفاصيل المذكورة في كتاب «اللوب المزدوج» جميعها حقيقية على وجه الدقة. إذن هل استطاع واطسون وكريك بلورة الدي إن إيه؟ لا، لم يحاولا حتى فعل هذا. بدلاً من ذلك، فقد بحثا عن صور أشعة سينية أعدّها آخرون خاصة بالدي إن إيه البلّوري الزائف، بحيث يُمكنهم شرح تركيبه. وقد عثرا على هذه الصور على مسافة ساعة ونصف، في كلية كينجز في لندن؛ إذ تمكّن ثنائيّ بحثيّ شابّ آخر؛ روزاليند فرانكلين وموريس ويلكنز، من الحصول على صور يمكن أن تكفي لمحاولة شرح تركيبه. اتضح أنها كذلك بالفعل، ونشر واطسون وكريك النتائج في عام ١٩٥٣. وقد وصف مقالهما الذي إن إيه بأنه تركيب لولبي زوجي، يبقى وحدة واحدة بفعل الروابط الموجودة بين الأدينين والثيامين، وبين السيتوسين والجوانين.<sup>٦</sup> في نهاية مقالهما توجد ملحوظة عابرة: «لم يَعبَ عنا أن التزاوج المحدّد الذي افترضناه يشير على الفور إلى احتمال وجود آلية لنسخ المادة الوراثية.» ظهرت على الفور أهمية هذه الجملة، وحظي واطسون وكريك، مع موريس ويلكنز، بالتكريم في كل اجتماع علمي. أما روزاليند فرانكلين، الشخص الوحيد الذي تعامل فعلياً مع الدي إن إيه، والتي فصلت المادة التي عُرف منها تركيبه، فلاقَت تجاهلاً شديداً، وعندما حصل كريك وواطسون وويلكنز (لكن ليس تشارجاف) على جائزة نوبل في عام ١٩٦٢، كانت قد سقطت فريسة لمرض السرطان، وكانت في السابعة والثلاثين من عمرها.

يُمكن أن يُشبه الطفل والديه في صفات وطباع معيّنة، لكنه لا يكون نسخة طبق الأصل من أيّ منهما. تكون آلية عملية الوراثة في الواقع نفسها لدى الكائنات كافة — في النباتات والجراثيم والحيوانات أيضاً — لذا يُمكننا استمرار استخدام البشر في شرح هذه العملية. لماذا إذن لا تكون الطفلة نسخة من والدتها، والطفل نسخة من والده؟ هذا لأن الكروموسومات — المخزون الكامل من الجينات، الذي يُشار إليه أحياناً بالجينوم — التي تُورث من كلٍّ من الوالدين لا تكون متطابقة طوال الوقت؛ فكل مجموعة من الجينات تتوافق مع جزء من كل زوج من الكروموسومات؛ أحدها من الأم والآخر من الأب، ويحدّد زوج من الجينات شفرة زوج من البروتينات له الوظيفة نفسها. تكون بعض أزواج الجينات متطابقة؛ ونتيجة لهذا تكون أزواج البروتينات التي تحدّد شفرتها متطابقة أيضاً. ومثال على هذا الجين الخاصّ ببروتين الأنسولين؛ فيكون مُتشابهاً في كروموسوم الأم والأب؛ ولهذا لا يُصنَع إلا نوع واحد من الأنسولين. تكون أزواج أخرى من الجينات غير متطابقة، وإنما تكون بالكاد متشابهة؛ ومن ثمّ تحدد شفرة بروتينات يوجد بينها

اختلاف طفيف؛ فبينما يؤدي كلا البروتينين الوظيفة نفسها، قد يؤدّيها أحدهما بشكل أفضل أو أسوأ من الآخر؛ ونتيجة لهذا يكون تعبير هذا الزوج من الجينات خليطاً من نشاطين. سنُعطي مثالاً على هذا بعد قليل. لكن أولاً، لا بد أن نركّز على ما يسبق اختلاط كروموسومات الأم والأب في أثناء عملية تخصيب الحيوان المنوي للبويضة.

حتى تحتوي كل خلية لدى الجنين الآخذ في التكوّن على العدد المطلوب من الكروموسومات — مجموعتين من ٢٣ كروموسوماً — يجب أن ينقسم العدد الموجود في كل بويضة أو حيوان منوي إلى النصف؛ بحيث يحتوي كلٌّ منهما على مجموعة فردية، وليست زوجية، من الكروموسومات. يحدث انقسام أزواج الكروموسومات هذا في أنسجة الخلايا الجنسية؛ البويضات لدى النساء، والخُصيتين لدى الذكور. في أثناء هذه العملية تحتوي الخلايا، التي ستصبح لتُصبح بويضات أو حيوانات منوية، على مزيج من ٢٣ كروموسوماً. بعض الكروموسومات الموجودة في الخلية الجنسية يرثها الفرد من والده، والبعض الآخر يرثه من والدته.<sup>٧</sup> وحتى يتضح لك الأمر ما عليك إلا النظر في التجمّعات العائلية؛ «جيمس لديه عينا والدته، لكنه طويل مثل والده». «حقاً، لكن انظر إلى أنفه، فهو نسخة طبق الأصل من أنف جدّه فريدريك.» «صحيح، لكنه يُشبه أكثر جدّه ليونارد في أسلوب تفكيره.» إذن فالجينات لا تتغير في حد ذاتها من جيل لآخر، كما اكتشف مندل، وإنما تُحفظ داخل تجمّعات عائلية. وعند تطبيق هذا بتوسّع على تجمّع كامل من السكان، فإننا نجد إجمالاً أن مجموعة الجينات تظل إلى حدٍّ ما كما هي على مدار مئات وآلاف الأعوام.

#### (٤) ظهور تنويعات الجينات

تفسّر الآلية التي شرحتها للتوّ عملية الخلط بين الجينات في كل جيل. لكن كيف تظهر تنويعات الجينات المختلفة في المقام الأول؟ تتغيّر الجزيئات الموجودة داخل الكائن — البروتينات والدي إن إيه والليبيدات وغيرها — باستمرار بسبب تفاعلها مع الجزيئات الموجودة في البيئة؛ الطعام الذي نتناوله، والهواء الذي نتنفسه، والجزيئات التي تُكونها أشعة الشمس والإشعاعات الأخرى التي تسقط على جلدنا. فالحياة هي عملية تفاعل مستمر بين الجزيئات التي نرثها وتلك التي نكتسبها. تكون بعض الجزيئات من النوع الأخير من نوع يُعرّف باسم «الجزور الحرة»، التي تميل إلى أكسدة الجزيئات التي تحتكُّ بها. وإذا دُمّر جزئيٌّ من البروتين (أو الليبيد) على هذا النحو، فلا مشكلة في ذلك؛ إذ

يوجد نحو ١٠ آلاف نسخة من أي بروتين داخل الخلية الواحدة، ويكفي ٩٩٩٩ جزيئاً لم يتأثر للحفاظ على وظائف هذه الخلية. وحتى إن تأثرت جميع الجزيئات التي تُقدر بنحو ١٠ آلاف جزيء داخل الخلية، فإن العواقب قد تظل غير خطيرة؛ نظراً لوجود مليارات (١٢١٠) الخلايا داخل أي عضو، مثل الكبد.

لكن عندما تعتمد الوظيفة على مجموعات من الخلايا أصغر من ذلك بكثير، كما في مسارات حسية معينة في المخ أو في عضلات «تنظيم ضربات القلب» في القلب، فإن التدهور الوظيفي يصبح واضحاً (فنادراً ما تتحسن وظيفة البروتينات). يكون هذا أساساً لبعض الأمراض المعينة، وجزءاً من عملية الشيخوخة. ورغم العدد الكبير الذي يتلف من البروتينات في أجسامنا، فإننا لا نقل هذا الخلل لذريتنا؛ ليس فقط بسبب حدوث عملية الإنجاب قبل حدوث تلف واضح، وإنما بسبب وجود عدد قليل للغاية من البروتينات التي ذكرناها للتو داخل الحيوان المنوي أو البويضة. على أي حال، فإن البروتينات لا تُستنسخ ذاتياً؛ ومن ثم فإن جزيء البروتين المصاب الموجود في جسم الجنين سرعان ما يضعف تأثيره بسبب ملايين جزيئات البروتين الجديدة التي تُصنع<sup>٨</sup>.

أما الذي إن إيه، من ناحية أخرى، فيُستنسخ مع كل انقسام للخلية، سواء في جسم إنسان بالغ أو في البويضة المخصبة؛ ومن ثم فإن أي تلف يصيب الذي إن إيه فإنه يستمر. وربما تؤدي طبيعة التلف إلى تحول في أحد النيوكليوتيدات؛ فعلى سبيل المثال، قد يتحول السيتوسين إلى ثيامين. يُسمى هذا التغيير الطفرة. وإذا حدث داخل منطقة من الذي إن إيه تحدد شفرة أحد البروتينات؛ بعبارة أخرى داخل أحد الجينات، فإنه يؤدي إلى إنتاج ملايين الجزيئات المعدلة من البروتين في ملايين الخلايا. يُمكن ألا يتأثر عمل البروتين المعدل، أو ربما يقل، لكنه نادراً ما يتحسن، وبناءً على المكان المحدد للنيوكليوتيد الطافر قد لا يجري تصنيع أي بروتين على الإطلاق، كما يحدث مثلاً عند إصدار الأمر «توقف» في بداية تسلسل البروتين.

يحتوي جسم الفرد الذي تحدث لديه مثل هذه الطفرة على نسختين من هذا البروتين؛ النسخة الأصلية غير المعدلة، والنسخة المعدلة. إذا حدثت الطفرة داخل خلية لا توجد في نسيج الخلايا الجنسية، فإن الأمر ينتهي عند وفاة الفرد، ولا يجري توريث الطفرة. أما إذا حدثت الطفرة داخل الحيوان المنوي أو البويضة، فيوجد احتمال ٥٠٪ لانتقال الجين المعدل إلى الجيل التالي. وربما يتفاوت وضع الذين يرثون النسخة المعدلة، بالإضافة إلى نسخة غير معدلة من الوالد الآخر، من حيث وظيفة هذا البروتين على وجه الخصوص، بين عدم التأثير على الإطلاق، أو ربما تسوء حالتهم قليلاً، أو تتحسن قليلاً.

إن مُصطلحي «تسوء» و«تتحسّن» مصطلحان نسبيان؛ فالنسخة «الأسوأ» من أحد البروتينات ربما تكون في الواقع مفيدةً في ظروف معيَّنة؛ فعلى سبيل المثال، امتلاك شكل مختلف من الهيموجلوبين يُدعى الهيموجلوبين «المنجلي»<sup>١٠</sup> يُعطي ميزة للذين يعيشون في بيئة موبوءة بالمalaria؛ إذ إن الجرثومة الطفيلية «المتصورة المنجلية»، التي تدخل إلى مجرى دم الإنسان الذي يتعرض للدغة بعوضة تحمل هذه الجرثومة، تقلُّ نسبة بقائها على قيد الحياة في خلايا الدم الحمراء التي تحتوي على ٥٠٪ هيموجلوبين منجلي و٥٠٪ هيموجلوبين عادي. ربما يتعرَّض مثل هذا الإنسان لمشكلات وعائية بسيطة؛ لأن الهيموجلوبين المنجلي يتسبَّب في تشوه خلايا الدم الحمراء؛ إذ تُصبح منجلية الشكل؛ ومن ثم تمرُّ بصعوبة أكبر عبر الشعيرات الدموية، لكنه يكون أقلُّ عُرضةً للوفاة بسبب malaria. لكن عندما يُصبح الهيموجلوبين في جسم الإنسان من النوع المنجلي بنسبة ١٠٠٪، فإن المشكلات الوعائية تفوق أيَّ مميَّزات لها علاقة بمقاومة malaria. إذن تُصبح الجينات المتغيِّرة متركَزة لدى السكان في مناطق جغرافية معينة. ومع تغيُّر البيئة على مدى آلاف السنين، يُمكن لمثل هذه الطفرات الاختفاء تدريجيًّا، أو أن تُصبح مركزة، لدى مجموعة معيَّنة. هذه هي الآلية التي تصبح بها النسخ المختلفة من أحد البروتينات مرتبطةً بمجموعات عرقية مُختلفة؛ ويُعتبر لون الجلد أوضح مثال على هذا؛ ببساطة لأنَّ الاختلافات الأيضية، مثل امتلاك هيموجلوبين منجلي، لا يُمكن التعرف عليها من المظهر الخارجي للإنسان.

## (٥) ظهور أنواع جديدة

إن القوقازيين والآسيويين والأفارقة والسكان الأصليين لأستراليا كلهم أشكال مختلفة من النوع نفسه؛ «الإنسان العاقل». ينتمي الشمبانزي إلى نوع مختلف؛ «بان تروجلوديت» أو «الشمبانزي القزم». ممَّ يتألف النوع، وكيف ينشأ نوع جديد؟ الغريب في الأمر أن الإجابة عن السؤال الأول أقلُّ وضوحًا من الإجابة عن الثاني.

بوجه عام يُمكن عزو كائنين إلى نوعين منفصلين إذا كانت الذرية التي تنتج عن تزاوجهما عقيمة؛ فعند حدوث تزاوج بين فرس وجمار، فإن ذريتهما، البغل، تكون عقيمة؛ ومن ثم فإن الفرس والجمار ينتميان إلى نوعين منفصلين.<sup>١١</sup> من ناحية أخرى، تنتمي الذئاب والقيوط والكلاب إلى أنواع منفصلة، رغم أن الذرية التي تنتج من تزاوجها تكون في معظم الأحيان قادرةً على الإنجاب.<sup>١٢</sup> يبدو أن معيار قضية عدم القدرة على

الإنجاب لا يعبرُ بدقة عن الأمر. إذن هل علينا اعتبار أن الذئب والقيوط والكلاب تنتمي لنوع واحد؟ وهل هذه الأنواع الثلاثة من الحيوانات مجرد أشكال مختلفة وحسب؟ ليس بالضرورة. فالفكرة أن الذئب والقيوط والكلاب تصادف امتلاكها للعدد نفسه من الكروموسومات؛ ٣٩ زوجًا، بينما يختلف العدد الموجود لدى الأحصنة عن الموجود لدى الحمير؛ ومن ثم فإن الانقسام الاختزالي<sup>١٤١٣</sup> الذي يحدث لدى الذرية التي تنتج عن التزاوج الداخلي في عائلة الكلبيات يحدث بسهولة أكبر منه في ذرية الفرس والحمار. ربما يكون أدق تعريف للنوع هو التالي: «مجموعة من الأفراد يوجد بينها تدفق جيني»<sup>١٥</sup>. يُغفل هذا التعريف الآليات الجزيئية ولكنه يضع في اعتباره الأسباب الجغرافية والسلوكية لغياب التدفق الجيني. لا يزال المتخصصون في علم الحيوانات مختلفين حول هذه القضايا. وما يعنينا في هذا أن التمييز بين الأنواع المختلفة والأشكال المتباينة داخل النوع نفسه ليس دقيقًا. حتى داروين نفسه كان متحفظًا؛ فلم يحدد في أي موضع من كتابه «أصل الأنواع» ما يقصده بالضبط بالنوع.

ذكرتُ من قبل تضاعف جينات معينة؛ ويحدث هذا عندما يُنسخ جين معين مرتين بدلاً من مرة واحدة في أثناء عملية تصنيع الدي إن إيه. يعني مثل هذا الحدث وجود جينين متطابقين، أحدهما بجوار الآخر، على الكروموسوم نفسه. تُصحح هذه العيوب، تمامًا مثل الطفرات داخل الجينات، بوجه عام في أثناء عملية تُعرف باسم «تصحيح الأخطاء». لكن إذا كانت آلية تصحيح الأخطاء هذه هي نفسها تالفة، فقد تظل الأخطاء موجودة وتنتقل إلى الجيل التالي (إذا حدثت الطفرة في خلية جنسية). يولد امتلاك نسخ متعددة من الجينات فرصةً لإنتاج بروتينات ذات تأثير متفاوت عن طريق الطفرات التالية.<sup>١٦</sup> من ثم يؤدي تضاعف الجينات وطُفورها باستمرار إلى إنتاج أشكال مختلفة من البروتينات، وإذا عانى الذين يمتلكون هذه البروتينات من ظروف معيشية صعبة، فإن الجينات الطافرة ستختفي بالتدرج من تجميع الجينات؛ لكن إذا كان لهذه البروتينات فائدة، فإنها ستظل باقية، ومع تراكم المزيد من مثل هذه الأشكال الطافرة لدى تجمع من السكان، فإنها ستُمدد أصحابها في النهاية بصفات تُميزهم عن أسلافهم. وهذه، بإيجاز، الكيفية التي يظهر بها نوع جديد.

لا يظهر النوع الجديد، سواء لإنسان أو قرد أو فيل أو فراشة، ببساطة في وقت ما؛ فجميع الكائنات<sup>١٧</sup> تتغير باستمرار بالطرق غير الملحوظة التي شرحتها. ومن بين كافة الأشكال المتغيرة التي تظهر، قد يجد بعضها أنه أكثر ملائمةً للبيئة في هذا الوقت من غيره؛

ومن ثم يتكاثر أسرع. تُواصل الكائنات الأكثر تكيفًا الازدهار، بينما تختفي الكائنات الأخرى بالتدرّج؛ ويعني العدد الهائل من الكائنات الناجحة فوزها في المنافسة على الطعام والمأوى والماء والتزاوج، وربما تكون لديها قدرة أفضل أيضًا على تجنّب المفترسات. هذا في الأساس ما كان يعنيه تشارلز داروين والعالم المعاصر له الذي ينسأه كثيرون، ألفريد راسل والاس،<sup>١٨</sup> حين اقترحا أن تطوّر الأنواع يحدث من خلال الانتقاء الطبيعي، عبر آلية «البقاء للأقوى»، على حد قول هيربرت سبنسر، المصلح الاجتماعي الذي ظهر في القرن التاسع عشر، وكان أحد أنصار نظرية داروين التطورية. بحلول منتصف القرن التاسع عشر، بدأت مبادئ التغيّر الجغرافي البطيء — مثل تكوّن الأودية من خلال عملية التعرية التي تحدّث بسبب الأنهار الجليدية والأنهار العادية — تظهر ويقرّها كثير من العلماء في هذا الوقت.<sup>١٩</sup> لكن الأمر الذي لم يخطر على ذهن عدا داروين ووالاس في إنجلترا، وجان باتيست لامارك قبل نصف قرن في فرنسا، أن الكائنات الحية قد تتغير ببطء أيضًا بمرور الوقت. اختلف لامارك عنهما في اعتقاده بأن الصفات التي يكتسبها الكائن طوال حياته تنتقل إلى ذريته؛ أما داروين ووالاس فقد اختارا الاعتقاد بأن الطبيعة تطرح عددًا من الأشكال المختلفة، لا يبقى منها إلا الأكثر ملاءمةً للبيئة في هذا الوقت. أثبت فيما بعد أن وجهة نظر لامارك غير صحيحة، رغم إعادة إحيائها في الحقبة السوفييتية على يد عالم الأحياء تروفيم دينيسوفيتش ليسينكو؛ فقد لاقت نتائجها التي كانت تهدف لإظهار وراثه الصفات المكتسبة استحسان جوزيف ستالين؛ فهكذا تنتقل قيم الماركسية بين الناس عبر الأجيال. بالإضافة إلى ذلك، سعد ستالين على وجه الخصوص بزعم ليسينكو أن البذور التي تتعرّض لدرجة حرارة منخفضة ستكون أكثر قدرة على إنتاج محاصيل في الطقس البارد؛ إذ كان من شأن هذا أن يُغيّر المحاصيل الزراعية في جميع أنحاء سيبيريا. كانت النتيجة مختلفة تمامًا؛ فقد مات الملايين من الجوع (لكن ليسينكو أصبح مديرًا لمعهد علم الوراثة ورئيس أكاديمية لينين للعلوم الزراعية التي تشمل كل الاتحاد السوفييتي). المهم في الأمر أنه في عام ١٨٥٠، سواء في إنجلترا أو فرنسا، لم يكن يوجد إلا عدد قليل من الناس الذين لا يُقرّون بأن أصل كل أنواع الحيوانات والنباتات هو حدثٌ إلهي لم يتكرر. لم يُعلن داروين عن نتائجه، التي استوحاها من الاختلافات الطفيفة بين طيور البرقش التي وجدها على جزر جالاباجوس التي تقع غرب الإكوادور، طوال أكثر من ١٥ سنة، وعندما أدرك أن والاس كان يفكّر على النحو نفسه، أسرع في نشر كتابه «في أصل الأنواع عن طريق الانتقاء الطبيعي أو بقاء الأعراق المفضّلة في أثناء الكفاح من أجل الحياة»

مع الناشر جون موراي، في ٢٤ من نوفمبر عام ١٨٩٥. أرسل موراي أجزاءً من المسوِّدة من أجل مراجعتها، ورغم ما حصلت عليه هذه الأجزاء من تعليقات لاعنة من البعض، فإن عددًا كافيًا من العلماء ذوي المكانة الرفيعة — عالم الجيولوجيا السير تشارلز لايل، وعالم النباتات السير جوزيف هوكر، وآخرين غيرهما — دعم آراء داروين بقوة تكفي لتجعل موراي يُقدِّم على مثل هذه المخاطرة. طُبِعَ ١٢٥٠ نسخة من الكتاب، بيعت كلها على الفور، وطُبعت طبعة ثانية تبلغ ٣٠٠٠ نسخة من أجل تلبية الطلب عليه. أصبح الكتاب حديث الدوائر الثقافية في جميع أنحاء إنجلترا، وسرعان ما نُشر في أمريكا، وتبع ذلك ترجمته إلى الألمانية والفرنسية. ورغم ذلك كان ردُّ الفعل العام عليه متباينًا؛ فلم يفهم إلا عددٌ قليل ما كان يحاول داروين أن يقوله، والذين اعتقدوا أنهم فهموا قصده، أدانوه لأسباب دينية. أُضيفت السخرية أيضًا إلى الهجوم: «سيد هكسلي: أودُّ أن أعرف من أي جانب تدَّعي أنك انحدرت منه من نسل القرود؛ من جانب جدك أم جدتك؟» هكذا حاول الأسقف صامويل ويلبرفورس إحراج توماس هكسلي، عندما كان هذا الرجل المحترم يؤيد فرضية داروين عن أصل الأنواع في اجتماع للجمعية البريطانية لتقدُّم العلوم في أكسفورد عام ١٨٦٠.<sup>٢٠</sup> أغضبت هذه المزحة الساخرة من «سام المتعلِّق» ويلبرفورس — ابن المصلح الاجتماعي ويليام ويلبرفورس، الذي أدَّت حُججه القوية في البرلمان إلى إلغاء العبودية في بريطانيا قبل ٢٥ عامًا — هكسلي كثيرًا. من ناحية أخرى، أعطى افتقار هجوم ويلبرفورس للمنطق فرصة لهكسلي للرد سريعًا بعنف قائلاً: «أنا لا أخجل من أن يكون أسلافي من القردة؛ ولكنني أخجل من معرفة رجل استخدم الهدايا الكبيرة لإخفاء الحقيقة.» لاقى كلام هكسلي استحسان الجميع، بينما حصل ويلبرفورس على الازدراء. بخلاف التحيزُ الفطري لدى الناس ضد فرضية التغير المستمر للأنواع، كانت المشكلة تتمثل في عدم قدرة داروين على تقديم تفسير منطقي لطريقة تحقُّق هذا التنوع. لم يظهر الدليل اللازم لتفسير هذا الأمر إلا بعد مرور أكثر من قرن من الزمن؛ فعندما بدأت دراسة الكائنات الحية من الناحية الجزيئية، بدأت تظهر الآلية التي تحدُّث بها هذه التغيرات الخفية في الشكل والوظيفة. كم كان داروين سيقدِّر الاكتشافات العلمية التي حدثت في فترة خمسينيات وستينيات القرن العشرين، والسهولة الفطرية لتضاعف الذي إن إيه والشفرة الثلاثية!

إذا كانت عملية ظهور نوع جديد تحدث ببطء، فإن عملية انقراض نوع موجود بالفعل، أقل قدرة على التكيف، تكون عادةً أكثر بطئًا؛ فعلى مدار مليار سنة مضت تقريبًا،

كان ظهور الأنواع الجديدة أسرع من عملية انقراض الأنواع الموجودة على قيد الحياة؛ مما أدى إلى حدوث تنوع مُتزايد في الكائنات الحية، وحاليًا يوجد نحو ١٠ ملايين نوع مختلف من النباتات والحيوانات في العالم، لم يرد وصف إلا مليون ونصف مليون نوع فقط منها حتى الآن. تتعابش الأنواع التي ستتعرض للانقراض في النهاية مع الأنواع التي ستنجو؛ فعلى سبيل المثال، بعد وقت طويل من ظهور الإنسان الحديث، ظلت أنواع من القردة العليا الأقدم تعيش معه. إنَّ المدى الزمني الذي يستغرقه التغير التطوري حتى يُصبح واضحًا، في حالة الرئيسيات مثل القردة العليا والإنسان، يُقدَّر بمئات الآلاف من السنين. بالطبع أحيانًا يحدث الجزء الثاني من العملية، المتمثل في انقراض الأنواع، بسرعة أكبر. على سبيل المثال، غيّر الارتطام المحتمل لمذنب من الفضاء الخارجي منذ ٦٥ مليون سنة البيئة؛ بحيث أدى إلى انقراض الديناصورات في خلال فترة زمنية قصيرة نسبيًا. ٢١ يُعتقد أن عرض هذا المذنب كان يقدر بنحو ٦ أميال، وأن ارتطامه بالأرض كان بقوة تساوي انفجار مليار قنبلة نووية؛ ونتيجة لهذا أحدث حفرة، في خليج المكسيك، يبلغ عرضها ١٠٠ ميل. أدى هذا إلى ظهور سحابة من الغبار ربما استمرت لفترة تتراوح بين عدة أشهر إلى ما يقرب من عقد؛ مما أدى فعليًا إلى توقف عملية التمثيل الضوئي بالكامل. وبالتدريج أصبح لنقص النباتات الخضراء تأثير هائل على السلسلة الغذائية؛ إذ كان له إما تأثير مباشر على الديناصورات، التي كان كثير منها نباتيًا، أو تأثير غير مباشر، من خلال نقص عدد الحيوانات التي كانت تتغذى عليها. كان أحد الآثار الأخرى لهذا الحدث الاحترار العالمي؛ حيث أدى توقف التمثيل الضوئي إلى عدم امتصاص أوراق الأشجار لثاني أكسيد الكربون الموجود في الجو، ونتيجة لهذا تُكوّن الكميّة الزائدة من ثاني أكسيد الكربون في الجو حاجزًا عازلًا حول الأرض، وهو المعروف بتأثير «الصوبة الزجاجية»، وربما يكون مثل هذا الاحترار قد أضرّ بالسلب على قدرة الديناصورات على التكاثُر؛ هذا لأنه كما نعلم فإن جنس مواليد بعض أنواع الزواحف (فئة من الفقاريات من أقارب الديناصورات) يتحدّد جزئيًا بدرجة الحرارة التي ينمو فيها داخل البيضة. إذا كان هذا ينطبق أيضًا على بيض الديناصورات فربما تكون نسبة الذكور للإناث تغيرت كثيرًا؛ بحيث تعذر على أي نوع من الديناصورات البقاء على قيد الحياة، كذلك من المحتمل أن يكون انبعاث أدخنة سامة من الحفرة هو ما أفاها.

مع ذلك، قبل انقراض الديناصورات بالكامل، بدأت أنواع معينة في التطوُّر بالفعل لتُصبح أسلاف الزواحف الموجودة في عصرنا الحالي، مثل التماسيح والسلاحف؛ بينما

تطور البعض الآخر، على الأرجح، ليشكّل فئة الطيور الموجودة في عصرنا الحالي. يوجد اتفاق عام على فكرة أن عصر الزواحف انتهى منذ نحو ٦٥ مليون سنة، مع الحلول التدريجي للثدييات محلّ الديناصورات؛ إذ بدأت الثدييات تظهر في ظلّ أخطار مُحدقة قرب نهاية عصر هيمنة الديناصورات. استمرّ عصر الثدييات الذي نتج عن هذا حتى يومنا هذا. اختفت كائنات أخرى، مثل المنخربات،<sup>٢٢</sup> من على سطح الأرض مع الديناصورات. ويُمكن أن تدفعنا حقيقة وجود السلاحف والتماسيح على الأرض لأكثر من ١٠٠ مليون سنة إلى اعتبارها حققت نجاحًا باهرًا من الناحية التطورية. بدلاً من ذلك، يُمكننا التفكير في قياس النجاح بعدد الأنواع المُختلفة التي تعبر عن أيّ فئة. في هذه الحالة، قد تتفوّق الحشرات (التي تضم أكثر من مليون نوع معروف، وربما أكثر من ٩ ملايين نوع آخر لم تُكتشف بعد) بسهولة على كافة الفئات الأخرى؛ على سبيل المثال، الثدييات التي تضم أقل من ٥ آلاف نوع مُنفصل.

منذ ظهور الإنسان أصبحت الأنواع تتعرّض للانقراض على نحو أسرع نتيجة لأفعاله؛ بسبب الصيد والزراعة والتعدّي المستمرّ على الغابات وحقول السافانا؛ إذ أصبحت أعداد البشر تزيد على حساب النباتات والحيوانات الموجودة حولهم. تشير التقديرات إلى أنه في خلال آخر ٣٠٠ سنة زاد معدّل انقراض الطيور والثدييات من ٥ إلى ٥٠ ضعف المعدل «الطبيعي»؛ بمعنى انقراض نوع كل ٤ سنوات تقريبًا. بعبارة أخرى: يكون إجمالي عمر أي نوع، في المتوسط، نحو مليون سنة تقريبًا. في أثناء العقود الأخيرة من القرن العشرين ارتفع معدّل الانقراض ٢٠ ضعفًا مرةً أخرى؛ فقد أصبحنا الآن نفقد تقريبًا نوعًا من الحيوانات أو النباتات كل يوم،<sup>٢٣</sup> فبطريقة أو بأخرى انقرض أكثر من ٩٩,٩٪ من الأنواع التي ظهرت على سطح هذا الكوكب.

## (٦) ظهور جنس جديد

إذا كان ظهور نوع جديد لا يتطلب أكثر من مجرد تراكم جينات طافرة، فهل ينطبق الأمر نفسه أيضًا على ظهور جنس جديد، مثل جنس الهومو (الإنسان) الذي ظهر من جنس البان (الشمبانزي)؟ تشبه جينات الإنسان جينات الشمبانزي بنسبة ٩٥٪. ما الذي يعنيه هذا فعليًا، وكيف حصلنا على هذه النسبة؟

تعني نسبة الشبه الكبيرة أن الذي إن إيه البشري يتكون تقريبًا، وليس بالكامل، من العدد نفسه من الأدينين والسيتوسين والجوانين والثيامين على طول شريطيه.<sup>٢٤</sup> ورغم أن

إجمالي طول الذي إن إيه لدى الشمبانزي هو نفسه لدى الإنسان، فمن قبيل المفاجأة أن عدد الكروموسومات ليس واحدًا؛ إذ يوجد لدى الشمبانزي ٢٤ زوجًا من الكروموسومات، بينما يمتلك الإنسان ٢٣ زوجًا. يبدو أن ما حدث في مرحلة ما من تطور الإنسان أن أحد الكروموسومات الأربعة والعشرين المأخوذة من أسلافنا اندمج مع الكروموسوم ١١؛ مما جعله أطول لدى البشر منه لدى الشمبانزي. إذن فعدد أزواج الكروموسومات في أي كائن — على سبيل المثال، ١٨ لدى الثعلب الأحمر، لكنها ٢٥ لدى الثعلب القطبي، و٣٢ لدى ثعلب الصحراء، و٣٧ لدى الثعلب الأشيب الذي يوجد في شمال شرق البرازيل ٢٥ — لا تكون له أهمية كبيرة مقارنةً بإجمالي عدد الجينات الموجودة داخلها.

عرفنا وجود تشابه بنسبة ٩٥٪ باستخدام طريقة تُدعى التهجين.<sup>٢٦</sup> كما ذكرنا في الفصل السابق فإن تفسيري للاختلاف الجيني الموجود بنسبة ٥٪ تقريبًا بين الإنسان والشمبانزي أنه يعكس درجة التنوع في الجينات التي تنتمي لفصائل متشابهة لدى كائنين؛ ومن ثم تؤدي تقريبًا الوظائف نفسها، فلا توجد جينات تميّز البشر في مقابل جينات تميز الشمبانزي.<sup>٢٧</sup> يختلف رأيي في هذه النقطة عن علماء مثل جارد دياموند، الذي يبدو أنه يعتقد أننا نستطيع العثور على الجينات التي تميّز الإنسان في هذا الاختلاف الجيني بينه وبين الشمبانزي الذي يُقدَّر بنسبة ٥٪.<sup>٢٨</sup> مع ذلك يجب عليّ توخي الحذر؛ فرغم أننا أصبحنا الآن نعرف التسلسل الدقيق لمعظم الذي إن إيه البشري، فإن جينوم الشمبانزي لم يُعرف تسلسله حتى الآن (فالمشروع الآن قيد التنفيذ)؛ وعليه فلا يمكننا التأكد من وجود تماثل حقيقي بين الجينات؛ إذ يكون بعضها متطابقًا، والبعض بينه تطابق تقريبي، والبعض الآخر بينه مجرد تشابه، على طول كامل تتابعات الذي إن إيه الخاصة بها.

أما عن الوظيفة التي يُحددها كل جين عند ترجمته إلى بروتينات، فإننا لا نعرف هذا حتى في حالة الإنسان، فلا يُمكننا في الوقت الحالي استنتاج وظيفة أحد البروتينات من مجرد تسلسل الأحماض الأمينية التي يتكون منها، التي تمثل كافة المعلومات التي يحتوي عليها الجين؛ فقد اتضح أن بعض البروتينات ذات التسلسل المتشابه تؤدي وظائف مختلفة، وبعض البروتينات ذات التسلسل المختلف تؤدي الوظيفة نفسها. استغرقت معرفة تسلسل الذي إن إيه البشري أقل من عقد من الزمن، ومن المحتمل أن يستغرق فهم وظائف كافة البروتينات التي تحددها هذه الجينات على الأقل الفترة نفسها. وحتى تتضح وظائف كافة البروتينات لدى الشمبانزي والإنسان لا يُمكننا التأكد مما إذا كان

أدها يؤدي دورًا مختلفًا تمامًا لدى الشمبانزي عن دوره لدى الإنسان أم لا. ومع ذلك، أيًا كانت النتيجة، يُمكننا التأكيد إلى حد ما أن الآلية التي شرحناها مسبقًا عند الحديث عن ظهور الأنواع الجديدة من حيث التراكم التدريجي للجينات الطافرة؛ تنطبق أيضًا على ظهور الأجناس الجديدة.

إذا أردنا توسيع نطاق تطبيق هذه الحُجة، فيمكنني تَوَقُّع عدم وجود جينات خاصة بالرئيسيات في مقابل جينات خاصة بالقرود، وجينات خاصة بالثدييات في مقابل جينات خاصة بالطيور أو الزواحف، وجينات خاصة بالفقاريات في مقابل جينات خاصة باللافقاريات، وهكذا؛ فنحن لا نستطيع التعرُّف على إنسان أو شمبانزي، قرد أو حمامة، تمساح أو دبور، من خلال جيناته فقط؛ فلا يُمكن تحديد انتماء الكائن إلا كوحدة واحدة لأحد الأنواع أو الأجناس أو الفصائل أو الرتب أو الفئات أو الشُعَب. ظلَّت طوال أكثر من ٤٠ سنة أخصُّ الطلبة الذين يدرسون الكيمياء الحيوية والطب أنه في حال وُجِدَت لدينا خلايا كبد متجانس مذابة في محلول فسيكون من الصعب علينا تحديد إذا كان هذا الكبد لِفيلٍ أم لإنسان؛ فتحليل الجزيئات التي يتكون منها لا يكشف عن مصدره، لكن إذا دخل الكائن صاحب هذا الكبد إلى الغرفة، فسيكون من السهل تمييزه عن غيره. في الواقع إن حقيقة أننا نشترك مع الموز في ٥٠٪ من جيناتنا تدعم نقطة التشابه هذه في التكوين الجزيئي بين كافة أشكال الحياة؛ إنه لا يوجد سوى تغير تدريجي بين الجرثومة الأولى والإنسان.

## (٧) تنوع الشكل والوظيفة

تنمو خارج نافذة مكتبي شجرتان مُتناسقتان من نوع كستناء الحصان (أيسكولوس هيبوكاستانوم). في أواخر فصل الصيف لا يُمكن رؤيتهما؛ إذ تكون كلُّ منهما مليئة بالفاكهة التي كنا نُطلق عليها ونحن صغار اسم «كونكيرس»، ومع ذلك لاحظتُ في فصل الربيع تأخُّر ظهور الأوراق، ومن ثم الأزهار، في الشجرة الموجودة على جهة اليسار لعدَّة أسابيع عن الشجرة الموجودة على اليمين. على الأرجح كلتا الشجرتين قُطعتا من الجذع نفسه؛ فهما شجرتان أختان، لكنَّ الشجرة على اليسار «متأخرة النمو». أشرنا من قبل إلى حقيقة عدم وجود تطابق كامل بين أي فرديين من ذرية الكائن نفسه. فحتى في التوأم المتطابق تظهر علامات الاختلاف البسيط مع بدء تأثير البيئة في جيناتهما على نحو مُختلف (بحيث يُصاب أحدهما، على سبيل المثال، بالسرطان بينما لا يُصاب الآخر به).

هكذا في حالة وجود مجموعة تتكون مثلاً من ١٠٠ فرد ينحدرون كلهم من نفس الوالدين، فإن هؤلاء الأفراد سَيَتفاوتون ليس فقط في مظهرهم الخارجي، وإنما أيضاً سيتصَرَّفون بعدد كبير من الطرق المُختلفة؛ فسيكون عدد قليل منهم أكثر عدوانية من البعض الآخر، وسيكون عدد قليل منهم أكثر خضوعاً؛ سيكون بعضهم أكثر نكاًءً، وآخرون أكثر غباءً؛ سيبرع بعضهم أكثر في صنع أشياء بأيديهم، بينما سيكون آخرون أقلَّ براعةً؛ سيكون بعضهم أكثر فضولاً، بينما يكون آخرون أقلَّ فضولاً. إن طيف السلوكيات والمهارات هائل.<sup>٢٩</sup> تشتمل هذه الصفات بالطبع على الصفات التي ذكرنا في الفصل السابق المميّزة للبشر؛ مثل القدرة على العمل باليدين، والقدرة على الكلام، وزيادة وظيفة الدماغ. إذن سيوجد أفراد تزيد لديهم الرغبة في البحث؛ والرغبة في صنع أدوات جديدة، واستكشاف آفاق جديدة، والإفصاح عن أهدافهم على نحو أكثر وضوحاً، والبحث عن حلول للمشكلات بحماس وفاعلية، وسيتولى أفراد هذه المجموعة الذين يَمتلكون واحدة أو أكثر من هذه الصفات قيادة الآخرين في المغامرات الجديدة؛ فسَيُصبح هؤلاء هم المسؤولين عن عواقب السعي البشري التي سنتحدّث عنها في الجزء الثاني.

إذا قارناً مثل هذه المجموعة من ١٠٠ إنسان بمجموعة تتكون من ١٠٠ شمبانزي تنحدر من نفس الوالدين، فعلى الأرجح سنجد بعض التداخل؛ فلن نجد فقط أن بعض الشمبانزي أكثر خضوعاً من إنسان عدواني، وإنما يُمكننا أن نقابل شمبانزي أكثر نكاًءً من إنسان متخلف عقلياً. وهذا بالضبط ما أظهرته التجارب التي أجراها علماء مثل سو سافاج وموبوه؛ فقد ربّت سو وزملاؤها قرود شمبانزي منذ ولادتها في بيئة موجودة في مركز أبحاث اللغة في أتلانتا، في جورجيا، حيث علموها كلمات بسيطة، تماماً مثل تعليم طفل صغير، وكانت النتيجة أن استطاع أحد قرودها نطق كلمات بطريقة تُشبه الطفل المعاق. وإذا كانت أجرت هذه التجربة على ١٠٠ شمبانزي، فلربما وجدت واحداً يفوق فعلاً في قدرته على التعلّم الطفل المعاق. بالطبع على الأرجح يكون الشمبانزي أفضل في تقشير الموز من مريض يعاني من شلل سفلي يواجه مشكلة في استخدام يديه. أوكد هنا على نقطة ذكرتها مسبقاً؛ أن جينات الشمبانزي والإنسان متشابهة للغاية، بحيث يجب علينا ألا نتفاجأ عندما يحدث تداخل أحياناً في الوظائف التي تحددها، مثل القدرة على تنفيذ بعض المهام، فكلانا في النهاية أحفاد لسلف مُشترك وتوجد بيننا صلة قوية؛ فقد أثبت بعض أفراد هذا النوع، منذ نحو ٦ إلى ٨ ملايين سنة، أنهم أفضل في تسلُّق الأشجار وتطوروا ليُصبحوا الشمبانزي الشائع أو الشمبانزي القزم؛ بينما أثبت أفراد آخرون أنهم

أفضل في السير مُنتصبين والبحث عن المفترسات أو الفرائس، وتطوّروا ليُصبحوا الإنسان العاقل، بينما اتضح أن آخرين ٢٠ أقل كفاءة في ممارسة أيّ من هاتين المهارتين وانقرضوا. إن ما يميز الإنسان عن الشمبانزي هو اجتماع كثير من الصفات؛ اختر صفة واحدة فقط وربما تجد تداخلًا بينها وبين صفة أخرى.

## هوامش

(١) على سبيل المثال، يمكن لسلسلة بها ١٠٠ حمض أميني أن تتخذ نحو ١٠٠٢٠ شكلًا مختلفًا، وأنا لن أحاول حتى كتابة هذا الرقم بالكلمات، ولكنني سأشير فقط إلى أن ١٠٢٠ هو أكثر بالفعل من ١٠ تريليون (١٠ ملايين مليون)، رغم أن كثيرًا من التآلفات المحتملة — مثل تكون بروتين بالكامل من نوع واحد من الأحماض الأمينية — لا تحدث في الطبيعة، فإن الحسابات تُظهر التنوع الهائل الذي يمكن أن يوجد في البروتينات.

(٢) عندما يُصبح الأدينين في سلسلةٍ مقابلًا للثيامين في سلسلةٍ أخرى، تتكوّن رابطتان بينهما؛ لأن الأدينين والثيامين يتلاءمان جيدًا معًا (فتقل الطاقة الإجمالية للنظام)، وعندما يوجد الجوانين في سلسلةٍ مقابلًا للسييتوسين في السلسلة الأخرى، فإنهما يشكلان أيضًا زوجًا وثيقًا؛ إذ تربطهما في هذه الحالة ثلاث روابط. تُعرف هذه الروابط باسم الروابط الهيدروجينية، بسبب وجود ذرة هيدروجين في منتصف الرابطة دومًا. ومقارنةً بالروابط التي تربط الذرات على طول شريط الدي إن إيه، تكون الروابط الهيدروجينية ضعيفة نسبيًا؛ فلا نحتاج إلا لقليل من الطاقة من أجل كسرها، فيكفي تسخينها على درجة حرارة نحو ٦٠ مئوية. لا تُشكّل الروابط الهيدروجينية أساس التجاذب بين أشرطة الدي إن إيه المتكاملة وحسب، وإنما تجعل أيضًا سلاسل البروتينات — وسلاسل الدي إن إيه — ملتفة بعضها حول بعض، ما عليك إلا تسخين أحد البروتينات أو الدي إن إيه وستنقُك هذه السلاسل.

(٣) في الواقع أقل من ١٠٪ من الدي إن إيه لدى الحيوانات يحدّد شفرة البروتينات؛ أما الكم الباقي من الدي إن إيه فيحدّد المناطق التي تتحكم في بدء تصنيع البروتين وتوقفه — بعبارةٍ أخرى: تمثّل هذه المناطق الحافز لترجمة امتداد معيّن من الدي إن إيه إلى بروتين — بالإضافة إلى الامتدادات الطويلة التي لا توجد لها وظيفة واضحة، التي ربما تعبّر عن امتدادات دي إن إيه من فيروسات اندمجت في الدي إن إيه الخاص بالعاقل نتيجة للتعرّض لنوبة عدوى.

(٤) لا يُساوي إجمالي عدد الجينات الموجودة في كافة الكروموسومات إجمالي عدد البروتينات؛ لأنَّ بعض الجينات تحدّد شفرة عدة بروتينات يكون لها تكوين مشابه لكنه غير متطابق، نتيجةً لإعادة ترتيب جزيئية تُدعى «التضفير»؛ ومن ثم فإنَّ إجمالي عدد ٣٠ ألف جين مختلف لدى الإنسان يحدّد ما يصل إلى ٣٠٠ ألف بروتين.

(٥) رغم ارتباط بروتينات معينة بالدي إن إيه، ومن ثم تصبح جزءاً من الكروموسومات، فإنها لا تلعب دوراً مباشراً في عملية نقل المعلومات من الدي إن إيه إلى البروتين.

(٦) يرجع الفضل في اقتراحهما بوجود مثل هذه العلاقة الثابتة بين أزواج قواعد الدي إن إيه إلى ملاحظة سابقة لعالم الكيمياء الحيوية الأمريكي، إروين تشارجاف الذي اكتشف أن نسبة المحتوى من الأدينين مع الجوانين تكون دوماً مساوية لنسبة المحتوى من الثيامين مع السيتوسين، وخاصةً أن كميّة الأدينين بدت مساوية للثيامين، وكميّة الجوانين مساوية للسيتوسين.

(٧) في أثناء انقسام الكروموسومات إلى نصفين، قبل انفصال كل زوج من الكروموسومات، يحدث بالإضافة إلى هذا تبادل داخل للجينات بين أزواج الكروموسومات المعنية، قبل انفصالها تماماً لتكوّن خلايا أحادية (تحتوي فقط على مجموعة فردية من الكروموسومات، وليست زوجية)، ستصبح هي الحيوان المنوي أو البويضة، ونتيجةً لهذه العملية المعقدة إلى حد ما المعروفة باسم الانقسام الاختزالي، تصبح الجينات مختلطة لدى كل جيل بطريقة عشوائية تماماً.

(٨) يبدو أن نوعاً خاصاً من البروتين يوجد بكميات صغيرة للغاية، يُدعى البريون، ينسخ نفسه. تكون مثل هذه البروتينات مسئولةً عن انتقال التهاب الدماغ الإسفنجي البقري، «مرض جنون البقر»، ومرض كروتزفيلد جاكوب لدى البشر.

(٩) رغم أن الوفاة قد تحدث في وقت أقرب من المتوقع، فإنَّ أمراض السرطان تنشأ بسبب الطفرات غير النافعة التي تحدّث لهذا الفرد.

(١٠) في الهيموجلوبين المنجلي تحلُّ رواسب الفالين محل رواسب الجلوتامات، وهذا نتيجة لتحول الأدينين إلى ثيامين داخل الدي إن إيه (يحدد مزيج الجوانين مع الأدينين والجوانين GAG شفرة تكوين الجلوتامات، في حين يحدد مزيج الجوانين مع الثيامين والجوانين GTG شفرة تكوين الفالين).

(١١) التفسير المحتمل لهذه النتيجة من الناحية الجزيئية هو كالتالي: إن عدد الكروموسومات الموجودة لدى الفرس والحمار متساوي، كذلك يوجد تشابه بالقدر الكافي

بين هذه الكروموسومات بحيث تحدث عملية التزاوج بينها، عندما يُخصَّب حيوانٌ منويُّ البويضة، على نحو طبيعي. كذلك فإن عملية تضاعف الذي إن إيه التي تحدث فيما بعد في كل مرة تنقسم فيها خلية في جسم البغل، طوال عملية نموه وهو جنين ونضجه وهو حديث الولادة؛ تكون طبيعية. يحدث الخلل في الخلايا الجنسية؛ ففي أثناء عملية الانقسام الاختزالي (انظر الهامش رقم ٧ أعلاه) يحدث تبادل داخلي كثير في الذي إن إيه بين كل زوج من الكروموسومات، وحتى يحدث هذا التبادل، يجب أن يكون الكروموسومان (أحدهما من الأب والآخر من الأم) مصطفَّين تمامًا. إن وجدت اختلافات طفيفة بين الذي إن إيه لأحد الكروموسومين عن الذي سيقترن به، فإن هذا لا يحدث مشكلة. على سبيل المثال: إذا كان أحد الكروموسومين يحتوي على جين الهيموجلوبين الطبيعي في مقابل جين الهيموجلوبين المنجلي في الكروموسوم الآخر، فإن هذا لا يكون له تأثير، لكن إن كان الاختلاف بين الجينين أكبر من هذا (لا يقتصر الأمر على وجود ثيامين بدلاً من الأدينين)، وتوجد بالإضافة إلى هذا نسخٌ إضافية من جينات معينة، فإن الاصطفاف الدقيق؛ جين في مقابل جين، لا يُمكن أن يحدث. هكذا يتوقف الانقسام الاختزالي، فلا يتكون حيوان منوي (أو بويضة)؛ فيصبح الحيوان عقيمًا.

(١٢) انظر دانيال كليمنت دينيت، المرجع السابق، ص ٤٥.

(١٣) في أثناء انقسام الكروموسومات إلى نصفين، قبل انفصال كل زوج من الكروموسومات، يحدث بالإضافة إلى هذا تبادل داخل للجينات بين أزواج الكروموسومات المعنية، قبل انفصالها تمامًا لتُكوِّن خلايا أحادية (تحتوي فقط على مجموعة فردية من الكروموسومات، وليست زوجية)، ستُصبح هي الحيوان المنوي أو البويضة، ونتيجةً لهذه العملية المعقدة إلى حد ما المعروفة باسم الانقسام الاختزالي، تصبح الجينات مختلطة لدى كل جيل بطريقة عشوائية تمامًا.

(١٤) التفسير المحتمل لهذه النتيجة من الناحية الجزيئية هو كالتالي: إن عدد الكروموسومات الموجودة لدى الفرس والجمار متساو، كذلك يوجد تشابه بالقدر الكافي بين هذه الكروموسومات بحيث تحدث عملية التزاوج بينها، عندما يُخصَّب حيوانٌ منويُّ البويضة، على نحو طبيعي. كذلك فإن عملية تضاعف الذي إن إيه التي تحدث فيما بعد في كل مرة تنقسم فيها خلية في جسم البغل، طوال عملية نموه وهو جنين ونضجه وهو حديث الولادة؛ تكون طبيعية. يحدث الخلل في الخلايا الجنسية؛ ففي أثناء عملية الانقسام الاختزالي (انظر الهامش رقم ٧ أعلاه) يحدث تبادل داخلي كثير في الذي إن إيه بين

كل زوج من الكروموسومات، وحتى يحدث هذا التبادل، يجب أن يكون الكروموسومان (أحدهما من الأب والآخر من الأم) مصطفين تماماً. إن وجدت اختلافات طفيفة بين الذي إن إيه لأحد الكروموسومين عن الذي سيقترن به، فإن هذا لا يحدث مشكلة. على سبيل المثال: إذا كان أحد الكروموسومين يحتوي على جين الهيموجلوبين الطبيعي في مقابل جين الهيموجلوبين المنجلي في الكروموسوم الآخر، فإن هذا لا يكون له تأثير، لكن إن كان الاختلاف بين الجينين أكبر من هذا (لا يقتصر الأمر على وجود ثيامين بدلاً من الأدينين)، وتوجد بالإضافة إلى هذا نسخٌ إضافية من جينات معينة، فإن الاصطفاف الدقيق؛ جين في مقابل جين، لا يمكن أن يحدث. هكذا يتوقف الانقسام الاختزالي، فلا يتكون حيوان منوي (أو بويضة)؛ فيصبح الحيوان عقيماً.

(١٥) انظر مقال ستيف ماك عن «كيف تُعرَّف النوع؟» على موقع [www.madsci.org](http://www.madsci.org). (١٩٩٩).

(١٦) إن أحد أسباب الاحتفاظ بنسخ متعددة من الجينات هو أنها تُقلِّل فرصة حدوث نتائج ضارة لإحدى الطفرات؛ فامتلاك ثلاث نسخ من جينات غير متأثرة تصنع بروتيناً طبيعياً، بدلاً من واحد فقط، يُساعد في التصدي للآثار السلبية لبروتين معين ضار، كذلك فإن النسخ المتعددة من الجينات تؤدي إلى وجود وظائف مختلفة، من خلال الاحتفاظ بطفرات مختلفة في نسخ منفصلة من الجين الأصلي. توجد في الأصل أكثر من نسخة واحدة من كثير من جيناتنا، وهذا نتيجة لعمليات المضاعفة التي حدثت منذ مئات الآلاف من السنوات، والتي احتفظنا بها. وخير مثال على هذا جين الهيموجلوبين؛ فيوجد لدينا أكثر من خمسة جينات كلٌّ منها ينتج الهيموجلوبين باختلاف طفيف في كفاءة الارتباط بالأكسجين. يعمل أحد أنواع الهيموجلوبين في أثناء مرحلة تكوُّن الجنين، بينما يعمل نوع آخر في مرحلة البلوغ، ويحتفظ الجسم بكلٍّ منهما لأن وجودهما يحسِّن عملية نقل الأكسجين في مراحل مختلفة من نمو الإنسان؛ ومن ثم يؤدي إلى تحسين صحة الفرد. (١٧) يشمل هذا النباتات والجراثيم.

(١٨) للحصول على سيرة ذاتية حديثة يمكنك قراءة كتاب مايكل شيرمر «في ظل داروين: حياة ألفريد راسل والاس وعلمه»، مطبعة جامعة أكسفورد، أكسفورد، ٢٠٠٢.

(١٩) وأشار إلى ذلك ليوناردو دافينشي أيضاً قبل أكثر من ٣٠٠ عام. انظر شيروين بي نولاند، المرجع السابق، ص ١٠٣.

(٢٠) نظرًا لعدم تسجيل تعليقات ويلبرفورد من ساحة البرلمان، توجد نسخ عديدة منها. انظر، على سبيل المثال، كتاب والتر جراتزر «الاكتشافات والسعادة: كتاب أكسفورد عن النوادر العلمية»، مطبعة جامعة أكسفورد، أكسفورد، ٢٠٠٢، ص ٧١-٧٣.

(٢١) لم تعد حاليًا فكرة أن اصطدام مذنب بالأرض هو الذي تسبب في انقراض الديناصورات مقبولةً بالإجماع.

(٢٢) فئة من البروتوزوا؛ كائنات أحادية الخلية، يعيش كثير منها في البحر.

(٢٣) للاطلاع على المزيد عن هذا الموضوع، انظر إدوارد أوه ويلسون (١٩٩٢) المرجع السابق، ص ٢١٥-٢٨٠، وواي وايت جيبس، مجلة ساينتيفيك أمريكان العدد ٢٨٥، ص ٢٨-٣٧، نوفمبر ٢٠٠١.

(٢٤) على وجه الدقة، فإن نسبة الأدينين + الثيامين إلى الجوانين + السيتوسين في الذي إن إيه البشري تُشبه الموجودة في دي إن إيه الشمبانزي (تذكر أن الأدينين يساوي دومًا الثيامين، والجوانين يساوي دومًا السيتوسين، أيًا كان أصل الذي إن إيه). الأهم من ذلك، أن أزواج الأدينين مع الثيامين، والجوانين مع السيتوسين، لا توجد تمامًا في المواقع نفسها على طول شريط الذي إن إيه.

(٢٥) انظر روبرت كيه واين على موقع [www.idir.net/~wolf2dog/wayne2.htm](http://www.idir.net/~wolf2dog/wayne2.htm)

(٢٦) عند تسخين جزء صغير من الذي إن إيه، فإن الشريطين الملتصقين أحدهما حول الآخر ينفصلان؛ فتتكسر الروابط الهيدروجينية التي تربط الأدينين مع الثيامين، والجوانين مع السيتوسين. إذا خُفّضت درجة الحرارة، فإن الشريطين يتصلبان مرةً أخرى. إذا أخذنا الآن خليطًا من أجزاء الذي إن إيه (الذي إن إيه بأكمله كبير للغاية بحيث يصعب استخدامه)، على سبيل المثال دي إن إيه الشمبانزي ودي إن إيه الإنسان، وسخّنناه فإن الشرائط في كل جزء من الذي إن إيه ستنفصل؛ وعند تبريدها فإنها ستلتصق بعضها على بعض مرةً أخرى. باستخدام هذه العملية يمكن تكوين بعض الأجزاء المهجنة، التي تحتوي على شريط من الشمبانزي وشريط آخر من الإنسان. عند إعادة تسخين الأجزاء المهجنة فإنها تنفصل عند درجة حرارة أقل من أجزاء الذي إن إيه الأصلية لكل من الشمبانزي والإنسان؛ وهذا لأن عملية الدمج هذه ليست مثالية؛ ولذلك نحتاج إلى طاقة أقل لفصل الشريطين. ويُقال إنه أمام كل انخفاض بنسبة درجة مئوية واحدة في درجة الحرارة المطلوبة لفصل الشريطين في الذي إن إيه الهجين، يوجد اختلاف عن أجزاء الذي إن إيه الأصلية بنسبة ١٪ فدرجة الحرارة التي ينفصل عندها شريطا الذي إن إيه الهجين

لشيمبانزي وإنسان تقلُّ بنحو ٢ درجة مئوية عن تلك التي تنفصل عندها أجزاء الذي إن إيه الأصلية من كلا الجانبين؛ ومن ثم فإن الذي إن إيه لهذين النوعين يُقال إنه يختلف بنسبة ٢٪ عن النوع الهجين، أو يُشبهه بنسبة ٩٨٪. كانت هذه نتيجة مبدئية تأكَّد الآن أنها كانت خاطئة؛ فالاختلاف الفعلي يقترب من ٥٪ وليس ٢٪ (انظر شكل ١-١).

يُظهر التهجين قيمةً تعبر عن متوسط الاختلاف بين الذي إن إيه لنوعين، سواء كانا ينتميان إلى الجنس نفسه أو إلى جنسين مختلفين. قد يكون التكامل بين الشريطين المهجنين مثالياً في بعض الأجزاء على طول السلسلة، وغير مكتمل في أجزاء أخرى. يؤدي هذا إلى مشكلة في التفسير نظراً لاحتواء معظم الذي إن إيه على مناطق ليست جينات على الإطلاق؛ فكما أشرنا مسبقاً، تحدُّ بعض المناطق أدوات التحكم التي تُفعل التعبير الجيني وتوقف عمله، بينما تختصُّ مناطق أخرى بوظائف لم تتضح بعد؛ وعليه فمن المحتمل أن يكون قدر كبير من التشابه بين الشيمبانزي والإنسان يقع في منطقة غير جينية، مع عدم وجود أي تشابه تقريباً داخل الجينات نفسها. يُمكن اختبار هذا الاحتمال من خلال عزل جينات معينة وتحليلها. وقد حدث هذا بالفعل، وأصبحنا نعلم الآن أن التشابه بنسبة ٩٥٪ يوجد في مناطق تشفيرية في الذي إن إيه — بعبارة أخرى في الجينات — وأيضاً في المناطق غير التشفيرية التي تمثل الكم الأكبر من الذي إن إيه. في المقابل، فإن التشابه في معظم الجينات يفوق بكثير نسبة ٩٥٪، حتى التي توجد في صميم الاختلافات بين الإنسان والشيمبانزي (انظر الفصل الرابع). يرجع السبب في ذلك إلى أن الضغط الانتقائي يميل إلى الاحتفاظ بتتابعات التشفير في الذي إن إيه أكثر من الأجزاء غير التشفيرية؛ فإن معظم الطفرات الخطيرة على وظيفة الجين؛ ومن ثم فإن الكائنات التي توجد بداخلها تُزال تدريجياً من مجموع الجينات، وعلينا ألا نتفاجأ من حقيقة أن نسبة التشابه هي نفسها تقريباً في مناطق التشفير والمناطق غير التشفيرية في الذي إن إيه؛ هذا لأن الطفرات هي أحداث عشوائية تحدث في أي مكان على امتداد الذي إن إيه.

(٢٧) لأنَّ كثيراً من الطفرات يكون «صامتاً»؛ بمعنى أن الوحدات التي تتغير على طول الذي إن إيه لا تؤدي إلى تكوين بروتينات متغيرة الوظيفة، فإنَّ الاختلاف الجينومي (مثل الاختلاف بنسبة ٥٪ الموجود بين الإنسان والشيمبانزي) قد لا يعكس إلى حدٍّ ما أكثر من الوقت الذي مر على انفصال الكائنين؛ فكلما زادت نسبة الاختلاف، زاد الوقت الذي مضى على انفصال سُلالتَي أسلافهما. وكما سنرى في الفصل الرابع، يقلُّ احتمال تغيير الجينات التي تلعب دوراً أساسياً في الاختلاف الجوهري بين البشر والشيمبانزي مقارنةً

بالجينات التي تؤدي وظائف مُتماثلة لدى الكائنين. تضمُّ الطفرات الصامتة تلك التي تؤدي إلى ظهور حالة تعدُّ الأشكال؛ بمعنى أن تملك البروتينات أحماضاً أمينية مُتغيرة، ومع ذلك لا يوجد لهذا أي تأثير واضح على وظيفتها.

(٢٨) «... نحن حتى الآن لا نعرف أي أجزاء من الذي إن إيه في أجسامنا مسؤولة عن الاختلافات الوظيفية الواضحة بين البشر والشمبانزي...»: (جارد دياموند، المرجع السابق، ص٢٨). وكما سنرى في الفصل الرابع، في أحد الأمثلة التي خضع فيها أحد الاختلافات الواضحة للغاية للتحليل، كانت الجينات الأساسية تقريباً واحدة، ولم يحدث اختلاف في البروتينات المسؤولة عن هذا التفاوت إلا في حمضين أمينيين من ٧١٥ حمضاً أمينياً.

(٢٩) يعتقد البعض أن مثل هذه الفروق البسيطة في السلوك تقع خارج نطاق التفاعلات الجزيئية، لكن إذا نظرنا إلى سلوك نحل العسل، التي لا تختلف تفاعلاتها الاجتماعية كثيراً عن تفاعلات البشر، فإننا نرى أن الاختلاف بين أحد أنواع النحل الذي يبقى في الخلية ويعتني بها، ونوع آخر يذهب إلى الخارج ويبحث عن الرحيق، يعتمد على نشاط جين واحد، يكون هذا الجين خاملاً في النوع الأول من النحل، لكنه يُفعل في النوع الثاني؛ بمعنى أنه يُترجم إلى بروتين، ويؤدي حقن هذا البروتين في النوع المستكين إلى تحويله إلى نوع نشط يجمع الرحيق. انظر إليزابيث بينيسي، مجلة ساينس، العدد ٢٩٦، ص٦٣٦، ٢٠٠٢. بالمثل، عندما يوجد أمام أنثى الدبور اختيار البقاء داخل مجتمع العش أو الذهاب وحدها إلى الخارج من أجل تكوين عش جديد، فإن قرارها يعتمد جزء منه على خلفية جينية وجزء آخر على عوامل بيئية يمكن تحليلها. انظر راجافيندرا جاداكر، كتاب «علم الأحياء الاجتماعي لدى دبور الورق (روباليديا مارجيناتا)»، مطبعة جامعة هارفرد، كامبريدج، ماساتشوستس، ٢٠٠١.

(٣٠) مثل أوسترالوبيثكوس أفارينيسيس، والإنسان الماهر، والإنسان المنتصب. انظر الفصل الرابع.



## الفصل الثالث

# النباتات والجراثيم: أصل الرؤية

### (١) بداية الحياة

بدأت الحياة على سطح الأرض من نحو ٣,٥ مليارات سنة، وقبل هذا بمليار سنة بدأت مادة غازية منبعثة من الشمس تتجمع لتكوّن كوكبنا هذا<sup>١</sup> بالإضافة إلى الكواكب الأخرى الموجودة في مجموعتنا الشمسية. والشمس نفسها أخذت تتوهج منذ نحو مليار سنة قبل هذا، ورغم أن عمرها يقرب منذ نحو ٥ مليارات سنة، فإنها ليست على الإطلاق أقدم نجم في الكون؛ فيشير معظم علماء الفيزياء الفلكية إلى أن الانفجار العظيم، الذي تكونت بفعله كل المادة الموجودة، حدث منذ فترة تتراوح بين ١٠ و ٢٠ مليار سنة. بمجرد تكوّن الأرض، رغم تعرّضها للقصف المستمر من النيازك، انخفضت درجة حرارتها تدريجياً في فترة تقلّ عن مليار سنة لتصل إلى درجة حرارة تكون فيها المياه في صورة سائلة، وتكون فيها الجزيئات العضوية مستقرّة. ويوجد جدل حول طريقة تكوّن هذه الجزيئات<sup>٢</sup> على مدار فترة طويلة من الوقت بدأت الجزيئات العضوية تتجمع في شكل بوليمرات توجد داخل غشاء دهني، وبالصدفة استطاعت بعض هذه التجمعات مضاعفة نفسها<sup>٣</sup> عُثر على بقايا متحجّرة من مثل هذه التكوينات، الخلايا الأولى، في صخور ترجع إلى ٣,٥ مليارات سنة مضت.<sup>٤</sup> تبدو الجراثيم التي تعيش في المياه ذات نسبة الملوحة المرتفعة أقرب شبيه لهذه الجزيئات؛ ومن ثمّ سُميت بالبكتيريا القديمة، أو العتائق اختصاراً؛ لتميزها عن معظم البكتيريا الحديثة الأخرى.<sup>٥</sup> تعيش بعض من البكتيريا الحديثة في الينابيع الحارة والفتحات الحرارية المائية، وقد حافظت على قدرتها على التكاثر في درجة الحموضة القصوى (pH 0) وفي درجات حرارة تفوق ٩٠ درجة مئوية، التي كانت موجودة عند أسلافها.<sup>٦</sup> لا تستطيع معظم البكتيريا الأخرى، فضلاً عن النباتات والحيوانات، البقاء في مثل هذه الظروف.

بعد ظهور أول الكائنات الحية منذ ٣,٥ مليارات سنة مضت، استغرق ظهور الكائنات المتعددة الخلايا أكثر من مليارَي سنة؛ النباتات أولاً ثم الفطريات ثم الحيوانات (اللافقاريات منذ نحو ٦٠٠ مليون سنة، ثم تبعتها الفقاريات).<sup>٧</sup>

توجد نظرية أخرى بشأن تصنيع الجزيئات العضوية الأولى؛ فقد أيد عالم الفيزياء الفلكية الراحل فريد هويل وزميله شاندرأ ويكراماسينج فكرة أن الجزيئات الذاتية التكاثر، مثل الذي إن إيه، لم تُصنَع في الأصل على سطح الأرض، وإنما في الفضاء الخارجي — ربما قُرْب المذنبات — ووصلت إلى الأرض في شكل جسيمات (حتى إنهم يستخدمون كلمة «خلية»)، انطلقت بعد ذلك لتكوّن البكتيريا القديمة. يشيران بعد ذلك إلى أن هذه الجسيمات تنهال باستمرار على الأرض، ومن ثم تُدخِل إليها، مثل الفيروسات، أمراضاً معدية جديدة. ربما تكون فرضيتهما الأولى صحيحة جزئياً؛ إذ رُصدت هذه المادة العضوية (باستخدام تقنيات القياس الطيفي) في الفضاء الخارجي، فيحتمل أن تكون مثل هذه الجزيئات، التي تحتوي على الكربون والهيدروجين والأكسجين والنيتروجين، أمدّت الأرض بأسلاف الأحماض الأمينية والمكونات الأساسية للأحماض النووية. أيضاً من الصحيح أن النيازك وجسيمات الغبار الموجودة في مجموعتنا الشمسية وُجد أنها تحتوي على مركّبات عضوية ربما تكون أسهمت في تطور الجزيئات لدى الكائنات الحية.<sup>٨</sup> ما يصعب فهمه هو كيف يُمكن للمادة الكونية إصابة البشر في عصرنا الحالي، فإن خلايانا مأخوذة من صور الحياة البدائية، وتحتوي على الجزيئات نفسها التي كانت موجودة فيها.<sup>٩</sup> كما ترتبط جيناتنا بكل الأشياء التي سبقتها، فهل يحتمل فعلاً أن يكون تطور هذه الجزيئات حدث في الفضاء الخارجي؛ في مذنبات وغبار النجوم، على مدار فترة ثلاثة ونصف مليارات سنة بالتوازي تماماً مع تطورها على سطح الأرض؟ لن نستطيع معرفة هذا حتى نَعثُر على حياة على كوكب آخر، لكن في اعتقادي أنه عند عثورنا عليها، فإنّ الجزيئات، بصرف النظر عن الكائنات الفعلية، لن تُشبه الموجودة على سطح الأرض على الإطلاق. لكن استمع إلى الجُمْل الختامية في واحد من آخر المقالات التي كتبها فريد هويل قبل وفاته: «من ثم، فإن التركيبات الجينية لا بد أنها أُحضرت إلى الأرض، في مادة المذنبات في اعتقادنا أيضاً، التي تربط الحياة هنا بأصلها الكوني؛ فالتطور هنا على وجه الأرض عبر الانتقاء الطبيعي لا يعمل إلا على ضبط نُظْم النشأة الكونية بمجرد استقرارها هنا.»<sup>١٠</sup>

## (٢) اعتماد الحياة على الضوء

منذ ظهور البكتيريا القديمة لأول مرة، إن لم يكن قبل ذلك، كان ضوء الشمس أساسياً للحياة على سطح الأرض؛ فهو وحده يوفر الطاقة التي تُمكن النباتات وبعض البكتيريا من إجراء عملية التمثيل الضوئي؛ ومن ثم تنمو، وعن طريق تناول النباتات تستخدم الحيوانات بعضاً من هذه الطاقة في نموها وحركتها؛ ومن ثم تعتمد هي الأخرى، على نحو غير مباشر، في بقائها على ضوء الشمس. تكون أشعة الشمس ضرورية أيضاً لأسباب أخرى؛ فالحرارة التي تُصدرها تحافظ على بقاء المياه في معظم أنحاء الكوكب في صورة سائلة، ويُعتبر الماء المذيب العالمي الذي تحدث بداخله كافة تفاعلات المادة الحية، ولا تستطيع الحيوانات التي تعيش في درجات حرارة تحت الصفر البقاء على قيد الحياة إلا لأن الحرارة الناتجة من عملية الأيض لديها تمنع الماء الموجود في خلاياها من التجمد.<sup>١١</sup> إلا أن أشعة الشمس تصطدم بالأرض في أثناء النهار فقط، وربما يتساءل البعض عن سبب عدم انخفاض درجة الحرارة سريعاً في أثناء الليل؛ فهي لا تنخفض أكثر من ٣٠ إلى ٤٠ درجة مئوية في أحسن تقدير، مقارنة بفارق يزيد عن ألف درجة مئوية على سطح القمر بين النهار والليل. والسبب الأساسي في هذا هو نفسه الذي يمنع درجة الحرارة من الارتفاع كثيراً طوال النهار؛ فثمة طبقة من الغازات في الغلاف الجوي تحمي القشرة الأرضية من التعرض للحرارة والبرودة الشديتين، وأهم هذه الغازات هو غاز ثاني أكسيد الكربون.<sup>١٢</sup> وهذا الاستقرار النسبي في درجة الحرارة، سواء بالقرب من القطبين أو عند خط الاستواء، هو الذي سمح للحياة بالتطور والاستمرار في هذا.

توجد سمات مشتركة بين التمثيل الضوئي وعملية الإبصار لدى الحيوانات؛ فالرؤية لها أهمية قصوى في قدرة الحيوانات على البحث؛ فالحيوانات الضريرة، مثل الأسماك القويونية الضريرة «تيفلوجوبيوس كاليفورنيسيس»، التي تعتمد على جمبري البرغوث «كالياناسا» ليحفر لها حفراً تعيش فيها، لم تُحَقِّق نجاحاً كبيراً في عملية التطور. من ناحية أخرى، تعتمد حيوانات أخرى، مثل البوم وبعض أنواع الطوايط<sup>١٣</sup> التي تصطاد في الليل، على حاسة بصرية حساسة للغاية في العثور على فرائسها. يمارس الإنسان سعيه، حتى في ظل التكنولوجيا الموجودة حالياً، في الأساس في أثناء النهار؛ فمعظمنا يقضي الليل في النوم. صحيح أن كثيراً من الحيوانات يُدرك وجود فريسة (أو مفترس) من الرائحة، كما أن الزواحف، مثل الثعابين، تتمتع بكاشفات حرارة بالغة الحساسية

أيضاً، إلا أن معظم الحيوانات لديها عينان تسمحان لها بالتعرف على الأشياء كجزء من سعيها للحصول على الطعام والتكاثر.

لم يشرح كثيرون أهمية الرؤية لسيطرة الإنسان على أشكال الحياة الأخرى بوضوح مثل جون ويندهام في رواية الخيال العلمي «يوم نباتات التجارب». <sup>١٤</sup> تمرُّ كرة لهب كبيرة من الفضاء الخارجي بجوار الأرض، فيُعمي ضوءُها الجميع على الفور، ومع فقدان الناس لقدرتهم على الرؤية فقدوا تفوقهم على النباتات الضارة، وتمثّل أحد هذه النباتات في نسخة عملاقة آكلة للبشر من نبات مصيدة فينوس؛ نباتات التجارب. انتشرت هذه النباتات سريعاً إذ كانت تلتهم الفاقدن لقدرتهم على الإبصار، الذين لم يتمكّنوا من تجنّب الاصطدام بها، وبالتدريج بدأ البشر يُبادون من على سطح الأرض، ومع ذلك لم ينعدم الأمل؛ فثمة رجل يَرتدي عصابة كثيفة حول عينيه، كان يُجري عملية في المستشفى في وقت مرور كرة اللهب، احتفظ ببصره، وكذا بعض الأشخاص الآخرين، بدءوا جميعاً في تدمير هذه النباتات، وهكذا أنقذ البشر.

### (٣) التمثيل الضوئي

تستخدم النباتات طاقة الضوء في تصنيع جزيئات عضوية. إنّ التفاعل الذي يحدث؛ عملية التمثيل الضوئي، هو عكس التفاعل تماماً الذي يحدث في عملية التنفّس، التي تؤكسد فيها الحيوانات الجزيئات العضوية حتى تحصل على الطاقة اللازمة لحركة العضلات وتوصيل الأعصاب والنمو والعمليات الأخرى، <sup>١٥</sup> وبعدها تستخدم النباتات طاقة الضوء في تصنيع الكربوهيدرات في أثناء النهار، تعمل بعد ذلك على أكسدة بعض منها في أثناء الليل، بالطريقة نفسها التي تستخدمها الحيوانات، المعروفة بالتنفّس. رغم أن النباتات تحتاج كما يبدو إلى طاقة أقل من تلك التي تحتاج إليها الحيوانات نظراً لأنها لا تتحرّك، فإنها تظل بحاجة إلى قدر منها من أجل النمو وعمليات أخرى؛ مثل تحريك العناصر الغذائية من التربة إلى الأعلى لتصل إلى الأوراق، الذي لا يكون مطلباً هيناً في حالة شجرة السيكويا التي يصل ارتفاعها إلى ٣٠٠ قدم.

على الأرجح، يكون ترتيب التغيرات الجزيئية الأساسية في عملية التمثيل الضوئي، التي تتطلب أكثر من عشرة تفاعلات كيميائية منفصلة، عكس تماماً التفاعلات المطلوبة في عملية التنفّس، لكن الأنزيمات التي تحفز كثيراً من هاتين المجموعتين من التفاعلات

تكون في الأساس واحدة. في الواقع يكمن الاختلاف في اتجاه تدفق المادة؛ تحويل ثاني أكسيد الكربون والماء إلى كربوهيدرات وأكسجين في الحالة الأولى، وتحويل الكربوهيدرات والأكسجين إلى ماء وثاني أكسيد الكربون في الحالة الثانية. ويمكن تشبيه الأمر بمقصورتَي سكة حديدية على مسارٍ شديد الانحدار، إحدهما صاعدة والأخرى هابطة؛ بحيث تحصل المقصورة الصاعدة تدريجياً على طاقة كامنة، في حين تَفقدُها الهابطة بالتدرّج. ربما يكون مصدر الطاقة الأساسي هو الكهرباء أو ربما يكون مجرد الكتلة، كما في سكة حديد لينتون ولينموث في ديفون الشمالية في إنجلترا؛ إذ يُضاف الماء إلى خزان تحت المقصورة الموجودة في المحطة العليا التي تقع على جُرف في لينتون، بقدرٍ يزيد على وزن المقصورة وركابها الموجودة في الأسفل في لينموث. تبدأ المقصورتان في التحرك كل منهما تجاه الأخرى، وعندما تصل المقصورة التي كانت في الأعلى إلى الأسفل، يُفَرَّغ منها الماء وتُكرر العملية. يحرك هذه العملية بأكملها فقدانُ الماء من القمة، تماماً كما يُحرِّك فقدان الطاقة الضوئية من الشمس كافة صور الحياة على الأرض، الذي يكون متناهي الصغر بالطبع مقارنةً بامتصاص المواد الأخرى لضوء الشمس داخل المجموعة الشمسية.

لا تستطيع الحيوانات استخدام طاقة الضوء في تصنيع الجزيئات العضوية، لكنها تمتصُّ الضوء وتحوله إلى نبضة تنتقل من الجزء الخلفي من الشبكية في العين إلى مركز الإبصار في المخ؛ حيث يُسجل الإحساس بالضوء؛ ومن ثم الأشكال. يُشبه الجزء الأول من هذه العملية؛ امتصاص الضوء، بطرق كثيرة امتصاص النباتات للضوء. يوجد تشابه أكبر مع نوع معين من الجراثيم؛ وهو نوع من البكتيريا القديمة تُجري عملية التمثيل الضوئي، تستمد جزءاً من طاقتها من الضوء وجزءاً آخر من أكسدة الجزيئات العضوية. تعيش هذه البكتيريا في بيئات عالية الملوحة، مثل الموجودة في البحيرة المالحة الكبرى في يوتاه، والبحر الميت الذي يقع بين إسرائيل والأردن؛ ومن ثم تُسمى أليفة الملح (محببة للملح)، ومن الأمثلة النموذجية على هذا النوع بكتيريا الملحاء العضوية الملحية.

في هاتين الحالتين — الحيوانات وبكتيريا الملحاء العضوية الملحية — يُسمَّى الجزيء الحساس للضوء رودوبسين. يتكون هذا الجزيء من وحدتين؛ جزيء صغير يُسمى رتينول يشبه في تكوينه فيتامين «أ» (المُشتق منه)، وبروتين يُدعى أوبسين. يرتبط الرتينول بالأوبسين تماماً مثلما يرتبط الهيم بروتين الجلوتين في جزيء الهيموجلوبين. إن التركيب الكيميائي لصورته المُتأكسدة — الريتينال — يُمكنه من امتصاص الضوء، وعند فعل هذا يتغير شكله (ولونه) قليلاً. يحدث هذا التغيير تحولاً طفيفاً في تركيب الأوبسين. في

حالة بكتيريا الملحاء العصوية الملحية، يبدأ التغير التركيبي سلسلة من التفاعلات الجزيئية التي تنتهي بتصنيع جزيء محوّل للطاقة؛ ثلاثي فوسفات الأدينوسين، الذي يُستخدم في كلّ من نمو البكتيريا وقدرتها على السباحة نحو مصدر الضوء. في شبكية العين عند الحيوان، يؤدّي التغير في الأوبسين إلى إرسال نبضة كهربائية إلى المخ. هذه النبضة تُشبه تلك التي تُصدّر من اللمس أو الحرارة أو الصوت أو الرائحة؛ فلا يُصنّع ثلاثي فوسفات الأدينوسين على الإطلاق. على العكس، فإن ثلاثي فوسفات الأدينوسين يُستهلك في أثناء عملية توصيل العصب. ومن الواضح أن الأوبسين لدى الحيوانات ليس مطابقاً للموجود في بكتيريا الملحاء العصوية الملحية، لكن بينهما من التشابه ما يكفي لجعلهما يؤديان الوظيفة نفسها المتمثلة في تحويل نبضة ضوئية إلى تفاعل كيميائي.

لا تستخدم النباتات والبكتيريا الأخرى التي تقوم بعملية التمثيل اليرتنيول الموجود لدى الحيوانات أو بكتيريا الملحاء العصوية الملحية في جمع الضوء؛ ففي النباتات تتمثّل صبغات امتصاص الضوء الأساسية في الكلوروفيل والكاروتين واللوتين، التي يرتبط كلٌّ منها ببروتين يترجم طاقة الضوء إلى طاقة كيميائية (في شكل ثلاثي فوسفات الأدينوسين)؛ نظراً لانفصال البكتيريا القديمة منذ أكثر من ٧٠٠ مليون سنة قبل ظهور الجدّ المشترك للنباتات والحيوانات في الحياة، فإن امتلاك بكتيريا الملحاء العصوية الملحية للرودوبسين أمرٌ شاذٌّ. يقدّم هذا مثالاً على التطور التقاربي أكثر من التطور التباعدية. المهمُّ هنا أن الوظيفة العامة — المتمثلة في القدرة على امتصاص الضوء وإحداث تفاعل كيميائي — تكون واحدة في الأساس في النباتات، وفي البكتيريا المستخدمة للتمثيل الضوئي، وفي أعين كل نوع من الحيوانات بما في ذلك الإنسان.

بالطبع يؤدّي كثير من الجزيئات وظيفة مشابهة في عدد من الكائنات، ويُعتبر ثلاثي فوسفات الأدينوسين أحد الأمثلة على هذا؛<sup>١٦</sup> فجزئيّ ثلاثي فوسفات الأدينوسين يوجد بالصورة نفسها لدى الجراثيم والنباتات والحيوانات، كما أن البروتينات المستخدمة في العمليات المتنوعة لتحويل الطاقة، حتى إن لم تكن مُتطابقة فيوجد بينها من التشابه ما يمكنها من أداء الدور نفسه في كافة الكائنات؛ وبهذا يتّضح السبب وراء وجود هذا القدر من التشابه بين جينوم الجراثيم والنباتات والحيوانات.

حتى نتعرّف جيداً على التغيرات الجزيئية التي تشكّل الاستجابة الضوئية لدى النباتات، نحتاج إلى أن نذكّر أنفسنا ببعض العمليات الفيزيائية والكيميائية التي تكمن وراء امتصاص الكائنات الحية للضوء.<sup>١٧</sup> يمتصّ الرودوبسين موجات ضوء يتراوح



شكل ٣-١: بحث النباتات عن الضوء. أشكر الأستاذ كريستوفر ليفر على هذه الصورة لنباتات عباد الشمس التي تنمو في اتجاه الشمس.

طولها بين ٤٥٠ و ٦٠٠ نانومتر، في منتصف الطيف الضوئي، تكفي لتحفيز استجابة لدى بكتيريا الملحاء العصوية الملحية أو في شبكية الحيوانات، لكنها لا تفسر كيف تتمكن الحيوانات أيضًا من تمييز لون عن الآخر. في الواقع كثير من الحيوانات لا يستطيع فعل هذا، ويتمثل السبب في قدرة الرئيسيات، مثلنا نحن البشر، على معرفة أن هذا الضوء أزرق أو أخضر أو أصفر أو أحمر في امتلاكنا، بالإضافة إلى مستقبل الرودوبسين الذي يحتوي على الريتينول، لجزيئات تمتص ضوءًا بأطوال موجات أخرى؛ فيمتص جزيء ضوءًا بحد أقصى ٤٢٠ نانومترًا، ويمتص جزيء آخر ٥٣٠ نانومترًا، ويمتص ثالث ٥٦٠ نانومترًا، وتمكّننا هذه الجزيئات معًا من تمييز لون عن آخر.<sup>١٨</sup>

لا تستخدم النباتات ضوء الشمس في عملية التمثيل الضوئي فقط؛ فهي تبحث عنه بنشاط يشبه حماس الذين يحصلون على حمام شمسي على شواطئ البحر المتوسط. تفعل النباتات هذا بطريقتين؛ الانتحاء الضوئي والانتحاء الشمسي. لا تقدّم هاتان الكلمتان معنًى دقيقًا عن التغذية (الانتحاء) بفعل الضوء أو الشمس؛ ففي كلتا الحالتين يكون

الضوء الموجود في البيئة الطبيعية هو ضوء الشمس (شكل ٣-١). تُستخدم كلمة الانتحاء الضوئي في وصف عملية «نمو» النباتات نحو الضوء، في حين تُستخدم كلمة الانتحاء الشمسي في وصف عملية «اتجاه» النباتات نحو الضوء. بالنسبة للنبات يكون إدراك الضوء في أهمية الرؤية للحيوان؛ فهو يخبر النبات بمكانها في الفراغ (في الظل أو في مساحة مفتوحة) وبالوقت (ظلام الليل أو ضوء النهار).

#### (٤) الانتحاء الضوئي

تتحكّم عدة آليات في عملية الانتحاء الضوئي؛ في وقت مبكر يرجع إلى عام ١٨٨١ أظهر تشارلز داروين أن الاستجابة الكبرى في النبات تكون عند النهاية الزرقاء في الطيف الضوئي، ومضت أكثر من ١٠٠ سنة قبل اكتشاف المستقبل الضوئي الأساسي فيها؛ وهو عبارة عن مكوّن حسّاس للضوء متّصل ببروتين، تمامًا مثل الرودوبسين، وأُطلق على هذا المركب اسم فوتوتروبين.<sup>١٩</sup> أما الجزء الحساس للضوء فهو عبارة عن جزيء أصفر يدعى فلافين.<sup>٢٠</sup> يحوّل جزء البروتين تأثير الضوء على الفلافين إلى استجابة جزيئية، تؤدّي في النهاية إلى النمو في اتجاه الضوء.<sup>٢١</sup> تُسمى مجموعة أخرى من البروتينات الحساسة للضوء الأزرق كريببتوكروم.<sup>٢٢</sup> إنها تحتوي على المكوّن نفسه الحساس للضوء، الفلافين، مثل الفوتوتروبين، لكن الأجزاء البروتينية فيها تكون مختلفة. تلعب الكريببتوكروم دورًا كبيرًا في ضبط الدورات اليومية للنباتات.

يوجد مستقبل ضوئي آخر يُشارك في الاستجابة الانتحائية الضوئية للنباتات يتكون من مجموعة من البروتينات تُدعى فايبتوكروم،<sup>٢٣</sup> ويتمثل الجزء الحساس للضوء في جزيء يُدعى فيتوكروموبيلين، لا يمتصّ الضوء عند النهاية الزرقاء من الطيف الضوئي مثل الفوتوتروبين أو الكريببتوكروم، وإنما عند النهاية الحمراء؛ بين ٦٠٠ و ٧٠٠ نانومتر. يرجع السبب في هذا إلى أن الضوء الذي ينعكس من أوراق إحدى الأشجار على أوراق شجرة مُجاورة لها يكون في الغالب ضوءًا أحمر (ولهذا تبدو الأوراق خضراء اللون)، يعمل الفيتوكروم على تحقيق أقصى امتصاص ممكن للضوء في ظلّ الغابة عن طريق دفع إحدى الشجيرات أو الأشجار إلى النمو بعيدًا عن النباتات المُجاورة له، مثل الاستجابة التي يحدثها الفوتوتروبين؛ فهو رد فعل «تجنب الظل». ومثلما يحدث مع الفوتوتروبين، توجد نتائج إضافية لتفعيل الفوتوكرومات؛ منها تسريع الإزهار والإنتاج المبكر للبذور؛ فالفوتوكرومات هي التي تُخبر النبات بمكانه مقارنةً بالنباتات الأخرى.

بعدما تعرفنا على التكوينات الجزيئية في النباتات التي تستشعر الضوء، سنستعرض بإيجاز العمليات التي تؤدي من خلالها هذه المستقبيلات الضوئية إلى تكاثر الطرف النابت للنبات في اتجاه الضوء، بعيداً عن الظل. يتمثل أحد المُكوّنات المهمة في هرمون نباتي يُدعى أوكسين. يتسبب هذا الهرمون في زيادة طول الخلايا التي يفوق تركيزه فيها أقصى مقدار له. توجد هذه الخلايا في الجزء البعيد عن الشمس في الطرف النابت، إلا أن المستقبيلات الضوئية التي تستشعر الضوء، سواء كان الضوء الأزرق الساقط على الفوتوتروبين أو الضوء الأحمر المنعكس الذي يصطدم بالفيتوكرومات، توجد على الجانب المضيء من الطرف النابت. ينتج عن تفعيل الفوتوتروبين والفيتوكروم تقليل تركيز الأوكسين، ونتيجة لهذا يوجد مقدار أكبر نسبياً من الأوكسين في الخلايا على الجانب البعيد عن الشمس في الطرف النابت من الموجود على الطرف المضيء؛ ومن ثم فإن هذه الخلايا هي التي يزيد طولها. ونظراً لأنّ انقسام الخلية يحدث في الوقت نفسه في الخلايا التي زاد طولها والأقصر منها، ونظراً لعدم قدرة الخلايا المتجاورة على الانفصال بعضها عن بعض، تكون النتيجة النهائية انحناء الطرف النابت بعيداً عن الخلايا الأطول، بعبارة أخرى: بعيداً عن الظل وفي اتجاه الضوء.

## (5) الانتحاء الشمسي

تُعتبر أوراق النباتات والأشجار المواقع الرئيسية لإجراء عملية التمثيل الضوئي؛ فأبشئ شيء أخضر اللون بسبب احتوائه على مادة الكلوروفيل من المرجح أن يمتلك أيضاً البروتينات اللازمة لعملية التمثيل الضوئي. ومن أجل إجراء هذه العملية على النحو الأمثل، ظهرت لدى كثير من النباتات القدرة على توجيه أوراقها في اتجاه الشمس؛ حتى تسقط أشعتها على أكبر مساحة مُمكنة من الأوراق. يحدث هذا في الصباح وفي فترة ما بعد الظهر، عندما تكون أشعة الشمس ضعيفة نسبياً. أما في فترة الظهر، عندما تكون أشعة الشمس قوية، فتتحرك نباتات الانتحاء الشمسي أوراقها بحيث تكون أطرافها فقط هي المواجهة للشمس وليس الورقة بأكملها، ويحدث هذا من أجل الحدّ من مساحة الورقة المُعرّضة للأشعة المباشرة للشمس؛ فالإشعاع الزائد يدمر خلاياها (تماماً مثل خلايا الحيوانات). يُمتص القدر الكافي من الضوء حتى عند التعرّض بزوايا للأشعة في منتصف النهار من أجل إجراء عملية التمثيل الضوئي على أعلى مستوى. هذا في الأصل المقصود بمصطلح الانتحاء

الشمسي:<sup>٢٤</sup> بحثُ الأوراق عن الضوء. تختلف آلية الانتحاء الشمسي عن الانتحاء الضوئي إلى حدٍّ ما؛ إذ لا تتطلَّب إطالة — نموًّا — غير قابل للتغيير في اتجاه معين، بل عوضًا عن ذلك تتحرَّك الأوراق في أحد الاتجاهات نتيجةً لتغيُّرات يُمكن عكس تأثيرها لما يحدث من امتلاء (ضغط) داخلها. لم تتَّضح بعدُ التفاعلات الجزيئية الكامنة وراءها؛ لذلك لا نعرف طبيعة المستقبلِ الضوئي أو البروتينات المرتبطة به. ونظرًا لأنَّ عملية الانتحاء الشمسي عملية متكرِّرة، ربما تشترك في بعض الخصائص مع الدورات اليومية؛ ومن ثم ربما تُلقَى المعلومات الموجودة لدينا عن هذه الأفعال الضوءَ على الآلية المُحرَّكة للانتحاء الشمسي.

## (٦) الدورات اليومية

تُشبه النباتات الحيوانات في قيامها بأفعال متكرِّرة يوميًّا، فكما ذكرنا مسبقًا، في أثناء ساعات النهار تجري عملية التمثيل الضوئي، وفي الليل تُحوَّل جزءًا من الكربوهيدرات التي صنعتها مرةً أخرى إلى ثاني أكسيد الكربون وماء في عملية عكسية.<sup>٢٥</sup> في أثناء النهار تُفْتَح كثير من الأزهار، وفي الليل تُغْلَق. تتطلَّب الآلية التي تستخدمها النباتات في استشعار وجود ضوء النهار الكريبتوكرومات. يُؤدِّي المحتوى البروتيني للمستقبلات الضوئية هذه عدة وظائف، أهمها «ضبط» الساعة البيولوجية. لن أتطرَّق إلى التفاصيل، ولكني سأشير إلى وجود الكريبتوكرومات لدى الحيوانات أيضًا، فأتَّضح حتى الآن وجود الجينات التي تحدِّد شفرات هذه العائلة من البروتينات لدى ذبابة الفاكهة والفئران والبشر، ولا شك أنها توجد لدى كافة الحيوانات التي تظهر في دوراتٍ يومية.

توجد الكريبتوكرومات، مثل الرودوبسين ومستقبلات رؤية الألوان، لدى الحيوانات في الشبكية، التي تنقل منها رسائل جزيئية من خلال تفعيل جينات معينة وإيقاف عملها. يوجد المركز المتحكِّم بالكامل في الدورات اليومية داخل الوطاء، وهو جزء متخصص داخل المخ. يعمل هذا المركز على تفعيل ساعة تعمل على مدار ٢٤ ساعة، ويضبط التأثير البصري الواقع على الشبكية هذه الساعة وفقًا لفترات النهار والليل. وعندما ينتقل حيوان أو إنسان إلى منطقة زمنية مختلفة، فإن الإشارات التي تنتقل من الكريبتوكروم في الشبكية إلى منطقة الوطاء تعمل على إعادة ضبط الساعة،<sup>٢٦</sup> وتُعتبر الدورات اليومية مثالًا آخر على الاستجابة الجزيئية للضوء التي ورثها الإنسان من النباتات القديمة.

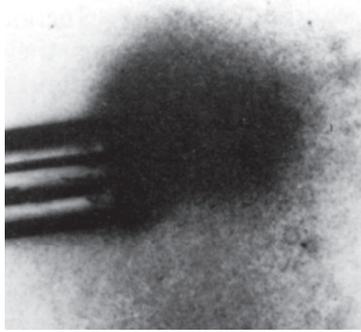
## (٧) حركة الجراثيم

### (١-٧) البكتيريا

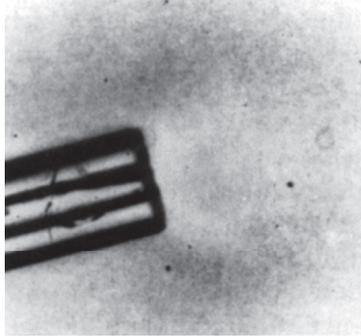
لا تشبه البكتيريا التي تقوم بعملية التمثيل الضوئي النباتات فقط في استخدامها للطاقة الضوئية، وإنما تسعى إلى الحصول عليها؛ لذلك يوجد لدى كائن قديم مثل بكتيريا الملحاء العصوية الملحية نوعان من الرودوبسين؛ واحد لتحويل الطاقة الضوئية إلى طاقة كيميائية،<sup>٢٧</sup> والآخر يستشعر شدة الضوء ويجعل البكتيريا تسبح باتجاهه.<sup>٢٨</sup> فالنوع الأول من الرودوبسين يُصدر استجابةً تمثيل ضوئي، والنوع الآخر يتسبب في الانجذاب الضوئي (التحرك في اتجاه الضوء). هذا وتتوفر الطاقة اللازمة للانجذاب الضوئي من بعض مركبات ثلاثي فوسفات الأدينوسين التي تنتج في أثناء عملية التمثيل الضوئي.

تبحث البكتيريا التي لا تقوم بعملية التمثيل الضوئي عن الغذاء وليس الضوء؛ فهي تسبح في اتجاه مصدر الأكسجين (الانجذاب الهوائي) أو إلى العناصر الكيميائية (الانجذاب الكيميائي، الذي يشتمل على آليات استشعار الطاقة). في الواقع لا تكون الحركة دوماً في اتجاه واحد، إن تركيز الأكسجين المرتفع للغاية يكون سائماً على بعض البكتيريا (تماماً مثل تأثيره على الحيوانات؛ تذكر التأثير الضار للجزور الحرة التي قد تتولد نتيجة للتركيز المرتفع للغاية للأكسجين)؛ ومن ثم فإنها تسبح بعيداً عن مصدره، لذلك في بركة مياه أو أي بيئة أخرى يوجد فيها تدرج في الأكسجين من السطح إلى الأسفل تستقر البكتيريا في المستوى الأفضل لعمليات الأيض لديها. كذلك تفضل الأنواع المختلفة تركيزات مختلفة. على سبيل المثال، تنجذب البكتيريا العصوية الرقيقة إلى تركيز من الأكسجين لا يقل عن تشعب السائل بالهواء، بينما يكون التركيز الأمثل للبكتيريا الإشريكية القولونية من الأكسجين ٢٥٪، بينما يتمثل التركيز الأمثل لبكتيريا أروسبيريلم برازيلنس في ٢٪،<sup>٢٩</sup> وفي حالة المركبات العضوية، تنجذب بعض الأنواع وتنفرد أنواع أخرى. توجد عادةً عوامل الجذب الرئيسية في الطبيعة المتمثلة في السكريات والأحماض الأمينية (شكل ٣-٢)، في مناطق النباتات المتعفنة وبقايا الحيوانات.<sup>٣٠</sup> في الواقع إن أي مركب يستطيع نوع معين من البكتيريا تمثيله غذائياً — تحويله إلى الذي إن إيه والآن إن إيه والبروتينات والدهون والكاربوهيدرات التي تحتاج إليها في النمو، بالإضافة إلى استخدام الطاقة الصادرة من عملية التمثيل الغذائي في توفير الطاقة لعمليات التصنيع هذه — يحتمل أن يكون عامل جذب لها، في المقابل، فإن المركبات التي لا يمكن تمثيلها غذائياً؛ مثل الفينول وأحماض أخرى تنفر البكتيريا (بالطبع باستثناء البكتيريا المحبة للأحماض).

## جوهرُ الإنسانِية



(أ)



(ب)

شكل ٢-٣: الانجذاب الكيميائي البكتيري لدى سالمونيلّا تيفيموريم. يُفَرِّز العديد من السوائل من طرف قطارة (أنبوب زجاجي ضيق) في سائل معلق من البكتيريا. يتحرّك هذا النوع من البكتيريا إما في اتجاه طرف القطارة أو بعيداً عنه. الصورة (أ) توضح الانجذاب للطعام (الحمض الأميني سيرين)، والصورة (ب) توضح النفور بسبب المواد الكيميائية الضارة (الفينول). ينتهج شكل طافر معين من سالمونيلّا تيفيموريم سلوكاً عكسياً؛ فينجذب للفينول ويُنفر من السيرين، لاحظ أن سالمونيلّا تيفيموريم هي قريب غير ضار للنوع الممرض للغاية سالمونيلّا التيفية، إلا أنهما انفصلا منذ أكثر من ١٠٠ مليون سنة، وهو الإطار الزمني الذي تطوّرت فيه بالكامل فصيلة الثدييات. ظهرت هذه الصورة في الأصل في بحث نشره بي إيه روبيك ودي إي كوشلاند، في مجلة وقائع الأكاديمية الوطنية للعلوم، الولايات المتحدة الأمريكية، العدد ٧٥، ٢٨٢٠-٢٨٢٤، ١٩٧٨، التي أُعيدت طباعتها منها بإذن.

أشرت طوال حديثي هذا إلى أن البكتيريا لديها القدرة على السباحة في أي اتجاه. سأوضح فيما يلي كيف يحدث هذا. توجد لدى البكتيريا المتحركة زائدة شبيهة بالسوط تدور؛ ومن ثم تدفع الخلية إلى الأمام، فلا يختلف هذا كثيراً عن مروحة محرك الدفع الخارجي أو مروحة باخرة عملاقة. يوجد مع ذلك اختلاف واحد أساسي؛ فالزائدة الشبيهة بالسوط، المتحركة لدى بكتيريا مثل الإشريكية القولونية (التي أذكرها فقط لأنها من أفضل أنواع البكتيريا التي خضعت للدراسة) تدور أولاً في اتجاه (لنقل في اتجاه عقارب الساعة)، ثم بعد فترة تتغير حركتها إلى الاتجاه المقابل (عكس عقارب الساعة)، وينتج عن هذا حركة عشوائية، مثل ورقة شجر تدور على سطح الماء، يدفعها الهواء أولاً في أحد الاتجاهات ثم في اتجاه آخر. يتمثل أحد الاختلافات الأخرى بالطبع في أن الطاقة اللازمة لدوران الجزء الدوار المحرك للبكتيريا لا تأتي من احتراق وقود معين، وإنما من المحول الكوني للطاقة الكيميائية؛ ثلاثي فوسفات الأدينوسين. لكن لا تعتقد أن هذه المحركات البكتيرية بطيئة؛ فهي تدور بمعدل نحو ١٨ ألف دورة في الدقيقة، وهذا ليس سيئاً مقارنةً بمروحة قارب بخاري صغير (١٨٠٠ دورة في الدقيقة) أو مروحة سفينة حربية (٣٠٠ دورة في الدقيقة).<sup>٣١</sup> إذا كانت الحركة بفعل هذه الزائدة الدوارة عشوائية، فكيف يُمكن للبكتيريا التحرك في اتجاه أحد عوامل الجذب وبعيداً عن عامل منفرد؟ يرجع هذا إلى منع الحركة العكسية لهذا الدوار أو الحث عليها، ونتيجةً لهذا في الحالة الأولى تكون الحركة المفضلة في اتجاه المصدر، وفي الحالة الثانية بعيداً عنه.

لا يقتصر حدوث الانجذاب الكيميائي على البيئات المائية فحسب، وإنما يحدث أيضاً في التربة. تدخل البكتيريا الجذرية، التي تُوجد علاقة تكافل بين كثير منها وجذور النباتات، تحت هذه الفئة. يحدث التكافل بسبب قدرة البكتيريا على «تثبيت» النيتروجين؛ أي أكسدة غاز النيتروجين الموجود في الجو وتحويله إلى أيون النترات، الذي يستخدمه النبات كمصدر للحصول على النيتروجين.<sup>٣٢</sup> في المقابل، يُصنع النبات مركبات عضوية، تنمو عليها هذه البكتيريا. فهذه المركبات العضوية تمثل المحفزات الجذابة للانجذاب الكيميائي.

يحدث نوع آخر من الحركة بفعل مغناطيسية الأرض، فتسبح بكتيريا مثل ماجنيتوسبيريلم ماجنيتواكتيكوم على طول الخطوط المغناطيسية، فتسبح في نصف الكرة الأرضية الشمالي في اتجاه القطب الشمالي، ونصف الكرة الجنوبي في اتجاه القطب الجنوبي؛ فيتسبب المجال المغناطيسي في تحويل حركتها العشوائية إلى سباحة في اتجاه واحد فقط، لكنها أيضاً تبحث عن تركيز الأكسجين الذي له أهمية بالغة في نموها؛

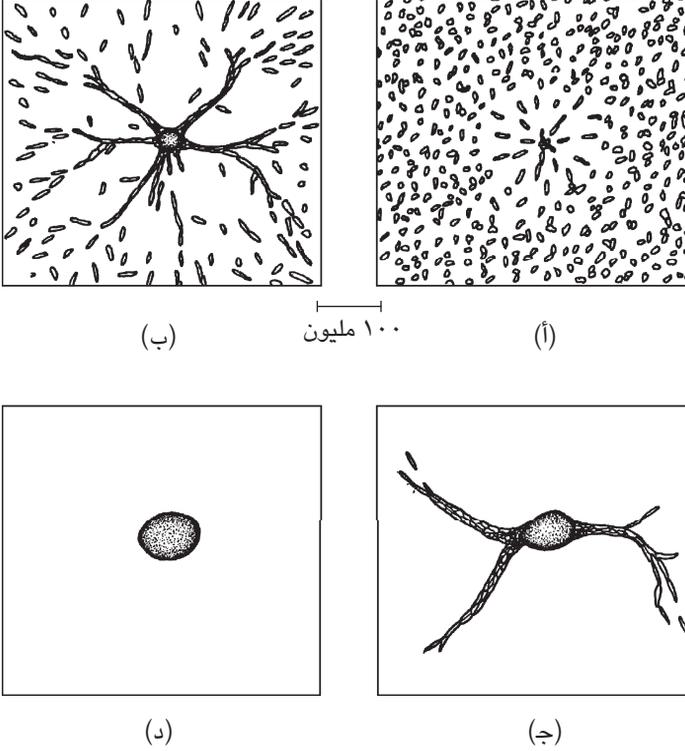
ومن ثم نجدها في بحيرة أو محيط تتجمّع في الطبقة الموجودة تحت السطح مباشرة التي يكون تركيز الأكسجين فيها بمستوى مناسب. ولذلك أُطلق على حركة هذا النوع من البكتيريا اسم الانجذاب الهوائي المغناطيسي. وعليه نجد هنا علاقة أخرى بين بحث الجراثيم والحيوانات؛ فالطيور مثل الحمام، والأسماك والنحل، كلها تشبه البكتيريا الانجذابية المغناطيسية في استخدامها لبوصلة داخلية — جزيئات فعلية من أكسيد الحديد (الماجنيتيت) — في توجيه أنفسها في أثناء رحلات كلٍّ منها.

تبحث كثير من أنواع البكتيريا أيضًا عن شيء آخر؛ سطح تنمو عليه. أحد الأمثلة على هذا العنائق التي تعيش في المياه الساخنة المالحة على جزء معيّن من الشاطئ في أستراليا الغربية؛ فهي تشكّل حرفياً سلسلة من الحصائر الواحدة فوق الأخرى، في هذه الحالة يكون سطحها هو نفسه الحافز. ويوجد مثال آخر على هذا في البكتيريا التي تصيب الجزء السفلي من أمعائنا؛ لا تكون كلها مسببة للمرض، وإنما على العكس من ذلك، فإن الإفراط في استخدام المضادات الحيوية يكون له أحياناً تأثير عكسي بالقضاء على البكتيريا غير الضارة التي تمنع طبيعياً إنشاء مُستعمرات مُمرضة، ويتمثل السطح الذي تتعلق به البكتيريا المعوية في الطبقة المخاطية للخلايا الظهارية. ويُجري العلماء حالياً أبحاثاً من أجل التوصل إلى طرق تشجّع البكتيريا غير الضارة، مثل معظم سلالات الإشريكية القولونية، على التعلق بهذه الطبقة؛ ومن ثم منع التصاق الأنواع الممرضة مثل الإشريكية القولونية ٣٣.٠١٥٧

## (٧-٢) الطلائعيات<sup>٣٤</sup>

أحد الأمثلة البارزة على الانجذاب الذاتي تظهر لدى كائن يُدعى أميبا ديكتيستيلم القرصية. يُعرف هذا النوع من الفطر باسمه الشائع؛ العفن الغروي. تتكوّن دورة حياة هذا الكائن من مرحلتين؛ في المرحلة الأولى تنمو خلايا فردية وتتضاعف، مثل البكتيريا، لكن عندما ينفد مصدر طعامها تبدأ المرحلة الثانية، فيجذب محفّز انجذاب كيميائي الخلايا الفردية حتى تتكوّن بوعاً واحداً عملاقاً من خلايا غير مُنقسمة (شكل ٣-٣). يتعرض هذا البوغ لعدة تغيرات في الشكل حتى يتفكك في النهاية إلى خلايا منفردة، التي بمجرد وصولها إلى بيئة يتوافر فيها الغذاء، تبدأ عملية انقسام خلويّ مرة أخرى. يتمثّل محفّز الانجذاب الكيميائي هذا في جزئيّ يُدعى أحادي فوسفات الأدينوسين الحلقي. إن هذا الجزئيّ مشتقّ من ثلاثي فوسفات الأدينوسين، ويلعب دوراً في مسارات الإشارات، مثل التي تنقل

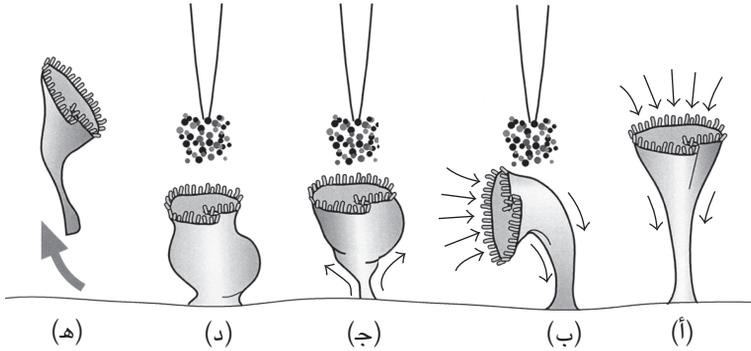
## النباتات والجراثيم: أصل الرؤية



شكل ٣-٣: بحث الطلائعيات. (أ) الانجذاب الذاتي للديكتيستيلم القرصية (نوع من الأميبا يُسمى أيضًا العفن الغروي). (أ)-(ج) مع نفاذ العناصر الغذائية من الكائنات التي تنمو على وسط صناعي، تتوقف عن الانقسام وبدلاً من ذلك تبدأ في التجمُّع، وتكوّن في النهاية كرة واحدة من الخلايا، تظهر من أعلى في الشكل (د). إذا نظرنا إليها من الجانب نرى أن هذه الكرة تتكوّن من منطقتين؛ ساق وجزء علوي أو جسم مُثَمِّر (وهو الذي يُخرج في النهاية أوبواً مستعدة لتبدأ في النمو والانقسام في صورة خلايا فردية مرةً أخرى). للمزيد من التفاصيل انظر متن الكتاب، وكذلك كتاب سي إيه باسترناك «كيمياء حيوية للتمايز»، مؤسسة وايلي إنترساينس، نيويورك، ١٩٧٠، التي أُعيدت منها طباعة هذا الشكل بإذن.

تأثير الهرمونات إلى الخلايا المُعرّضة للخطر، في كلِّ نوع من الكائنات العليا، بدايةً من الفُطر حتى النباتات والحيوانات.

## جوهرُ الإنسانية



شكل ٣-٤: (ب) تفادي الستنتور (نوع من البروتوزوا ذات الأهداب) للسُميَّة. (أ) عند تناول الطعام يُنْبَت الستنتور نفسه على سطحٍ ما باستخدام ساقه، وتُدخِل الأهداب التي تمتد على طول الجزء الخارجي منه الجسيمات إلى داخل منطقة الفم. (ب) إذا وضع مُعلَّق من جسيمات صبغة الكارمين من قطارة، فإن هذا الكائن يستدير مبتعدًا عن هذا المُحفِّز البغيض. (ج) إذا استمر وضع المُحفِّز، فإن الأهداب تعكس حركتها بحيث تطرد الماء. (د) إذا فشلت هذه المناورة أيضًا في التخلُّص من الجسيمات الضارة، فإن الكائن يَنكمش ويفصل ساقه عن السطح ويسبِّح (هـ) إلى موقع آخر. أُعيد رسم هذه الصور بإذن من مؤلف كتاب «تحركات الخلية» دينيس براي، جارلاند، نيويورك، ١٩٩٢.

يُكوِّن مصدر أحادي فوسفات الأدينوسين الحلقي الذي يتسبَّب في تجمُّع أميبا ديكتيستيلم القرصية الكائن نفسه، فتبدأ أول خلايا تتعرض لنقص العناصر الغذائية في إفراز أحادي فوسفات الأدينوسين الحلقي. يجعل هذا الخلايا الأخرى تذهب إليها، وفي النهاية يتحول هذا التجمُّع المتزايد من أميبا الديكتيستيلم القرصية إلى تكوينٍ تَطغى عليه الأبواغ. تَشيع المواد الكيميائية التي تجذب الكائنات بعضها إلى بعض في عالم الحيوان، تعمل عدة جزيئات، تُعرف إجمالاً باسم الفيرومونات، كوسيط في الانجذاب بين الذكر والأنثى في معظم الحيوانات؛ بدايةً من الحشرات وحتى القطط والكلاب، والنمور والأسود، حتى البشر (على الأقل حتى اختراع مزيلات العرق والغسيل المستمر للأعضاء الجنسية). تمثِّل الرؤية عامل جذب على القدر نفسه من قوة جذب الرائحة؛ مثل تجمُّع المُفترسات حول إحدى الفرائس أو حول فتحة مياه، أو تجمُّع البشر عند رؤية حادث أو مهرِّج في

الشارع، كما أنّ صوت مغنٍّ في الشارع أو حفل في الهواء الطلق يكون له التأثير نفسه على البشر ليَجتمعوا، تمامًا مثل تأثير قرع أجراس الكنائس أو نداء المؤذّن؛ فبال تأكيد يوجد الكثير من القواسم المشتركة بين سلوك البشر وسلوك العفن الغروي. تؤدّي أنواع أخرى من الطلائعيات صورًا أخرى من البحث؛ فتسعى البروتوزوا مثل الستنتور إلى تجنّب المحفّزات الضارة بالأسلوب الذي تتبعه البكتيريا؛ فهي تستخدم أهدابها في تحريك نفسها بعيدًا عن الخطر والانتقال إلى موضع جديد (شكل ٣-٣، ٣-٤). في أثناء سعيها هذا يتغير شكل طلائعيات معينة. تفعل خلية تشبه الأميبا تدعى العفن الغروي أصفر اللون هذا في أثناء بحثها عن الطعام. وقد وصل الحد بأصحاب إحدى المقالات ذات الصلة إلى استنتاج أن «هذه العملية المذهلة من الحساب الخلوي تُشير إلى أن المادة الخلوية يمكن أن تظهر عليها علامات ذكاء بدائي»<sup>٣٥</sup>

## (٨) وحدة الجزيئات

شرحتُ عملية البحث عن وسائل النمو التي تتبعها الكائنات التي ننحدرُ منها، سواء أكانت هذه الوسائل جزيئات الضوء أم الجزيئات العضوية. بقيت الجزيئات المستشعرة للضوء مثل الريتينول والفلافين طوال عملية التطور، وانطبق الأمر نفسه على كثير من البروتينات. يوجد داخل البروتين الضوئي للنباتات تسلسلٌ من نحو ٢٧٠ حمضًا أمينيًا توجد أيضًا في بروتينات كائنات أخرى. في حالة البكتيريا التي تنفّذ عملية التمثيل الضوئي، التي يرتبط فيها بروتين يحتوي على التسلسل المكوّن من ٢٧٠ حمضًا أمينيًا بالفلافين كما في حالة الفوتوتروبين، تكون نتيجة تفعيل الفوتوتروبين بفعل الضوء حركة الكائن نحو مصدر الضوء. أما في حالة البكتيريا التي لا تقوم بعملية التمثيل الضوئي، فإنّ هذا التسلسل من ٢٧٠ حمضًا أمينيًا نفسه يُشارك في استجابتها لمصدر الطعام؛ الجزيئات العضوية والأكسجين.

إن البكتيريا ليست هي الكائنات الوحيدة التي تستشعر الأكسجين؛ فالحيوانات تستجيب لتركيز الأكسجين في أنسجتها،<sup>٣٦</sup> وهي أيضًا لديها بروتينات تحتوي على تسلسل من ٢٧٠ حمضًا أمينيًا. يستجيب بعض من هذه البروتينات لتركيز الأكسجين، بينما تتأثر أخرى بفرق الجهد على امتداد غشاء خلاياها، فتلعب قدرة الغشاء دورًا مهمًا في نقل النبضات العصبية من منطقة لأخرى في الجسم؛<sup>٣٧</sup> لهذا السبب يُطلق على التسلسل المكوّن

من ٢٧٠ حمضاً أمينياً لجزء الفوتوتروبين الشائع لدى البكتيريا والنباتات والحيوانات اسم نطاق «إل أوه في»؛ بمعنى القدرة على استشعار الضوء والأكسجين والجهد، ومؤخراً استُبدل بهذا الاختصار حروف «بي إيه إس».<sup>٣٨</sup>

يشتمل المحتوى البروتيني للفيتوكرومات أيضاً على نطاق بي إيه إس، ولا يقتصر هذا فقط على الفيتوكروم الموجود في النباتات والبكتيريا التي تقوم بعملية التمثيل الضوئي، وإنما يوجد أيضاً في بروتينات البكتيريا والفطر التي لا تقوم بعملية التمثيل الضوئي؛ حيث يستشعر نطاق بي إيه إس المكونات العضوية؛ كلاً من العناصر الغذائية والسموم، بالإضافة إلى درجة الحرارة ودرجة الحموضة والظروف البيئية الأخرى. حتى الآن لم ترد تقارير عن وجود البروتينات التي تشبه الفيتوكروم لدى الحيوانات، لكن بما أننا تمكّننا حتى الآن من تحديد تسلسل الجينوم لأربعة حيوانات؛ دودة تُسمى الربداء الرشيقة، وسمكة دانيو مخطّط، والفأر، والإنسان، أصبح من الممكن اختبار مثل هذا الاحتمال.

لقد تعرّفنا إجمالاً على أكثر من ٢٠٠ بروتين تحتوي على نطاق بي إيه إس،<sup>٣٩</sup> وتكون عواقب تفعيل هذه البروتينات واحدة، سواء كانت تؤدّي وظيفتها في بكتيريا أو نباتات أو حيوانات. في كل حالة يرتطم محفزٌ بمستقبل يُكوّن البروتين الذي يحتوي على نطاق البي إيه إس. قد يكون هذا المحفز ضوءاً (وهو الذي يستشعر وجوده مبدئياً في هذه الحالة المكوّن المستقبل للضوء) أو أيّ حالة من الحالات التي ذُكرت للتوّ، وربما تظهر مع ذلك محفزات إضافية؛ ومن ثم يتبع ذلك تغيرٌ طفيف في شكل بروتين بي إيه إس. في بعض الحالات يعمل بروتين بي إيه إس مثل الإنزيم؛ فيُضيف مجموعة فوسفات إلى بروتين آخر، يُدعى المستقبل. في حالات أخرى يرتبط بروتين بي إيه إس المفعّل ببساطة بالمستقبل. في كلتا الحالتين يتعرّض المستقبل الآن إلى تغير طفيف في الشكل، ويبدأ الاستجابة الحيوية. يلعب مثل هذا التفاعل بين بروتين وآخر دوراً مهماً في نقل كلّ نوع من الإشارات الحيوية فعلياً. في كثير من الحالات يُشكّل تفعيل جينات معينة أو إيقافها، ومن ثم تغيير تركيز البروتينات المتعلقة بها، أساس هذه الاستجابة. وفيما يخصّ علاقة هذا بالآليات التي تنفّذ بها الكائنات عمليات بحثها عن الضوء والعناصر الغذائية باستخدام الرؤية، فإنّ نطاق بي إيه إس يمثّل تكويناً جزيئياً يكمن في صلب موضوع هذا الكتاب؛ شيوع السعي بدايةً من الجراثيم حتى الإنسان.

## خاتمة

تظهر بوضوح الميزة الجينية للقدرة على الاتجاه نحو الضوء، عندما تكون أشعة الشمس هي المصدر الوحيد الذي تُستمدُّ منه الطاقة، فستنمو النباتات التي لديها القدرة على تنفيذ الانتحاء الضوئي والانتحاء الشمسي أكثر من مثيلاتها التي تفتقر إلى هذه الآليات، فتنمو أسرع، وتنتج المزيد من الأزهار والبذور؛ ومن ثم تتنافس بنجاح أكبر على الضوء والمساحة. وكذلك فإن الجراثيم التي يمكنها استشعار مصدر الغذاء أو الضوء ثم دفع نفسها في اتجاهه تتفوق في التكاثر على تلك التي لا تنمي لديها هذه القدرات جيداً. وفي كلِّ حالة تؤدي سرعة النمو والتكاثر إلى احتفاظ انتقائي بالجينات المناسبة. ينطبق الأمر نفسه على الرؤية؛ فالحيوانات التي تتمتع بقدرة أفضل على لمح المفترسات أو الفرائس تكون فرصتها للبقاء على قيد الحياة أفضل من التي تعاني من ضعف في حاسة البصر، وتمثل القدرة على رؤية الألوان الموجودة لدى الرئيسيات ميزة إضافية. إنَّ حقيقة وجود تشابه بين البروتينات التي تكمن وراء القدرة على إدراك الضوء، من بكتيريا الملحاء العسوية إلى نبات الكركديه، ومن سمك الرنجة حتى الإنسان، توضح شيوع السعي بين الكائنات.

يُمكن تفسير كافة الآليات التي شرحتها تقريباً على أنها استجابات سلبية لمحفزات معينة، مثل الضوء والطعام، وأنها لا تمثل بحثاً نشطاً بمعنى ما تقوم به الحيوانات والإنسان، لكننا يجب ألا نتقيد بكلمات مثل نشط وسلبي التي أصبحت مرتبطة بأفعال عالم الحيوان، فهل يُمكننا بالفعل وصف التقاط مصيدة فينوس (خناق الذباب) لذبابة بأنها عملية سلبية؟ تذكر أن هذا النبات لا يصدُّ فحسب هجمات الذباب، وإنما ينقضُّ عليه تماماً مثلما ينقضُّ أسد على غزال، ولا يحفز أي جماد، مثل حصاة صغيرة أو فرع شجرة، عملية الاصطياد هذه؛ فيُميِّز النبات بين الأشياء الحية والميتة؛ فهو مفترس أصيل آكل للحم يبحث عن فريسته. ربما تُجيب عن هذا بأن الأسد يبحث فعلياً عن فريسته قبل الانقضاض عليها، لكنَّ الذبابة لن تأتي لترتاح على إحدى أوراق النبات إن لم يُفرز النبات في المقام الأول رحيقاً يجذبها. يذهب نوعٌ فريدٌ من نبات جرة بورنيو، النابنط أبيض الحواف، إلى أبعد من هذا؛<sup>٤٠</sup> فعلى العكس من أنواع النابنط الأخرى، يميِّز النابنط أبيض الحواف بين مصادر الطعام؛ فلا يمسُّ النمل أو الخنافس أو الذباب، بينما يفترس النمل الأبيض بالآلاف في مرة واحدة. كيف يستطيع النبات فعل هذا؟ هذا لأنه يقدم للنمل الأبيض مصدرًا من الغذاء لا يستطيع مقاومته، على عكس الحشرات الأخرى؛ شعيرات

الحافة البيضاء الموجودة في ملامظ أو «فم» النبات. بعد تناول هذه الشعيرات يفقد النمل الأبيض توازنه ويصبح غير قادر على التسلُّق خارج النبات؛ فيسقط داخل وعاء النبات وتهضمه إنزيمات النبات القوية. بعبارة أخرى: يبادل نبات الجرة بعضًا من شعيراته في مقابل وجبة مُغذية من النمل الأبيض.

من وجهة نظر اختزالية، تلك التي يحب العلماء مثلي رؤية العالم من خلالها، يُصبح الاختلاف بين الأفعال النشطة والسلبية، والاستجابات الإرادية واللاإرادية غير واضح. أنا لا أنكر وجود إرادة حرة؛ فنحن نُشترك مع معظم الحيوانات في اختيارنا للأفعال التي نقوم بها. ما أتحدث عنه هو التفاعلات الجزيئية التي تكمن وراء هذه الأفعال، التي يتطلَّب كثير منها استخدام نطاق بي إيه إس نفسه الموجود داخل البروتينات ذات الصلة. إن النبات يشعر بالضوء وينمو في اتجاهه، وتحدث هذه الاستجابة بفعل نوع من الجزيئات (الأوكسين). كما يشعر الطير ببزوغ الفجر ويستيقظ، وتحدث هذه الاستجابة بفعل هرمون آخر (الميلاتونين) الذي يُشارك في عملية الدورات اليومية. أما الشمبانزي والإنسان فيبدأن بحثهما عن الطعام عند شعورهما بالجوع، وتحدث هذه الاستجابة بسبب حدوث تغير في تركيز جزيء يُسمى اللبتين. تبحث الحيوانات والبشر عن زوج، وتحدث هذه الاستجابة بفعل هرمونات (التيستوستيرون لدى الذكور، والإستروجين لدى الإناث). حتى البحث المدفوع بالفضول لدى الإنسان يكون في الغالب لا إراديًا؛ فبعض الناس لا يستطيعون التحكم في رغبتهم في حلِّ أحجية الكلمات المتقاطعة بمجرد فتح جريدة أو مجلة، بينما يبحث آخرون أليًا في جيب كل ما يَرتدونه عندما يدركون أنهم لم يروا مستندات سفرهم منذ فترة (وتكون في حافظة نقودهم في النهاية)، بينما يضغط البعض تلقائيًا على كل قناة في التلفزيون بمجرد دخولهم إلى إحدى الغرف في فندق،<sup>١</sup> في حين يُجبر آخرون أنفسهم على أن يستعرضوا في أذهانهم كل سؤال محتمل يمكن أن يُطرح عليهم في مقابلة الغد (ولا يتمكّنون من الحصول على قسط مناسب من الراحة في هذه الليلة نتيجة لذلك). هل تختلف حقًا استجابات البشر للمحفّزات عن استجابات النباتات؟

## هوامش

(١) أدى اصطدام جسم من الفضاء الخارجي بالأرض في زمن مبكرٍ إلى قذف جزءٍ ضخم منها إلى خارجها ليُكوّن القمر.

(٢) إن التفسير الراجح لهذا أن الغازات التي كانت تدور حول القشرة الأرضية في هذا الوقت، ثاني أكسيد الكربون والنيتروجين مع كميات أقل من الميثان والأمونيا؛ تحوّلت إلى جزيئات أكثر تعقيداً بفعل الخصائص التحفيزية للأسطح غير العضوية، مثل سيليكات الألومنيوم، التي توجد داخل شقوق الصخور أو في الفتحات الحرارية المائية التي توجد تحت سطح المحيط. تكوّنت بالتدريج الجزيئات المرتبطة بالوحدات المكونة للبروتينات (الأحماض الأمينية) والآر إن إيه (النيوكليوتيدات)، وكذا بعض الكربوهيدرات البسيطة والدهون، وظهر الذي إن إيه فيما بعد. جاءت الطاقة المطلوبة لتحريك مثل هذه التفاعلات التصنيعية من البرق، أو من اصطدام جسيمات من الفضاء الخارجي بسطح الأرض، أو من انفجارات بركانية فوق سطح الأرض أو في قاع البحر.

(٣) يُعتبر السؤال عن كيفية بدء الانقسام الذاتي أحد أكثر الأسئلة المثيرة للاهتمام، لكن غير المُجاب عنها، في مجال علم الأحياء النمائي. ورد وصف بعض أشكال المحاكاة الحاسوبية التي تتعامل مع هذه المشكلة في مقال جيرالد إف جويس «بدء الحياة»، مجلة نيتشر العدد ٤٢٠: ٢٧٨-٢٧٩، ٢٠٠٢، ومقال بيتر سزابو وآخرين «تُظهر المحاكاة الحاسوبية أن أماكن التكرار الجيني ذات الانتشار المحدود تتطور نحو زيادة الكفاءة والدقة». مجلة نيتشر العدد ٤٢٠: ٣٤٠-٣٤٣، ٢٠٠٢.

(٤) لا يتقبل الجميع أن ما تبدو أنها جراثيم متحرّجة عُثر عليها في صخور ترجع إلى ٣,٥ مليارات سنة هي بالفعل بقايا خلايا حية. انظر على سبيل المثال مقال هنري جي «أهذه حياة؟»، مجلة نيتشر، العدد ٤١٦: ٢٨، ٢٠٠٢.

(٥) إلا أن العتائق ليست في الواقع أسلاف البكتيريا الحالية؛ فيبدو أنهما انفصلتا بعد الوقت الذي عاش فيه سلفهما المشترك، ربما منذ ٢,٥ مليار سنة، وعن طريق مقارنة البروتينات التي تؤدي وظيفة متشابهة لدى البكتيريا والعتائق والنباتات والفطريات والحيوانات، استطاع راسل إف دوليتل تكوين «شجرة الحياة» التي توضّح أصول هذه الممالك الخمسة التي تظهر في هذا التسلسل المذكور. انظر مقال راسل إف دوليتل وآخرين «تحديد أوقات انفصال الممالك الكبرى للكائنات الحية باستخدام ساعة بروتينية»، مجلة ساينس العدد ٢٧١: ٤٧٠-٤٧٧، ١٩٩٦، ونسخة محدّثة لدى جون مادوكس، المرجع السابق، ص ٢٦٢.

(٦) تعيش عتائق معيَّنة في درجة حرارة ١١٣ درجة مئوية.

(٧) كان السلف المشترك للنباتات والحيوانات نوعاً من خلية بدائية اكتسبت صفات تكوين نواة بداخلها، فالنواة التي تخفي قبل كل انقسام للخلية ويُعاد تكوينها في

الخليتين الوليدتين؛ تحتوي على معظم الدي إن إيه الخاص بالخلية. مع تفتت غشاء النواة يُصبح الدي إن إيه متجمّعًا داخل الكروموسومات، وبمجرد دخول مجموعة كاملة من أزواج الكروموسومات داخل كل خلية وليدة، ينحلُّ الدي إن إيه (جزئيًّا) مرةً أخرى. تشمل الخلايا المُنوَّاة الفطريات، مثل الخميرة (التي يوجد تشابهٌ بنسبة ٦٠٪ بين الدي إن إيه الخاص بها ودي إن إيه الإنسان)، بالإضافة إلى خلايا الحيوانات والنباتات. تُعرف الخلايا المُنوَّاة بأنها حقيقية النوى؛ لتمييزها عن الخلايا الأصغر حجمًا مثل البكتيريا التي تفتقر إلى وجود نواة، والتي تُسمى بدائية النوى. ظهرت أول خلية حقيقية النواة منذ نحو ٢,٥ مليار سنة، وهي السلف المشترك للخلايا الموجودة حاليًّا في النباتات والفطريات والحيوانات.

(٨) مقال مارك إيه سيفتون «البداية الحلوة للحياة؟» مجلة نيتشر، العدد ٤١٤: ٨٥٧، ٢٠٠١، ومقال جورج كوبر وآخرين «النيازك الكربونية كمصدر للمركبات العضوية المرتبطة بالسكريات على كوكب الأرض في مرحلة مبكرة»، مجلة نيتشر، العدد ٤١٤: ٨٧٩-٨٨٣، ٢٠٠١، ومقال إيفرت إتش إل شوك «بذور الحياة؟» مجلة نيتشر، العدد ٤١٦: ٣٨٠-٣٨١، ٢٠٠٢.

(٩) الأحماض الأمينية في البروتينات، والأدينين والسيتوسين والجوانين والثيامين في الدي إن إيه، والأدينين والجوانين والسيتوسين واليوراسيل في الآر إن إيه، وهكذا. (١٠) مقال فريد هويل وشاندر وكراماسينج «الحياة في الكون: التطور والصدفة» مجلة ذا بيوكيميست (التي تنشرها جمعية الكيمياء الحيوية في المملكة المتحدة)، عدد ديسمبر: ١١-١٨، ١٩٩٩. لكن انظر أيضًا تفنيديًا لأفكارهما من أثيل كونيش-بودين وماريا لوز كارديناس «الحياة على الأرض: احتمال وجود أصل كوني»، ذا بيوكيميست، عدد أبريل: ٣٥-٣٨، ٢٠٠٠.

(١١) تحتوي أيضًا على جزيئات طبيعية مضادة للتجمد. (١٢) لأنها تمتصُّ الأشعة تحت الحمراء التي تنبعث من الأرض عند سقوط ضوء الشمس عليها؛ ونتيجةً لهذا فإن هذه الأشعة لا تعود مرةً أخرى إلى الفضاء، وإنما تبقى محبوسة داخل الغلاف الجوي للأرض، مما يؤدي إلى ارتفاع درجة حرارة الأرض. كانت مستويات ثاني أكسيد الكربون في الأصل أعلى من هذا بكثير، ولكنها منذ ٣,٥ مليارات سنة انخفضت إلى المستويات الضئيلة الموجودة في عصرنا الحالي، كما أن درجة الحرارة على الأرض لم تتقلَّب صعودًا أو هبوطًا منذ هذا الحين بأكثر من ١٠ درجات مئوية،

بمعدل متوسّط نحو درجة مئوية واحدة كل ألف سنة. يحدث توازن بالطبع بين هذه التغييرات حتى تسمح بوجود اختلافات يومية وجغرافية؛ فننخفض درجة الحرارة في القطبين إلى أقل من -٤٠ درجة مئوية في الليل، وترتفع عند خط الاستواء إلى أكثر من +٤٠ درجة مئوية في أثناء النهار. ومع ذلك، يتطلّب الأمر فقط حدوث انخفاض بمقدار ١٠ درجات مئوية حتى تمتدّ الصفائح الجليدية القطبية بما يكفي لتشكّل عصرًا جليديًا. كان أحد العصور الجليدية الأولى استثنائيًا؛ فحتى خط الاستواء كان متجمدًا ولم تستمرّ الحياة إلا في المياه تحت الألواح الجليدية. حاليًا نحن نعيش في فترة ما بين العصور الجليدية؛ إذ انحسر آخر عصر جليدي منذ نحو ١٢ ألف سنة. تُؤدّي الحرارة المفرطة جزئيات الحياة تمامًا مثل البرد المفرط؛ فتتكسر الروابط الهيدروجينية التي تحافظ على تماسك أشرطة الـ دي إن إيه في درجات حرارة تفوق ٦٠ درجة مئوية، كما تبدأ البروتينات أيضًا عند درجة حرارة ٨٠ درجة مئوية في التحلل، وهذا في الأصل ما نفعله عند تعقيم الأدوات الجراحية أو غلي الطعام؛ فنحن نقلّ الجراثيم التي ربما توجد فيها من خلال تدمير بنية الـ دي إن إيه الخاصة بها وبروتيناتها.

(١٣) تستخدم الوطاويط الأكلة للحشرات، التي يوجد منها أكثر من ٩٠٠ نوع،

الموجات فوق الصوتية لتحديد مكان فريستها.

(١٤) مايكل جوزيف، لندن، ١٩٥١.

(١٥) النباتات — عملية التمثيل الضوئي:

$6CO_2$  (ثاني أكسيد الكربون) +  $6H_2O$  (ماء) + طاقة ضوئية -  $C_6H_{12}O_6$

(كربوهيدرات) +  $6O_2$  (أكسجين)

الحيوانات — عملية التنفس:

$6CO_2 + C_6H_{12}O_6 \rightarrow 6H_2O + 6O_2$  + طاقة كيميائية

(١٦) إن ثلاثي فوسفات الأدينوسين (الذي له القاعد النيتروجينية نفسها (الأدينين)

الموجودة في الـ دي إن إيه والـ آر إن إيه، انظر شكل ١-١)، هو جزيء صغير يعمل كمحور

للطاقة في كل خلية موجودة لدى كل كائن حي، بدايةً من العشب (التمثيل الضوئي)

حتى الغوريلا (التنفس). إنه الوسيط الأساسي ليس فقط في تحويل الطاقة الضوئية إلى

طاقة كيميائية في النباتات والبكتيريا ذاتية التغذية (وفي الاتجاه المعاكس لدى الحيوانات

الباعثة للضوء مثل الخنافس المضيئة)، وإنما أيضًا في تحويل الطاقة الكيميائية إلى طاقة

كهربائية في الجهاز العصبي لدى الحيوانات. يشمل هذا بالطبع عملية الإبصار؛ فعند

حيوانات مثل الأنقليس الرعاد، الذي يوجد لديه عدد هائل من العصبونات من أجل توليد نبضات كهربائية، يكون الجهد الكهربائي الصادر - نحو ٧٥٠ فولتاً - كافياً لصعق حتى أكبر الفرائس. يكون ثلاثي فوسفات الأدينوسين أساسياً أيضاً في تحويل أحد أشكال الطاقة الكيميائية، مثل الكربوهيدرات، إلى شكل آخر من الطاقة الكيميائية، مثل الدهون. (١٧) إن الضوء المرئي، سواء كان جسيماً أو في صورة موجة، هو خليط من

انبعاثات تنتقل بسرعات مختلفة قليلاً. توضح نظرة إلى قوس قزح هذه الاختلافات فيما يتعلق بالألوان؛ فالضوء الأزرق على سبيل المثال ينتقل أسرع من الضوء الأحمر؛ يرجع السبب في هذا إلى أن طول موجته أقصر ومن ثم تكون الطاقة الكامنة فيها أكبر، أما الضوء الأخضر والأصفر فينتقلان بأطوال موجة متوسطة بين الضوء الأزرق والضوء الأحمر. إن الطيف الضوئي الذي نستطيع رؤيته يمتد من الضوء الأزرق الأرجواني بطول نحو ٤٠٠ نانومتر حتى الضوء الأزرق الغامق عند ٧٥٠ نانومتراً. وحتى نضع الضوء المرئي في سياق الإشعاعات الأخرى، نُذكرُ القارئ أن ١ نانومتر هو واحد على مليار من المتر، وأن الضوء فوق البنفسجي، الذي لا نستطيع رؤيته بأعيننا ولكنه يتفاعل مع الجزيئات في أجسامنا (مثل الذي إن إيه والبروتينات) على نحو ضار، طول موجته أقصر (نحو ١٠٠ نانومتر). أما الأشعة السينية وأشعة جاما فطول موجاتهما أقصر من ذلك، فيصل إلى أقل من ١ نانومتر؛ ومن ثم فإن الطاقة الموجودة بهما تكون أكبر بكثير، كما أنهما تتسببان في ضرر أكبر. على العكس من ذلك، فإن الإشعاعات تحت الحمراء والمتناهية الصغر (الميكرويف)، تكون موجاتها أطول (تراوح من مليمتر إلى متر)، كما أن موجات الراديو تكون أطول من ذلك (تصل إلى آلاف الأمتار).

(١٨) إن السبب في ظهور الأشياء ملونة في المقام الأول هو أن الجزيئات الموجودة على سطح هذه الأشياء تمتص الضوء بطول موجي معين دون الآخر؛ ومن ثم فإن الضوء المنعكس الذي يسقط على الشبكية في أعيننا يفتقر إلى بعض مكونات الضوء المرئي؛ فنحن نمتص فقط الضوء المتبقي. على سبيل المثال، تبدو أوراق النباتات خضراء اللون لأنها تحتوي على مادة الكلوروفيل، يمتص الكلوروفيل الضوء في كل من النهاية الزرقاء والنهائية الحمراء للطيف الضوئي؛ ومن ثم فإن الضوء الوحيد الذي يصل إلينا يكون الضوء المتبقي؛ الضوء الأخضر. أما الجزر فيبدو برتقالي اللون لأنه يحتوي على مادة الكاروتين، ويرجع لون الطماطم الأحمر إلى وجود مادة الليكوبين بالإضافة إلى مادة الكاروتين بها. وربما يكون ارتداء نظارات شمس زرقاء اللون من الأناقة ولكنه أمرٌ خطيرٌ

على السائقين؛ فإن اللون الأزرق يمتصُّ الضوء الأحمر؛ ومن ثم يسهل أن تغفل الانتباه إلى إشارة المرور التي تدعوك إلى التوقف. أما الأشياء التي لا تحتوي على جزيئات حساسة للضوء فترى ببساطة بيضاء (يُنعكس الضوء كله منها) أو سوداء (لا ينعكس منها أي ضوء) أو رمادية (بين الاثنين). ونظرًا لأن مادة الكلوروفيل والجزيئات الأخرى الحساسة للضوء، مثل الكاروتين، تمكّن النباتات من امتصاص الضوء على مدى نطاق واسع من أطوال الموجات، فإن نحو ٣٠٪ من طاقة ضوء الشمس يجري استخدامه.

(١٩) وينسلو آر بريجز وإيفا هوالا «المستقبلات الضوئية للضوء الأزرق لدى النباتات العليا»، مجلة ذا أنيوال ريفيو أوف سيل أند ديفيلوبمنتال بيولوجي، العدد ١٥: ٦٢-٣٤، ١٩٩٩.

(٢٠) يلعب الفلافين دورًا أيضًا في تفاعلات عملية التمثيل الضوئي والتنفس (انظر الهامش ١٥)؛ وفي التغيرات الأيضية الأساسية في حياة النباتات والحيوانات.

(٢١) ينظم الفوتوتروبين أيضًا عمليات مثل إنبات البذور، ونمو الأوراق، وامتداد الساق، وظهور الأزهار.

(٢٢) وينسلو آر بريجز وإيفا هوالا «المستقبلات الضوئية للضوء الأزرق لدى النباتات العليا»، مجلة ذا أنيوال ريفيو أوف سيل أند ديفيلوبمنتال بيولوجي، العدد ١٥: ٦٢-٣٤، ١٩٩٩.

(٢٣) انظر مقال هنري سميث «الفيتوكرومات وإدراك النباتات للإشارة الضوئية، عملية تصنيع ناشئة» مجلة نيتشر، العدد ٤٠٧: ٥٨٥-٥٩١، ٢٠٠٠.

(٢٤) حتى بداية القرن العشرين، كان «الانتحاء الشمسي» اسمًا يُستخدم في وصف الانتحاء الضوئي، ثم أدرك العلماء أن نموّ النباتات في اتجاه ضوء الشمس أمر يختلف عن استدارة الأوراق لتتبع أشعة الشمس طوال اليوم، وأصبحت كلمة «الانتحاء الشمسي» تُستخدم في وصف العملية الأخيرة.

(٢٥) النباتات — عملية التمثيل الضوئي:

$C_6H_{12}O_6 - 6CO_2$  (ثاني أكسيد الكربون) +  $6H_2O$  (ماء) + طاقة ضوئية -  $C_6H_{12}O_6$

(كربوهيدرات) +  $6O_2$  (أكسجين)

الحيوانات — عملية التنفس:

$6CO_2 + C_6H_{12}O_6 - 6H_2O + 6O_2$  + طاقة كيميائية

(٢٦) للتفاصيل انظر مقال مايكل يونج «الساعات البيولوجية»، مجلة ساينتيفيك أمريكان، العدد ٢٨٢ (مارس): ٤٦-٥٣، ٢٠٠٠؛ ومقال كارين رايت «الساعات في الدماغ»، مجلة ساينتيفيك أمريكان، العدد ٢٨٧ (سبتمبر): ٤٣-٤٧، ٢٠٠٢؛ أو مقال ستيفن إم ريرت وديفيد آر ويفر «تنسيق التوقيت اليومي عند الثدييات»، مجلة نيتشر، العدد ٤١٨: ٩٣٥-٩٤١، ٢٠٠٢. تُشير الأبحاث الحديثة إلى أنّ امتلاك الدوائر الجزيئية المستخدمة في الدورات اليومية ربما تكون ميزةً للوقاية من السرطان؛ فكانت الفئران التي حدثت طفرات لديها في جينات معينة تدخل في عملية الدورات اليومية أكثر عرضةً للإصابة بسرطانات أكثر من تلك التي ولدت معها من الأم نفسها. انظر مايكل روزباش وجوزيف إس تاكاهاشي، مجلة نيتشر، العدد ٤٢٠: ٣٧٣-٣٧٤، ٢٠٠٢.

(٢٧) عبر حركة أيونات الهيدروجين والكلوريد عبر أغشيتها وما يعقب هذا من تصنيع ثلاثي فوسفات الأدينوسين.

(٢٨) الفصل الذي كتبه جون إل سيوديتش بعنوان «الرودوبسينات لدى العتائق تستخدم المحول الجزيئي نفسه المُفَعَّل بالضوء في نقل الأيونات وإرسال إشارات الانجذاب الضوئي» في كتاب «استجابات الجراثيم للضوء والوقت» تحرير إم إكس كاديك، وإس باومبرج، ودي إيه هودسون، وإم كيه فيليبس-جونز، ندوة جمعية الأحياء الدقيقة العامة: ٥٦: ٥٧-٦٨، مطبعة جامعة كامبريدج، كامبريدج، ١٩٩٨.

(٢٩) باري إل تيلور وآخرون «الانجذاب الهوائي وسلوكيات استشعار الطاقة الأخرى لدى البكتيريا» مجلة أنيوال ريفيو أوف مايكروبيولوجي، العدد ٥٣: ١٠٣-١٢٨، ١٩٩٩.

(٣٠) حيث تتحلّل المكونات الخلوية مثل الكربوهيدرات (السليولوز، والنشاء، والجليكوجين) والبروتينات إلى سكريات وأحماض أمينية على التوالي.

(٣١) كلما زاد حجم السفينة، قل عدد لفات المروحة في الدقيقة؛ فإذا كانت سرعة دوران المروحة عالية للغاية مقارنةً بسرعة انتقالها، فإن هذا يؤدي إلى ظهور تجويف تتكوّن فيه فقاعات هواء.

(٣٢) من خلال اختزاله مرةً أخرى إلى أمونيا من أجل تصنيع الأحماض الأمينية والوحدات الأساسية للأحماض النووية.

(٣٣) انظر أيضاً مقال مارينا تشيكوريل «مدمرات المادة الغروية»، مجلة نيتشر، العدد ٤٠٨: ٢٨٤-٢٨٦، ٢٠٠٠.

(٣٤) كائنات أحادية الخلية تظهر عليها سمات مميزة لكل من النباتات والحيوانات.

(٣٥) مقال توشيوكي ناكاجاكي وآخرين «كائن أميبي يحل المتاهة»، مجلة نيتشر، العدد ٤٠٧: ٤٧٠، ٢٠٠٠.

(٣٦) نحن أنفسنا نتحوّل من أكسدة الجلوكوز إلى ثاني أكسيد الكربون والماء من خلال التنفس، وإلى تمثيلهما غذائياً فقط في وقتٍ ما — إلى حمض اللاكتيك — عندما تكون سبل الإمداد بالأكسجين منخفضةً (مثلما يحدث في عضلات أرجلنا في حالة الركض السريع). هذا ويؤدي الانخفاض المطوّل في الأكسجين داخل مجرى الدم إلى زيادة تصنيع الهيموجلوبين (مثلما يحدث لدى الذين يعيشون على ارتفاعات عالية). في كل حالة من هاتين الحالتين، يستشعر بروتين يحتوي على نحو ٢٧٠ حمضاً أمينياً مثل هذه التغيرات في تركيز الأكسجين في الخلايا الموجودة في أجسامنا.

(٣٧) نظراً لأن البروتينات الحساسة للجهد الكهربائي تلعب دوراً في نقل كافة النبضات المختلفة في الحيوانات، الخاصة بالرؤية والسمع والشم واللمس، بالإضافة إلى تلك التي تكمن وراء التفكير والذاكرة والحالة المزاجية والسلوك، فإن البروتينات التي تحتوي على تسلسل من ٢٧٠ حمضاً أمينياً تمثّل فصيلة أساسية في تأديتها لوظيفتها.

(٣٨) يُعرف تسلسل إل أوه في داخل البروتين أيضاً باسم نطاق بي إيه إس (تمثل هذه الأحرف اختصاراً لإنزيمات يصعب استخدام أسمائها). انظر مقال باري إلي تايلور وإيجور بي زولين «نطاقات بي إيه إس: أجهزة استشعار داخلية للأكسجين، وإمكانية الأكسدة والاختزال والضوء»، مجلة مايكروبيولوجي آند موليكولر بيولوجي ريفيوز، العدد ٦٣: ٤٧٩-٥٠٦، ١٩٩٩.

(٣٩) تكون إحدى طرُق دمج تسلسل شائع للأحماض الأمينية مثل نطاق بي إيه إس في كثير من البروتينات المتنوّعة، لكلّ منها وظيفة مختلفة، عبر اندماج الجينات؛ فيُصبح الجين الخاص بنطاق بي إيه إس، مثلاً، موجوداً بجوار الجين الذي يحدّد شفرة جزء آخر من الفوتوتروبين أو الفيتوكروم أو الكريببتوكروم أو أي نوع آخر من البروتينات، ونتيجة لذلك تحدث «قراءة واضحة» لجزيء بروتين واحد يحتوي على تسلسل بي إيه إس بداخله، في أثناء عملية ترجمة آر إن إيه متوافق مع الجين المندمج.

(٤٠) انظر مقال إم إيه ميرباخ وآخرين، مجلة نيتشر، العدد ٤١٥: ٣٦-٣٧، ٢٠٠٢.

(٤١) انظر مقال روبرت كوبي وميهالي تشكزنتميهالي «إدمان التليفزيون» مجلة ساينتيفيك أمريكان، العدد ٢٨٦ (فبراير): ٦٢-٦٨، ٢٠٠٢.



## الفصل الرابع

# الحيوانات والإنسان: تطور الصفات البشرية

رأينا في الفصل السابق أن هناك قواسم مشتركة كثيرة بين الرؤية لدى الحيوانات — التي تُعد الرؤية مكوناً أساسياً في قدرتها على السعي — وعملية استشعار الجراثيم والنباتات للضوء. يوجد تطابق بين بعض المستقبلات الضوئية، كما أن البروتينات التي تحوّل تأثير الضوء إلى إشارة تؤدي إلى نمو مختلف (في حالة النباتات) أو إلى حركة مختلفة (في حالة الجراثيم) تنتمي إلى فصائل البروتينات التي توجد أيضاً لدى الحيوانات. في حالة البكتيريا، تمكّنها بعض هذه البروتينات من البحث عن الطعام بالإضافة إلى الضوء، أما لدى الحيوانات فتلعب دوراً في عمليات مثل توصيل الأعصاب التي لها دور محوري في سلوكها. باختصار، إن الجينات التي تحدّد شفرة مثل هذه البروتينات «المستشعرة» انتقلت بالوراثة من الجراثيم المبكّرة حتى وصلت إلى الإنسان. على مستوى الجزيئات تعمل البروتينات على النحو نفسه، وتتفاوت نتائج أفعالها من كائن لآخر؛ فتمثّل لدى النباتات في البحث عن الضوء، ولدى الجراثيم في البحث عن العناصر الغذائية وتجنب الجزيئات الضارة، ولدى الحيوانات في رؤية الأشياء الموجودة حولها.

مع هذا، لا تعتبر الرؤية إحدى السمات التي تميز البشر عن الشمبانزي. في هذا الفصل سنعود إلى هذه الصفات التي تميّزهما، والتي ترتكز عليها قدرة الإنسان الفريدة على البحث: المشية المنتصبّة، واليد السلسلة الحركة، والقدرة على الكلام، وعدد أكبر من العصبونات في القشرة الدماغية. وأريد في البداية لفت الانتباه إلى عادات الهجرة لدى الحيوانات؛ فقد أدّت هذه العادات إلى انتشار البشر في جميع أنحاء العالم، وهو موضوع سنتحدّث عنه في الفصل التالي.

## (١) الهجرة

تتطلب الهجرة بحثاً، فتستطيع الحيوانات التنقل والبحث، فرادى أو في جماعات، عن مصادر جديدة للطعام والماء عندما تنفذ الموارد الحالية أو تضحل؛ فيبحث الجراد عن أرض جديدة بمجرد قضاؤه على النباتات الموجودة في منطقة ما؛ فبسرْب يصل إلى ٤٠ مليار جرادة يُمكن القضاء على ١٠٠ ألف طن من الطعام في هجمة واحدة. أما حيوان الرنة في القطب الشمالي أو الطبي الأفريقي<sup>١</sup> في أفريقيا فلا ينتظران كل هذا الوقت؛ فهي تنتقل طوال الوقت. تؤدّي عادة الظروف المناخية إلى العودة إلى أرض مألوفة، فيتكاثر الطبي الأفريقي بالقرب من برك الماء في سيرينجيتي في شرق أفريقيا الاستوائي (في جنوب شرق تنزانيا) في الفترة من ديسمبر إلى أبريل، ومع جفاف البرك، تتجه إلى الشمال الغربي نحو بحيرة فيكتوريا؛ حيث تظل هناك حتى شهر يوليو، ثم ترتحل بعد هذا إلى الشمال الشرقي إلى حدود كينيا حيث تنتظر أول هطول للأمطار، وفي شهر نوفمبر تكون مستعدة لبدء رحلة عودتها إلى الجنوب. تتبع الحمر الوحشية وغزال طومسون والفيلة والأسود وحيوانات أخرى توجد في منطقة سيرينجيتي استراتيجيات مشابهة عندما تنضب برك الماء في نهاية أحد المواسم وتمتلئ مرة أخرى في بداية موسم آخر. في نصف الكرة الشمالي والجنوبي، تحدث الهجرات نتيجة حلول الخريف والربيع؛ فالحوت الرمادي، على سبيل المثال، يسبح ١٢ ألف ميل من مياه القطب الشمالي في ألاسكا، ليصل إلى حافة ولاية باها كاليفورنيا ليتكاثر في المياه الدافئة لخليج المكسيك في أثناء أشهر الخريف، وفي رحلة العودة في الربيع تكون الإناث حوامل، ولا يلدن إلا عند عودتهن إلى المياه الدافئة في العام التالي (تستغرق فترة الحمل ١٣ شهراً). تهاجر أنواع كثيرة من الطيور إلى الجنوب حتى تتجنب المناخ الشمالي البارد في فصل الشتاء (وتفعل طيور نصف الكرة الجنوبي العكس)؛ فيسافر بعضها، مثل طيور السنونو والسمامة، من أوروبا إلى جنوب أفريقيا في الخريف وتعود في الربيع. هذا وتفعل طيور الخرشفة القطبية الأمر نفسه؛ إذ تطير أكثر من ١٢ ألف ميل في كل مرة تذهب فيها من القطب الشمالي إلى القطب الجنوبي والعكس، أما طيور أخرى، مثل الكركي والوقواق، فلا تطير المسافة كلها؛ فتقضي الشتاء في مناطق معتدلة في جنوب أوروبا أو شمال أفريقيا. تواصل بعض الطيور الطيران لفترة قد تزيد عن العام، وتستطيع طيور السمامة قضاء عامين وهي تحلق في الهواء، كما يُعرف طائر القطرس بقدرته على الطيران ٢٠٠ ألف ميل بمتوسط سرعة ٤٠ ميلاً في الساعة.<sup>٢</sup>

تهاجر الحشرات أيضًا؛ وتُعتبر الفراشة الملكية أحد الأنواع التي تطير أبعد من معظم الأنواع الأخرى، تقضي هذه الفراشة البرتقالية اللون المخططة باللون الأسود فصل الصيف في كندا، في تورونتو الملكية، التي اشتق منها اسمها؛ إذ سمّاها المستعمرون الاسكتلنديون المشيخيون على اسم ملكهم المفضل؛ الملك ويليام البروتستانتية من أورانج. تعمدت أن أقول فصل الصيف وليس فصول الصيف؛ هذا لأنها لا تعيش إلا لفصل واحد فقط، فمع دخول ليالي الخريف تترك الفراشة الشابة كندا وتبدأ في هجرة طويلة نحو الجنوب، إلى غابات الصنوبر على طول جبال سان أندريس في ولاية ميتشواكان في المكسيك، التي تبعد ٣ آلاف ميل<sup>٣</sup>. تعرف الفراشة الاتجاهات عن طريق استخدام بوصلة مغناطيسية داخلية وتتبع الشمس، وتطير مسافة تصل إلى ١٠٠ ميل في اليوم؛ ونظرًا لكون هذه رحلتها الأولى، يكون عليها العثور على المكان الذي ستقضي فيه الشتاء إلى حد كبير بالغريزة فقط. ومع اقترابها من الغابات، تبدأ البحث عن أعضاء آخرين من نوعها، وتعثّر عليهم، فتجد نحو ٥٠ مليونًا من نوعها، كلها تقضي الشتاء في هذا المكان وهي ملتصقة على لحاء أشجار الصنوبر في نوع من السُّبات الشتوي، حيث تتوقف عن تناول الطعام. عند حلول شهر فبراير تبدأ رحلة عودتها إلى الشمال. ستكون هذه الفراشات قد تزاوجت في طريقها إلى الجنوب، وتحمل كل أنثى الآن ما يصل إلى ٤٠٠ بيضة، عند وصولها إلى تكساس، يبدأ أهم بحث على الإطلاق؛ فعليها أن تعثر على نبات حشيشة اللبن، الذي ستضع فيه بيضها. إن أوراق هذا النبات هي المكان الوحيد الذي سينمو فيه البيض ليصبح يرقات. تواصل الفراشات رحلتها إلى الشمال، وتضع البيض أينما عثرت على حشيشة اللبن بين مروج الربيع؛ ففي شمال تورونتو تموت حشيشة اللبن، ويضع هذا حدًا لسفر هذه الفراشة المبهرة، لكنها على أي حال أصبحت في نهاية حياتها؛ فقد أتعبتها الرحلات الطويلة من المكسيك وإليها، فتسقط ضحية لأي مفترس يهجم عليها. أما بالنسبة لذريتها، فرحلتها على وشك أن تبدأ؛ فبمجرد أن تفقس تتغذى اليرقات على أوراق حشيشة اللبن، وتتحول في النهاية إلى فراشات. وتبدأ هذه الفراشات وقتن الرحلة إلى تورونتو في الشمال، وتتكرّر دورة الهجرة.

تقدم لنا هجرة العوالم من إحدى طبقات المحيط إلى أخرى وفقًا لنقاء الماء (فهي تستمد طاقتها من ضوء الشمس عبر التمثيل الضوئي)، مثالًا جيدًا على تداخل سلوك النباتات والحيوانات؛ فكل العوالم تهاجر، إلا أن بعضها يُصنف على أنه من النباتات (العوالم النباتية)، بينما توجد أخرى ضمن مملكة الحيوان (العوالم الحيوانية). من

ناحية أخرى، يوجد مَنْ يعتقدون أنه حتى النباتات الأرضية تقوم بنوع من الهجرة من أجل الوصول إلى مواقع إنبات جديدة،<sup>٤</sup> ومع ذلك لم يهاجر أي نوع من الحيوانات على نطاق واسع مثل الإنسان؛ فقد جاب العالم بأكمله، فعلى عكس حوت العنبر في المحيط الهادئ، أو الظبي في منطقة سيرينجيتي، أو السنونو الذي يطير بين أوروبا وجنوب أفريقيا، لا يهاجر الإنسان لأسباب مُناخية؛ فالفضول يمثل حافزه الأساسي. كما توجد دوافع أخرى، مثل الهروب من الاضطهاد والرغبة في تحسين الوضع الاقتصادي. ويدور الفصل التالي حول هذه الأشياء مجتمعة.

ربما تقول إن بعض هذه الهجرات المذكورة لا تُعتبر بحثاً بشكل فعلي؛ لأن الحيوانات مبرمجة مسبقاً، بفعل جيناتها، على الاحتشاد أو السباحة أو الطيران من مكان لآخر في الوقت المناسب. أنا أورد مثل هذه الاستجابات للظروف البيئية — الدوافع للبحث — على النحو ذاته الذي فسرتُ به استجابات النباتات والجراثيم للحوافز البيئية كأحد أشكال متابعة البحث؛ فالكائنات تسعى لزيادة فرصها في البقاء والتكاثر إلى أقصى حد. في حالة الحيوانات والإنسان، تكون الرؤية قاسماً مشتركاً.<sup>٥</sup> بالإضافة إلى ذلك، يوجد بالتأكيد عنصر البحث النشط في هجرة الحيوانات. أولاً: لا بد أن تكون أسلافها قد توصلت إلى الرحلات المناسبة التي تخوضها؛ فتبقى الأنواع التي نجحت على قيد الحياة، بينما تهلك الأنواع الأخرى. ثانياً: عند تغير الظروف المُناخية، تستجيب الأنواع المهاجرة وفقاً لهذه التغيرات؛ فتغير استراتيجيتها. ثالثاً: تُعثر معظم الأنواع المهاجرة على طريق للعودة بالضبط إلى موطنها الأصلي؛ فيعود السنونو إلى الركن نفسه في المنزل الريفي نفسه الذي تركه منذ ٦ أشهر، وتشتهر السلاحف بأنها تترك أستراليا، وتسبح إلى كاليفورنيا وتعود منها (مسافة تبلغ ١٥ ألف ميلاً)، ومع ذلك يظل بإمكانها العثور على الشاطئ نفسه الذي تركته منذ ٣٠ سنة.<sup>٦</sup> من الصعب تقبُّل فكرة أن آليات تحديد المواقع لديها بمثل هذا المستوى من الدقة؛ فيبدو من المقبول أكثر افتراض أن الجزء الأخير من رحلة عودتها يشتمل على عملية بحث نشط عن موطنها السابق. بالطبع، تفشل الحيوانات أحياناً في العثور عليه؛ إذ تجرفها بعيداً عن مسارها عاصفة شديدة أو تيار شديد. توجد آليات نسخ في أدمغة الحيوانات؛ تماماً كما توجد في أدمغتنا، تساعد في تذكر الأنواع التي نجحت في هجرتها بالمكان الذي كانت فيه. ربما تبدأ الذرية في البداية في اتباع والديها، لكنها تتذكر أيضاً فيما بعد طريق رحلاتها. ونحن نطلق على هذا اسم الذاكرة؛ تذكُّر الأماكن والأحداث والأفكار.

لا تنتقل الذاكرة بالطبع إلى الجيل التالي. تقدّم دراسة حديثة أُجريت في الولايات المتحدة الأمريكية — ليس عن التعرف على وجهات الهجرة، وإنما عن تحديد المفترسات المحتملة — مثالاً جيداً على حاجة كل جيل إلى التعرف على المفترسات من جديد، تماماً مثل حاجة أطفال البشر إلى تعلّم تجنّب المواقف الخطيرة مثل لمس المواقد الساخنة أو الأشياء الحادة، أو أكل التراب أو شرب المياه غير نظيفة. إنه النظير الحيواني للانتقال الثقافي من الوالد إلى الذرية عبر اللغة. تمثّل ما فعله العلماء في مقارنة استجابة حيوان الموز في حديقة يلوستون الوطنية باستجابة الموز في ألaska. في حديقة يلوستون لم يُعدّ إدخال المفترسات الطبيعية، الدب الرّمادي والذئب، للموز إلا بعد غياب ٥٠ عاماً، أما في ألaska فهذه المفترسات توجد باستمرار. واكتشف العلماء أن حيوان الموز في حديقة يلوستون يزيد احتمال قتله على يد الدب الرّمادي أو الذئب بخمسين مرة عن ذلك الموجود في ألaska؛ فقد نسيت هذه الحيوانات كيف تتعرّف على أعدائها. ونظراً لعدم حدوث أيّ تغيير جيني في مثل هذه الفترة القصيرة من الوقت، مجرد بضعة أجيال، يصبح من الواضح أن الموز يحتاج إلى تعلم الأخطار التي تمثّلها المفترسات من جديد في كل جيل. لذلك من المحتمل أن تكون المعرفة بشأن طرق الهجرة يتعلمها الصغار من والديهم أو من الحيوانات الأكبر سناً، التي ذهبت في الرحلة من قبل؛ فهذه المعرفة ليست فطرية.

## (٢) تطور الإنسان

توجد أدلة دامغة على تطور الإنسان من سلفٍ مشتركٍ للقردة العليا؛ فقد رأينا أن ٩٥٪ من تكويننا الجيني هو نفسه الموجود لدى الشمبانزي الحالي. عاش هذا السلف منذ نحو ٦ إلى ٨ ملايين سنة، على الأرجح في مكانٍ ما في أفريقيا؛ فلم يُعثر على أي بقايا حفريّة إلا مؤخراً. ومع ذلك، في عام ٢٠٠١، قرّر فريق مشترك من فرنسا وكينيا أن العظام التي عثروا عليها في تلال توجن في كينيا، وحدّدوا تاريخها بأنها ترجع إلى ٦ ملايين سنة، تنتمي إلى هذا المرشّح، وأطلقوا على الجنس اسم أورورين وعلى النوع اسم توجنيسيس<sup>٧</sup>. رغم أن الأورورين توجنيسيس هو بالفعل السلف المحتمل للإنسان، فإن الأدلة على أنه كان أيضاً سلفاً للقردة الأفريقية الحالية أقل قوة. الأمر الذي لا جدال فيه أنه منذ ذلك الوقت تقريباً بدأت السلالتان اللتان تؤدّيان إلى الإنسان من ناحية، وإلى الشمبانزي الحالي من ناحية أخرى (بان تروجلوديت وبان بانيسكوس) في الانفصال، وانتهى الحال بانفصال

سلالتَي الغوريلا الحديثة والأورانجوتان في وقت مبكّر؛ فالإنسان أكثر قرباً للشمبانزي من الغوريلا أو الأورانجوتان.

## (١-٢) أساليب التأريخ

كيف يُحدّد عمر قطعة من العظام أو أداة حجرية؟ في حالة البقايا المتحجّرة يُحدّد عادةً تاريخ الطبقات الصخرية المحيطة بها أو الحجر الجيري الذي عُثِر على العيّنة فيه، وليس الحفريات نفسها، فمع ترسّب الغبار والنباتات الميتة على الأرض، تصبح بعض البقايا الحيوانية متحجّرة، شريطة ألا يحركها شيء من مكانها، ثم تتكون طبقة جديدة فوقها، وهكذا. يحدث تحجر الحفريات، الذي يحفظ الكائنات النافقة، نتيجةً للأملاح المعدنية الموجودة في المياه التي تجري فوق سطح الأرض، ومع تبخّر المياه، تترك وراءها طبقة بلورية تحتفظ بشكل البقايا العضوية مثل العظام. هذا وقد عُثِر على معظم حفريات الإنسان الأول على طول مجاري الأنهار أو في كهوف؛ بينما الجُثث التي تُترك في الأراضي المفتوحة لا تظلُّ في مكانها فترة طويلة تسمح لها بالتحجر.

أما البقايا العضوية التي تحتوي على الكربون، مثل الخشب (الذي ربما استُخدم في صنع إحدى الأدوات)، أو الفحم (من الحرائق)، أو العظام (من بقايا الهياكل العظمية)، أو الأصداف (من الحيوانات البحرية والأرضية)، أو الخث (من النباتات السابقة)، فيمكن تحديد تاريخها من خلال قياس نسبة أحد النظائر المشعة للكربون، ويطلق عليه الكربون<sup>١٤</sup> ومقارنته بنسبة النظير المستقر الكربون<sup>١٢</sup>، الموجودة بها<sup>١</sup>. وعندما تكون النباتات والحيوانات على قيد الحياة، فإن نسبة الكربون الموجود في صورة كربون<sup>١٤</sup> تعكس النسبة الموجودة في الجو المحيط. يرجع هذا إلى أن محتوى الكربون<sup>١٤</sup> في ثاني أكسيد الكربون الموجود في الهواء يعادل ثاني أكسيد الكربون الموجود داخل خلايا النباتات والحيوانات الحية. عند نفوق هذه النباتات والحيوانات، يتوقف هذا التوازن وتقلُّ نسبة الكربون<sup>١٤</sup> تدريجياً مع تحلّل النظير المشع؛ فكلما قلت نسبة الكربون<sup>١٤</sup> الموجودة، زادت الفترة التي مرت على وفاته. يمكن استخدام هذه الطريقة في تأريخ أشياء يتراوح عمرها بين ٢٠٠ سنة إلى ٥٠ ألف سنة، بهامش خطأ من ١ حتى ٥%؛ ومن ثم بالنسبة لشيء يُورَخ عمره بخمسين ألف سنة، تتراوح نسبة الدقة من ٥٠٠ إلى ٢٥٠٠ سنة زائدة أو ناقصة. إلا أنّ عملية التأريخ بالكربون لا يصلح استخدامها لأشياء يصل عمرها إلى مليون سنة أو أكثر، وكذا لا يمكن استخدام تحليل الدي إن إيه، بفرض إمكانية فصل عيّنة

مناسبة؛ إذ يُصبح الجزئي غير مستقر بعد نحو ١٠٠ ألف سنة،<sup>٩</sup> رغم أن التحلل الذي يحدث بفعل الإنزيمات عقب الوفاة لا يترك عادةً إلا قدرًا قليلًا من المادة السليمة لتحليلها على أي حال.

فيما يتعلّق بالصخور التي تحتوي على الحديد، فيمكن تأريخها من خلال تحديد اتجاه المجال المغناطيسي داخل العينة؛ والسبب في ذلك أن المحور المغناطيسي للأرض يغيّر الاتجاه في كل مرة يتغير فيها مكان الحديد المنصهر الموجود عميقًا داخل الأرض، ومن خلال معرفة متى تحدث مثل هذه التغيرات في المحور المغناطيسي، ومن خلال قياس الاتجاه داخل عينة من الصخور، يمكن تأريخ هذه العينة في حدود «إطار» زمني معين،<sup>١٠</sup> ومن أجل تحديد الإطار المعين الذي حدث فيه حفظ الصخرة، يجب تطبيق أساليب تأريخ أخرى. وإحدى هذه الطرق التي لاقت قبولًا، وتكون مفيدة في الفترات الزمنية منذ نحو ٣٠٠ ألف سنة حتى أكثر من ١٠ ملايين سنة مضت، تعتمد أيضًا على تحلل نظير مُشعّ، لكنه في هذه الحالة نظير البوتاسيوم <sup>٤٠</sup>K. توجد طريقة أخرى لقياس الإشعاع، تغطّي الفجوة بين التأريخ بالكربون المشع (المفيد حتى ٥٠ ألف سنة مضت) والتأريخ بالبوتاسيوم المشع (المفيد من ٣٠٠ ألف سنة مضت فصاعدًا)، تعتمد على نسبة اليورانيوم<sup>٢٣٨</sup> المشع إلى اليورانيوم<sup>٢٣٥</sup> المستقر في قطع الصخور التي تحتوي على اليورانيوم (سيتذكّر القارئ أن فصل اليورانيوم<sup>٢٣٨</sup> عن هذه المواد الخام هو الذي أدّى إلى إنتاج أول قنبلة نووية في عام ١٩٤٥)، ومع تحلل اليورانيوم<sup>٢٣٨</sup> يترك أثرًا في عينة الصخور، يكون طول هذا الأثر معبرًا عن مقدار اليورانيوم<sup>٢٣٨</sup> الذي كان موجودًا عند حفظ الصخرة. تُعتبر الطريقتان المستخدمتان في قياس الإشعاع اللتين شرحناهما للتو فعالتان إلى حدّ كبير في تأريخ الصخور في المناطق ذات النشاط البركاني العالي (الذي يُعاد معه في كل مرة ضبط «الساعة» إلى صفر). ونظرًا لأن هذه المواصفات تنطبق على منطقة الوادي المتصدّع الكبير، فإن هذه الطرق أثبتت فاعليتها في تأريخ طبقات الصخور التي عُثر فيها على معظم بقايا حفريات الهومو وأسلافه.

تعتمد الطرق المذكورة<sup>١١</sup> على تحليل عينة فعلية، وبدلاً من ذلك، يُمكن الاستدلال على التاريخ الذي ظهر فيه أي كائن حي لأول مرة من التحليل الجزيئي لذريته. وتتمثّل إحدى طرق فعل هذا في تحليل امتدادات الدي إن إيه. وثمّة طريقة أخرى تتمثّل في تحديد تسلسل بروتينات معينة. وتوجد طريقة ثالثة؛ وهي طريقة التهجين المشروحة في الفصل الثاني (الهامش ٢٦). تعتمد كل طريقة على مقارنة دي إن إيه أو بروتين أحد

الأنواع بالخاص بنوع آخر، وكلما زاد اختلافهما، زادت الفترة التي مضت على انفصالهما. ونظرًا لأن الاختلافات تكون بسبب الطفرات، يُمكن لمعرفة نسبة حدوثها أن تعطي المرء نطاقًا زمنيًا فعليًا، ومن خلال طرح افتراضات معينة، هذا بالضبط ما تمكن العلماء المتخصّصون في الجزيئات من فعله. وكان ثمة تشابه ملحوظ بين النتيجة، التي رُسمت في شكل شجرة ذات أغصان تعبر عن التفرُّعات داخل المملكة، والشعبة، والفتة، والرتبة، والفصيلة، والجنس، والنوع، وأشجار الحياة التي رُسمت منذ ١٠٠ سنة اعتمادًا بالأساس على الحدس وحده. في كلا النوعين يوجد الإنسان العاقل في القمة، لكن إذا كانت نهاية الفرع من المفترض أن تُشير إلى مدى حداثة تطوُّر هذا النوع، ألا ينبغي أن يحتل فيروس مثل فيروس العوز المناعي البشري مركز الصدارة؟

## (٢-٢) الأوستروالبيثكوس

بدأ سلفنا المباشر في السير مُنتصبًا لأول مرة على نحو مستمر منذ أكثر من ٥ ملايين سنة؛<sup>١٣</sup> إذ فقد أصابع القدم المفلطحة للرئيسيات المتسلِّقة للأشجار، وبدلاً من ذلك حصل على تقوُّس في أسفل قدمه. توجد مميزات واضحة للسير باستقامة على طرفين، بدلاً من الانحناء على أربعة أطراف؛ مثل الحصول على رؤية أفضل من أجل البحث عن مُفترسات أو فرائس عبر الحشائش الطويلة (زيادة بأربعة أضعاف في مساحة الأفق المرئي)، وحرية اليدين من أجل حمل الأشياء مثل الطعام أو الأطفال الرضّع، كما أن الزيادة في حساسية اليدين والطرف العلوي تعني قدرة أصحاب المشية على قدمين على الاستكشاف في الظلام وفي أماكن لا تستطيع أعينهم الرؤية فيها؛ فالقدرة على الإحساس باللمس والوزن تلعبان دورًا مهمًا في التقدم الاستكشافي للإنسان. هذا ودُكرت القدرة على حمل الأدوات أو الأسلحة بوصفها فوائد جينية أخرى للسير على قدمين، لكن من غير المحتمل أن تكون أحد العوامل؛ نظرًا لأنَّ السير على قدمين سبق استخدام الأدوات بنحو مليوني سنة. والواضح أنه بمجرد تحرُّر الأطراف الأمامية من حمل وزن الجسم، أصبح ظهور الحِرَف اليدوية ممكنًا. ولهذه الأسباب أعتبر المشية المنتصبَة إحدى السمات الأربع التي مكَّنت من تحقيق سعي الإنسان وراء التكنولوجيا الحديثة؛ فطالما كان ذراعاها يُستخدمان في دعم حركته، لم يكن باستطاعة أصابعه التطوُّر إلى لواحق قادرة على صنع الأدوات. وتمثَّل البديل لظهور السير على قدمين بدلاً من السير على أربع في بطء الحركة؛ فالحيوانات التي تسير على أربعة أقدام، مثل الغزال والفهود والخيول والكلاب، تتحرك أسرع من الإنسان، لكن

مقارنةً بالرئيسيات الأخرى، لم يفقد الإنسان كثيرًا من سرعته؛ فيمكنه بسهولة أن يسبق الغوريلا أو الشمبانزي.

عُثر على البقايا الحفرية لكائن مُنتصب القامة، أُطلق عليه أوسترالوبيثكوس أفارينيسيس ويُسمى اختصارًا لوسي (فقد كانت لأنثى)، منذ ربع قرن في وادي أوّاش الأوسط في إثيوبيا، ويرجع عمرها إلى ٣,٢ ملايين سنة، لاحظ أن مُصطلح أوسترالوبيثكوس لا يشير إلى أصل أسترالي؛ فهو يعني فحسبُ «قردًا جنوبيًا». كان اكتشاف لوسي مهمًا لسببين؛ أولًا: لأن نحو ٤٠٪ من هيكلها العظمي كان من الممكن إعادة تجميعه بدقة. وثانيًا: لأنه عند الانتهاء من عملية إعادة التجميع هذه، أظهر الهيكل النهائي أنها سلف الإنسان الحديث (رغم وجود شك حاليًا لدى بعض علماء الحفريات البشرية بشأن اندثار نوع الهومو مباشرةً من الأوسترالوبيثكوس أفارينيسيس نفسه)، ومنذ بضعة سنوات، عُثر على سليل محتمل للوسي، يُدعى أوسترالوبيثكوس جارحي، في الوادي نفسه، وأرخ إلى ٢,٥ مليون سنة مضت، كان أطول من لوسي (التي كانت قصيرة على نحو استثنائي)، وكانت أسنانه تشبه البشر أكثر، لكن ما زالت لديه أذرع طويلة إلى حد ما ودماع صغير نسبيًا. عُثر على بقايا من هياكل عظمية لكائنات أخرى يحتمل أن تكون أسلاف الإنسان على طول الوادي الفسيح المعروف باسم الصدع الأفريقي الشرقي، الذي يمتد من إثيوبيا والبحر الأحمر في الشمال، ويمرّ عبر أوغندا وكينيا، وصولًا إلى تنزانيا والدول الأخرى التي تقع على حدود بحيرة مالوي في الجنوب (بحيرة مالوي هي تسمية خاطئة؛ فقد أخطأ المستكشف ديفيد ليفينجستون، الذي أطلق هذا الاسم عليها، في فهم إشارات السكان المحليين الذين أشاروا إلى المياه وقالوا «مالوي»؛ فهذه الكلمة تعني ببساطة «بحيرة».)<sup>١٤</sup> وفي هذا الوادي الطويل أيضًا، عُثر على أقدم بقايا لجنس جديد، ينتمي إلى الهومو، وتحدد تاريخه بأنه يصل إلى نحو ٢,٥ مليون سنة مضت.

في وقت تأليف هذا الكتاب، تحدد سلف آخر محتمل للهومو على أساس جمجمة عُثر عليها في الصدع الأفريقي الشرقي، هذه المرة بالقرب من بحيرة توركانا في شمالي كينيا. أظهرت القطع المتحجرة عند إعادة تجميعها أن صاحبها كان لديه دماغ في حجم دماغ الشمبانزي، لكن وجهه كان مفلطح أكثر وأسنانه كانت أصغر، أقرب للشبه بأسنان الإنسان. وتحدد تاريخها بين ٣,٥ ملايين سنة و٣,٢ ملايين سنة مضت. بعبارة أخرى في خلال فترة الأوسترالوبيثكوس أفارينيسيس. دفعت السمات المميّزة المتمثلة في الوجه المفلطح والضرروس الصغيرة الفريق، الذي ضم فردين من أسرة ليكي التي اشتغلت

بالبحث عن الحفريات في هذا الجزء من أفريقيا لأكثر من جيل، إلى اعتبار هذه البقايا لا تعبرُ فحسب عن نوع جديد، ولكن تنتمي أيضًا إلى جنس مختلف عن الأسترالوبيثكوس؛ ومن ثم أطلقوا عليه اسم إنسان كينيا (كائن ذو وجه مفلطح يشبه الإنسان من كينيا)،<sup>١٥</sup> رغم أن إنسان كينيا عاش في نفس وقت الأسترالوبيثكوس، يعتبرهما البعض أسلاف الهومو؛ وقد يُشير هذا ضمناً إلى أن إنسان كينيا سليل الأسترالوبيثكوس (أو العكس)؛ فقد أدت حقيقة أن كليهما ظهرت لديه القدرة على المشي منتصباً إلى إدراج كلا الجنسين في فصيلة القردة العليا، مع جنس الهومو.

### (٣-٢) أنواع الهومو المبكرة

ثمة صفات كثيرة تميّز الهومو عن أسلافه. على سبيل المثال: شكل الفك والأسنان، التي كانت أصغر لدى الهومو (أخف وأصغر حجماً)، والتي كانت أقوى لدى الأسترالوبيثكوس (أثقل وزناً وضخمة). تتمثل إحدى الصفات الأخرى في حجم الدماغ وتعقيده، تلعب هذه الصفة دوراً أساسياً في قصتنا؛ فدونها كان الهومو سيظل مجرد جنس آخر من الرئيسيات، ومع وجودها استطاع صقل قدرة الفضول الفطرية وتحويلها إلى بحث عقلائي، وهي قدرة بدأت مع أول نوع من أمثاله واستمرت في النمو حتى أصبحت إحدى الصفات المميزة للإنسان في عصرنا الحالي.

توجد لدى ليزلي إيلو، من جامعة لندن، فرضية مثيرة للاهتمام حول تطوّر دماغ الهومو، وفي الواقع تطوّر الهومو نفسه، مفادها أن أحد أشباه البشر (سواء كان إنسان كينيا، أو الأسترالوبيثكوس أفارينيسيس، أو أي نوع من الرئيسيات يثبت أنه السلف المباشر للهومو)، عثر مصادفةً على هيكل عظمي لفريسة، ظبي مثلاً، قتلها للتو والتهمها أحد الحيوانات المفترسة، لم يعد يوجد أي لحم متبقٍ، لكن انتظر، ربما يوجد في الرأس شيء يُمكن أكله؛ لذا يأخذ قطعة من الحجارة ليكسر بها الرأس ويفتحه، وبالفعل يجد بدخلها نسيجاً ليّناً يمتصه بشراته، تكون هذه أول مرة يتذوّق فيها اللحم ويُعجب بطعمه؛ فاللحم يُشعره بالشبع أسرع من الفاكهة والتوت التي اعتاد على تناولها، فيستمرُّ مثل الطير الجارح في البحث عن الحيوانات النافقة. أدى تحول مجموعة من الرئيسيات هكذا إلى نظام غذائي عالي الدهون وعالي البروتين إلى زيادة سرعة نموها وتكاثرها، وتطوّر مخها على نحو أفضل؛ مما أدى بدوره إلى صنع أدوات أفضل واستخدامها في الصيد، الذي أدّى بدوره إلى الحفاظ على نظام غذائي أغنى، وهكذا؛ ومن ثم يحدث التحول من

كونها كائنات جامعة للنباتات (رغم أنها كانت على الأرجح تأكل أيضًا الثدييات الصغيرة والحشرات، تمامًا مثل الشمبانزي في عصرنا الحالي) إلى كائنات تأكل كافة أنواع الطعام الذي تجمعه أو تصطاده، وهكذا يحدث تطور كائنات الهومو من أسلافها المباشرة ببطء.<sup>١٦</sup> لا تعني حقيقة أن بعضًا منا ربما عاد إلى نظام غذائي نباتي صارم تلف وظيفة أدمغتنا،<sup>١٧</sup> فبمجرد اختيار عملية التطور لوظيفة معينة، تظل موجودة؛ فالجينات التي تقوم على أساسها هذه الوظيفة لا تحتاج إلى «تغذية» من المحفّز الأصلي؛ فعلى سبيل المثال، نحن نشترك مع معظم الثدييات غير المُجترّة في عدم استخدامنا للزائدة الدودية، ومع ذلك فإن الجينات المسؤولة عن تكوينها لم تختفِ، كذلك توجد حلقات لدى الذكور من الثدييات، رغم عدم وجود غرض منها.

توجد سمات أخرى تميّز الهومو عن أقاربه من الرئيسيات، يُمكن أن نذكر من بينها استخدامه الشائع ليده اليمنى، وحقيقة أنه في المتوسط يكون الذكور أطول من الإناث، وتعرّض النساء لسنّ انقطاع الطمث.<sup>١٨</sup> يتمثّل أكثر السمات ارتباطاً بموضوع هذا الكتاب في تطور اليد سلسلة الحركة. فمنذ نحو ٢,٥ مليون سنة تقريباً، بدأ ظهور الإبهام كامل الدوران. ولا يسعنا التأكيد بما يكفي على أهمية البراعة اليدوية في تطور الإنسان.<sup>١٩</sup> ونظرًا لكون ٢,٥ مليون سنة هي أيضًا عمر أقدم المصنوعات الحجرية التي صنَعها كائن حي، فإن هذا النوع الجديد من الرئيسيات سُمي هومو هابيليس (الإنسان البارِع أو الماهر). هذا وتحدّد تاريخ نوع آخر من الهومو، ربما مشى على نحو منتصب أكثر من الإنسان الماهر (الذي كانت قامته أكثر استقامة من الأسترالوبيثكوس) وسُمي الإنسان المنتصب، إلى ما بعد ذلك بنحو نصف مليون سنة؛ أي منذ ١,٨ مليون سنة مضت. عُثر على أكثر بقايا مُكتملة لهيكل عظمي لفرد من هذا النوع منذ ١٥ سنة على يد ريتشارد ليكي، ابن عالمي الأنثروبولوجيا لويس وماري ليكي، على الضفة الغربية من بحيرة توركانا في شمالي كينيا، ويرجع تاريخها إلى ١,٥ مليون سنة. عند تجميع أجزاء الجمجمة والعديد من قطع العظام الأخرى، أصبح واضحًا أن صاحب هذا الهيكل كان صبيًا، تُوفي تقريبًا في التاسعة من عمره، وقد أدى صغر سنه ومكان وفاته إلى إطلاق اسم صبي توركانا على هذه العينة من الإنسان المنتصب.

على الأرجح تعايش كل من الأسترالوبيثكوس وإنسان كينيا والهومو معًا في الوادي المتصدّع الأفريقي الشرقي، وفي أماكن أخرى لعدة آلاف من السنين. ومن نوعية الأدوات الحجرية التي عُثر عليها بجوار بقايا الهياكل العظمية، يبدو أن بعض الأسترالوبيثكوس

كانت لديهم القدرة على الإمساك بأيديهم بأدوات حجرية بدائية. إنَّ الاختلاف الوحيد بين الأسترالوبيثكوس والهومو أن الأول كان يستخدم فقط ما يجده حوله، بينما كان الثاني يُشكِّل فعلياً الحجارة بحجارة أخرى؛ ليستخدما في قطع أو تقطيع الأغصان واللحم، بالإضافة إلى قتل الفرائس؛ فقد بدأ بذلك بحث الإنسان عن تكنولوجيا جديدة. لكن علينا الاعتراف بأنَّ مُعظم التفاصيل بشأن أصلنا قائمة على التكهُّنات إلى حدِّ كبير.

أولاً: على القارئ أن يعلم أن الربط بين استخدام الأشياء وبقايا هيكل عظمي معيَّنة عُثر عليها بالقرب منها لا يعتمد على أكثر من حقيقة أن كلاهما يوجد في الطبقة نفسها من الأرض أو الصخور تحت سطح الأرض، وكلما زاد عمر العيِّنات، زاد العمق الذي تُدفن عليه، كما شرحنا آنفاً.

ثانياً: إن نسبة بقايا هيكل عظمي — تتمثَّل عادةً فيما لا يزيد عن بعض العظام وجمجمة إن حالف المراء الحظ — إلى أحد الأجناس، مثل الهومو أو الأسترالوبيثكوس أو إنسان كينيا، ناهيك عن نسبتها إلى نوع معيَّن مثل الإنسان الماهر أو الإنسان المنتصب؛ ليس علماً دقيقاً، ويتأثر كثيراً بتحيز المكتشف. حقَّق المتخصِّص الكندي في علم التشريح ديفيدسون بلاك، الذي عُيِّن أستاذاً بقسم الأعصاب والأجنة في كلية اتحاد بكين الطبية المؤسسة حديثاً في عام ١٩١٩، شهرةً واسعة بعد هذا بثماني سنوات؛ من خلال العثور على سنٍّ واحدة ادَّعى بأنها تنتمي إلى أقدم حفرة شبيهة بالبشر في آسيا، وأطلق على صاحبها القديم اسم سينانثروبوس بيكينسيس أو إنسان بكين. ربما كان محقِّقاً في افتراضه القدم البالغ، وعُثر على دسنة من العظام المتحرَّرة الأخرى منذ ذلك الحين في المنطقة نفسها؛ مما دفع علماء الأثنوبولوجيا إلى نسبة إنسان بكين إلى نوع الإنسان المنتصب، بعمر يصل تقريباً إلى ٥٠٠ ألف سنة. باءت المحاولات الحديثة من حفيد ديفيدسون بلاك لرؤية عظام إنسان بكين بالفشل. حُفظت العظام في البداية في كلية اتحاد بكين الطبية، لكن عند غزو اليابان للصين في عام ١٩٣٧ تقرر نقلها إلى مكان آخر لحفظها في أمان. يُقال إنها نُقلت إلى السفارة الأمريكية، وكانت ضمن حمولة من الأشياء التي نُقلت إلى الولايات المتحدة الأمريكية بعد ذلك ببضع سنوات، عندما اندلعت الحرب بين اليابان والولايات المتحدة الأمريكية، ومن الواضح أنها لم تصل إلى وجهتها قط. ثمة رواية أخرى للأحداث تفيد بأنها أُخذت إلى اليابان بناءً على أوامر الإمبراطور، لكن مساعي حفيد ديفيدسون بلاك لتحديد موقعها هناك فشلت، وربما ما زالت في الصين بعد كل هذا، أو ربما يكون

شخص ما تخلص ببساطة من المحتويات المغلفة بعناية في صندوق بئى صغير؛ اعتقاداً منه بأنها قمامة، وهو التفسير الأسوأ ولكنه الأكثر احتمالاً. وهكذا أحاط بعضاً أقدم إنسان في الصين الغموض الذي يحيط بلوحة مفقودة رسمها فنان عظيم، أو مخطوطة مفقودة من مكتبة أحد الأديرة القديمة.

إجمالاً، منذ نحو ٢,٥ مليون سنة مضت عاشت معاً رئيسيات مختلفة يتراوح شكل تكوين هيكلها العظمي بين الشمبانزي والبشر في عصرنا الحالي. ونتيجةً لقدرتها على الإمساك بأيديها الحجارة والمواد الأخرى التي وجدوها حولهم، تعلّم بعضٌ من أشباه البشر الأول هؤلاء صنّع أدوات بدائية. مرَّ أكثر من مليوني سنة قبل ظهور الإنسان بصورته التي نعرفها الآن. لا يمكن تحديد التواريخ بدقة نظراً للأسباب التي ذكرناها بالفعل. على أيِّ حال لا يسع المرء إلا تأريخ الأشياء التي عُثِرَ عليها، وتوجد ندرة في البقايا، ويكون نسبة شيء من صنع الإنسان، أو بقايا مجزأة من حيوان مذبوح، أو رسمة على جدار أحد الكهوف، إلى أحد أنواع الهومو؛ معتمداً إلى حد كبير على التخمين، خاصةً أن تطور نوع من نوع آخر يكون عملية تدريجية للغاية، مع استمرار وجود النوعين معاً لوقت طويل؛ ومن ثم يوجد جدل كبير بين علماء الحفريات البشرية بشأن هوية اكتشافاتهم، ويتجادلون أيضاً، بنفس حدة علماء اللاهوت في العصور الوسطى، بشأن حقِّ كلِّ منهم في التنقيب في منطقة معيَّنة على الإطلاق؛ فكانت المكائد والنهب والقضايا التي تدَّعي التعرض لاعتقال غير قانوني، والحبس ظلماً، والتعدي البغيض؛ أمورًا شائعة بين صائدي الحفريات في الصدع الأفريقي الشرقي، فكلُّ منهم يسعى إلى إفساد مساعي منافسيه بقدر سعيه لاكتشاف عظام أسلافه.

## (٢-٤) أنواع الهومو الحديثة

في أغسطس عام ١٨٥٦، في الوقت نفسه تقريباً الذي كان تشارلز داروين يضع لمساته النهائية على كتاب «أصل الأنواع»،<sup>٢٠</sup> تسلّم مدرّسٌ في إحدى القرى يُدعى الدكتور يوهان كارل فولروت جمجمةً وبعض عظام أحد دِبَّة الكهوف؛ فقد عثر العمال الذين يستخرجون الحجارة على طول ضفاف نهر الدوسل في وادي نياندر، الذي يصل إلى نهر الراين بالقرب من مدينة دوسلدورف، على هذه البقايا في أثناء تفجير أحد الكهوف التي تقع على بعد ٦٠ قدماً فوق النهر. وعلمًا منهم بأن هوية الدكتور فولروت كانت التاريخ

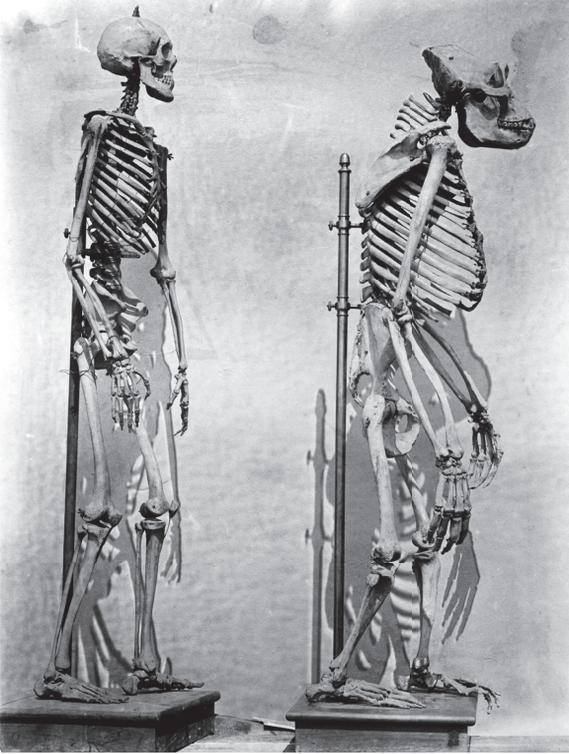
الطبيعي، فكَّروا أنه ربما يهتمُّ بالحصول عليها، وكانوا محقِّين في ذلك. أدرك هذا المدرِّس على الفور أن هذه العظام لم تكن لدبِّ، وإنما لإنسان بدائي من نوع ما، فكانت الجمجمة تشبه جمجمة الإنسان أكثر من أيِّ شيء عُثِر عليه من قبل. في الواقع كان الدماغ أكبر من دماغ الإنسان المعاصر، رغم أن الأجزاء الأخرى كانت أثقل وزناً إلى حدِّ ما. عاد الدكتور فولروت مسرعاً إلى الكهف وبدأ الحفر فيه من أجل العثور على مزيد من الآثار التي تدلُّ على وجود بشري، لكن في هذا الوقت كانت أجزاء الحجر الجيري والحطام طمست كل آثار الساكن السابق لهذا الكهف الصغير. خَمَّن فولروت أنه في سبيله إلى اكتشاف شيءٍ مهمٍّ واستشار هيرمان شافهاوزن، أستاذ التشريح في جامعة بون. وافق شافهاوزن على أنَّ العينات يبدو أنها للقردة العليا (التي تارَّخت منذ ذلك الحين بـ ٤٠ ألف سنة)، وأُعلن الاكتشاف بعد ٦ أشهر في اجتماع لجمعية التاريخ الطبيعي والطب لدول أسفل الراين في بون. لم يَنْتِج عن هذا أيُّ اهتمام أو إثارة كالتي كان إصدار داروين على وشك إحداثها، وظلَّ اكتشاف فولروت غير ملحوظ لعدد من السنوات.

لم يحدث الربط بين بقايا الهيكل العظمي التي وصَّفها فولروت وشافهاوزن وحفريات أخرى عُثِر عليها في أوروبا إلا في وقتٍ لاحق، ضَمَّت هذه الحفريات جمجمةً اكتشفت في محجر فوربس على صخرة جبل طارق في عام ١٨٤٨. من البداية، تشكَّك علماء مثل توماس هنري هكسلي في أن هذه الهياكل العظمية تعبر عن «الحلقة المفقودة» المحيِّرة بين القرد والإنسان، وأكَّدت اكتشافات تالية في الشرق الأدنى ووسط آسيا وجهة النظر هذه. ومن أجل الإشارة إلى الاكتشاف الألماني، أُطلق على أشباه البشر هؤلاء إنسان نياندرتال (وتعني كلمة «تال» وادي بالألمانية)، أو هومو نياندرتالينسيس.<sup>٢١</sup> ظهر هذا النوع من الهومو منذ نحو ٢٥٠ ألف سنة، وظلَّ يعيش حتى وقت قريب منذ ٣٠ ألف سنة، بعد ظهور الإنسان العاقل، الذي كان في هذا الوقت وصل هو نفسه إلى أوروبا. ونظراً لأن ظهور إنسان نياندرتال تزامَنَ مع العصر الجليدي الأخير، يوجد سبب جيد للاعتقاد في أن إنسان نياندرتال أتقن فن التدفئة من خلال الاحتماء في الكهوف، وصنَّع ثياباً من جلود الحيوانات، مثل الثور الأمريكي أو الدب. لم يُعثر على أيِّ بقايا لإنسان نياندرتال في شمال الخط الذي يُشير إلى امتداد سطح الأرض الدائم التجمد في هذا الوقت، كما لم يُعثر عليه في أفريقيا ولا في جنوب آسيا، ورغم تحفُّظات بعض علماء الأنثروبولوجيا، توجد أوجه تشابه مذهلة بين إنسان نياندرتال والإنسان العاقل لدرجة جعلت كثيرين

يُعتبرون الاثنين شكلين مختلفين للنوع نفسه (هو مو سيبيان نياندرتال النيسيس وهو مو سيبيان سيبيان). ويذهب البعض إلى أبعد من هذا، واقترحوا أن إنسان نياندرتال هو سلف الإنسان الحديث. ومع ذلك تخبرنا الأحياء الجزيئية بقصة أخرى، سنشرحها بعد قليل.

الواضح لنا أن إنسان نياندرتال كان يمتلك ثلاثاً من الصفات الضرورية للسعي الإنساني؛ المشية المستقيمة، واليدين ذواتي الحركة السلسلة، ودماغ حجمه مناسب. لا نعلم ما إذا كانت حنجرته متطورة بالشكل الكافي لتمكنه من الحديث أم لا. تكمن المشكلة في التشريح التفصيلي للبلعوم؛ وهو الأنبوب الذي يبدأ من آخر الفم ثم ينقسم: إلى الحنجرة، التي تتنفس عبرها الحيوانات بما في ذلك الإنسان، والمريء، الذي تتم من خلاله عملية البلع لدى الحيوانات بما في ذلك الإنسان. توجد داخل الحنجرة الأحبال الصوتية، التي تتكون من غشاءين مرّين يمتدّان عبرها من الداخل. يهتّزّ الغشاءان عند خروج الهواء من الرئتين عبرهما؛ مما يُصدر صوتاً. يعمل هذان الغشاءان إلى حدّ ما مثل أوتار الكمان؛ فيمكن تقصيرهما وإطالتهما من خلال انقباض وانبساط عضلات متناهية الصغر تتحكّم أيضاً في فتح المساحة بينهما وإغلاقها. يُثبّت هذه العضلات تكوينان غضروفيان؛ الغضروف الدرقي في طرف، والغضروف الطرجهالي في الطرف الآخر. إن الوضع الدقيق لكلّ هذه القطع من الغضاريف والأنسجة المرنة والعضلية في الحنجرة هو الذي يسمح لأحد الكائنات بتعديل الأصوات عبر نطاق هائل من الاحتمالات، بينما لا يستطيع كائن آخر أكثر من مجرّد النخير. على عكس العظام، فإنّ كل التكوينات التي ذكرناها؛ الغضاريف والنسيج المرن والعضلات، تتحلّل عند وفاة الحيوان؛ ومن ثم لا توجد بقايا لها، متحجرة أو غير متحجرة، لتحسم الأمر بشأن امتلاك صاحبها لأحبال صوتية متطورة أم لا. توجد قطعة صغيرة من العظم (العظم اللامي) تتصل عن طريق العضلات إلى حدّ ما على نحو مختلف بالجزء الخلفي من الفم لدى الإنسان والشمبانزي، ويسهم هذا التكوين في قوة الصوت الصادر، حتى إذا كان العظم اللامي يُكتشف مع العظام الأخرى عادةً، وهو ما لا يحدث بوجه عام، فإن هذا لا يساعد كثيراً نظراً لتشابه شكله كثيراً لدى النوعين، وستكون أدوات ربطه الخاصة قد تحلّلت. ولهذه الأسباب نحن

لا نعرف إذا كان الهومو نياندرتال النيسيس قد تمثّع بالقدرة على الكلام البشري أم لا.<sup>٢٢</sup> بعد مرور بضع مئات الآلاف من السنوات على ظهور إنسان نياندرتال في أوروبا، وصل نوع جديد من الهومو إلى سهول شرق أفريقيا، كان يسير منتصباً بسهولة وبإجادة



شكل ٤-١: المشية المنتصبة. مقارنة بين هيكل إنسان (يسارًا) وهيكل غوريلا (يمينًا). وُضع الهيكل العظمي الثاني في وضع السير على قدمين، رغم أن الغوريلا تسير عادةً على أربع. أُعيد طبعها بإذن من متحف التاريخ الطبيعي، لندن.

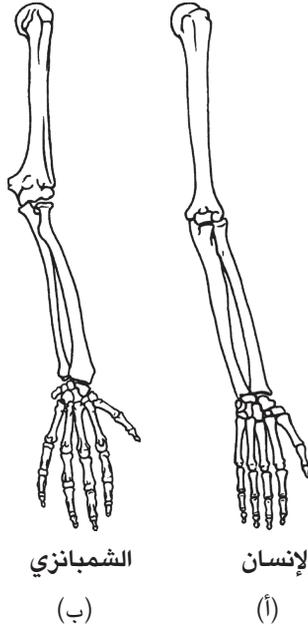
(نتيجة لتغيرات في الحوض وعظم الفخذ والقدمين، شكل ٤-١)، وكان لديه إبهام متحرّكة وأصابع أقصر (شكل ٤-٢)، سمحت له بالإمساك بالأدوات على نحو أفضل من أيٍّ من أسلافه، ليس فقط بقبضة القوة (الإمساك بالشيء بين الإبهام والأصابع المغلقة بإحكام عليها)، بل بقبضة الدقة الأفضل (الإمساك بالشيء بين الإبهام وأطراف الأصابع المفردة). الأهم من ذلك أن دماغه كان أكبر كثيرًا<sup>٢٣</sup> — ثلاثة أضعاف حجم دماغ الأوسترالوبيثكوس

جارجي - وتطوّر لديه صندوق الصوت الذي تحدّثنا عنه للتو (شكل ٤-٣)، الذي تمكّن من خلاله الحديث مع الآخرين من نوعه بطريقة أكثر تعقيداً، وكانت الطبقة العليا من دماغه، القشرة، تحتوي على عصبونات (خلايا عصبية) أكثر بثلاث مرات من الموجودة لدى الشمبانزي الحديث (شكل ٤-٤)، فكان أكثر فضولاً وذكاءً وبراعةً وإبداعاً وطموحاً من أسلافه؛ فكان الكائن الذي نُطلق عليه حالياً اسم الهومو سيبيان، أول ممثّل للنوع الذي ينتمي له كل البشر الذين يعيشون على وجه الأرض. يتّفق الاختلاف الطفيف نسبياً بين مشية الإنسان ويديه وحنجرته ودماغه والغوريلا (شكل ٤-١) أو الشمبانزي (الأشكال من ٤-٢ إلى ٤-٤) مع تأكّدي من قبل على غياب جينات خاصة بالإنسان؛ فهذه الجينات هي مجرد أشكال مختلفة للجينات التي امتلكها السلف المشترك للبشر والشمبانزي. وعبر طفرات داخل امتدادات متشابهة من الذي إن إيه، نتجت بروتينات ذات وظيفة مُعدّلة؛ فمجرد تغير في توقيت صنع بروتين معين ربما يكون مسؤولاً عن اختلافات، مثل طول أصابع الشمبانزي والإبهام الطويل لدى البشر.

منذ فترة طويلة أشار علماء الأحياء إلى التشابه بين مراحل تكون الجنين ومراحل التطور. يظهر هذا على وجه الخصوص في تكون حنجرة الإنسان؛ فحنجرة الطفل حديث الولادة تكون من نفس نوع حنجرة الشمبانزي؛ فلا تستطيع إلا إصدار أصوات بدائية ومحدودة، ومع ذلك يُمكنه، مثل الشمبانزي البالغ، البلع والتنفس في الوقت نفسه. منذ بلوغ عام ونصف إلى عامين تقريباً فصاعداً يحدث تغيّر طفيف في حنجرة البشر؛ فينمو الطرف العلوي تدريجياً إلى الأسفل مبتعداً عن فتحة المريء. ونتيجة لهذا يكون من الضروري غلق الحنجرة في أثناء بلع مواد صلبة أو سوائل لمنع دخولها إلى القصبة الهوائية (ومن ثم الرئتين)؛ ومن ناحية أخرى يُصبح من الممكن حالياً إصدار تنوع أكبر من الأصوات. تستمرّ الحنجرة في الانخفاض حتى تصل إلى موقعها النهائي في سن الرابعة عشر تقريباً.<sup>٢٤</sup> ونظراً لوجود تشابه كبير على نحو مذهل بين حنجرة الشمبانزي وحنجرة الإنسان (انظر شكل ٤-٣)، من المحتمل أن تكون الجينات التي تتحكم في تكوينها جميعها أشكالاً مختلفة من جينات كانت موجودة بالفعل لدى سلفهما المشترك منذ ٦ ملايين سنة. لم يتطلّب الأمر أكثر من مجرد تغير طفيف في بضعة بروتينات، ونتج عنه اختلاف هائل في الوظيفة بين الشمبانزي والإنسان.

توجد نتيجة هائلة لامتلاك صندوق صوتٍ قادر على إخراج كلام، متوافق مع المعالجة العصبية؛ فكما أشرنا مسبقاً يعتبر علماء أنثروبولوجيا معينون هذا أنه أهم صفة للبشر.

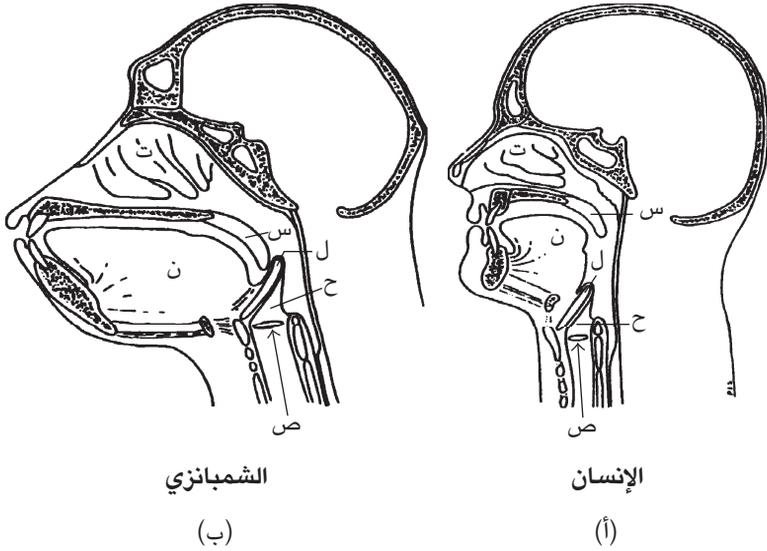
## جوهرُ الإنسانية



شكل ٤-٢: مقارنة طرف أمامي للإنسان (أ) مع طرف أمامي للشمبانزي (ب). قُلَّ طول الشكل الثاني لسهولة المقارنة. مأخوذة من كتاب جون زاكري يونج «مقدمة لدراسة الإنسان»، وأُعيدت طباعتها بإذن من مطبعة جامعة أكسفورد، أكسفورد، ١٩٧١.

منذ بضع سنوات اكتُشف أنه من ٢ إلى ٥% من كل الأطفال يُعانون من اضطراب حاد في اللغة، فتكون قدرتهم النحوية ضعيفة للغاية، ويجدون صعوبةً في نطق الكلمات، ولا تكون لديهم القدرة على التحكم في عضلات فمهم جيدًا. تكون هذه الحالة وراثيةً، وتستمر طوال الحياة. وتُحدّد أن جين *FOXP2* هو المسئول عن مثل هذه الحالة. وأظهرت مجموعة من العلماء من مدينة لايبزيغ وأكسفورد أن جين *FOXP2* لدى الشمبانزي والقرد الأخرى يكون مختلفًا عن ذلك الموجود لدى البشر.<sup>٢٥</sup> لكن كان هذا الجين مُتطابقًا لدى كافة البشر الأصحاء الذين خضعوا للدراسة، بما في ذلك أفرادًا من أصول أفريقية وآسيوية وأوروبية وجنوب أفريقية وسكان أستراليا الأصليين ومن بابوا غينيا الجديدة. بالإضافة إلى هذا،

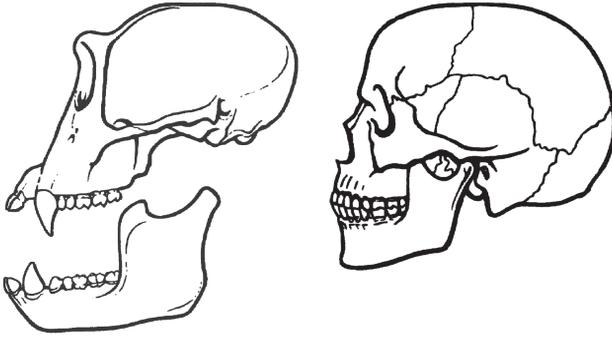
الحيوانات والإنسان: تطور الصفات البشرية



شكل ٤-٣: صندوق الصوت. مقارنة حنجرة الإنسان (أ) بحنجرة الشيمبانزي (ب). ل = لسان المزمار، ح = الحنجرة، ت = تجويف الأنف، س = سقف الحلق، ن = اللسان، ص = الأحبال الصوتية. تمتد الحنجرة إلى الأسفل حتى القصبة الهوائية، التي تؤدي إلى الرئتين. يقع البلعوم (غير الموضح في الشكل) خلفها (يميناً) ويمتد إلى الأسفل حتى المريء، الذي يؤدي إلى الجهاز المعدي المعوي. انظر النص لمزيد من التفاصيل. مأخوذة بإذن من كتاب روجر ليوين «تطور الإنسان: مقدمة مصورة»، الطبعة الثالثة، إصدارات بلاكويل العلمية، أكسفورد، ١٩٩٣.

بدا أنه لم يتعرض لطفرة طوال فترة وجود الإنسان العاقل على وجه الأرض (٢٠٠ ألف سنة). باختصار، هذا الجين هو أول علامة جزيئية تُكتشف لتطور الكلام واللغة؛ ومن ثم يُمكن للمرء افتراض أن البروتين الذي يتكون بفعل جين *FOXP2* يكون مختلفاً كثيراً لدى الشيمبانزي عن البشر.<sup>٢٦</sup> في الواقع، ربما تكون جينات مثل *FOXP2* مسئولة عن كثير من التفاوتات البالغة نسبته ٥٪ بين جينومات الشيمبانزي والبشر. على العكس من ذلك؛ فإنَّ التفاوت في جين *FOXP2* بين الشيمبانزي والبشر تصل نسبته فقط إلى ٠,٠٣٪، كما أنَّ بروتين *FOXP2* يختلف لدى البشر عن نظيره لدى الشيمبانزي بمجرد حمضين أمينيين

## جوهراً الإنسانية



حركية	■	بصرية	■
سمعية	■	شمية	■
حسية جسدية	■	قشرة غير متصلة	□

الشمبانزي

(ب)

الإنسان

(أ)

شكل ٤-٤: عصبونات القشرة الدماغية. مقارنة بين مخ الإنسان (أ) ومخ الشمبانزي (ب). المناطق المختلفة في المخ ووظائفها كما هو موضح. تقع في المنطقة غير المظللة (القشرة غير المتصلة) العصبونات (الخلايا العصبية) التي تدخل في التفكير والذاكرة والوعي والحالة المزاجية. وتمثل القشرة المخية الجديدة (انظر الفصل الثامن) الجزء العلوي اليساري (الأمامي) من القشرة الدماغية. مأخوذة من كتاب جون زاكري يونج «مقدمة لدراسة الإنسان» وأعيدت طباعتها بإذن من مطبعة جامعة أكسفورد، أكسفورد، ١٩٧١.

من إجمالي ٢٧.٧١٥ فإن التفاوت الأكبر يَحْدُثُ في البروتينات التي تؤدي وظائف متماثلة في الأساس لدى الشمبانزي والبشر.<sup>٢٨</sup>

تتوافق نتائج تحليل بروتينات FOXP2 بالكامل مع الفرضية الواردة في الفصل الأول؛ عدم وجود جينات «بشرية» في مقابل جينات «الشمبانزي»؛ فالاختلاف بنسبة ٥٪ بين الجينومين المعنيتين لا يشير إلى وجود عدد من الجينات المختلفة جوهرياً لدى الشمبانزي والبشر؛ فربما يقتصر تأثيرها على إظهار عدد الطفرات «الصامتة» التي تراكمت لدى الشمبانزي والبشر، منذ كان سلفهما المشترك على قيد الحياة منذ ٦ إلى ٨ ملايين سنة. نحن نضلل أنفسنا بالمساواة بين الفروق الجينية والتغيرات في الوظيفة. إنَّ التشابه بين بروتين FOXP2 لدى الشمبانزي والبشر يدعم وجهة نظر حُجَّتِي، بارتكاز القدرة المتزايدة لدى البشر على السعي المستمر على تغيرات طفيفة للغاية، فتماماً مثلما يرتكز التشابه بين قدرة الجراثيم والنباتات والحيوانات على البحث على نطاق بي إيه إس، يوضِّح بروتين FOXP2 أحد الاختلافات بين قدرة الشمبانزي والبشر على ممارسة عملية البحث. ستظهر اختلافات أخرى بالتأكيد، خاصةً مع البدء في عملية تحديد تسلسل جينوم الشمبانزي.<sup>٢٩</sup> ونحن ننتظر بفارغ الصبر عملية تحديد الجينات التطورية المسؤولة عن تكوين الإبهام والحنجرة والتي تُحدِّد عدد عصبونات القشرة الدماغية التي تُنتج.<sup>٣٠</sup>

من بين الفروق الأربعة التي ركزتُ عليها، ربما تكون طريقة الوقوف أكثرها تميزاً (قارن بين شكل ٤-١، والأشكال من ٤-٢ إلى ٤-٤). هذا أمر متوقَّع؛ نظراً لأن المشية المنتصبة سبقت ظهور الصفات الأخرى بعدة ملايين من السنين؛ ومن ثم كانت توجد فسحة من الوقت لتراكم الطفرات وإبراز التباين. وفي حالة الفروق الأخرى، كان التفاعل بين استخدام اليدين والأحبال الصوتية وعصبونات القشرة الدماغية هو الذي جعل تعديلاً طفيفاً نسبياً في كلِّ منها يؤدي إلى مثل هذا التغيُّر الهائل في وظائفها مجتمعة؛ إلى اختلاف بين نوع من الرئيسيات الذي أدى فضوله إلى تعديل في جيناته، ونوع آخر لم يسفر فضوله عن تحقيق أي شيء؛ إلى نوع سافر إلى القمر ونوع ظل داخل حدود موطنه في الغابات.

يُعبَّرُ البعض عن دهشتهم من فكرة أن فرداً أفريقيًا من جنوب الصحراء الكبرى أو صينيًا أو أوروبياً أو من سكان أستراليا الأصليين، الذين تبدو ملامحهم مختلفة تماماً بعضهم عن بعض، ينتمون جميعاً إلى النوع نفسه. إلا أن المظهر الخارجي مضلل؛ فالمسارات الأيضية، مثل الهضم وأكسدة المواد الغذائية، وتحكُّم الهرمونات في هذه

العمليات، والتغيرات الأيونية التي يقوم عليها الجهاز العصبي، تُسهم في تحديد النوع أكثر بكثير من الشكل الخارجي (الذي يتحدّد على أي حال بأقل من عشرة جينات من أصل ٣٠٠ ألف جين موجودة عند البشر). وقد ينتج عن طفرة واحدة في جين واحد أن تُنجب أسرة باكستانية تتّسم نموذجياً بالجلد الداكن والشعر الداكن والعينين السود، فتاةً بيضاء البشرة وشقراء وذات عينين زرقاوين لا يُمكن تمييزها عن طفلة سويدية أو نرويجية الأصل.<sup>٢١</sup> تبدو معظم الفراشات مُتشابهة في أعيننا؛ ومع ذلك يوجد حالياً بالفعل ٢٠ ألف نوع مختلف منها حول العالم.

الوصف هومو سيبيان الذي يَصِف نوعنا — وهو اسم لاتيني بمعنى الإنسان «المفكر» أو «الحكيم» — صكّه عالم تاريخ طبيعي سويدي يُدعى كارل لينبوس في منتصف القرن الثامن عشر، في الوقت الذي اعتُبرت الرئيسية الأخرى غير قادرة على مثل هذا القدر من التفكير الواعي. أصبحنا الآن نعرف أن هذا غير صحيح؛ فحتى إذا كان نكاؤها بوجه عام أقلّ من ذكائنا، يستطيع الشمبانزي والغوريلا والأورانجوتان التوصل إلى قرارات منطقية مثلنا تماماً، وإن افتقارهم فقط لأحبال صوتية متطورة هو الذي يحول دون التواصل فيما بينها، كما تُظهر التجربة التالية. بانبانيشا هي شمبانزي بونوبو تبلغ من العمر ١٤ عاماً، وتعني كلمة بونوبو قزماً، لكن لا يمكننا وصفها بالهزيلة نظراً لأن وزنها يبلغ ١٦٠ رطلاً (انظر شكل ٤-٥). تعيش بانبانيشا في حرم جامعة ولاية جورجيا في مدينة أتلانتا في الولايات المتحدة الأمريكية، وهي طالبة نجبية؛ إذ يبلغ عدد مفرداتها اللغوية ٣ آلاف كلمة، وعندما سألتها مراسل قام بزيارتها إذا كانت تريد شيئاً ما، أجابت قائلة: «قهوة وحبلياً وعصيراً بالثلج»؛ وتقول عند احتسائها للقهوة «قهوة جيد»، ثم تقول «المزيد». التزاماً للدقة هي فعلياً لا تقول هذه الكلمات؛ إذ إن صندوقها الصوتي غير قادر على إصدار أصوات من نوع ما يصدره الإنسان، لكنها تستخدم لوح مفاتيح إلكترونيّاً محمولاً به جهاز صوتي (سينثسيزر)، فتُظهر مفاتيحه — التي يبلغ عددها ٣٨٤ مفتاحاً — منسقة داخل مجلد يُشبه ألبوم الطوابيع — أشياء مثل: القهوة والحليب والعصير والثلج، بالإضافة إلى مفاهيم مثل: جيد وسيئ ونعم ولا ومع ودون، وهكذا. وُلدت بانبانيشا في الأسر، ونشأت كما لو كانت مجرد طفل آخر لسو سافاج رومبوج من مركز أبحاث اللغة.<sup>٢٢</sup> تعلمت بانبانيشا جيداً، وهي الآن تُعلّم ذريتها. يُثير اهتمام الباحثين كثيراً كيف يتناقل هؤلاء البونوبو «الماهرين لغويّاً» مهاراتهم اللغوية.

كوكو هي غوريلا سهلية وُلدت في حديقة حيوان سان فرانسيسكو منذ ٣٠ عاماً، ومنذ ذلك الحين تُشرف على تربيتها فرانسيس باترسون من مؤسسة الغوريلا في جبال

## الحيوانات والإنسان: تطور الصفات البشرية



(أ)



(ج)



(ب)

شكل ٤-٥: بانبايشا: (أ) مع لوحة المفاتيح الإلكترونية المصورة. (ب) وهي تعزف على «البيانو» (لوحة مفاتيح موسيقية). (ج) وهي تعلّم ابنها، نيوتا، البالغ من العمر ٤ أعوام. انظر النص للحصول على مزيد من التفاصيل. نُشرت الصور بموافقة الدكتور جارد تاجليالتيللا من مركز أبحاث اللغة، جامعة ولاية جورجيا، مدينة أتلانتا، الولايات المتحدة الأمريكية.

سانتا كروز في كاليفورنيا. تعلمت كوكو باستخدام لغة الإشارة، ولديها القدرة على تحريك أصابعها الصغيرة بالكاد كي تُجري حوارًا عاديًا. توجد لديها حصيلة من المفردات تصل إلى ألف كلمة، وتفهم ألف كلمة أخرى، ويُقال إن معدل ذكائها يصل إلى نحو ٨٠؛ المعدل

النموذجي لطفل بشري يعاني من تخلف عقلي بسيط. لم تستخدم السنثسيزر الصوتي لأنها كسرت أول جهاز يُقدّم إليها؛ يُصنع واحد أقوى لها، لكن مهارتها في لغة الإشارة تجعل هذا غير ضروري.<sup>٣٢</sup>

ماذا يعني كل هذا؟ بخلاف المعلومات التي قد يقدمها لنا بشأن تطور اللغات البشرية، فإنه يؤكد على نقطتين؛ أولاً: أن الرئيسيات، مثل الشمبانزي والغوريلا، لديها القدرة التامة على التفكير المنطقي. وثانياً: أنها ذكية بما يكفي لتعلم لغة البشر مثل الإنجليزية. وعلى الأرجح ربما تستطيع تعلم الصينية بالسهولة نفسها؛ فكونها لغة رمزية ربما يجعل تعلمها وكتابتها أسهل عليها. كذلك، يبدو أن استخدام المفردات بذكاء ليس أحد الاختلافات بين القروء والإنسان. يُظهر هذا أيضاً أن الكاتب هيكتور هيو مونرو (وكنيته «ساكي»)، الذي ظهر في أوائل القرن العشرين كان سابقاً لعصره حين كتب:

كان السير ويلفريد يقول: «وهل تطلب منا حقاً أن نصدّق أنك اكتشفت طريقةً لتعليم الحيوانات فنّ كلام البشر، وأن صديقك العزيز القديم توبرموري أثبت أنه تلميذك الناجح الأول؟»

قال السيد أبين: «إنها مشكلة عملتُ على حلّها طوال سبعة عشر عاماً، لكن خلال الأشهر الثمانية أو التسعة الأخيرة فقط جاءت مكافأتي في ظهور بصيص من النجاح ... مع توبرموري، كما تُطلق عليه؛ فقد وصلتُ إلى هدي في ...» علّقت السيدة بليملي قائلة: «ألم يكن من الأفضل أن نرى القطّ ونحكّم بأنفسنا؟» خيم صمت مفاجئ من الإحراج والارتباك على هذه المجموعة من الأفراد؛ فبدأ أن ثمّة عنصراً من الإحراج إلى حدّ ما في الحديث على قدم المساواة مع قطّ منزلي لديه قدرة عقلية مُعترف بها.

سألت السيدة بليملي بصوت به قدر من التوتر: «أتريد بعض الحليب يا توبرموري؟»

جاء الرد: «لا مانع عندي.» بنبرة من عدم المبالاة. أُصيب المستمعون برجفة مكتومة من الإثارة، ويمكن التماس العذر للسيدة بليملي لسكبها الحليب في الصحن الصغير وهي ترتجف قليلاً.

قالت معذرة: «أخشى أنني أرقّت كمية كبيرة منه.»

فجاء رد توبرموري: «على أيّ حالٍ إنها ليست سجاتتي.»

ساد الصمت مرةً أخرى على المجموعة، ثم سألت الأنتسة رسكر، بأسلوبٍ متطوِّعات الكنيسة المهذبِّ عما إذا كان من الصعب تعلُّم لغة البشر! نظر تومبرموري مباشرةً إليها للحظة ثم ثبتَّ نظره بهدوء على منتصف المسافة بينهما. كان من الواضح أنه لا يكثرث البتة بالأسئلة المملَّة.

سألته مافيس بيلينجتون بحماقة «ما رأيك في الذكاء البشري؟»

فسألها تومبرموري في برود: «عن ذكاء من تحديداً؟»

قالت مافيس بضحكة ضعيفة: «حسناً، ذكائي أنا مثلاً!»

قال تومبرموري: «أنتِ تضعينني في موقف محرج.» لكن لم تكن نبرته أو أسلوبه يوحيان بالتأكيد بأي قدرٍ من الإحراج. «عندما عُرض اقتراح ضمِّك إلى الحفل في هذا المنزل، اعترض السير ويلفريد لأنك أكثر سيدة غبية يَعرفها، ولأنه يوجد فرقٌ كبير بين الضيافة ورعاية البُلهاء. ردت السيدة بليملي قائلةً إن افتقارك إلى القدرة العقلية هو الصفة المحدِّدة التي جعلتك تحصلين على هذه الدعوة؛ لأنك الشخص الوحيد الذي تستطيع التفكير فيه؛ الذي قد يكون غيباً بما يكفي لشراء سيارتهم القديمة.»<sup>٣٤</sup>

يَحتمل أن تكون ثمة أنواع أخرى من الهومو سبقت الإنسان العاقل على طول السلالة المؤدية إلى ظهوره، بدايةً من الإنسان الماهر ومروراً بالإنسان المنتصب؛ فتمَّة اقتراح بأن الإنسان العامل وإنسان هايدلبرج أنواع وسيطة، رغم أنه ربما يثبتُّ أنهما لم يكونا إلا أشكالاً مختلفة، كانت جميعها لديها القدرة على صنع أشياء معقدة على نحو متزايد بأيديها؛ فحجم أدمغتها، خاصةً الجزء المرتبط بوظيفة دماغية أعلى (القشرة الدماغية الجديدة)، تزايد تدريجياً.

تحدد عمر الإنسان العاقل داخل نطاق ١٤٠ ألف سنة. اعتمدت أول دراسة تحاول تحديد مدى قدمنا على التحليل الجزيئي لمجموعة معينة من الجينات داخل خمس مجموعات مختلفة من البشر الموجودين في عصرنا الحالي؛ من أفريقيا جنوب الصحراء الكبرى (المجموعة ١)، ومن الصين وفيتنام ولاوس والفلبين وإندونيسيا وتونجا (المجموعة ٢)، ومن سلالة سكان أستراليا الأصليين (المجموعة ٣)، ومن شمال أفريقيا والشرق الأوسط وأوروبا (المجموعة ٤)، ومن سلالة سكان غينيا الجديدة الأصليين (المجموعة ٥). أظهر التحليل ثلاثة أشياء:٣٥ أولاً: أن كل البشر الحاليين، المتمثلين في المجموعات الخمس، مرتبطون ارتباطاً وثيقاً إلى حدِّ ما. وثانياً: أن أكبر تفاوت ظهر داخل

أَيَّ مجموعة كان داخل المجموعة ١؛ مما يُشير إلى أن الأفارقة ظهروا منذ أطول فترة. ثالثاً: من خلال افتراض حدوث معدّل ثابت من الطفرات في ٢ إلى ٤ قواعد نيوكليوتيدية (بقايا الأدينين والسيتوسين والجوانين والثيامين في الـ دي إن إيه) من كل ١٠٠ قاعدة كل مليون سنة، فإن نقطة التقاء كل البشر في الماضي يمكن حسابها بحيث تعود إلى نحو ٢٠٠ ألف سنة مضت. لا بدّ أن نقول إنه منذ إجراء هذا التحليل، منذ أكثر من عقد، ظهرت بعض الانتقادات له، ويتّضح خطأ افتراضات معينة فيه. أدت دراسة أخرى حديثة أكثر إلى ظهور الرقم المعدّل ١٤٠ ألف سنة بوصفه يعبر عن الوقت الذي عاش فيه سلفنا المشترك. تجدر بنا الإشارة إلى أنه حتى هذا الرقم محسوب في المتوسط فقط؛ فيمكننا القول، بنسبة ثقة مقدارها ٩٥٪ فقط، إن عمر الإنسان العاقل يتراوح بين ٦٣ ألف و٣٨٣ ألف سنة تقريباً. ما يتفق عليه جميع علماء الأحياء الجزيئية أن النوع الحالي من الهومو لا يصل عمره إلى مليون سنة ولا إلى ٣٠ ألف سنة (تخمين ظهر في أوائل القرن العشرين)، لكنه ظهر في وقت ما بينهما، مع اعتبار ١٤٠ ألف سنة الاستنتاج الأكثر منطقية حالياً.

في الواقع لا تقع الجينات التي تقدّم هذه المعلومات داخل الكروموسومات الثلاثة والعشرين على الإطلاق؛ فهي تقع داخل مجموعة صغيرة منفصلة من الجينات تُسمى الـ دي إن إيه الميتوكوندري.<sup>٣٦</sup> ينتقل الـ دي إن إيه الميتوكوندري من جيل إلى التالي عبر الإناث فقط؛<sup>٣٧</sup> ولهذا السبب سُمي سلفنا البالغ من العمر ١٤٠ ألف سنة «حواء». ومن الجيد أن نعرف أننا يمكننا الوصول إلى هذا الرقم نفسه إذا قسنا الطفرات في دي إن إيه بعض الكروموسومات الثلاثة والعشرين داخل نواة الخلايا. تكمن المشكلة هنا في أنه نظراً لخلط جينات الأم والأب في كل جيل، يصعب الحصول على بيانات ذات مغزى، باستثناء واحد؛ دي إن إيه الكروموسوم Y.<sup>٣٨</sup> إذا أمكن فصل الكروموسوم Y من كل الكروموسومات الأخرى، فإنه سيقدّم سجلاً واضحاً لنسب الأب، تماماً مثلما يحدّد الـ دي إن إيه الميتوكوندري نسب الأم. أصبح هذا يتحقّق حالياً، وتؤكد النتائج العلاقة الوثيقة بين المجموعات السكانية البشرية الحالية وأصلهم المشترك من أفارقة جنوب الصحراء الكبرى.

يوجد تضارب واحد فقط؛ فيبدو أن وقت ظهور آدم لأول مرة كان تقريباً منذ ٥٩ ألف سنة، وليس ١٤٠ ألف سنة. إذا كان هذا صحيحاً، فإنه يعني أن الرجال — المُفترض أنهم من نوع الإنسان العاقل — الذين تزوّجت معهم حواء وذريتها طوال نحو ٨٠ ألف سنة لم يتركوا وراثته من الذكور ليواصلوا استمرار سلالة غير منقطعة حتى

العصور الحديثة. وربما نتج عن تزاوج حدث مصادفةً منذ ٥٩ ألف سنة ابنٌ انحدر منه كل الرجال في عصرنا الحالي. يُظهر توقيت ظهور آدم (إذا تأكدت الأرقام) أن أسلافنا الذكور كانوا لا يزالون في أفريقيا منذ ٥٩ ألف سنة؛ ومن ثم فإن هجرتهم إلى أوراسيا حدثت في وقتٍ أكثر حداثةً مما كان يُعتقد من قبل.<sup>٣٩</sup> عندما نضع في اعتبارنا كافة الأدلة الحالية، بناءً على بقايا الهياكل العظمية بالإضافة إلى التحليلات الجزيئية، ربما نستقر على رقم ١٤٠ ألف سنة بوصفه الوقت التقريبي الذي ظهر فيه الإنسان الحديث. وبالنسبة لموضوع هذا الكتاب، لا يكون عمرنا الدقيق يمثل أهميةً وجهة النظر المتفق عليها بوجه عام بأننا جميعاً نحدر من مجموعة واحدة من الأسلاف، تتكون تقريباً من ١٠ آلاف فرد، عاشوا في الأصل في أفريقيا.

يكشف تحليل الذي إن إيه الميتوكوندري ودي إن إيه الكروموسوم Y المستخرَجين من عظام عيّنات مختلفة من إنسان نياندرتال وجود تشابهٍ طفيفٍ بينه وبين البشر؛ فالإنسان الأوروبي أقربُ شبهاً إلى الأفريقي من جنوب الصحراء الكبرى منه إلى إنسان نياندرتال؛ ومن ثم أصبح من الواضح أن إنسان نياندرتال ليس سلفاً للإنسان الحديث. ويُقال إن نحو ١٤ نوعاً مختلفاً من أشباه البشر (مجموعة تضم جنس الأسترالوبيثكوس) عاشت على مدار الخمسة ملايين سنة الماضية انقرضت جميعها عدا نحن. لماذا؟ هل لأنّ السلالة التي أدت إلى ظهور الإنسان العاقل قتلت الأنواع الأخرى، أم أنها تنافست بنجاح أكبر على الطعام والمأوى، أم لأنها تكيفت على نحو أفضل مع الظروف المناخية في هذا الوقت؟ أم أنه مجرد حظ بوجودها في المكان المناسب والوقت المناسب، بينما قضي على الأنواع الأخرى بفعل اصطدام الكويكبات الصغيرة، كما يعتقد بعض العلماء؟ نحن لا نعلم حالياً؛ فلندع علماء الأثروبولوجيا وعلماء الحفريات وعلماء الجيولوجيا وعلماء الفيزياء الفلكية يبحثون عن الإجابة. أما بالنسبة لنا، فسنتنقل إلى الجزء الثاني من هذا الكتاب، ونستعرض كيف مكّن السعيُّ الإنسان من السيطرة على العالم الذي يعيش فيه.

## هوامش

- (١) نوع من الطباء، يُعرفه لاعبو سكرابل باسم «جنو».
- (٢) نحن نعرف هذا لأنها كانت موسومة.
- (٣) يقضي آخرون فصل الشتاء في أماكن مثل مدينة باسيفيك جروف في كاليفورنيا.

- (٤) انظر كتاب هيو دينجل «الهجرة: حركة الأحياء في الحياة»، مطبعة جامعة أكسفورد، أكسفورد، ١٩٩٦.
- (٥) على عكس كثير من الحيوانات، لم يَعْتَدِ البشرُ على استخدام الرائحة أو المَجَالِ المغناطيسي للاسترشاد به في سعيهم.
- (٦) نحن نعرف هذا لأنها كانت موسومة.
- (٧) مقال ليزلي سي إيلو ومارك كولارد «أحدث أقدم أسلافنا»، مجلة نيتشر، العدد ٤١٠: ٥٢٦-٥٢٧، ٢٠٠١.

(٨) عندما تكوّنت العناصر الموجودة حاليًا على سطح الأرض، التي يبلغ عددها نحو ٩٠ عنصرًا مختلفًا، من انفجارات نووية بفعل الهيدروجين والهيليوم الموجودين داخل الشمس منذ ٤ إلى ٥ مليارات سنة، بقي بعضٌ منها، مثل الكربون<sup>١٢</sup>، كما هي منذ ذلك الحين؛ في حين تكون عناصر أخرى، مثل نسخة من الكربون أثقل وزنًا، تُسمّى الكربون<sup>١٤</sup>، غير مستقرة. (يختلف الكربون<sup>١٤</sup> عن الكربون<sup>١٢</sup> من حيث احتواء نواته على نيوترونين إضافيين؛ فبدلاً من ستة بروتونات وستة نيوترونات، تحتوي نواة ذرته على ستة بروتونات وثمانية نيوترونات. يُشبه الكربون<sup>١٤</sup> الكربون<sup>١٢</sup> في وجود ستة إلكترونات خارج النواة تُحدث توازنًا مع بروتونات الستة. ونظرًا لأن الكيمياء — الربط بين الذرات المختلفة — تعتمد على تفاعلات بين الإلكترونات، وليس على تركيب النواة، فإن الجزيئات التي تحتوي على الكربون<sup>١٤</sup> تتعرض للتفاعلات نفسها التي تتعرض لها الجزيئات التي تحتوي على الكربون<sup>١٢</sup>). تُصدر الذرات غير المستقرة إشعاعات باستمرار في شكل جسيمات أو إلكترونات أو أشعة جاما؛ ويُقال عنها إنها مشعّة. يُصدر الكربون<sup>١٤</sup> إلكترونات، ويمكن قياس هذه الإلكترونات بسهولة باستخدام الأداة المناسبة.

(٩) استشهد بها توماس ليندال في تقريره عن كتاب مارتن جونز «البحث عن الجزيئات: علم الآثار والبحث عن الدي إن إيه القديم»، مجلة نيتشر، العدد ٤١٣: ٣٥٨-٣٥٩، ٢٠٠١.

(١٠) في الوقت الحالي الشمال المغناطيسي هو نفسه الشمال الجغرافي، أما في الفترة بين ٢٠ ألف و ٣٠ ألف سنة مضت كان الأمر معكوسًا (فكانت إبرة البوصلة تُشير إلى الجنوب)، وفي الفترة بين ٣٠ ألفًا و ٦٩٠ ألف سنة مضت كان الوضع كما هو الآن، أما في الفترة بين ٦٩٠ ألفًا و ٨٩٠ ألف سنة مضت كان معكوسًا؛ وفي الفترة بين ٨٩٠ ألفًا و ٩٥٠ ألف سنة مضت كان كما هو الآن، وفي الفترة بين ٩٥٠ ألفًا و ١٦١٠ آلاف سنة مضت كان معكوسًا، وهكذا. وعند تكوّن الحجارّة — من الانفجارات البركانية أو عند

ترسُّب الغبار — فإنها تتكوَّن وفقاً لاتجاه المجال المغناطيسي في هذا الوقت، مما يمثِّل «نافذة» على الزمن (بمعنى تحديد الفترة بين ٢٠ ألفاً و ٣٠ ألف سنة، أو بين ٦٩٠ ألفاً و ٨٩٠ ألف سنة، أو بين ٩٥٠ و ١٦١٠ آلاف سنة مضت إذا كان اتجاهها عكس الاتجاه الحالي). انظر أيضاً مقال سارة سيمبسون «متَّجه جنوباً؟ اضمحلال المجال المغناطيسي للأرض ربما يعني انقلابه قريباً» مجلة ساينتيفيك أمريكان، العدد ٢٨٧ (نوفمبر): ١٢، ٢٠٠٢.

(١١) تُشير نسبة البوتاسيوم<sup>٤٠</sup> المشعِّ إلى كميَّة البوتاسيوم<sup>٣٩</sup> المستقر في الصخور التي تحتوي على هذا العنصر إلى عمرها. ولأن البوتاسيوم<sup>٤٠</sup> يتحلل فيتحول إلى الأرجون<sup>٤٠</sup>، الذي يُعتبر غازاً خاملاً، يخرج كله في كلِّ انفجار بركاني؛ ومن ثم فإن التراكم التدريجي لعنصر الأرجون<sup>٤٠</sup> في إحدى العينات ومقارنته بكميَّة البوتاسيوم<sup>٣٩</sup> الموجودة فيها يعكس عمره. ولتجنُّب الاضطراب إلى أخذ عينتين لتحليلهما (واحدة من أجل عنصر الأرجون<sup>٤٠</sup> الغازي والأخرى من أجل البوتاسيوم<sup>٣٩</sup> الصلب)، تُعرض عينة واحدة، صغيرة في حجم بلورة واحدة من الحجارة، للإشعاع بفعل النيوترونات، التي تحول البوتاسيوم<sup>٣٩</sup> إلى أرجون<sup>٣٩</sup>، ثم تُسَخَّن العينة وتُحدَّد نسبة الأرجون<sup>٣٩</sup> إلى الأرجون<sup>٤٠</sup> من الأرجون الصادر. (١٢) لمزيد من التفاصيل انظر كتاب روجر ليوين «مبادئ تطور الإنسان»، المرجع السابق، ص ٨٣ والصفحات التالية لها.

(١٣) لكنه ظلَّ يسير على مفاصل أصابع يديه، مثل الشمبانزي في عصرنا الحالي. انظر مجلة نيتشر، العدد ٤٠٤: ص ٣٣٩ و ٣٨٢، ٢٠٠٠. تنتمي جمجمة عُثر عليها مؤخراً في صحراء جوراب في تشاد، وتحدَّد عمرها من ٦-٧ ملايين سنة مضت، لقرود ربما سار منتصباً أيضاً. انظر مقال مايكل برونوت وآخرين «شبيه جديد للبشر من العصر الميوسيني المتأخر في التشاد، في وسط أفريقيا»، مجلة نيتشر، العدد ٤١٨: ١٤٥-١٥١، ٢٠٠٢.

(١٤) تُروى قصة مشابهة عن أصل كلمة «كانجارو» بالإنجليزية، التي تعني «ما الذي يشير إليه؟»

(١٥) انظر مقال ميف ليكي وآخرين، مجلة نيتشر، العدد ٤١٠: ٤٣٣-٤٤٠، ٢٠٠١.

(١٦) للاطلاع على مناقشة عن «بيئة التغذية»، انظر حاييم أوفك المرجع السابق، ص ٦٢-٨٣.

(١٧) سواء كُنَّا نباتيين أو من آكلي اللحوم، فإن ٢٥٪ من المواد الغذائية التي نتناولها تتَّجه إلى المخ.

(١٨) لمعرفة فروق أخرى بين البشر الحاليين والشمبانزي، انظر الفصل الأول، ومقال ديفيد سيرانوسكي «كأنه بشري...»، مجلة نيتشر، العدد ٤١٨: ٩١٠-٩١١، ٢٠٠٢.

(١٩) على حد تعبير الفيلسوف الألماني إيمانويل كانط في القرن الثامن عشر «اليد هي العقل الخارجي للإنسان».

(٢٠) علم داروين في خريف عام ١٨٥٥ بشأن فرضية ألفريد والاس في مقاله «عن القانون الذي ينظم ظهور الأنواع الجديدة»، ولصدمته من هذا المقال عاد داروين بحماس متجدد إلى عمله الإبداعي الذي كان يعمل عليه على مدى ١٨ عامًا مضت. بعد عامين تلقى خطابًا من والاس يُشير فيه إلى الإصدار ويُضيف أنه كان «... بالطبع مجرد تمهيد لمحاولة وضع دليل مفصل، أعدتُ خطة لها، وفي الواقع دونتها...» إرفينج ستون، المرجع السابق، ص ٦٢١. كانت هذ الرسالة التي دفعت داروين في النهاية لاستكمال عمله (رغم أن هذا استغرق منه عامين آخرين)، بعنوان مفصل أكثر: «في أصل الأنواع عن طريق الانتقاء الطبيعي، أو بقاء الأعراف المفضلة في أثناء الكفاح من أجل الحياة.» وقد تلقى داروين خطابًا من ألفريد والاس بعد عام من هذا، كان واضحًا فيه أنه وداروين وصلًا إلى استنتاجات مماثلة.

(٢١) انظر إريك ترينكهاوس وبات شيمان، المرجع السابق، لمزيد من التفاصيل.  
(٢٢) انظر ريتشارد ليكي، المرجع السابق، ص ١٣١، لمزيد من التفاصيل التشريحية، لكن لاحظ أنه هو نفسه كان يعتقد أن الإنسان المنتصب كان قادرًا على الكلام.

(٢٣) يتحدد حجم الدماغ من خلال ملء الجمجمة المجوّفة بالماء وقياس حجمه، يبلغ حجم دماغ الشمبانزي الحالي (وربما أيضًا حجم دماغ السلف المشترك من ٨-٦ ملايين سنة) ٤٥٠ سنتيمترًا مكعبًا، وحجم دماغ الأسترالوبيثكوس أفارينيسيس (منذ ٤-٢,٥ مليون سنة) من ٤٠٠-٥٠٠ سنتيمتر مكعب، ودماغ الإنسان الماهر (منذ ٣,٣-١,٦ مليون سنة) من ٥٠٠-٨٠٠ سنتيمتر مكعب، ودماغ الإنسان المنتصب (منذ ١,٩ مليون سنة إلى ٣٠٠ ألف سنة) من ٧٥٠-١٢٥٠ سنتيمترًا مكعبًا، والإنسان العاقل «القديم» (منذ ٤٠٠ ألف إلى ١٠٠ ألف سنة) من ١١٠٠-١٤٠٠ سنتيمتر مكعب، والإنسان العاقل «المبكر» (منذ ١٣٠ ألفًا إلى ٦٠ ألف سنة) من ١٢٠٠-١٧٠٠ سنتيمتر مكعب، والإنسان العاقل الكرومانيون (منذ ٤٥ ألفًا إلى ١٢ ألف سنة) من ١٣٠٠-١٦٠٠ سنتيمتر مكعب، والإنسان العاقل الحالي من ألف إلى ألفي سنتيمتر مكعب (بمتوسط ١٣٥٠ سنتيمترًا مكعبًا) [السنتيمتر المكعب = مئيلتر]. من ستيفن بينكر، المرجع السابق، ص ١٩٨.

(٢٤) لاحظ أن أحبال الإناث الصوتية تكون أرفع وأقصر من أحبال الذكور الصوتية؛ ونتيجةً لهذا تكون الأصوات الصادرة أكثر حدة.

(٢٥) مقال فولفجانج إنار وآخريين «التطور الجزيئي لـ *FOXP2*، جين مرتبط بالكلام واللغة»، مجلة نيتشر، العدد ٤١٨: ٨٦٩-٨٧٢، ٢٠٠٢.

(٢٦) هذا لأنَّ الفرق بين القدرة على الكلام والافتقار إليها كبير للغاية؛ ومن ثم من المحتمل أن يشمل طفرات كثيرة.

(٢٧) أسباراجين بدلاً من الثيونين في موضع ٣٠٣ على طول سلسلة البروتين، وسيرين بدلاً من الأسباراجين في موضع ٣٢٥. ولأن السيرين يمثل موقِعاً مفضلاً لتفاعلات الفسفرة، مثل المذكورة في الفصل الثالث التي تدخل في نقل الإشارات من نطاق بي إيه إس في البروتينات الذي يستشعر البيئة، فإن عواقب وجود السيرين في موضع ٣٢٥ (المصحوب بغياب الثيونين من موضع ٣٠٣) ربما تكون وخيمة.

(٢٨) رغم أن التكوين العام للبروتين يحدّد بالفعل وظيفته، فإن الاختلافات في الأحماض الأمينية على طول سلسلة البروتين لا تُشير بالضرورة إلى تغيّر الوظيفة؛ وكما ذكرنا في الفصل الثاني، فإن كثيراً من الطفرات تكون «صامتة»، بمعنى أن التغيّر في حمض أميني في أحد المواضع لا يؤثر في نشاط البروتين. وتظهر حقيقة أن بروتين *FOXP2* هو نفسه لدى البشر الأصحاء كافة، ولم يتغير منذ أكثر من ١٠٠ ألف سنة، أن كفاءته حساسة للغاية حتى لأبسط تغيير. وأينما تحدّث مثل هذه الطفرات، كما يحدث لدى الأطفال الذين يعانون من اضطرابات في الكلام واللغة، تكون العواقب وخيمة للغاية، لدرجة أن الجينات المصابة لا تنتشر داخل التجمعات البشرية، بل تقتصر على بضع عائلات فحسب؛ وبالتدريج تختفي هذه الجينات، مع وفاة الأفراد المصابين دون إنجاب.

(٢٩) ظهر جدل كبير بين العلماء بشأن إما الشروع في العمل على جينوم الشمبانزي (لأنه أقرب قريب لنا) أو على جينوم قرد المكاك الريسوسي (لأنه نموذج تُجرى عليه الأبحاث عن وظيفة العقل البشري، ولقاحات فيروس العوز المناعي البشري، وما شابه)، وقد انتصر الشمبانزي على المكاك، مجلة نيتشر، العدد ٤١٨: ٩١٠-٩١٢، ٢٠٠٢.

(٣٠) ربما ينتج عن استخدام أسلوب مشابه للمستخدم في التعرف على جين *FOXP2* الحصول على معلومات مثيرة للاهتمام بشأن عقل البشر والشمبانزي؛ فعلى سبيل المثال، يوجد عنصر وراثي قوي في الإصابة بالتوحّد، كما يبدو مرتبطاً بالقدرة الذهنية القاصرة على البشر (انظر، مثلاً، مقال كريستوفر بادوك «القدرة الذهنية والآلية» في كتاب «الطبيعة البشرية والقيم الاجتماعية: دلالات علم النفس التطوري للسياسة العامة»

- (المحررين) تشارلز كراوفورد وكاثرين سالمون، لورنس إرلباوم، ماوا، نيوجيرسي، (٢٠٠٣). وعليه، يجب أن يعود رسم خريطة الجينات التي تكمن وراء حالة التوحّد بالنفع ليس فقط على الطب النفسي العصبي، وإنما على علم الأثنروبولوجيا أيضًا.
- (٣١) يُقصد بهذا فتاة مهقاء، ويُعرف الجين المسئول عن هذا باسم P أو OCA2. انظر ريتشارد إيه شتورم وآخرين «الجينات الصبغية لدى البشر: الاختلاف سطحي فحسب»، مجلة بايو إيسيز، العدد ٢٠: ٧١٢-٧٢١، ١٩٩٨.
- (٣٢) إس إل ويليامز وآخرون «مهارات الفهم لدى القروود ذوي الكفاءة اللغوية والمفتقرة للكفاءة اللغوية»، مجلة اللغة والتواصل، العدد ١٧: ٣٠١-٣١٧، ١٩٩٧.
- (٣٣) انظر موقع [www.koko.org](http://www.koko.org).
- (٣٤) من رواية هيكتور هيو مونرو «توبرموري»، في كتاب «ساكي، رئيس بودلي»، لندن، ١٩٦٣.
- (٣٥) مقال آر إل كان وآخرين «الذي إن إيه الميتوكوندري وتطور الإنسان»، مجلة نييتشر، العدد ٣٢٥: ٣١-٣٦، ١٩٨٧.
- (٣٦) يُعتبر الذي إن إيه الميتوكوندري جزءًا من تكوين تحت خلوي يُسمى الميتوكوندريون. توجد الميتوكوندريا في كل خلية من خلايانا، عدا خلايا الدم الحمراء (وينطبق الأمر نفسه على كل الحيوانات). تلعب الميتوكوندريا دورًا مهمًا للغاية؛ فقدرة كبير من إجمالي عملية التنفس تحدّث بداخلها (انظر الهامش رقم ١٥ في الفصل الثالث). يتمثّل هذا في تحويل الطاقة الموجودة داخل الطعام إلى شكل (ثلاثي فوسفات الأدينوسين) بإمكانه تحريك كافة العمليات التي تتطلّب طاقة داخل أجسامنا، مثل انقباض العضلات (الذي يشمل خفقان القلب وحركة الأمعاء)، وضخ الملح عبر أغشية إحدى الخلايا إلى أغشية خلية أخرى (الأمر الأساسي في نقل كافة النبضات العصبية)، وتصنيع كافة الجزيئات الداخلية، مثل الذي إن إيه والبروتين والكربوهيدرات والدهون. توجد الجينات المسئولة عن تصنيع ثلاثي فوسفات الأدينوسين إلى حدّ كبير داخل الميتوكوندريا.
- (٣٧) في أثناء تلقيح البويضة بحيوان منوي، تُترك الميتوكوندريا — ومن ثم الذي إن إيه الميتوكوندري — الخاص بالحيوان المنوي ولا يدخل إلى البويضة؛ ومن ثم تكون ميتوكوندريا البويضة حديثًا مأخوذة من الأم فقط، ولا يؤخذ شيء منها من الأب؛ ومن ثم يورث الذي إن إيه الميتوكوندري من فرع الإناث فقط.
- (٣٨) علينا تذكّر أن الكروموسومات توجد في شكل زوج؛ أحدهما يُورث من الأم والآخر من الأب. لدى البشر يكون ٢٢ زوجًا من الكروموسومات متشابهة للغاية، لكن في

حالة الزوج الثالث والعشرين، الذي يُسمى كروموسوم الجنس، فإنه يكون متشابهًا لدى الإناث فقط، ويُشار إليه برمز XX، أما الذكور فيكون لديهم كروموسوم X واحد فقط، ويكون الكروموسوم الآخر مختلفًا وأقصر بكثير ويُدعى الكروموسوم Y (انظر شكل ٣-٢).

(٣٩) لكن كما سنرى في الفصل التالي، يبدو أن أحدث توسُّع كبير خارج أفريقيا حدث منذ نحو ١٠٠ ألف سنة، وأتوقَّع أن هذا التوسُّع اشتمل على الإنسان العاقل، وأن بيانات كروموسوم Y المتعلقة بظهور آدم تحتاج إلى مراجعة.