العلم للجميع

المشروع الوطني للترجمة

العلوم الإنسانية

رئيس مجلس الإدارة

الدكتورة لبانة مشوّح

وزيرة الثقافة

المشرف العام

ثائر زين الدين

المدير العام للهيئة العامّة السوريّة للكتاب

رئيس التحرير

د. باسل المسالمة

الإشراف الطباعي

أنس الحسن

تصميم الغلاف

عبد العزيز محمد

العلم للجميع

تأليف : جيمس رذرفورد وأندرو ألغرين

ترجمة: د. باسل المسالمة

منشورات الهيئة العامة السورية للكتاب

وزارة الثقافة - دمشق ٢٠٢٢م

العنوان الأصلي للكتاب:

Science For All Americans

الكاتب: James Rutherford and Andrew Ahlgren

الناشر: New York Oxford, 1990

المترجم: د. باسل المسالمة

الآراء والمواقف الواردة في الكتاب هي آراءُ المؤلِّفِ ومواقِفُهُ ولا تعبِّر **(بالضرورةِ)** عن آراء الهيئة العامة السورية للكتاب ومواقفها.

هذا الإصدار الجديد من كتاب «العلم للجميع» هو تخليدٌ لذكرى مارغريت مكفيكار، التي عملت بجدارة رئيساً مشاركاً للمجلس الوطني لتعليم العلوم والتكنولوجيا التابع للرابطة الأمريكية لتقدُّم العلوم. كما أنّ الكاتب مدينٌ لها بالكثير مثلما نحن مدينون لها جميعاً، فقد حالفنا الحظ حقاً في العمل معها على تحضيره.

تمهيد

إنّ كتاب «العلم للجميع» هو حصيلة ثلاث سنوات من التعاون الذي ضمَّ مئاتٍ عدّة من العلماء وعلماء الرياضيات والمهندسين والفيزيائيين والفلاسفة والمؤرّخين والمعلّمين. ونؤمن بأنه أقرب ما يمكن للوصول إلى التعبير الصحيح لوجهة نظر المجتمع العلمي حول ما يشكّل المعرفة في مجال العلوم والرياضيات والتكنولوجيا. وقد أعربنا عن تقديرنا في موضع الشكر والتقدير، الذي يتضمّن تمهيداً للطبعة الأولى.

ثمة تقرير مرافق لكتاب «العلم للجميع» بعنوان «المعايير الخاصة بمعرفة العلوم». وفي حين أنّ الغرض من كتاب «العلم للجميع» هو تقديم رؤية مقنعة لأهداف التعلُّم القابلة للتحقيق، فإنّ أهداف تقرير «المعايير» هي تحديد المنطقة، التي يجب الوصول إليها لتحقيق تلك الأهداف. ويحقق التقرير ذلك عن طريق تحديد ما يجب أن يعرفه الطلاب وأن يكونوا قادرين على فعله في مجال العلوم والرياضيات والتكنولوجيا على مستويات التعليم المختلفة.

استغرق تطوير تقرير «المعايير» أربع سنوات، وشمل مئات من المعلّمين والعلماء. وفي هذه العملية، أصبح من الواضح أنّ بعض التغييرات يجب إجراؤها في كتاب «العلم للجميع»، ونَجِزَ ذلك بالفعل. ونتيجة لهذا، يختلف هذا الإصدار عن سابقه في النواحي الآتية:

أزلنا بعض الأخطاء وراجعنا بعض الجمل لزيادة التوضيح. ولم ينتج عن هذا تغييرٌ كبيرٌ بأيّ حال من الأحوال في التوصيات المطروحة.

دُمِـجَت بعض الأقسام أو نُقِلَت أو أُعيدت تسميتها لتطابق تلك الموجودة في تقرير «المعايير». وستكون معظم هذه التغييرات واضحة تماماً.

وقد حدّثنا «قسم المراجع المختارة» من خلال إدراج التقارير البارزة، التي ظهرت بعد نشر الطبعة الأولى من كتاب «العلم للجميع» في عام ١٩٨٩.

لاحظْ أنّ الفصل الأخير لم يتغيّر فعلياً، وقد اتخذنا بعض الخطوات التي دعا إليها، فأحرزنا بعض التقدّم، لكن ما لم يتم فعله لا يزال في حاجة إلى فعله.

وسرعان ما سيتبع كتابي «العلم للجميع» وتقرير «المعايير» كتاب «مخططات من أجل الإصلاح»، وكتاب «تصميمات للمعرفة العلمية» للمساعدة في توجيه جهود الإصلاح المحلية والوطنية.

جيمس روثرفورد

مدير مشروع ٢٠٦١

الرابطة الأمريكية لتقدّم العلوم

مُقَدِّمَة

يتناول كتاب «العلم للجميع» موضوع معرفة العلوم، ويتألّف من مجموعة من التوصيات حول ما يُعَدُّ جوهرياً للمواطنين جميعاً لفهم طرق التفكير في عالـم شكّلته العلوم والتكنولوجيا. نناقش بإيجاز أدناه كيف توصّلنا إلى هذه النقاط، ثم نصفُ طبيعتها وتنظيمها، لكننا نبحث أولاً في مسألة الحاجة إلى مثل هذه التوصيات.

الحاجة إلى معرفة العلوم

ليس للتعليم هدفٌ أسمى من إعداد الناس لقيادة حياة مسؤولة ومُرضية لهم. فمن جانبه، تعليم العلم، الذي يعني التعليم في مجال العلوم والرياضيات والتكنولوجيا، يجب أن يساعد الطلاب على تطوير المفاهيم وعادات العقل التي يحتاجون إليها ليصبحوا بشراً متعاطفين وقادرين على التفكير ومواجهة الحياة والمضي قُدُماً. ويجب أن يجهزهم أيضاً ليشاركوا بعناية المواطنين الآخرين في بناء مجتمع منفتح ولائق وحيوي وحمايته. إنّ مستقبل أمريكا - وقدرتها على خلق مجتمع عادل حقاً يحافظ على حيويته الاقتصادية، ويبقى آمناً في عالـم مزّقته الأعمال العدائية - يعتمد أكثر من أيّ وقت مضى على مسألة التعليم وجودته، الذي توفره الأمة لجميع أبنائها.

بَيْدَ أنَّ ثمة ما هو جوهري أكثر من تحقيق الذات الفردية والمصلحة الوطنية المباشرة للولايات المتحدة، فأكثر المشكلات خطورة هي تلك التي

يواجهها البشر الآن عالمياً: النمو السكاني غير المسيطر عليه في أجزاء كثيرة من العالـم، والأمطار الحمضية، وتقلُّص الغابات الاستوائية المطيرة وغيرها من المصادر المهمة لتنوّع الأنواع، وتلوث البيئة، والمرض، والصراع الاجتماعي، والتطرّف في عدم المساواة في توزيع ثروات الأرض، والاستثمار الضَّخْم للفكر البشري والموارد النادرة في التحضير من أجل الحروب وتنفيذها، والظل المشؤوم للمظالم التي أصابت البشر، وتطول القائمة.

يعتمد ما يخبئه المستقبل للأفراد والأمة والعالـم إلى حدٍّ كبير على الحكمة، التي يستخدمها البشر في مجالي العلوم والتكنولوجيا. وهذا يعتمد على طابع التعليم الذي يتلقاه الناس وعلى توزيعه وفعاليته. وباختصار، فإنّ حجة المجلس الوطني هي الآتي:

إذا تابعنا العلم بقوة ونشاط، فيمكن له أن يزوّد البشرية بمعرفة البيئة الفيزيائية الحيوية والسلوك الاجتماعي اللازم لتطوير حلول فعّالة لمشكلاته العالمية والمحلية؛ ودون هذه المعرفة، فإنّ التقدّم نحو عالـم آمن سيكون مكبّلاً دون داعٍ أو ضرورة.

من خلال الشرح وتأكيد اعتماد الكائنات الحية بعضها على بعضٍ وعلى البيئة المادية، يعزّز العلم نوعاً من الاحترام الجاد للطبيعة، الذي يجب أن يغني القرارات المتعلّقة باستخدامات التكنولوجيا. ودون هذا الاحترام، فإننا نخاطر على نحو متهور بتدمير النظام الذي يدعم حياتنا.

يمكن أن تساعد عاداتُ العقل العلمية الناس في كل منحى من مناحي الحياة بغية التعامل بحكمة مع المشكلات التي تتضمن في معظم الأحيان أدلةً واعتبارات كمّية، وحججاً منطقية، وعدم يقين. ودون القدرة

على التفكير على نحو نقدي ومستقل، فإنّ الناس سيقعون فريسةً سهلة في براثن الدوغمائيين والفنانين المخادعين ومقدّمي الحلول البسيطة لمشكلات معقدة.

إنّ المبادئ التكنولوجية المتعلّقة بموضوعات مثل طبيعة الأنظمة وأهمية التغذية الراجعة والمراقبة، والعلاقة الخطرة بين التكلفة والفائدة، وحتمية الآثار الجانبية تمنح الناس أساساً سليماً لتقييم استخدام التقنيات الجديدة وتداعياتها على البيئة والثقافة، ودون فهم هذه المبادئ، من غير المرجّح أن يتجاوز الناس النظر في مصلحتهم الذاتية المباشرة.

وعلى الرغم من وجود أصول تكنولوجية لمشكلات ملحّة كثيرة عالمية ومحلية، توفّر التكنولوجيا الأدوات اللازمة للتعامل مع مثل هذه المشكلات، وأدوات توليد معرفة جديدة حاسمة من خلال العلم. ودون التطوّر المستمر والاستخدام الإبداعي للتكنولوجيات الجديدة، قد يحدُّ المجتمع من قدرته على البقاء والعمل نحو عالـم تكون فيه الكائنات البشرية في سلام مع نفسها ومع بيئتها.

إنّ إمكانات العلم والتكنولوجيا المعززة للحياة لا يمكن أن تتحقق ما لم يفهم الجمهور بوجه عام العلوم والرياضيات والتكنولوجيا، واكتساب العادات العلمية للعقل. ودون وجود مجتمع متعلّم علمياً، فلن تكون النظرة المستقبلية نحو عالم أفضل واعدة.

ليس معظم الأمريكيين ملمّين بالعلم. وما على المرء إلا أن ينظر إلى الدراسات الدولية للأداء التعليمي ليرى أنّ طلّاب الولايات المتحدة يحتلون مرتبةً متدنية جداً في مجال العلوم والرياضيات، ولا يكاد يتوقع المرء

ذلك لو كانت المدارس تؤدي عملها على النحو الأمثل. وقد ذكرت أحدث الدراسات الدولية في مجال الرياضيات، على سبيل المثال، أنّ طلاب الولايات المتحدة أقل بكثير من المستوى الدولي في حل المشكلات، وقد وجدت آخر دراسة عن "التقييم الوطني للتقدّم التربوي" أنه على الرغم من تحقيق بعض المكاسب مؤخّراً، فإنّ متوسط أداء الأطفال البالغين من العمر ١٧ عاماً في عام ١٩٨٦ بقي أقل بكثير مما كانوا عليه في عام ١٩٦٩.

يجب أن تكون الولايات المتحدة قادرة على القيام بعمل أفضل. فهي، على أيّ حال، أمةٌ مزدهرة تدّعي بأنها تقدّر تعليم عامّة الناس بوصفه أساس الديمقراطية. وقد راهنت برفاه مستقبلها على كفاءة التعليم - حتى قيادته - في مجالي العلوم والتكنولوجيا. لذا، من المعقول بالتأكيد توقع ظهور هذا الالتزام في شكل نظام مدرسي حديث ومدعوم جيداً، ويعمل به عددٌ كبير من المعلّمين والإداريين المؤهلين. وبالتأكيد فإنّ المنهج في مثل هذه المدارس يجب أن يحتوي على العلوم والرياضيات والتكنولوجيا للطلاب كلّهم. غير أنّ الوضع القائم، في واقع الأمر، في كثير من الولايات ومقاطعات المدارس مختلفٌ تماماً:

قلّة من المعلّمين في المدارس الابتدائية لديهم تعليم بدائي حتى في العلوم والرياضيات، وكثيرٌ من مدرّسي العلوم والرياضيات المبتدئين والأعلى مقاماً في المدارس الثانوية لا يستوفون معايير معقولة تتعلّق بالتحضير في تلك المجالات. ولسوء الحظ، تغاضت مؤسسات إعداد المعلّمين، والهيئات العامة التي ترخّص لهم، والمدارس التي توظّفهم وتكلّفهم مهامَّهم، حتى مهنة التدريس نفسها عن مثل هذه النواقص مدّةً طويلة.

يتحمّل مدرّسو العلوم والرياضيات أعباءً تدريسية ضخمة تجعل من المستحيل عليهم تقريباً أن يؤدوا عملهم على النحو الأمثل، مهما كان تحضيرهم للعمل ممتازاً. وهذا العبء يزداد سوءاً بسبب الغياب شبه الكامل لنظام الدعم الحديث الذي يؤازرهم. وحالما يقترب العالـمُ من القرن الواحد والعشرين، فإنّ مدارس أمريكا - حين يتعلّق الأمر بتعبئة الأشخاص والوقت والتكنولوجيا - تبدو أنها لا تزال عالقةً في القرن التاسع عشر.

إنّ الكتب المدرسية الحالية التي تُعنى بالعلم وطرائق التدريس، وإنْ كانت بعيدةً حتى الآن عن مساعدة الطلاب، تعيق التقدّم في معظم الأحيان نحو معرفة العلوم، فهي تؤكد تعلُّم الإجابات أكثر من استكشاف الأسئلة، وتراهن على الذاكرة على حساب التفكير النقدي، وتركز على أجزاء ونبذات من المعلومات بدلاً من فهم السياق، وتفضّلُ السردَ على الجدل، والقراءةَ على العمل، فتخفقُ في تشجيع الطلاب على العمل معاً، ومشاركة الأفكار والمعلومات بين بعضهم بعضاً بحرية، أو استخدام الأدوات الحديثة لتوسيع نطاق قدراتها الفكرية.

إنّ المناهج الحالية التي تتناول العلوم والرياضيات تفيض بالمعلومات وينقصها التحديث والتطوير. فعلى مرّ العقود، أصبحت هذه المناهج بلا قيود، الأمر الذي أربك المعلّمين والطلّاب، وجعل الأمر صعباً عليهم لتتبع ما إذا كانت العلوم والرياضيات والتكنولوجيا ضرورية حقاً. بعضُ الموضوعات تُدرَّس مرةً تلو أخرى بتفاصيل لا داعي لها، وبعضُها الآخر، الذي له القدر نفسه من الأهمية أو أهمية أكبر بالنسبة إلى معرفة العلوم،

كالعلوم الفيزيائية والاجتماعية والتكنولوجيا، غائبٌ عن المنهج الدراسي أو مخصصٌ من أجل عدد قليل من الطلاب.

سيتطلّب تغيير هذا الوضع تصميماً ومواردَ وقيادةً ووقتاً، فقد تغيّر العالـمُ بطريقة جعلت معرفة العلوم ضروريةً لكل فرد، وليست فقط لقلة مميزة؛ يجب أن يتغيّر تعليم العلوم ليجعل ذلك ممكناً. نحن جميعاً مسؤولون عن الوضع الحالي المؤسف في التعليم، وسيتطلّب منا جميعاً إصلاحه. لذا، يأمل مشروع ٢٠٦١[1] أن يسهم في هذا الجهد الوطني.

التوصيات

إحدى المسلّمات الأساسية لمشروع ٢٠٦١ هي أنّ المدارس ليست في حاجة إلى أن يُطلب منها تدريس المزيد من المحتوى التعليمي، بل التركيز على ما هو ضروري لمعرفة العلوم وتدريسه على نحو فعّال أكثر. وبناءً على ذلك، فإنّ توصيات المجلس الوطني حول جوهر التعلُّم المشترك تقتصر على الأفكار والمهارات التي تمتلك أهمية علمية وتعليمية أكبر لمعرفة العلوم.

يستند كتاب «العلم للجميع» إلى الاعتقاد بأنّ الشخص المثقف علمياً هو الشخص الذي يدرك أنّ العلوم والرياضيات والتكنولوجيا هي مشاريع بشرية مترابطة لها نقاط قوة وقيود، ويفهم المفاهيم والمبادئ الأساسية

---

(١) بدأت الجمعية الأمريكية لتقدّم العلوم العمل على مشروع ٢٠٦١ منذ عام ١٩٨٥، وبذلت جهداً طويل الأمد لتحسين العلوم والرياضيات والتكنولوجيا في القرن الواحد والعشرين وفي تلك السنة نفسها كان مذنّب هالي يمرّ قريباً من الأرض. يرى منظّمو المشروع أنّ الطفل الذي يدخل المدرسة في عام ١٩٨٥ سوف يشهد كل التغييرات العلمية والتقنية في حياتهم قبل عودة المذنّب في ٢٠٦١ ومن هنا جاء اسم المشروع. **(المترجم)**.

للعلوم، ويكون على دراية بالعالم الطبيعي، ويدرك تنوّعه ووحدته على حد سواء، ويستخدم معرفة العلوم وطرائق التفكير العلمية لأغراض اجتماعية وفردية. تُعرَض التوصيات في اثني عشر فصلاً، ويغطي موضوع كل فصل أربع فئات رئيسة:

- يتناول الفصل الأول حتى الثالث طبيعة العلم والرياضيات والتكنولوجيا - إذ نطلق عليها مجتمعةً المسعى العلمي - بوصفها مشاريع بشرية.
- يغطي الفصل الرابع حتى التاسع المعرفة الأساسية بالعالـم كما نراه حالياً من منظور العلم والرياضيات والتكنولوجيا.
- يقدّم الفصلان العاشر والحادي عشر ما يجب أن يفهمه الناس حول بعض الوقائع العظيمة في تاريخ مساعي العلم، وحول بعض الموضوعات الشاملة، التي يمكن أن تخدم بوصفها أدوات للتفكير في كيفية عمل العالـم.
- يوضّح الفصل الثاني عشر عادات العقل، التي تُعَدُّ جوهرية لمعرفة العلوم.

ولدى النظر في هذه التوصيات، من المهم أن نضع في الحسبان بعض المزايا الخاصة للتقرير:

تعكس التوصيات تعريفاً واسعاً لمعرفة العلوم

إنّ لمعرفة العلوم، التي تشمل الرياضيات والتكنولوجيا فضلاً عن العلوم الطبيعية والاجتماعية، جوانب عدّة. وتشمل هذه الجوانب على

تعرُّف العالم الطبيعي واحترام وحدته، وأن يكون المرء على دراية ببعض الطرق المهمة، التي تعتمد من خلالها الرياضيات والتكنولوجيا والعلوم بعضها على بعض. وتشمل كذلك على فهم بعض المفاهيم والمبادئ الأساسية للعلم، وامتلاك القدرة على تطبيق طرق التفكير العلمية، ومعرفة أنّ العلم والرياضيات والتكنولوجيا مشاريع بشرية، ومعرفة ما يعنيه ذلك فيما يتعلّق بنقاط قوتها وقيودها، والقدرة على استخدام معرفة العلم وطرق التفكير لأغراض شخصية واجتماعية.

تناول التقرير بعض هذه الجوانب من معرفة العلوم فقط في أماكن محددة منه، في حين تغدو جوانب أخرى منسوجة في متن الفصول. لذا، من الضروري أن يُنظَر إلى التوصيات في مجملها على أنها مناقشةٌ متعددة الوجوه لمعرفة العلوم.

تنطبق التوصيات الواردة في هذا التقرير على الطلاب كلّهم

تؤلِّف مجموعة التوصيات جوهراً مشتركاً من التعلُّم في العلوم والرياضيات والتكنولوجيا بالنسبة إلى الشبّان كلّهم، بغض النظر عن ظروفهم الاجتماعية وتطلّعاتهم المهنية. وتتعلّق التوصيات بوجه خاص بتلك التي تم تجاوزها في الماضي إلى حدٍّ كبير في تعليم العلوم والرياضيات، وهذه التوصيات تتعلق بالفتيات والأقليات العرقية واللغوية. لا تشمل التوصيات كل موضوع مثير للاهتمام تم اقتراحه، ولا تشتق من تمييع المنهج الدراسي التحضيري للكلية التقليدية. ومع ذلك، فإنّ التوصيات طموحة عمداً؛ لأنّ التقليل من شأن ما يمكن أن يتعلّمه الطلاب سيكون أسوأ بكثير مما نتوقعه. وفي ضوء الأهداف الواضحة والموارد الصحيحة والتعليم

المفيد طوال ثلاثة عشر عاماً في المدرسة نجدُ المجلس الوطني مقتنعاً بأنّ الطلاب بشكل أساسي (وهذا يعني عملياً تسعين في المئة أو أكثر) سيتمكّنون من تحقيق أهداف التعلُّم الموصى بها كلّها (ما يعني تسعين في المئة على الأقل) بحلول وقت تخرّجهم من المدرسة الثانوية.

وفي الوقت نفسه، على أيّ حال، يجب ألا نُقيّد الطالب بجوهر التعلُّم المشترك الذي يُطرَح في هذا التقرير. واستجابةً للاهتمامات والمهارات الخاصة، سيرغب بعض الطلاب في اكتساب الفهم المتطوّر للموضوعات أكثر مما هو مقترح هنا، وسيرغب البعض الآخر في متابعة موضوعات غير مُدرَجة هنا على الإطلاق. وإذا كان منهجٌ ما مصمَّماً على نحو جيد، فإنه سيكون قادراً على خدمة تلك الاحتياجات الخاصة دون التضحية بالالتزام بجوهر مشترك للتعلُّم في العلوم والرياضيات والتكنولوجيا.

تم اختيار التوصيات على أساس الأهمية العلمية والإنسانية

ليست المدارس في حاجة إلى أن يُطلَب منها أن تدرِّس مزيداً من المحتوى، بل أن تدرِّس كمية أقل من أجل الحصول على تعليم أفضل. وبالتركيز على موضوعات أقل، يمكن للمدرّسين تقديم الأفكار بصورة تدريجية في مجموعة متنوعة من السياقات، وتعزيزها وتوسيع نطاقها مع نضج الطلاب. وسيحصل الطلاب في نهاية المطاف على رؤى أكثر ثراءً وفهم أعمق مما يأملون الاستفادة من التعرّض السطحي لموضوعات كثيرة لا يمكنهم استيعابها. وهكذا، فإنّ مشكلة مطوّري المناهج تتعلّق بما يجب إضافته أكثر مما يجب إزالته.

وهكذا، إذا قلبنا تراكم المواد على مدى عشرات السنين فإنّ هذا هو هدف أساسي من أهداف مشروع ٢٠٦١، لكنّ تحقيق هذا الهدف يعني إعطاء الخيارات. تُعَدُّ معايير تحديد جوهر التعلّم المشترك في العلوم والرياضيات والتكنولوجيا معايير علمية وتعليمية على حدٍّ سواء. أُوْلِيَ الاهتمام أولاً بالأفكار، التي بدت ذات أهمية علمية استثنائية؛ لأنّ ثمة كثيراً من المعرفة ليكتسبها أيّ شخص في حياته، ناهيك عن مدة تتألّف من ثلاثة عشر عاماً. وهذا يعني تفضيل المحتوى الذي كان له تأثير كبير فيما يستحق معرفته الآن، ولا يزال يستحق معرفته، بعد عقود من الآن، واستبعاد الموضوعات ذات الاهتمام الفني العابر فقط، أو ذات النطاق العلمي محدود الأهمية. وبوجه خاص، اختيرت المفاهيم التي يمكن أن تكون بمنزلة أساس دائم لبناء مزيد من المعرفة على مدى العمر، ثم يجب أن تلبّي الاختيارات معاييرَ مهمة تتعلّق بحياة البشر والأهداف العامة، التي تبرّر تعليم عامّة الناس في مجتمع حر. كانت المعايير هي الآتي:

المنفعة: هل سيعزّز المحتوى المقترح، سواء كان معرفةً أم مهارات، بشكل كبير آفاق فرص العمل طويلة الأجل للخريجين؟ هل سيكون مفيداً في اتخاذ قرارات شخصية؟

المسؤولية الاجتماعية: هل من المحتمل أن يساعد المحتوى المقترح المواطنين للمشاركة بذكاء في اتخاذ القرارات الاجتماعية والسياسية بشأن المسائل المتعلّقة بالعلوم والتكنولوجيا؟

القيمة الجوهرية للمعرفة: هل يقدّم المحتوى المقترح جوانب العلوم والرياضيات والتكنولوجيا، التي تُعَدُّ مهمة في تاريخ البشر، أو التي تكون

منتشرة على نطاق واسع في ثقافتنا إلى درجة أنّ التعليم العام لن يكون مكتملاً من دون هذه الجوانب؟

القيمة الفلسفية: هل يسهم المحتوى المقترح في قدرة الناس على التأمل في الأسئلة الدائمة التي تتناول المعنى الإنساني مثل الحياة والموت، والإدراك والواقع، وما هو خير للفرد مقابل الرفاه الجماعي واليقين والشك؟

إثراء الطفولة: هل سيعزز المحتوى المقترح الطفولة (وهو وقت مهم في الحياة في حدِّ ذاته وليس فقط لما قد يؤدي إليه لاحقاً)؟

ليست التوصيات كلّها جديدة ولا يُقصَد بها أن تكون ثابتة لكل الأوقات

ولدى صياغة التوصيات، لم تُبذل أيّ محاولة للبحث إما عن الإبداع أو تجنّبه. كانت المهمة تحديد جوهر الحد الأدنى من المهارات والفهم النقدي، سواء كانت جزءاً من المناهج الدراسية الحالية أم لا. لا تشكّل هذه التوصيات النصائح الممكنة فحسب، وفي الواقع كانت ثمة اختلافات بين المشاركين في هذا المشروع الذي يتناول موضوعات مختلفة. غير أنّ المجلس الوطني لا يعتقد أنّ التوصيات منطقية، وأنها تقدّم أساساً سليماً لتصميم المناهج الدراسية في العلوم والرياضيات والتكنولوجيا.

بَيْدَ أنَّ العلوم والرياضيات والتكنولوجيا في حالة تغيّر مستمرة، إذ تتمسك ببعض الأفكار والطرق للقيام بالأشياء أو إعادة تشكيلها أو نبذ بعضها أو إضافة بعض منها. وسرعان ما سيأتي الوقت حتماً في بعض المجالات أكثر من غيرها، حين تحتاج التوصيات إلى مراجعة لاستيعاب المعرفة

الجديدة. وعلاوةً على ذلك، حين يعمل المعلّمون والعلماء معاً في المرحلة الثانية من مشروع ٢٠٦١ لتصميم المناهج الدراسية بناءً على هذا التقرير، فمن المحتمل أن يصلوا إلى استنتاجاتهم الخاصة حول ملاءمة هذه التوصيات واقتراح التغييرات. وعلى أيّ حال، لا تُقدَّم التوصيات لإنشاء مُعتقَد تقليدي جديد غير قابل للتغيير، وإنما لتوفير مصدر موثوق به لتطوّر المرحلة الثانية، ولإثارة نقاش حيوي حول مسألة محتوى التعليم، وتحفيز إعادة تشكيل المناهج الدراسية.

هذا التقرير ليس وثيقة حول منهج دراسي أو كتاب مدرسي

لا ينبغي للقارئ أن يتوقع أن يجد توصيات في هذا التقرير عما يجب تدريسه في أيّ مقرر معين أو في أيّ صف من الصفوف الدراسية. يتناول التقرير فقط أهداف التعلُّم - أيّ ما يجب على الطلاب تذكره وفهمه، وما يكونون قادرين على فعله بعد تركهم المدرسة بوصفه بقايا تجربتهم المدرسية الإجمالية - ولا يتناول كيفية تنظيم المنهج الدراسي لتحقيق هذه الأهداف. ولا يُقصَد أيضاً من تقديم التوصيات إرشاد القارئ كما يفعل نصٌّ ما. فليس ثمة عرضٌ خطي للموضوعات يمكن أن يمثّل على نحو مُرضٍ ترابطَ الأفكار والخبرات، التي ستكون ضرورية في المناهج الدراسية الفعلية أو الكتاب المدرسي.

تهدف التوصيات إلى نقل مستويات فهم مناسب للناس كلّهم

بالنسبة إلى معظم الأغراض التعليمية، فإنّ التعميمات العامة (مثل "يجب أن يعرف الجميع كيف يرتبط العلم بالتكنولوجيا") لا تفيدنا أكثر من القوائم الطويلة لموضوعات معينة (كالذرّات والخلايا والكواكب

والرسوم البيانية، وما إلى ذلك). لا يكشف أيّ من النهجين ما يجب تعلّمه، وكلاهما يتطلّب من القارئ تخمين مستوى التطوّر المقصود. وهكذا، صاغ المؤلِّف التوصيات المحددة الواردة في هذا التقرير بتفاصيل كافية لنقل مستويات الفهم وسياقات الفهم المقصودة، فصاغ التوصيات على أربعة مستويات من التعميم:

الفصول: يتناول كل فصل مجموعة رئيسة من الموضوعات ذات الصلة. وترسم عناوين الفصول مجتمعةً إطارَ عمل مفاهيمي لفهم العلم الذي يمكن للناس استخدامه طوال حياتهم حين يكتسبون معرفة جديدة عن العالم.

العناوين: ثمة عناوين ضمن كل فصل مثل: «القوى التي تشكّل الأرض أو ترابط الحياة». تحدد هذه العناوين الفئات المفاهيمية التي يجب أن يكون الطلاب كلّهم على دراية بها. وستوفر قائمة بالعناوين كلّها إجابةً تقريبية عن سؤال يتعلّق بنطاق التوصيات المحددة وليس بمحتواها.

الفقرات: توجد تحت كل عنوان فقرات تعبّر عن المعارف والرؤى والمهارات المتبقية، التي يجب أن يمتلكها الأشخاص بعد أن تلاشت التفاصيل من الذاكرة. وإذا أُجريت مقابلات مع خريجي المرحلة الثانوية حول موضوع ما - معالجة المعلومات، على سبيل المثال - فيجب عليهم أن يكونوا قادرين على ابتكار الأفكار بكلماتهم الخاصة، التي وُصِفَت في الفقرات تحت هذا العنوان.

المفردات: تهدف لغة التوصيات إلى نقل مستوى التعلّم الذي تدعو إليه. والتوصيات مكتوبة للكبار المتعلّمين اليوم وليس للطلاب - لكنّ المفردات التقنية تقتصر على ما يرغبه الطلاب كلّهم وما يحتاجون إلى السيطرة عليه كحد أدنى بحلول الوقت الذي ينتهون فيه من المدرسة. ينبغي النظر

إلى هذه المفردات على أنها نتاج تعليم سليم في العلوم والرياضيات والتكنولوجيا، لكنّ هذا ليس غرضها الأساسي.

وباختصار، فإنّ التوصيات - بدرجات مختلفة من الخصوصية - متضمّنة في العناوين والنص والمفردات الخاصة بالفصول الاثني عشر الآتية. ومع ذلك، لا توجد طريقة، في وثيقة قصيرة جداً كهذه، لنقل جودة المعرفة المتوخاة عبر نطاق الموضوعات الكامل. هذه الخاصية، أو الطريقة التي يُعرف بها شيء ما، تعتمد إلى حدٍّ كبير على كيفية تعلّمه. وفي هذا الصدد، فإنّ مناقشة التعلّم والتعليم في الجزء الثالث توفّر منظوراً لفهم طبيعة التوصيات نفسها.

مصدر التوصيات

ليست التوصيات الواردة في هذا الكتاب توصيات شخص واحد، ولا هي توصيات صادرة عن لجنة، بل برزت من عملية طويلة تهدف إلى تحديد رؤى الفرد الجريئة والمواجهة الحاسمة للمجموعة. وباختصار، كانت الخطوات على النحو الآتي:

كانت اللجان العلمية التي عيّنتها «الرابطة الأمريكية لتقدّم العلوم» مهتمّة بالتوصّل إلى توصيات في خمسة مجالات: العلوم البيولوجية والصحية، والرياضيات، والعلوم الفيزيائية والمعلوماتية والهندسة، والعلوم الاجتماعية والسلوكية، والتكنولوجيا. اجتمعت كل لجنة على نحو متكرر على مدار عامين، وغالباً ما كانت تدعو مستشارين لعرض الأفكار والمشاركة في مناقشة اقتراحات معينة كان يطرحها عضو أو أكثر من أعضاء اللجنة.

ولاعتماد الأفكار، كان على أعضاء اللجنة الدفاع عن مقترحاتهم من حيث الأهمية العلمية والتعليمية. ومع نمو العدد الذي نجا من هذا الاختبار الحاسم، أُضيف شرط آخر: ما الذي يجب حذفه من القائمة لإفساح المجال للمرشح الجديد؟ أُتيحت للجنة، من وقت إلى آخر، فرصة لدراسة التوصيات المؤقتة من بعضهم لبعضٍ وانتقادها. وفي ختام مداولاتها، قدّمت كل لجنة تقريراً «للمجلس الوطني للعلوم والتعليم التكنولوجي» يلخّص استنتاجاتها، ثم قامت «الرابطة الأمريكية لتقدّم العلوم» بنشر هذه التقارير.

تُعيِّنُ «الرابطة الأمريكية لتقدّم العلوم» المجلس الوطني أيضاً، ومسؤوليتها هي توفير مراقبة الجودة وتقديم التوجيه لكل اللجان ولموظفي المشروع. (هذا التعهد هو جزء من مشروع أكبر يسمى المشروع ٢٠٦١: التعليم من أجل مستقبل متغيّر، الذي يُوصَف بإيجاز في الفصل الخامس عشر). التقى طاقم العمل، ويضم في المقام الأول رذرفورد وألغرين، اللجانَ على نحو منتظم، وتولّيا من خلال الاتفاق المتبادل مسؤولية تقديم نسخة مسودة تغطي المنطقة المشتركة بين اللجان كلّها، مثل طبيعة المسعى العلمي والتاريخ والموضوعات الشاملة. قدّم أعضاءُ اللجنة أفكاراً وانتقدوا المسودات المتتالية.

ومن ثَمَّ تعهّد الموظّفون، بمساعدة كثير من الخبراء، بإعداد تقرير واحد مقنع بالاعتماد على تقارير اللجنة وعملها الخاص، وليس مجرّد جمعها، فكتبوا المسودات وقدّموها للمجلس الوطني وناقشوها، ثم أعادوا كتابتها. ولـمّا اقتنع المجلس الوطني بالمشروع أخيراً، راجع مئةٌ وثلاثون شخصاً ممن كانوا على درجة عالية من الكفاءة هذا المشروع بالتفصيل، ودرسوا تعليقاتهم، وأعدّوا المسودة النهائية. أوصى المجلس الوطني بالعلم لجميع الأمريكيين، كما عُرِفَ العنوان أخيراً لمجلس إدارة الرابطة الأمريكية لتقدّم العلوم.

قرأ أعضاء مجلس الإدارة الوثيقة بتمامها، واستمعوا إلى الحجج المؤيدة له، التي ناقشها الرؤساء المشاركون في المجلس الوطني، وناقشوها على نحو مطوّل، ثم صوّتوا بالإجماع على منح الإذن بنشر هذه الوثيقة.

لذا، يمثّل كتاب «العلم للجميع» التفكير المستنير لمجتمعات العلوم والرياضيات والتكنولوجيا تقريباً مثل هذا الشيء الذي يمكن التأكد منه. إنه إجماع بالتأكيد، لكنه ليس نوعاً سطحياً من النوع الذي ينتج عن دراسة استقصائية أو مؤتمر، على سبيل المثال. فلا يمكن القول إنّ العملية أدّت إلى المجموعة المعقولة الوحيدة من التوصيات بشأن التعليم في العلوم والرياضيات والتكنولوجيا للأطفال كلّهم، لكنها أسفرت بالتأكيد عن التوصيات التي يمكننا أن نثق بها. إنها رؤية طموحة، لكنها قابلة للتحقيق وتؤكِّد المعانيَ والسياقات بدلاً من أجزاء متفرّقة من المعلومات، وتفضّل جودة الفهم على كمية التغطية. أليس هذا بالضبط نوع التعليم الذي يجب أن نرغب فيه لكل الأمريكيين؟

بين أشجار الكينا،
أوراقٌ خضر ترقص في رياح الخريف،
مُراقِبُ البشرية البارد الشاحب
يأخذُ مسارَهُ القديم مرة أخرى.

ويمرُّ بسرعة قرب الثور الغاضب،
والأسماك النجمية وجرّة الماء،
ويتحدّى لهبَ الشمس الحارق،
وقوسَ رامي السهام،

ولسعةَ العقرب،

وغضبَ كائن القنطور الخرافي،

والتفافَ الهيدرا القاتل

لكنه يختفي بعد ذلك.

لا تسأل عن هارولد[١] الذي أتى من هيستنغز،

فأنتَ تعلمُ أنه ليس هنا.

ولا تسأل عن أتيلا[٢]، الذي هُزِمَ في شالونز،

ولا عن إدموند[٣]، سيّد قواعد إسحاق[٤].

ولا تسأل عن جيوتو[٥] ومتعصبي القدس[٦].

---

(١) هارولد جودوينسون **(١٠٢٢-١٠٦٦)** آخر ملك أنجلوسكسوني يحكم إنكلترا، وهيستنغز هي مدينة تقع جنوب إنكلترا. **(المترجم).**

(٢) أتيلا ملك عاش بين عامي **(٣٩٥-٤٥٣)** كان آخر حكام الهون وأقواهم. أسس في إقليم روسيا وأوروبا إمبراطورية كبيرة الاتساع. **(المترجم).**

(٣) إدموند هالي **(١٦٥٦-١٧٤٢):** عالم فلك ورياضيات وفيزياء وأرصاد جوية إنكليزي، وهو من ضبط وحدد مسار مذنّب هالي. **(المترجم).**

(٤) إسحاق نيوتن **(١٦٤٢-١٧٢٧):** عالم إنكليزي يُعَدُّ من أبرز العلماء إسهاماً في الفيزياء والرياضيات عبر العصور وأحد رموز الثورة العلمية. **(المترجم).**

(٥) جيوتو دي بوندوني **(١٢٦٦-١٣٣٧):** رسام ومهندس معماري إيطالي. يُعَدُّ عموماً من كبار الفنانين الذين أسهموا في النهضة الإيطالية. **(المترجم).**

(٦) متعصبو القدس أو الزيلوت: طائفة **يهودية** نشأت في **القرن الأول** عُرفت بمقاومتها وتعصّبها الشديد للتبعية **الرومانية**، ودعا الزيلوت إلى الثورة المسلحة وتحرير يهودا نهائياً من الحكم الروماني. **(المترجم).**

لا بُدَّ أن تكون قد رأيتَ

السفنَ التي نهضت لتُلقي عليك التحية.

في المرة القادمة ثمة مزيدٌ منها.

بل إنّ هذه السفن ستتسلّق رأسكَ الضعيف المنهك

وتركبكَ في ليلة نبتون!

أجل، ما زلنا جريئين.

وعلى الرغم من أننا نتعلّم الآن مرة أخرى

الرسالة التي تحملها أيها المذنّب،

أنها تُردد أصداءَ وشمك القاتم،

وهي أكثر الإيقاعات الجدية لعرقنا،

ومع ذلك، فإننا ننتظرُ بأمل عودتكَ المؤكدة.

- جورج دبليو ويذريل

كتب جورج دبليو ويذريل، مدير معهد كارنيجي التابع لقسم الأراضي المغناطيسية في واشنطن، الأبيات المذكورة أعلاه لـمّا كان في لاسيرينا، تشيلي، في نيسان ١٩٨٦ لمراقبة المذنّب هالي. صورة المذنّب بعدسة آلان دريسير، من مرصد لاس كارنباناس، تشيلي، في آذار ١٩٨٦.

مقدّمة للطبعة الأولى من كتاب

«العلم للجميع»

حين استذكر «جيمس براينت كونانت» (James Bryant Conant) الكلام المتبادل بين أليس وقطة شيشير في كتاب «أليس في بلاد العجائب» وحين تأمّل في التعليم، قال ذات مرة إنه إذا كنت لا تعرف إلى أين تريد أن تذهب، فإنّ أيّ خارطة ستدلّك على الطريق. وبالنيابة عن مجلس إدارة الرابطة الأمريكية لتقدّم العلوم، أودُّ أن أُعرب عن امتناننا لاستعداد المجلس الوطني لتعليم العلوم والتكنولوجيا لأداء المهمة الصعبة للغاية المتمثلة في مساعدة الأمة أن تقرّر أين تريد أن تذهب في مجال تعليم العلوم والرياضيات والتكنولوجيا. لـم يقترب المجلس الوطني (تحت قيادة نشطة ومستنيرة ومدروسة لوليام بيكر ومارغريت ماكفيكار) من مهمته بحيوية وتفانٍ، بل أنتج ما نعتقد أنه تقرير تاريخي. وقدّم المجلس الوطني التقرير إلى مجلس إدارة الرابطة الأمريكية لتقدّم العلوم بوصفها تتويجاً لدراسة استمرّت ثلاث سنوات وشملت المئات من العلماء والمهندسين والمعلّمين. وبعد دراسة متأنية، وافق المجلس عليه بالإجماع.

يودُّ مجلس الإدارة أن يتقدّم بالشكر الخاص للمركز بسبب الدور الذي أدّاه أعضاء المشروع الخمسة ٢٠٦١ للمرحلة العلمية الأولى. (انظر الشكر والتقدير للحصول على قائمة كاملة بالأسماء وانتماءات أعضاء الفريق

والمشاركين الآخرين في هذه الدراسة). اجتمعت اللجان الخمس على نحو متكرر على مدى عامين لمعالجة المسألة التي تُعنى بطبيعة العلوم والرياضيات والتكنولوجيا التي يجب أن يفهمها الطلاب، وقدّموا التقارير إلى المجلس الوطني مُعربين عن استنتاجاتهم. وفي إعداد كتاب «العلم للجميع»، اعتمد المجلس الوطني إلى حدٍّ كبير على تقارير اللجنة، لكنه لم يحاول تكرارها أو تلخيصها. تتألّف تقارير اللجنة، المتاحة للاطلاع في الرابطة الأمريكية لتقدّم العلوم من:

العلوم البيولوجية والصحية، بقلم ماري كلارك.

الرياضيات، بقلم ديفيد بلاكويل وليون هينكين.

العلوم والهندسة الفيزيائية والمعلوماتية، بقلم جورج بوجلياريلو.

العلوم الاجتماعية والسلوكية، بقلم مورتيمر أبلي ووينيفريد ب. ماهر.

التكنولوجيا بقلم جيمس جونسون.

كما نودُّ أن نشكر أشخاصاً آخرين كثر ممن أسهموا بسخاء كبير في المرحلة الأولى من خلال تقديم اقتراحات وانتقادات مفيدة. كان المجلس الوطني واللجان العلمية وطاقم المشروع قادرين على مشاورة الخبراء الاستشاريين في النقاط الحاسمة في عملهم للمساعدة في توضيح القضايا الصعبة وتقديم المشورة بشأن المسائل التقنية التي تقع خارج مجالات اختصاصهم. وبالإضافة إلى ذلك، راجع العلماء وعلماء الرياضيات والمهندسون والمعلّمون مسودات مختلفة للتقرير وقدّموا اقتراحات لتحسينه. كانت مساعدة هؤلاء الأفراد لا تُقدّر بثمن، ولكن لا ينبغي أن تؤخذ هذه الحقيقة بأنها تعني

أنهم يصادقون على التوصيات أو أنهم مسؤولون بأيّ شكل من الأشكال عن أيّ عيوب. ثمة شكر خاص لموظفي مشروع ٢٠٦١. ف. جيمس رذرفورد، الذي تصوّر وصمّم المشروع ويعمل على أنه مديره، وأندرو ألغرين، مدير المشروع المساعد الذي حضّر مسودات متتالية من التقرير لمراجعتها ومناقشتها مع المجلس الوطني. قدّمت باتريشيا وارين، مديرة المشروع، دعماً قيماً كبيراً في تحريره. اعتمد الموظفون على مشورة كثير من الزملاء في الرابطة الأمريكية لتقدّم العلوم، ولا سيّما أودري شامبين وشيرلي مالكوم، اللذين كانا مفيدين بوجه خاص في تخطيط المرحلة الثانية من المشروع.

لم تكن أيّ مرحلة من هذه المراحل التي عملتُ فيها ممكنة دون الدعم المالي السخي المقدّم إلى الرابطة الأمريكية لتقدّم العلوم، التي قدّمتها مؤسسة كارنيجي في نيويورك ومؤسسة أندرو دبليو ميلون. كان ألدن دنهام، وهو رئيس البرنامج في كارنيجي، من أوائل الأشخاص في الولايات المتحدة الذين رأوا الحاجة إلى هذه الدراسة، ومن خلال أكثر من أربع سنوات، التي استغرقها الكتاب ليتحوّل من فكرة غامضة إلى واقع في هذا التقرير، لم يكن أحد أكثر التزاماً بالمشروع أكثر منه.

شيلا ويدنال

رئيس مجلس الإدارة (١٩٨٩)

الرابطة الأمريكية لتقدّم العلوم

شكر وتقدير

إنّ إعجابنا بالمشاركين في هذا الجهد الفريد عميقٌ وصادق. كان استعدادهم لتحدي التفكير التقليدي حول ما يحتاج الجميع إلى معرفته فيما يتعلّق بالعلوم والرياضيات والتكنولوجيا، حتى حين كان ذلك يعني التشكيك في معتقداتهم السابقة، مقترناً بالحرص على استكشاف البدائل، مما جعل العمل معهم كأنه رحلة استكشافية. إنها رحلة صاخبة ومفيدة على حد سواء، إذ قلّما يكون هناك علماء بارزون ومخلصون من مجالات مختلفة على استعداد أن يضعوا جانباً الغرائز الإقليمية من أجل التفكير فيما يخدم أفضل احتياجات التعلّم للطلاب كلّهم.

خدم بعضُ المساهمين المذكورين أدناه في اللجان، وخدم بعضُهم بوصفهم مستشارين واستشاريين للجان وموظفي المشروع، بل إنّ عدداً أكبر منهم كانوا مراجعين لمسودات تقارير الفريق وتقارير كتاب «العلم للجميع»، على الرغم من أنّ الحيّز لا يسمح بإدراجهم في القائمة هنا. غير أنّ هذا الإقرار بالإسهامات لا ينبغي أن يؤخذ بأنه يشير إلى أنّ المساهمين الفرديين يؤيدون كل التوصيات الواردة في كتاب «العلم للجميع»، أو أنهم مسؤولون بأيّ شكل من الأشكال عن أيّ أخطاء أو أوجه قصور أخرى.

القسم الأول

توصياتٌ من أجل معرفة العلوم

الفصل الأول

طبيعة العلم

طوّر الناس، على مدى تاريخ البشرية، كثيراً من الأفكار المترابطة والمثبتة والصحيحة حول العوالم المادية والبيولوجية والنفسية والاجتماعية. ومكّنت هذه الأفكار الأجيال المتعاقبة من تحقيق فهم شامل وموثوق للأنواع البشرية وبيئتها. تُعَدُّ الوسائل المستخدمة في تطوير هذه الأفكار طرقاً خاصة من المراقبة والتفكير والتجريب والتحقق من صحتها. وتمثّل هذه الطرق جانباً أساسياً من طبيعة العلم، وتعكس كيف يميل العلمُ إلى الاختلاف عن طرق المعرفة الأخرى.

إنّ اتحاد العلوم والرياضيات والتكنولوجيا هو الذي يشكّل المسعى العلمي، وهذا ما يجعله ناجحاً للغاية. فعلى الرغم من أنّ كل مشروع من هذه المشاريع البشرية له طابع وتاريخ خاص به، يعتمد كلٌّ واحد منها على الآخر ويعزّزه. وهكذا، ترسم الفصول الثلاثة الأولى من التوصيات صوراً للعلوم والرياضيات والتكنولوجيا، التي تؤكد أدوارها في المسعى العلمي، وتكشف بعضاً من أوجه التشابه والصلات فيما بينها.

يضع هذا الفصل توصيات حول طبيعة المعرفة الخاصة بطريقة عمل العلم، التي تُعَدُّ شرطاً لمعرفة العلوم. ويركّز الفصل على ثلاثة موضوعات رئيسة: النظرة العلمية للعالَم، والطرق العلمية للبحث، وطبيعة المشروع

العلمي. كما ينظر الفصلان الثاني والثالث في الطرق التي تختلف فيها الرياضيات والتكنولوجيا عن العلم بوجه عام. يقدّم الفصلان الرابع والخامس وجهات نظر العالَـم كما يصوّرها العلم الحالي. أما الفصل العاشر بعنوان «وجهات نظر تاريخية» فيغطي الحلقات الرئيسة في تطوّر العلم، ويجمع الفصل الحادي عشر، بعنوان «موضوعات مشتركة»، الأفكار التي تتقاطع عبر وجهات نظر العالَـم كلّها.

توصيات

وجهة نظر العالَم العلمية

يشترك العلماء في معتقدات ومواقف أساسية معينة حول ما يفعلونه وكيف ينظرون إلى عملهم. وهذه المعتقدات لها علاقة بطبيعة العالَم وما يمكن تعلّمه منه.

العالَم قابل للفهم

يفترض العلم أنّ الأشياء والأحداث في الكون تحدث في أنماط متسقة يمكن فهمها من خلال دراسة منهجية دقيقة. ويعتقد العلماء أنّ الناس يستطيعون اكتشاف الأنماط في الطبيعة كلّها من خلال استخدام العقل، وبمساعدة الأدوات التي تعزّز الحواس.

يفترض العلم أيضاً أنّ الكون، كما يوحي اسمه، نظامٌ واحد واسع تكون فيه القواعد الأساسية هي نفسها في كل مكان، وأنّ المعرفة المكتسبة من دراسة جزء واحد من الكون تقبل التطبيق على أجزاء أخرى. فعلى سبيل المثال، إنّ مبادئ الحركة والجاذبية نفسها، التي تفسّر حركة سقوط

الأجسام على سطح الأرض، تشرح أيضاً حركة القمر والكواكب. ومع بعض التعديلات على مرّ السنين، تنطبق مبادئ الحركة نفسها على القوى الأخرى، وعلى حركة الأشياء كلّها، من أصغر الجسيمات النووية إلى معظم النجوم الضخمة، ومن المراكب الشراعية إلى المركبات الفضائية، ومن طَلَقات العيار الناري إلى أشعة الضوء.

الأفكار العلمية قابلة للتغيير

يُعرَّف العلم بأنه عملية تهدف إلى إنتاج المعرفة. وهذه العملية تعتمد على تقديم ملحوظات دقيقة للظواهر، وعلى ابتكار نظريات من أجل فهم تلك الملحوظات. إنّ التغيير في المعرفة أمرٌ لا مفرّ منه؛ لأنّ الملحوظات الجديدة قد تتحدى النظريات السائدة. وبغض النظر عن مدى براعة إحدى النظريات في تفسير مجموعة من الملحوظات، قد تكون نظريةٌ أخرى مناسبة تماماً أو أفضل من النظرية الأولى، أو قد تناسب نطاقاً أوسع من الملحوظات. واختبارُ النظريات وتحسينها ونبذها العَرَضي في العلم، سواء كانت جديدةً أم قديمة، أمرٌ يستمرُّ دائماً. يفترض العلماء أنه حتى لو لم تكن ثمة طريقة لتأمين الحقيقة الكاملة والمطلقة، فإنّ إجراء تقديرات تقريبية دقيقة يمكن أن يحدث على نحو متزايد لتفسير العالَـم وآلية عمله.

المعرفةُ العلمية صُلْبة ومتينة

على الرغم من أنّ العلماء يرفضون فكرة الوصول إلى الحقيقة المطلقة، ويسلّمون بوجود بعض الشك بأنه جزءٌ من الطبيعة، تُعَدُّ معظمُ المعرفة العلمية صلبةً ومتينة. إنّ تعديل الأفكار بدلاً من رفضها الصريح، هو القاعدة

المتبعة في العلم، إذ تميل البنى القوية إلى البقاء والنمو على نحو أدق، وتصبح مقبولة على نطاق واسع. فعلى سبيل المثال، لـمّا صاغ ألبرت آينشتاين نظرية النسبية، لم يتجاهل قوانين نيوتن عن الحركة، بل أظهر أنها مجرّد تقريب للتطبيق المحدود ضمن مفهوم أعم وأشمل. (تستخدم الإدارة الوطنية للملاحة الجوية والفضاء علم الميكانيك الذي وضعه نيوتن، على سبيل المثال، في حساب مسارات الأقمار الصناعية). وعلاوةً على ذلك، فإنّ القدرة المتزايدة للعلماء على طرح تنبؤات دقيقة للظواهر الطبيعية تقدّم دليلاً دامغاً على أننا نثري حقاً فهمنا حول طبيعة عمل العالَم، فالاستمراريةُ والاستقرارُ سمتان من سمات العلم مثلما هما سمتان من سمات التغيير، كما أنّ الثقة سائدةٌ ومنتشرة حالها حال التردد أيضاً.

لا يستطيع العلم أن يقدّم إجابات كاملة عن الأسئلة كلّها

ثمة أمورٌ كثيرة لا يمكن فحصها على نحو مفيد وبطريقة علمية. وثمة معتقدات، على سبيل المثال - بحكم طبيعتها في حدِّ ذاتها - لا يمكن إثباتها أو دحضها (مثل وجود قوى وكائنات خارقة للطبيعة، أو الأهداف الحقيقية للحياة). وفي حالات أخرى، من المرجّح أن يُرفَض النهج العلمي الذي قد يكون صحيحاً من منطلق عدم صلته بالأشخاص، الذين يؤمنون بمعتقدات معينة (كالمعجزات والتكهن بالمستقبل والتنجيم والخرافات). لا يمتلك العلماء أيضاً وسائل لتسوية الأمور المتعلّقة بالخير والشر، على الرغم من أنهم قادرون في بعض الأحيان على الإسهام في مناقشة مثل هذه القضايا من خلال تحديد العواقب المحتملة لأفعال معينة، التي قد تكون مفيدة حينما نفكّر مليّاً في بدائلها.

الاستفسار العلمي

تتشابه، في واقع الأمر، التخصصات العلمية المختلفة من حيثُ الاعتمادُ على الأدلة، واستخدام الفرضيات والنظريات، وأنواع المنطق المستخدم، فضلاً عن أشياء أخرى. ومع ذلك، يختلف بعضُ العلماء عن بعض اختلافاً كبيراً في الظواهر التي يبحثون فيها وكيف يؤدون عملهم، وفي الاعتماد على البيانات التاريخية، أو على النتائج التجريبية وعلى الأساليب النوعية أو الكمية، وفي لجوئهم إلى المبادئ الأساسية، وفي مقدار ما يعتمدون عليه من نتائج العلوم الأخرى. غير أنّ تبادل التقنيات والمعلومات والمفاهيم مستمرٌّ دائماً بين العلماء، وثمة تفاهمات مشتركة فيما بينهم حول ما يشكّل بحثاً أو استقصاءً صحيحاً من الناحية العلمية.

لا يمكن وصف الاستفسار العلمي بسهولة بمعزل عن سياق تحقيقات معينة، فلا توجد ببساطة مجموعة ثابتة من الخطوات التي يتبعها العلماء دائماً، ولا يوجد طريق واحد يقودهم إلى معرفة علمية دون ارتكاب خطأ. على أيّ حال، ثمة بعض سمات العلم التي تعطيه طابعاً مميزاً بوصفه أسلوباً للبحث. وعلى الرغم من أنّ هذه السمات تميّز بوجه خاص عمل العلماء المحترفين، يمكن لأيّ شخص أن يمارسها حين يفكّر بطريقة علمية في أمور كثيرة مهمة في حياتنا اليومية.

يتطلّب العلم دليلاً

عاجلاً أم آجلاً، نتوصّل إلى صحة الادعاءات العلمية من خلال الإشارة إلى ملحوظات الظواهر. ومن هنا، يركّز العلماء على الحصول على بيانات دقيقة. ويتم الحصول على هذه الأدلة من خلال الملحوظات والقياسات

المأخوذة في المواقف، التي تتراوح من الظروف الطبيعية (مثل غابة ما) إلى تلك المصطنعة تماماً (مثل المختبر). وليقدّم العلماء ملحوظاتهم، فإنهم يستخدمون حواسهم وأدواتهم (مثل المجاهر) التي تعزّز تلك الحواس، والأدوات التي تفضي إلى خصائص مختلفة تماماً عما يمكن أن يشعر به البشر (مثل المجالات المغناطيسية). يلحظ العلماء على نحو سلبي (الزلازل، وهجرة الطيور)، ويجمعون الأشياء (كالصخور والأصداف)، ويتقصون العالَم بنشاط (من خلال حفر قشرة الأرض أو إجراء التجارب على الأدوية).

ويمكن للعلماء، في بعض الظروف، أن يتحكموا في الحالات بدقة وعن عمد من أجل الحصول على أدلتهم. فعلى سبيل المثال، يمكنهم التحكم في درجة الحرارة، أو تغيير تركيز المواد الكيميائية، أو اختيار الكائنات الحيّة التي تتزاوج مع كائنات أخرى. ومن خلال إجراء تغيير واحد فقط في كل مرة، يمكنهم أن يأملوا في تحديد آثارها الحصرية على ما يحدث، دون أن تُعقِّدها التغيرات في الظروف الأخرى. على أيّ حال، غالباً ما يكون التحكم في الظروف غير عملي (كما هي الحال في دراسة النجوم)، أو غير أخلاقي (كما في دراسة الناس)، أو من المحتمل أن يشوّه الظواهر الطبيعية (كما في دراسة الحيوانات البرية التي وُضِعَت في الأسر). وفي حالات كهذه، يجب تقديم الملحوظات على نطاق واسع بما يكفي من الظروف التي تحدث بصورة طبيعية لاستنتاج تأثير العوامل المختلفة. وبسبب هذا الاعتماد على الأدلة، تُوضَع قيمة عالية على تطوير أدوات وتقنيات أفضل للمراقبة، ويتحقق عادةً باحثون من النتائج التي يتوصّل إليها أيّ باحث أو مجموعة أخرى من الباحثين.

على الرغم من أنه يمكن استخدام كل أنواع الخيال والفكر في التوصّل إلى فرضيات ونظريات علمية، يجب، عاجلاً أم آجلاً، أن تتفق الحجج مع مبادئ التفكير المنطقي، وذلك لاختبار صحة الحجج من خلال تطبيق معايير معينة من الاستدلال والبرهنة والمنطق السليم. قد لا يتفق العلماء في كثير من الأحيان حول قيمة دليل معين، أو حول ملاءمة الافتراضات الخاصة التي تُجرى، وهكذا فإنهم لا يتفقون حول الاستنتاجات المسوَّغة. غير أنهم يميلون إلى الاتفاق حول مبادئ التفكير المنطقي، التي تربط الأدلة والافتراضات بالاستنتاجات.

لا يتعامل العلماء فقط مع البيانات والنظريات التي توصّل إليها الباحثون بصورة منطقية، فلديهم، في كثير من الأحيان، مجرّد فرضيات مؤقتة حول الطرق التي تعمل بها الأشياء. وتُستخدَم مثل هذه الفرضيات على نطاق واسع في العلوم لاختيار البيانات التي يجب الانتباه إليها والبيانات الإضافية التي يجب البحث عنها، ولتوجيه تفسير البيانات. إنّ عملية صوغ الفرضيات واختبارها، في الواقع، هي واحدة من الأنشطة الأساسية التي يقوم بها العلماء. ولتكون أيّ فرضية مفيدة، يجب عليها أن تقترح الدليل الذي يدعمها والدليل الذي يدحضها، فالفرضية التي لا يمكننا وضعها من حيث المبدأ تحت اختبار الأدلة قد تكون مثيرة للاهتمام، لكن من غير المحتمل أن تكون مفيدة علمياً.

إنّ استخدام المنطق والفحص الدقيق للأدلة أمرٌ ضروري، لكنه ليس كافياً عادةً لتقدُّم العلم. لا تنبثق المفاهيم العلمية تلقائياً من البيانات أو من

أيّ مقدار من التحليل وحده، فابتكار فرضيات أو نظريات لتخيُّل كيف يعمل العالَـم، ومن ثَمَّ معرفة كيف يمكن وضعها قيد اختبار الواقع أمرٌ إبداعي مثل كتابة الشعر، أو تأليف الموسيقا، أو تصميم ناطحات السحاب. وفي بعض الأحيان تُجرى اكتشافات في العلوم على نحو غير متوقع، وحتى عن طريق المصادفة، لكنّ المعرفة والبصيرة الإبداعية مطلوبة عادةً لإدراك معنى ما هو غير متوقع. قد تؤدي جوانب من البيانات التي تجاهلها عالِـمٌ ما إلى اكتشافات جديدة من عالِـم آخر.

يشرح العلم ويتنبأ

يسعى العلماء جاهدين لفهم ملحوظاتهم للظواهر من خلال بناء التفسيرات لها، التي تستخدم المبادئ العلمية المقبولة الآن أو تتوافق معها. ومثل هذه التفسيرات – أو النظريات - قد تكون شاملة أو مقيَّدة، لكن يجب أن تكون سليمة منطقياً، وتتضمن مجموعة كبيرة من الملحوظات الصحيحة علمياً. تأتي مصداقية النظريات العلمية في معظم الأحيان من قدرتها على عرض العلاقات بين الظواهر، التي بدا بعضُها في السابق لا يتصل ببعضه الآخر. اتخذت نظرية انزياح القارّات، على سبيل المثال، مصداقية حين أظهرت علاقات بين الظواهر المتنوعة مثل الزلازل والبراكين والتطابق بين أنواع الحفريات في القارّات المختلفة، وأشكال القارّات، والخطوط التي تَـحُدُّ أرض المحيطات.

يكمنُ جوهر العلم في التحقق من خلال الملاحظة، لكن لا يكفي للنظريات العلمية أن تتبنى مسبقاً الملحوظات المعروفة فحسب، بل يجب أن تتبنى أيضاً الملحوظات الإضافية، التي لم تكن مستخدمة في صوغ النظريات

في المقام الأول، وهذا يعني أنّ النظريات يجب أن تتمتع بقدرة تنبُّئِيَّة. إنّ إظهار القدرة التنبُّئيَّة لنظرية ما لا يتطلّب بالضرورة التنبؤ بالأحداث التي ستقع في المستقبل، فقد تكون التوقعات عن أدلة حدثت في الماضي ولم يتم التوصّل إليها أو دراستها. فعلى سبيل المثال، يمكن اختبار نظرية ما تتناول أصل البشر من خلال الاكتشافات الجديدة لبقايا الأحافير أو المستحاثات التي تشبه الإنسان. ومن الواضح أنّ هذا النهج ضروري لإعادة بناء الأحداث في تاريخ الأرض أو أشكال الحياة عليها، كما أنه ضروري أيضاً لدراسة العمليات التي تحدث ببطء شديد عادةً، مثل بناء الجبال أو عمر النجوم. تتطوّر النجوم، على سبيل المثال، على نحو أبطأ مما يمكننا ملاحظته عادةً. ومع ذلك، فإنّ نظريات تطوّر النجوم قد تتنبأ بعلاقات غير متوقعة بين مزايا ضوء النجوم، الذي يمكن من ثَمَّ البحث عنه في المجموعات الحالية من البيانات حول النجوم.

يحاول العلماء تحديد التحيّز وتجنّبه

حين يواجه العلماء ادعاءً بأنّ شيئاً ما صحيح، يستجيب العلماء من خلال السؤال عن الأدلة التي تدعمه، لكنّ الأدلة العلمية يمكن أن تكون متحيّزة في كيفية تفسير البيانات أو في تسجيلها أو الإبلاغ عنها أو حتى في اختيارها، حين يجب النظر فيها أساساً. إنّ جنسية العلماء وجنسهم وأصلهم العرقي وعمرهم ومعتقداتهم السياسية، وما إلى ذلك قد تجعلهم يميلون للبحث في نوع معين من الأدلة أو التفسير أو تأكيد هذا النوع من الأدلة. فعلى سبيل المثال، لسنوات عدّة ركّزت دراسة القرود التي أجراها علماء ذكور على السلوك الاجتماعي التنافسي للذكور. ولـم تظهر أهمية القرود الإناث وتعرّف سلوك بناء المجتمع حتى دخلت العالمات هذا الميدان.

إنّ التحيّز المنسوب للباحث أو العِينة أو الطريقة أو الأداة قد لا يمكن تجنّبها كلياً في كل حالة، لكنّ العلماء يريدون معرفة المصادر المحتملة للتحيّز وكيف من المحتمل أن يؤثر التحيّز في الأدلة. يريد العلماء، ومن المتوقع منهم، أن يكونوا متيقظين لتحيّز محتمل في عملهم كما هو موجود في عمل العلماء الآخرين، على الرغم من أنّ هذه الموضوعية لا تتحقق دائماً. وأحد الإجراءات الوقائية ضد التحيّز غير المكتشف في مجال الدراسة هو وجود كثير من الباحثين المختلفين أو مجموعات من الباحثين العاملين فيها.

ليس العلم متسلّطاً

من غير المناسب في العلم، كما في أيّ مكان آخر، اللجوء إلى مصادر المعلومات والآراء واسعة الاطلاع، التي تكون عادةً من أشخاص متخصصين في تخصصات ذات صلة، لكنّ السلطات الموقرة كانت مخطئة في مرّات عدّة في تاريخ العلم. وعلى المدى الطويل، لا يوجد عالِـم، مهما كان مشهوراً أو ذا مكانة عالية، مخوّلٌ لاتخاذ قرار بالنيابة عن العلماء الآخرين حول ما هو صحيح، إذ لا يعتقد العلماء الآخرون أنّ أياً منهم يتمتع بخصوصية التوصّل إلى الحقيقة. ولا توجد استنتاجات مسبقة يجب على العلماء التوصّل إليها على أساس تحقيقاتهم واستقصاءاتهم.

أما على المدى القصير، فالأفكار الجديدة التي لا تنسجم جيداً مع تيار الأفكار الرئيس قد تواجه انتقادات لاذعة، والعلماء الذين يتحرّون هذه الأفكار قد يجدون صعوبة في الحصول على دعم لأبحاثهم. وفي الواقع، فإنّ التحديات للأفكار الجديدة هي العمل المشروع للعلم في بناء معرفة صحيحة. وقد رفض في بعض الأحيان أكثر العلماء المرموقين قبول نظريات

جديدة، على الرغم من وجود ما يكفي من الأدلة المتراكمة لإقناع الآخرين. وعلى المدى الطويل، يُـحكَم على النظريات من خلال نتائجها: حين يأتي شخصٌ ما بنسخة جديدة أو محسّنة تشرح مزيداً من الظواهر أو تجيب أكثر عن أسئلة أهم من النسخة التي سبقتها، فإنّ النسخة الجديدة في نهاية المطاف تأخذ مكان النسخة القديمة.

المشروع العلمي

لدى العلم، بوصفه مشروعاً، أبعادٌ فردية واجتماعية ومؤسسية. والنشاط العلمي هو أحد السمات الرئيسة للعالَـم المعاصر، وربما يميّز عصرنا من القرون السابقة أكثر من أيّ عالَـم آخر.

العلم نشاط اجتماعي معقد

يشمل العمل العلمي أفراداً كثر يعملون بأشياء مختلفة من أنواع العمل، ويستمرّ إلى حدٍّ ما في دول العالَـم كلّها. فالرجال والنساء الذين ينتمون إلى كل الخلفيات العرقية والقومية يشاركون في العلم وتطبيقاته. قد يركّز هؤلاء الناس - وهم العلماء والمهندسون وعلماء الرياضيات والأطباء والفنيون ومبرمجو الحاسوب، وأمناء المكتبات وغيرهم - على المعرفة العلمية إما من أجلها لمصلحتها الخاصة وإما لغرض عملي معين، وقد يكونون مهتمين بجمع البيانات أو ببناء النظرية أو ببناء الأدوات أو بالتواصل.

يُظهِرُ العلم حتماً، بوصفه نشاطاً اجتماعياً، القيم الاجتماعية ووجهات النظر. فعلى سبيل المثال، يتساوى تاريخ النظرية الاقتصادية مع تطوير أفكار العدالة الاجتماعية - وفي مدة زمنية معينة، فكّر الاقتصاديون في أنّ الأجر

الأمثل للعمال لا يزيد على ما لا يكاد يسمح للعمال بالبقاء على قيد الحياة. وقبل القرن العشرين وضمنه أيضاً، كانت النساء والأشخاص أصحاب البشرة المختلفة في اللون أساساً قد استُبعدوا من معظم العلوم بسبب القيود المفروضة على تعليمهم وفرص توظيفهم. كانت مؤسسة العلم قد قلّلت على الأرجح من شأن عمل قلة ملحوظة من الناس، الذين تغلّبوا على هذه العقبات.

يتأثر اتجاه البحث العلمي بالتأثيرات غير الرسمية داخل ثقافة العلم نفسه، مثل الرأي السائد حول الأسئلة الأكثر إثارة للاهتمام، أو طرق التحقيق التي من المرجّح أن تكون مثمرة. وقد تم تطوير العمليات المسهبة التي تشارك فيها العلماء أنفسهم لتحديد أيّ مقترحات بحثية تتلقى التمويل، وتراجع لجان العلماء التقدّم بانتظام في مختلف التخصصات للتوصية بالأولويات العامة للتمويل.

يستمرُّ العلم في بيئات مختلفة كثيرة. ويحصل العلماء على وظائفهم من خلال الجامعات والمستشفيات والشركات والصناعة والحكومة، ومنظمات البحث المستقلة والجمعيات العلمية. وقد يعملون بمفردهم أو في مجموعات صغيرة، أو بوصفهم أعضاءً في فرق بحثية كبيرة. تشمل أماكن عملهم الصفوف الدراسية والمكاتب والمختبرات وبيئات الحقول الطبيعية من الفضاء إلى قاع البحر.

وبسبب الطبيعة الاجتماعية للعلم، فإنّ نشر المعلومات العلمية أمرٌ حاسم لتقدّمها. يقدّم بعضُ العلماء نتائجهم ونظرياتهم في أبحاث تُسلَّم في اجتماعات أو تُنشَر في مجلات علمية. تمكّن هذه الأبحاث العلماء من إعلام الآخرين بعملهم، وفضح أفكارهم للنقد من خلال العلماء الآخرين، وبالطبع

مواكبة التطورات العلمية حول العالَـم. إنّ تقدّم علم المعلومات (وهو معرفة طبيعة المعلومات والتلاعب بها) وتطوّر تقنيات المعلومات (ولا سيّما أنظمة الحواسيب) تؤثر في العلوم كلّها. تعمل هذه التقنيات على تسريع عملية جمع البيانات وتجميعها وتحليلها، وتخلق أنواعاً جديدة من التحليل العملي، وتختصر الوقت بين الاكتشاف والتطبيق.

يُنظَّم العلم في تخصصات المحتوى ويُـجرى في مؤسسات مختلفة

يمكن النظر في العلم من الناحية التنظيمية على أنه مجموعة من جميع المجالات العلمية المختلفة، أو تخصصات المحتوى. ومن الأنثروبولوجيا إلى علم الحيوان، ثمة العشرات من هذه التخصصات. ويختلف بعضُها عن بعضٍ في نواحٍ كثيرة، بما فيها التاريخ والظواهر المدروسة والتقنيات واللغة المستخدمة وأنواع النتائج المرجوة. ولكن فيما يتعلّق بالهدف والفلسفة، فإنها كلّها علمية على قدم المساواة ويؤلِّف كلاهما معاً المسعى العلمي نفسه. ومن محاسن الحصول على التخصصات هي أنها توفّر بنيةً مفاهيمية لتنظيم نتائج البحث ونتائج الأبحاث. ومن مساوئها هو أنّ أقسامها لا تتطابق بالضرورة مع الطريقة التي يعمل بها العالَـم، ويمكنهم على أيّ حال جعل التواصل صعباً. على أيّ حال، ليس لدى التخصصات العلمية حدود ثابتة. تتداخل الفيزياء مع الكيمياء وعلم الفلك والجيولوجيا، مثلما تتداخل الكيمياء مع علم الأحياء وعلم النفس، وما إلى ذلك. ثمة تخصصات علمية جديدة (كالفيزياء الفلكية وعلم الأحياء الاجتماعي، على سبيل المثال) تُؤلَّفُ باستمرار على حدود الآخرين. بعض التخصصات تكبر وتتعاظم وتنقسم إلى تخصصات فرعية، التي تصبح فيما بعد تخصصات في حدِّ ذاتها.

تُعَدُّ الجامعات والصناعة والحكومة أيضاً جزءاً من بنية المسعى العلمي. تركّز الأبحاث الجامعية عادةً على المعرفة من أجل ذاتها، على الرغم من أنّ كثيراً منها موجّه أيضاً نحو المشكلات العملية. والجامعات، بطبيعة الحال، ملتزمةٌ أيضاً بوجه خاص تثقيفَ الأجيال المتعاقبة من العلماء، وعلماء الرياضيات، والمهندسين. تؤكد الصناعات والشركات عادةً البحثَ الموجَّه نحو غايات عملية، لكن ثمة كثير من الناس ممن يرعون البحث الذي ليس له تطبيقات واضحة على الفور، ويرجع ذلك إلى حدٍّ ما إلى فرضية أنه سيُطبَّق على نحو مثمر على المدى الطويل. تموّل الحكومة الفيدرالية معظم الأبحاث في الجامعات وفي مجال الصناعة، ولكنها تدعم لأبحاث وتجريها في كثير من مختبراتها الوطنية ومراكز البحث. المؤسسات الخاصة، ومجموعات المصلحة العامة، وحكومات الدولة تدعم البحث أيضاً.

تؤثر وكالات التمويل في اتجاه العلم بحكم القرارات التي تتخذها هذه الوكالات بشأن البحث الذي يجب دعمه. وتبرز الضوابط المتعمّدة الأخرى حول العلم من لوائح الأنظمة الحكومية الفيدرالية (وفي بعض الأحيان من الحكومة المحلية) التي تتناول ممارسات البحث، التي تُعَدُّ خطرة حول التعامل مع العِيْنَات البشرية والحيوانية المستخدمة في التجارب.

ثمة مبادئ أخلاقية مقبولة بوجه عام في سلوك العلم

يتصرّف معظم العلماء وفقاً للمعايير الأخلاقية الخاصة بالعلم. إنّ التقاليد الراسخة المتعلّقة بحفظ الدفاتر الدقيقة، والانفتاح والتكرار

المدعوم بالمراجعة النقدية لعمل الفرد من قبل الأقران، تعمل على إبقاء الغالبية العظمى من العلماء جيداً ضمن حدود السلوك المهني الأخلاقي. لكنّ الضغط في بعض الأحيان للحصول على الفضل والمصادقة على كون العالِم أول من نشر فكرةً أو ملحوظة يؤدي ببعض العلماء إلى حجب المعلومات أو حتى تزوير النتائج. إنّ مثل هذا الانتهاك لطبيعة العلم يعيق العلم. ولدى اكتشافه، يُدينه بشدةٍ المجتمعُ العلميُّ والوكالات التي تموّل الأبحاث.

ثمة مجال آخر من مجالات الأخلاق العلمية يتعلّق بالضرر المحتمل الذي يمكن أن ينتج عن التجارب العلمية. وأحد جوانبه هو التعامل مع عِيْنَات التجارب الحيّة. تتطلّب الأخلاق العلمية الحديثة ضرورة مراعاة صحة العِيْنَات الحيوانية وراحتها ورفاهها. وعلاوةً على ذلك، يمكن أن يُجرى البحث الذي يشمل عِيْنَات بشرية فقط بعد الحصول على موافقة مسبقة من الأشخاص الذين تُجرى عليهم التجارب، حتى لو كان هذا القيد يَـحُدُّ من بعض أنواع البحوث المهمة أو يؤثر في نتائجها. تستلزم الموافقة المسبقة كشفاً كاملاً عن المخاطر والفوائد المرجوة من البحث والحق في رفض المشاركة. وبالإضافة إلى ذلك، يجب على العلماء ألا يُخضِعوا عن قصد زملاء العمل أو الطلاب أو الحي أو المجتمع لمخاطر تتعلّق بالصحة أو بالممتلكات دون علمهم وموافقتهم.

ترتبط أخلاقيات العلم أيضاً بالآثار الضارة المحتملة التي تنتج من تطبيق نتائج البحث. وقد تكون آثار العلم طويلة المدى لا يمكن التنبؤ بها، ولكن يمكن أن نتأكد من التطبيقات المتوقعة من العمل العلمي من خلال معرفة مَن يهتم بتمويلها. فعلى سبيل المثال، إذا قدّمت وزارة الدفاع عقوداً للعمل على موضوع من موضوعات الرياضيات النظرية، فيمكن لعلماء

الرياضيات استنتاج أنّ لها تطبيقاً على التكنولوجيا العسكرية الجديدة، وهكذا فإنّ من المحتمل أن تخضع لتدابير سرّية. السرّية العسكرية أو الصناعية مقبولة لدى بعض العلماء، ولكن ليس لعلماء آخرين. وسواء اختار عالِمٌ ما العمل في بحث حول مخاطر محتملة كبيرة على البشرية أم لا، كالأسلحة النووية أو الحرب الجرثومية، فإنّ هذا الأمر يَعُدُّه علماءُ كثيرون مسألة أخلاق شخصية، وليست مسألة أخلاق مهنية.

يشارك العلماء في الشؤون العامة بوصفهم متخصصين ومواطنين على حد سواء

يمكن للعلماء أن يجعلوا المعلومات والأفكار والمهارات التحليلية تؤثر في المسائل ذات الاهتمام العام. ويمكنهم، في كثير من الأحيان، مساعدة الجمهور وممثليهم على فهم الأسباب المحتملة للأحداث (كالكوارث الطبيعية والتكنولوجية)، وتقدير الآثار المحتملة للسياسات المتوقعة (مثل الآثار البيئية للزراعة ذات الأساليب المختلفة). ويمكنهم، في كثير من الأحيان، أن يشهدوا على ما هو غير ممكن. حين يؤدي العلماء هذا الدور الاستشاري، فمن المتوقع أن يكون العلماء حذرين بوجه خاص في محاولة التمييز بين الحقيقة والتفسير، وبين نتائج البحث والتخمين والرأي. بمعنى آخر؛ من المتوقع أن يستفيدوا كلياً من مبادئ الاستفسار العلمي.

ومع ذلك، قلّما يستطيع العلماء تقديم إجابات قاطعة عن أسئلة تهم الجدل العام. بعض القضايا معقدة أكثر مما ينبغي لتتناسب مع النطاق الحالي للعلم، أو قد يكون ثمة قليل من المعلومات الموثوقة المتاحة، أو قد تكمن القيم المعنية خارج نطاق العلم. علاوةً على ذلك، على الرغم من أنه قد

يكون هناك في أيّ وقت إجماع واسع على الجزء الأكبر من المعرفة العلمية، لا يمتد الاتفاق إلى القضايا العلمية كلِّها، ناهيك عن كل القضايا الاجتماعية المتعلّقة بالعلم. وبالطبع في القضايا الخارجة عن خبراتهم، يجب ألا تتمتع آراء العلماء بمصداقية خاصة.

يبذل العلماء في عملهم قصارى جهدهم لتجنّب التحيّز الخاص، سواء كان من جانبهم أم من جانب الآخرين. ولكن فيما يتعلّق بالمصلحة العامة، يمكن أن نتوقع من العلماء، مثل غيرهم من الناس، أن يكونوا متحيّزين حين تكون مصالحهم الشخصية، أو مصالح الشركات، أو المؤسسات أو المجتمع في خطر. فعلى سبيل المثال، بسبب التزام العلماء العلمَ، ربما نفهم أنّ كثيراً منهم أقل موضوعية في معتقداتهم حول كيفية تمويل العلم مقارنةً بالاحتياجات الاجتماعية الأخرى.

الفصل الثاني

طبيعة الرياضيات

تعتمد الرياضيات على المنطق والإبداع على حد سواء، يتم السعي وراءه من أجل مجموعة متنوعة من الأغراض العملية والمصلحة الجوهرية. يرى بعض الناس، وليس علماء الرياضيات المحترفين فحسب، أنّ جوهر الرياضيات يكمن في جماله وتحديه الفكري. على حين يرى بعضهم الآخر، بما في ذلك علماء ومهندسون كثيرون، أنّ القيمة الرئيسة للرياضيات هي كيفية تطبيق هذا العلم على عملهم. ولأنّ الرياضيات تؤدي دوراً أساسياً في الثقافة الحديثة، فإنّ بعض الفهم الأساسي لطبيعة الرياضيات أمرٌ ضروري للمعرفة العلمية. ولتحقيق ذلك، يحتاج الطلاب إلى رؤية علم الرياضيات على أنه جزء من المسعى العلمي، واستيعاب طبيعة التفكير الرياضي، وأن يصبحوا على دراية بالأفكار والمهارات الرياضية الرئيسة.

يركّز هذا الفصل على علم الرياضيات بأنه جزء من المسعى العلمي، ومن ثَمَّ على الرياضيات بوصفها عملية أو طريقة للتفكير. تُعرَض التوصيات المتعلّقة بالأفكار الرياضية في الفصل التاسع، ويتم تضمين عالَم الرياضيات، وأولئك الذين يمتلكون المهارات الرياضية، في الفصل الثاني عشر بعنوان «عادات العقل».

الأنماط والعلاقات

الرياضيات هي علم الأنماط والعلاقات. يستكشف علم الرياضيات، بوصفه فرعاً من الفروع النظرية، العلاقات الممكنة بين الأفكار التجريدية دون الاهتمام بما إذا كانت تلك الأفكار التجريدية لديها نظيراتها في العالم الحقيقي أم لا. ويمكن أن تتراوح الأفكار التجريدية من أيّ شيء كسلاسل الأعداد إلى أشكال هندسية وإلى مجموعات من المعادلات. فعلى سبيل المثال، لدى التفكير في السؤال: "هل تشكّل المدة الفاصلة بين الأعداد الأولية نمطاً؟" بوصفه سؤالاً نظرياً، يهتم علماء الرياضيات فقط بإيجاد نمط أو بإثبات عدم وجوده، ولكنهم لا يهتمون بأيّ استخدام يمكن أن يكون لمثل هذه المعرفة. حين يشتق علماء الرياضيات، على سبيل المثال، تعبيراً من أجل التغيير في مساحة سطح أيّ مادة صلبة عادية حين يقترب حجمها من الصفر، فإنهم لا يهتمون بأيّ توافق بين المواد الصلبة الهندسية والأشياء المادية في العالَـم الحقيقي.

ثمة مسار من مسارات التحقيق الرئيسة في الرياضيات النظرية يتمثل في تحديد مجموعة صغيرة من الأفكار والقواعد الأساسية في كل مجال من مجالات الدراسة، التي يمكن أن نستخلص منها على نحو منطقي الأفكار والقواعد الأخرى كلّها المثيرة للاهتمام في هذا المجال. يشعر علماء الرياضيات، مثل غيرهم من العلماء، بالسرور بوجه خاص حين يعثرون على أجزاء غير مرتبطة سابقاً بالرياضيات بعضها مشتق من بعض، أو من نظرية عامة ما. جزء من الإحساس بالجمال الذي يدركه كثيرٌ من الناس في

الرياضيات لا يكمن في إيجاد أكبر قدر من التفصيل أو التعقيد فحسب، بل يكمن، على العكس، في إيجاد أقصى درجات الاقتصاد والبساطة من حيث التمثيل والإثبات. ومع تقدّم علم الرياضيات، يجد العلماء مزيداً من العلاقات بين أجزائه التي طُوِّرت على نحو منفصل، على سبيل المثال، بين التمثيلات الرمزية للجبر والتمثيلات المكانية للهندسة. إنّ نقاط التواصل المتقاطعة هذه تمكّن الرؤى من أن تُطوَّر إلى الأجزاء المختلفة، وهذه الأجزاء مجتمعةً تقوّي الإيمانَ بصحة البنية كلّها وبوحدتها الأساسية.

علم الرياضيات هو أيضاً علم تطبيقي. يركّز كثيرٌ من علماء الرياضيات انتباههم على حل المشكلات التي تنشأ في عالم التجربة. وهم يبحثون أيضاً عن الأنماط والعلاقات، وفي أثناء هذه العملية فإنهم يستخدمون تقنيات مماثلة لتلك المستخدمة في الإجراء البحت للرياضيات النظرية. ويكمن الفرق إلى حدٍّ كبير في النية. وخلافاً لعلماء الرياضيات النظرية، قد يدرس علماء الرياضيات التطبيقية في الأمثلة المذكورة أعلاه النمطَ الفاصل للأعداد الأولية لتطوير نظام جديد لترميز المعلومات الرقمية، بدلاً من دراسته على أنه مشكلةٌ مجرّدة، أو قد يعالجون منطقة المشكلة أو حجمها على أنها خطوة في إنتاج أنموذج لدراسة السلوك الصافي.

تؤثر بعض نتائج الرياضيات النظرية والتطبيقية في معظم الأحيان في بعضها الآخر. ويتبيّن من اكتشافات علماء الرياضيات النظرية عادةً – بعد عقود في بعض الأحيان – أنها تمتلك قيمةً عملية غير متوقعة. أدّت الدراسات التي تتناول الخصائص الرياضية للأحداث العشوائية، على سبيل المثال، إلى معرفة أتاحت لها لاحقاً تحسين تصميم التجارب في العلوم الاجتماعية والطبيعية. وفي المقابل، في محاولة لحل مشكلة فواتير مستخدمي

الهواتف بعيدة المدى إلى حدٍّ ما، توصّل علماءُ الرياضيات إلى اكتشافات أساسية حول رياضيات الشبكات المعقدة. ليست الرياضيات النظرية، خلافاً للعلوم الأخرى، مقيدة بالعالَـم الحقيقي، لكنها تسهم على المدى الطويل في فهم أفضل لهذا العالَـم.

الرياضيات والعلم والتكنولوجيا

بسبب الصفة التجريدية التي يتمتع بها علم الرياضيات، فإنه يُعَدُّ عالمياً بالمعنى الذي لا تكون فيه المجالات الأخرى للفكر البشري على هذا النحو. يجد علمُ الرياضيات تطبيقات مفيدة في العمل والصناعة والموسيقا والمعرفة التاريخية والسياسة والرياضة والطب والزراعة والهندسة والعلوم الاجتماعية والطبيعية. والعلاقة بين الرياضيات والمجالات الأخرى الأساسية والعلوم التطبيقية قوية بوجه خاص. وهي على هذا النحو لأسباب عدّة، نذكرُ منها الآتي:

- للتحالف القائم بين العلم والرياضيات تاريخٌ طويل، إذ يعود هذا التاريخ إلى قرون خلت. يزوّد العلمُ الرياضيات بمشكلات مثيرة للاهتمام للتحقيق فيها، في حين يزوّد علمُ الرياضيات العلم بأدوات قوية لاستخدامها في تحليل البيانات. وفي كثير من الأحيان يتبيّن أنّ الأنماط المجرّدة التي درسها علماء الرياضيات لذاتها، بعد ذلك بكثير، مفيدةٌ جداً في العلم. يحاول العلم والرياضيات على حد سواء اكتشاف أنماط وعلاقات عامة، وبهذا المعنى فإنهما جزء من المسعى نفسه.
- الرياضيات هي لغةُ العلم الرئيسة. وقد تبيَّنَ أنَّ لغة الرياضيات الرمزية قيّمة للغاية للتعبير عن الأفكار العلمية على نحو لا لبس

فيه ولا غموض. إنّ المعادلة (a=F/m) ليست مجرّد طريقة مختصرة للقول إنّ تسارع جسم ما يعتمد على القوة المطبَّقة عليه وعلى كتلته، بل إنها معادلة دقيقة عن العلاقة الكمّية بين هذه المتغيّرات. والأهم من ذلك هو أنّ الرياضيات تزوّدنا بقواعد العلم – أي قواعد تحليل الأفكار والبيانات العلمية بدقة متناهية.

- تشترك الرياضيات والعلوم في كثير من المزايا، ونذكر منها الإيمان في النظام الذي يمكن فهمه، والتفاعل بين الخيال والمنطق الصارم، والمُثُل التي تتعلّق بالصدق والانفتاح، والأهمية الحاسمة لنقد الأقران، والقيمة الموضوعة على كون المرء أول من يقوم باكتشاف أساسي، والعالمية في النطاق، والقدرة، حتى مع تطور أجهزة الحاسوب الإلكترونية القوية، على استخدام التكنولوجيا لفتح مجالات جديدة من التحقيق والتقصي.

- كما طوّر علم الرياضيات والتكنولوجيا علاقةً مثمرة فيما بينهما. فعلى سبيل المثال، أسهمت الرياضيات الترابطية والسلاسل المنطقية إلى حدٍّ كبير في تصميم أجهزة الحاسوب وتقنيات البرمجة. يسهم عموماً علم الرياضيات أيضاً في الهندسة، وفي وصف الأنظمة المعقدة التي يمكن للحاسوب محاكاة سلوكها بوساطته. وفي تلك المحاكاة، فإنّ مزايا التصميم وظروف التشغيل يمكن أن تتنوع بوصفها وسيلةً لإيجاد التصاميم المثلى. فتحت تكنولوجيا الحاسوب من جانبها مجالات جديدة بالكامل في علم الرياضيات، حتى في طبيعة البرهان أيضاً، ولا تزال تساعد في حل المشكلات التي كان من الصعب التعامل معها في الماضي.

الاستفسار الرياضي

يتضمّن استخدام علم الرياضيات للتعبير عن الأفكار أو لحل المشكلات ثلاث مراحل على الأقل: **(١)** تمثيل بعض جوانب الأشياء على نحو تجريدي، **(٢)** التلاعب بأشكال التجريد من خلال قواعد المنطق لإيجاد علاقات جديدة فيما بينها، و**(٣)** معرفة ما إذا كانت العلاقات الجديدة تقول شيئاً مفيداً عن الأشياء الأصلية.

التجريد والتمثيل الرمزي

يبدأ التفكير الرياضي في معظم الأحيان بعملية التجريد، أي بملاحظة التشابه بين شيئين أو حدثين أو أكثر. والجوانب التي يشتركون فيها، سواء كانت ملموسة أم افتراضية، يمكن تمثيلها برموز مثل الأعداد والحروف وعلامات أو رسوم بيانية أو بنى هندسية أو حتى كلمات أخرى. الأعدادُ الصحيحة هي عبارة عن أشكال مجرّدة تمثّل حجم مجموعات الأشياء والأحداث أو ترتيب الأشياء ضمن مجموعة. الدائرة بوصفها مفهوماً هي تجريد مشتق من الوجوه البشرية أو الزهور أو العجلات أو التموّجات الدائرية المنتشرة. قد يكون الحرف الأول من الأبجدية الإنكليزية **(A)** تجريداً يرمز إلى مساحة سطح الأشياء لمختلف الأشكال، أو يرمز إلى تسارع الأجسام المتحركة كلّها، أو يرمز إلى كل الأجسام التي تمتلك خاصيةً محددة. يمثّل الرمز **(+)** عملية الإضافة، سواء كان الشخصُ يضيف تفاحاً أم برتقالاً أم ساعاتٍ أم أميالاً في كلِّ ساعة. ولا تُصنَع الأشكال المجرّدة من الأشياء الملموسة أو العمليات فحسب، بل يمكن أن

تُصنَع أيضاً من أشكال تجريدية أخرى، مثل أنواع الأعداد (كالأعداد الزوجية، على سبيل المثال).

يمكّن مثل هذا التجريد علماء الرياضيات من التركيز على بعض مزايا الأشياء، ويعفيها من الحاجة للاحتفاظ بالمزايا الأخرى التي تكون باستمرار في الحسبان. وبقدر ما يتعلّق الأمر بعلم الرياضيات، لا يهم ما إذا كان المثلث يمثّل مساحة سطح الشراع أم تقارباً لخطّين من خطوط الرؤية لنجم ما. ويمكن لعلماء الرياضيات العمل مع أيّ مفهوم من المفهومين بالطريقة نفسها. إنّ اقتصاد الجهد الناتج مفيدٌ جداً، على أن يحرص المرء، لدى طرح تجريد ما، على عدم تجاهل المزايا التي تؤدي دوراً مهماً في تحديد نتيجة الأحداث قيد الدراسة.

التلاعب بالتصريحات الرياضية

بعد تحديد أشكال التجريد واختيار التمثيلات الرمزية لها، يمكن دمج هذه الرموز وإعادة توحيدها بطرق مختلفة وفقاً لقواعد محددة بدقة. وفي بعض الأحيان يتم ذلك بهدف ثابت في الحسبان، وفي أوقات أخرى يُجرى ذلك في سياق التجربة أو اللعب لمعرفة ما سيحدث. في بعض الأحيان يمكن بسهولة تعرّف التلاعب المناسب من المعنى البديهي للكلمات والرموز المكوّنة. وفي مرّات أُخَر يجب عمل سلسلة مفيدة من المعالجة عن طريق التجربة والخطأ.

تُدمَج سلاسل الرموز عادةً في تصريحات تعبّر عن الأفكار أو المقترحات. فعلى سبيل المثال، يمكن استخدام الرمز (A) لمساحة أيّ مربّع

مع الرمز (s) لطول ضلع المربّع لتشكيل الافتراض بأنّ ($A = s^2$). تُـحدِّدُ هذه المعادلة كيف ترتبط المساحةُ بالضلع - وتعني ضمناً أيضاً أنها لا تعتمد على أيّ شيء آخر. يمكن بعد ذلك استخدام قواعد الجبر العادي لاكتشاف أنه إذا كان طول أضلاع المربّع مضاعفة، تصبح مساحة المربّع أربعة أضعاف. هذه المعرفة، بوجه عام، تجعل من الممكن اكتشاف ما يحدث لمساحة المربّع مهما تغيّر طول أضلاعه، والعكس صحيح، كيف يؤثر أيّ تغيير في المساحة في الأضلاع؟

تحوّلت الرؤى الرياضية إلى علاقات مجرّدة على مرّ آلاف السنين، وما تزال تتوسّع وتُنقَّح في بعض الأحيان. وعلى الرغم من أنّ هذه الرؤى بدأت في التجربة الملموسة للعد والقياس، وصلت من خلال طبقات عدّة من التجريد، وتعتمد الآن على المنطق الداخلي أكثر من اعتمادها بكثير على العرض الميكانيكي. وبمعنى من المعاني، إذن، فإنّ التلاعب بالأشكال المجرّدة يشبه إلى حدٍّ كبير لعبة ما: ابدأ ببعض القواعد الأساسية، ثم اتخذ أيّ خطوات تتناسب مع تلك القواعد، التي تتضمّن اختراع قواعد إضافية وإيجاد روابط جديدة بين القواعد القديمة. إنّ اختبار صحة الأفكار الجديدة هو ما إذا كانت متسقة، وما إذا كانت تتعلّق منطقياً بالقواعد الأخرى.

التطبيق

يمكن أن تؤدي العمليات الرياضية إلى أنموذج معين لشيء ما، الذي يمكن من خلالها اكتساب رؤى حول الشيء نفسه. وقد تنقل أو لا تنقل أيّ علاقات رياضية تم التوصّل إليها من خلال التلاعب بتصريحات مجرّدة

شيئاً صادقاً عن الشيء الذي يجري تشكيله أو صوغه. فعلى سبيل المثال، إذا أُضيف كوبان من الماء إلى ثلاثة أكواب، واستخدمنا العملية الحسابية المجرّدة ٢ + ٣ = ٥ لحساب المجموع، فإنّ الإجابة الصحيحة هي خمسة أكواب من الماء. ولكن، إذا أُضيف كوبان من السكر إلى ثلاثة أكواب من الشاي الساخن واستخدمنا العملية نفسها، فإنّ خمسة هي إجابة خاطئة، لأنّ مثل هذه الإضافة تنتج في الواقع على نحو أكثر بقليل من أربعة أكواب من الشاي الحلو جداً. الإضافة البسيطة للأحجام مناسبة للموقف الأول، ولكن ليس للموقف الثاني، وهو شيء لا يمكن توقعه إلا من خلال معرفة شيء عن الاختلافات المادية في الموقفين. لذا، لنكون قادرين على استخدام علم الرياضيات جيداً وتفسيره، من الضروري الاهتمام بأكثر من الصلاحية الرياضية للعمليات المجرّدة، وأن نأخذ أيضاً في الحسبان مدى توافقها مع خصائص الأشياء التي تُـمثَّل.

في بعض الأحيان يكون الحس السليم كافياً لتمكين المرء من تقرير ما إذا كانت نتائج الرياضيات مناسبة. فعلى سبيل المثال، لتقدير ارتفاع منذ ٢٠ سنة من الآن لفتاة يبلغ طولها خمس أقدام وخمسة إنشات ونموها بمعدل إنش واحد في السنة، فإنّ المنطق السليم يشير إلى رفض الإجابة البسيطة "المعدل مضروباً بنفسه" لتصبح سبع أقدام وإنشٌ واحدٌ هي إجابة غير مرجّحة إلى حدٍّ كبير، والانتقال بدلاً من ذلك إلى أنموذج رياضي آخر، مثل المنحنيات التي تصل إلى قيم محدودة، لكن في بعض الأحيان قد يكون من الصعب معرفة مدى ملاءمة النتائج الرياضية، على سبيل المثال، لحظة محاولة التنبؤ بأسعار البورصة أو الزلازل.

في كثير من الأحيان لا تُنتِجُ جولةٌ واحدة من التفكير الرياضي استنتاجات مُرضية، ويتم تجربة التغييرات في كيفية التمثيل أو في العمليات نفسها. في الواقع، تُجرى قفزات شائعة ذهاباً وإياباً بين الخطوات، ولا توجد قواعد تحدّد كيفية المضي قُدُماً. تستمرّ العملية عادةً في نوبات وبدايات، مع منعطفات خاطئة كثيرة وطرق مسدودة. وتستمرّ هذه العملية حتى تكون النتائج جيدة على نحو كافٍ.

لكن ما درجة الدقة حين نقول جيدة على نحو كافٍ؟ تعتمد الإجابة على كيفية استخدام النتيجة وعواقب الخطأ، وعلى التكلفة المحتملة للنمذجة وحساب إجابة أكثر دقة. فعلى سبيل المثال، إنّ ارتكاب خطأ بنسبة واحد في المئة في حساب كمية السكر في وصفة الكعكة يمكن ألا يكون مهماً، في حين أنّ درجة مماثلة من الخطأ في حساب مسار مسبار فضائي يمكن أن تكون كارثية. ومع ذلك، أدّت أهمية السؤال: "جيد على نحو كافٍ" إلى تطوير العمليات الرياضية لتقدير مدى بُعد النتائج ومقدار الحساب المطلوب للحصول على درجة الدقة المطلوبة.

الفصل الثالث

طبيعة التكنولوجيا

بدأت التكنولوجيا مع بداية البشرية. في الواقع، تُعَدُّ تقنيات صنع الأدوات الدليل الأساسي على بداية ثقافة البشر. وعموماً، كانت التكنولوجيا قوة جبّارة في تطوّر الحضارة كلّها وبناءً عليه ازداد ارتباطها بالعلم، فالتكنولوجيا تشبه اللغة والطقوس والقيم والتجارة والفنون من حيث إنها جزءٌ لا يتجزأ من النظام الثقافي، وتشكّل قيم النظام وتُظهِرها. تُعَدُّ التكنولوجيا في عالـم اليوم مشروعاً اجتماعياً معقداً لا يشمل البحث والتصميم والحرف اليدوية فحسب، بل يضم التمويل والتصنيع والإدارة والعمالة والتسويق والصيانة أيضاً.

تعمل التكنولوجيا، في معناها الأوسع، على توسيع قدراتنا لتغيير العالـم: لقطع المواد أو تشكيلها أو تجميعها معاً، ولنقل الأشياء من مكان إلى آخر، وللوصول إلى أماكن أبعد بأيدينا وأصواتنا وحواسنا. نستخدم التكنولوجيا في محاولة لتغيير العالـم ولنجعله يناسبنا على نحو أفضل. وقد تتعلّق التغييرات باحتياجات البقاء على قيد الحياة كالطعام أو المأوى أو الدفاع عن النفس، أو قد تتعلّق بتطلّعات الإنسان وطموحاته كالمعرفة أو الفن أو السيطرة، لكن نتائج تغيير العالـم معقدة في معظم الأحيان ولا يمكن التنبؤ بها. ويمكن أن تشمل فوائد وتكاليف ومخاطر غير متوقعة،

إذ قد يقع أيّ منها على عاتق مجموعات اجتماعية مختلفة في أوقات مختلفة. لذا، فإنّ توقّع آثار التكنولوجيا لا تقلُّ أهمية عن تطوير قدراتها.

يقدّم هذا الفصل توصيات حول معرفة طبيعة التكنولوجيا المطلوبة من أجل المعرفة العلمية، ويؤكّد طرق التفكير في التكنولوجيا، التي يمكن أن تسهم في استخدامها استخداماً حكيماً. تقسم الأفكار إلى ثلاثة أقسام: ارتباط العلم بالتكنولوجيا، ومبادئ التكنولوجيا نفسها، وربط التكنولوجيا بالمجتمع. ويقدّم الفصل الثامن بعنوان «العالم المصمَّم» المبادئ ذات الصلة ببعض التقنيات الرئيسة في عالم اليوم. ويتضمّن الفصل العاشر، «وجهات نظر تاريخية»، مناقشةً للثورة الصناعية. أما الفصل الثاني عشر بعنوان «عادات العقل»، فيضم المهارات الأساسية ذات الصلة بالمشاركة في عالم تكنولوجي.

التوصيات

التكنولوجيا والعلم

تعتمد التكنولوجيا على العلم وتسهم فيه

برزت التكنولوجيا في السابق من تجربة المرء الشخصية مع خصائص الأشياء ومع التقنيات المستخدمة للتعامل معها، انطلاقاً من معرفة التعامل معها التي انتقلت من الخبراء إلى المتدرّبين عبر أجيال كثيرة. ومعرفة التعامل هذه، التي توارثناها ووصلت إلينا اليوم، ليست حرفة الممارسين الفرديين فحسب، بل مجموعة كبيرة أيضاً من الكلمات والأعداد والصور، التي تصف التوجيهات وتعطيها، لكنّ أهمية المعرفة العملية المتراكمة تعادل

المساهمة في التكنولوجيا، التي تأتي من فهم المبادئ التي تكمن وراء كيفية تصرّف الأشياء وسلوكها، أي من الفهم العلمي.

وقد برزت الهندسة، وهي التطبيق المنهجي للمعرفة العلمية في تطوير التكنولوجيا وتطبيقها، من حرفة فغدت علماً قائماً في حدِّ ذاته. توفّر المعرفة العلمية وسيلةً لتقدير ما سيكون سلوك الأشياء حتى قبل أن نصنعها أو نلحظها. وعلاوةً على ذلك، يقترح العلمُ عادةً أنواعاً جديدة من السلوك لم نتخيّلها من قبل، ويؤدي هذا الأمر إلى تكنولوجيات جديدة. يستخدم المهندسون معرفتهم بالعلوم والتكنولوجيا جنباً إلى جنب مع إستراتيجيات التصميم لحلّ المشكلات العملية.

وفي المقابل، توفّر التكنولوجيا عيون العلم وآذانه، وبعض عضلاته أيضاً. وقد أدّى الحاسوب الإلكتروني، على سبيل المثال، إلى تقدّم كبير في دراسة أنظمة الطقس والأنماط الديموغرافية، والبنية الجينية، والأنظمة المعقدة الأخرى، التي لا يمكن أن تكون ممكنة لولا وجوده. تُعَدُّ التكنولوجيا ضرورية للعلم لأغراض تتعلّق بالقياس وجمع البيانات ومعالجة العينات والحساب، والنقل إلى مواقع البحث (مثل القارة القطبية الجنوبية والقمر وقاع المحيط)، وجمع العِيْنَات، والحماية من المواد الخطرة، والتواصل. وقد طوّر العلماء أدوات وتقنيات جديدة أكثر من ذي قبل من خلال التكنولوجيا، التي تسهّل البحث العلمي وتقدّمه.

لا تقدّم التكنولوجيا أدوات للعلم فحسب، بل يمكن أن تقدّم أيضاً دافعاً وتوجيهاً للنظرية والبحث. تطوّرت نظرية الحفاظ على الطاقة، على سبيل المثال، إلى حدٍّ كبير بسبب المشكلة التكنولوجية المتمثلة في زيادة كفاءة

المحرّكات البخارية التجارية. وقد حفّزت تقنية الهندسة الوراثية تحديد مواقع مجموعة كاملة من الجينات في الحمض النووي البشري، وتقنية الهندسة الوراثية هذه هي التي تجعل مثل هذا التحديد ممكناً وتقدّم سبباً لفعل ذلك.

حين تصبح التقنيات أكثر تعقيداً، فإنّ ارتباطاتها بالعلم تصبح أقوى. وفي بعض المجالات، مثل فيزياء الأجسام الصلبة (التي تتضمن الترانزستورات والموصلات الفائقة)، فإنّ القدرة على صنع شيء ما والقدرة على دراسته مرتبطتان إلى درجة أنّ العلم والهندسة لا يكاد يمكن فصلهما. تتطلّب التكنولوجيا الجديدة في كثير من الأحيان فهماً جديداً، وتتطلّب التحقيقات الجديدة في معظم الأحيان تقنيةً جديدة.

تجمع الهندسة بين البحث العلمي والقيم العملية

إنّ مكوّن التكنولوجيا الأكثر ارتباطاً بالاستفسار العلمي والنمذجة الرياضية هو الهندسة. وفي معناها الأوسع، تتكوّن الهندسة من تفسير مشكلة وتصميم حل لها. الطريقة الأساسية هي وضع نهج عام ومن ثَمَّ العمل على التفاصيل الفنية لبناء الأشياء المطلوبة (مثل محرّك السيارة أو رقاقة حاسوبية، أو لعبة ميكانيكية) أو العمليات (مثل الري واستطلاعات الرأي أو اختبار المنتج).

ينطبق كثيرٌ مما قيل عن طبيعة العلم على الهندسة أيضاً، ولا سيّما في استخدام الرياضيات، والتفاعل بين الإبداع والمنطق، والحرص على الأصالة، وتنوّع الناس المعنيين، والتخصصات المهنية، ومسؤولية عامّة الناس، وما إلى ذلك. في الواقع، ثمة عددٌ أكبر من الأشخاص الذين يُطلَق

عليهم «مهندسون» أكثر من أولئك الذين يُطلَق عليهم «علماء»، وثمة علماء كثيرون يقومون بأعمال يمكن وصفها بأنها تابعة للهندسة وللعلوم أيضاً. وبالمثل، ينخرط كثيرٌ من المهندسين في العلم.

يرى العلماء أنّ أنماط الظواهر هي التي تجعل العالـم مفهوماً، ويرى المهندسون أيضاً أنها تجعل العالـم قابلاً للتلاعب. يسعى العلماء إلى إثبات أنّ النظريات تتناسب مع البيانات، ويسعى علماءُ الرياضيات إلى إظهار الدليل المنطقي على الاتصالات المجرّدة، ويسعى المهندسون إلى إثبات أنّ التصاميم تعمل. لا يمكن للعلماء تقديم إجابات عن الأسئلة كلّها، ولا يستطيع علماء الرياضيات إثبات أنّ كل الروابط ممكنة، ولا يمكن للمهندسين تصميم حلول للمشكلات كلّها.

بَيْدَ أنَّ الهندسة تؤثّر في النظام الاجتماعي والثقافة بصورة مباشرة أكثر من البحث العلمي، مع ما يترتب على ذلك من آثار فورية على النجاح أو إخفاق المؤسسات البشرية وعلى النفع والضرر الشخصي. تنطوي حتماً القرارات الهندسية، سواء في تصميم برغي طائرة أم في نظام الري، على القيم الاجتماعية والشخصية وعلى الأحكام العلمية أيضاً.

التصميم والأنظمة

جوهر الهندسة هو التصميم في ظلّ القيد

يعمل كل تصميم هندسي ضمن قيود يجب أن تكون محددة وتؤخذ في الحسبان. وأحد أنواع القيد هو المفهوم المطلق، على سبيل المثال، كالقوانين الفيزيائية مثل الحفاظ على الطاقة أو الخصائص الفيزيائية مثل حدود المرونة، والتوصيل الكهربائي، والاحتكاك. ثمة أنواع أخرى لديها بعض

المرونة: الاقتصادية (يُعَدُّ المال متاحاً إلى حدٍّ كبير لهذا الغرض)، والسياسية (المحلية، والحكومية، واللوائح الوطنية)، والاجتماعية (معارضة عامّة الناس)، والبيئية (الاختلال المحتمل للبيئة الطبيعية)، والأخلاقية (عيوب لبعض الناس، والخطر للأجيال اللاحقة). يأخذ التصميم الأمثل بالحسبان كل القيود، ويطرح بعض التسويات المعقولة فيما بينها. إنّ التوصّل إلى مثل هذه التسويات في التصميم (بما في ذلك في بعض الأحيان، قرار عدم تطوير تقنية معيّنة أكثر مما طُوِّرت) يتطلّب أخذ القيم الشخصية والاجتماعية في الحسبان. على الرغم من أنّ التصميم قد يتطلّب في بعض الأحيان قرارات روتينية فقط حول الجمع بين مكوّنات مألوفة، تنطوي في معظم الأحيان على إبداع كبير في اختراع نهج جديدة للمشكلات، ومكوّنات ومركبات جديدة، وابتكار عظيم في رؤية مشكلات جديدة أو احتمالات جديدة.

بَيْدَ أنه لا يوجد تصميم مثالي. إنّ استضافة أحد القيود على نحو جيد يمكن أن يؤدي في معظم الأحيان إلى صراع مع القيود الأخرى. فعلى سبيل المثال، قد لا تكون أخف مادة هي الأقوى، أو قد لا يكون الشكل الأكثر فاعلية هو الأكثر أماناً أو الأكثر إرضاءً من الناحية الجمالية. لذا، فإنّ كل مشكلة في التصميم تفضي إلى حلول بديلة كثيرة، اعتماداً على القيم التي يضعها الناس على القيود المختلفة. فعلى سبيل المثال، هل القوة مرغوبة أكثر من الخفة، وهل المظهر أهم من السلامة؟ تتمثل المهمة في الوصول إلى تصميم يوازن على نحو معقول بين مقايضات كثيرة، مع فهم أنه لا يوجد تصميم واحد يمكن أن يكون في الوقت نفسه الأكثر أماناً والأكثر موثوقية والأكثر كفاءة والأقل تكلفة، وهلم جرّا.

من غير العملي تقريباً أن نصمِّم شيئاً معزولاً أو عمليةً دون مراعاة السياق الواسع الذي سيُستخدَم فيها. يجب تشغيل معظم منتجات التكنولوجيا وصيانتها، وإصلاحها من حين إلى آخر واستبدالها في النهاية. ولأنّ كل هذه الأنشطة ذات الصلة تحمل تكاليف، يجب أن تؤخذ هذه الأنشطة أيضاً في الحسبان. ثمة قضية مماثلة أصبحت ذات أهمية متزايدة مع التقنيات الأكثر تعقيداً وهي الحاجة إلى تدريب الأفراد على بيعها وتشغيلها وصيانتها وإصلاحها. ولا سيّما حين تتغيّر التكنولوجيا بسرعة، يمكن أن يكون التدريب تكلفة كبيرة. وهكذا، قد يكون كبح المطالب بشأن الموظفين قيداً آخر من قيود التصميم.

تتطلّب التصميمات اختباراً دائماً تقريباً، ولا سيّما حين يكون التصميم استثنائياً أو معقداً، إذ من المحتمل أن يكون المنتج أو العملية النهائية باهظة الثمن أو خطرة، أو حين يكون الإخفاق ذا تكلفة عالية جداً. يمكن إجراء اختبارات أداء التصميم باستخدام كامل المنتجات، لكن فعل ذلك قد يكون صعباً أو مكلفاً. وهكذا، فإنّ الاختبار يُجرى في معظم الأحيان باستخدام نماذج مادية صغيرة الحجم، ومحاكاة الحاسوب، وتحليل الأنظمة المماثلة (على سبيل المثال، وحيوانات المختبر التي تمثل البشر، وكوارث الزلازل التي تمثل الكوارث النووية)، أو اختبار المكوّنات المنفصلة فقط.

تتضمن التقنيات التحكم

تتطلّب الأنظمةُ كلُّها، من أبسطها إلى أكثرها تعقيداً، تحكماً لإبقائها تعمل على النحو الأمثل. يكمن جوهر التحكم في مقارنة معلومات حول ما يحدث مع ما نريد أن يحدث، ثم إجراء التعديلات المناسبة. ويتطلّب

التحكم عادةً تغذية راجعة (من أجهزة الاستشعار أو مصادر المعلومات الأخرى)، ومقارنات منطقية لتلك المعلومات بالتعليمات (وربما لمدخلات بيانات أخرى)، ووسيلة من أجل تفعيل التغييرات. فعلى سبيل المثال، يُعَدُّ الفرن المخصص للخبز نظاماً بسيطاً إلى حدٍّ ما يقارن المعلومات من مستشعر درجة الحرارة إلى بيئة تحكم، ويرفع عنصر التسخين إلى الأعلى أو الأسفل للحفاظ على درجة الحرارة ضمن نطاق صغير. السيارة هي نظام أكثر تعقيداً يتكوّن من أنظمة فرعية للتحكم في درجة حرارة المحرّك ومعدّل الاحتراق والاتجاه والسرعة وما إلى ذلك، ولأجل تغييرها حين تتغيّر الظروف المباشرة أو التعليمات. تتيح الإلكترونيات المصغّرة التحكم المنطقي في تنوّع كبير من الأنظمة التقنية. وكل أجهزة المنزل تقريباً المستخدمة اليوم باستثناء البسيط منها تشمل المعالجات الدقيقة للتحكّم بأدائها.

ومع زيادة تعقيد ضوابط التحكّم، فإنها تتطلّب أيضاً تنسيقاً، مما يعني طبقات تحكّم إضافية. إنّ التحسّن في الاتصال السريع والمعالجة السريعة للمعلومات تجعل من الممكن جداً وضع أنظمة التحكّم. ومع ذلك، تشمل الأنظمة التكنولوجية كلّها مكوّنات بشرية وميكانيكية أو إلكترونية. وحتى أكثر نظام تلقائي يتطلّب تحكّماً بشرياً في مرحلة ما، لبرمجة عناصر التحكّم المتضمّنة ومراقبتها ومعالجتها حين تتعطّل، وتغييرها حين تتغيّر أغراض النظام. تكمن السيطرة النهائية في الأشخاص الذين يفهمون بعمق الغرض وطبيعة عملية التحكّم، والسياق الذي تعمل فيه هذه العملية.

للتقنيات دائماً آثار جانبية

بالإضافة إلى فوائد التصميم المقصودة، من المرجّح أن يكون له آثار جانبية غير مقصودة في إنتاجه وتطبيقه. فمن ناحية، قد تكون هناك فوائد

غير متوقعة. فعلى سبيل المثال، قد تصبح ظروف العمل أكثر أماناً حين تُشكَّل المواد بدلاً من دمغها، والمواد المصمَّمة للأقمار الصناعية الفضائية قد تكون مفيدة في منتجات المستهلك. ومن ناحية أخرى، فإنّ المواد أو العمليات المشاركة في الإنتاج قد تضرّ عمال الإنتاج أو الناس بوجه عام. فعلى سبيل المثال، قد يؤدي الجلوس أمام حاسوب إلى إجهاد عَيْنَيِ المستخدِم، ويؤدي إلى العزلة عن العمال الآخرين. وقد تتأثر الوظائف من خلال زيادة فرص العمل للأشخاص المشاركين في التكنولوجيا الجديدة، وتقليل فرص العمل للآخرين المنخرطين في التكنولوجيا القديمة، وتغيير طبيعة العمل الذي يجب على الناس فعله في وظائفهم.

لا يتعلّق الأمر بتقنيات كبيرة فحسب (كالمفاعلات النووية أو الزراعة)، التي تكون عُرضة للآثار الجانبية، بل الآثار الجانبية الصغيرة اليومية. وقد تكون تأثيرات التقنيات العادية ضئيلة في كل واحدة منها، لكنها مهمّة من الناحية الجماعية. فالثلاجات، على سبيل المثال، تؤثّر إيجابياً على نحو متوقع في النظام الغذائي وأنظمة توزيع الغذاء، ولكن بسبب وجود ثلاجات كثيرة، فإنّ التسرّب الضئيل للغاز المستخدَم في أنظمة التبريد الخاصة بهم قد يكون له آثار سلبية كبيرة على الغلاف الجوي للأرض.

بعض الآثار الجانبية غير متوقعة بسبب قلة الاهتمام أو الموارد التي تتنبّأ بها، لكنّ كثيراً لا يمكن التنبؤ به حتى من حيث المبدأ بسبب التعقيد الضخم للأنظمة التكنولوجية وإبداع الناس في إيجاد تطبيقات جديدة. وقد يتبين أنّ بعض الآثار الجانبية غير المتوقعة غير مقبولة أخلاقياً أو جمالياً أو اقتصادياً لجزء كبير من السكان، مما يؤدي إلى الصراع بين المجموعات في المجتمع. وللتقليل من هذه الآثار الجانبية، ينتقل المخطّطون إلى تحليل

منهجي للمخاطر. فعلى سبيل المثال، يتطلّب كثيرٌ من المجتمعات بموجب القانون أن تُـجرى دراسات التأثير البيئي قبل أن يفكروا في منح الموافقة على إنشاء مستشفى جديد أو مصنع أو طريق سريع، أو نظام التخلّص من النفايات، أو مركز تسوّق، أو أيّ منشأة أخرى.

وعلى أيّ حال، يمكن أن يكون تحليل المخاطر معقداً. ولأنّ الخطر المرتبط بمسار عمل معيّن لا يمكن اختزاله إلى الصفر، قد يتعيّن تحديد قابلية القبول من خلال مقارنتها بمخاطر مسارات العمل البديلة، أو بمخاطر مألوفة أخرى. لا تتطابق بالضرورة ردّات الفعل النفسية للناس نحو الخطر مع نماذج رياضية مباشرة للفوائد والتكاليف. ويميل الناس إلى إدراك خطر ما بأنه عالٍ إذا لم يكن لديهم سيطرة عليه (الضباب الدخاني مقابل الدخان)، أو إذا كانت الأحداث السيئة تميل إلى الوقوع في ذروات مروّعة (مثل وفيات كثيرة دفعة واحدة في تحطّم طائرة مقابل عدد قليل فقط في كل مرة على حدة في حوادث السيارات). يمكن أن يتأثر التفسير الشخصي للمخاطر بأنه يتأثر بشدة بكيفية حدوث المخاطر، كمقارنة احتمالية الموت مقابل احتمال البقاء على قيد الحياة، والمخاطر المخيفة مقابل المخاطر المقبولة، والتكاليف الإجمالية مقابل التكاليف لكل فرد في اليوم، أو مقارنة العدد الفعلي للأشخاص المتضررين مقابل نسبة الأشخاص المتضررين.

يمكن أن تفشل كل الأنظمة التكنولوجية

تم تصميم معظم الأنظمة التكنولوجية الحديثة وإنتاجها، من مذياع الترانزستور إلى الطائرات، لتكون قابلة للاعتماد عليها على نحو ملحوظ. قلّما يكون الفشل مفاجئاً. ومع ذلك، كلّما كبر النظام وصار أكثر تعقيداً،

ازدادت الطرق التي يمكن أن يخطئ المرء فيها، وكلّما كان أكثر انتشاراً، أصبحت الآثار المحتملة للفشل ممكنة أكثر. قد يفشل نظامٌ أو جهاز ما لأسباب مختلفة: لأنّ جزءاً ما فيه فشل، أو لأنّ جزءاً ما فيه لا يتطابق بصورة جيدة مع جزء آخر، أو لأنّ تصميم النظام لا يتناسب مع كل الظروف التي يُستخدَم فيها. أحد العوائق في طريق الفشل هو التصميم المفرط، أي، على سبيل المثال، جعل شيء ما أقوى أو أكبر مما هو محتمل أن يكون ضرورياً. وثمة عائق آخر وهو التكرار، أيّ بناء في نظام دعم واحد أو أكثر للاعتماد عليه في حال أخفق النظام الأساسي.

إذا ترتب على إخفاق نظام ما عواقب مكلفة للغاية، فقد يُصمَّم النظام بحيث تؤدي الطريقة الأكثر احتمالاً للإخفاق إلى أقل الأضرار. ومن الأمثلة على مثل هذه التصاميم "الآمنة من الإخفاق" هي القنابل، التي لا يمكن أن تنفجر حين يتعطّل المصهر، ونوافذ السيارات التي تتحطّم إلى قطع غير حادة، والقطع التي يتصل بعضها ببعض بدلاً من تلك التي تتحطّم وتصبح قطعاً حادة، والأجزاء المتطايرة، والنظام القانوني الذي يؤدي عدم اليقين فيه إلى التبرئة بدلاً من الإدانة. ثمة وسائل أخرى للتقليل من احتمالية حدوث الإخفاق تشمل تحسين التصميم من خلال جمع المزيد من البيانات، وإدراج المزيد من المتغيّرات، وبناء نماذج عمل أكثر واقعية، وتشغيل محاكاة الحاسوب للتصميم مدّةً أطول، وفرض تحكم مراقبة الجودة، وبناء ضوابط تحكّم لاستشعار المشكلات وتصحيحها حين تتطوّر.

من المحتمل أن تؤدي وسائل منع الإخفاق أو التقليل منها إلى حدّها الأدنى إلى زيادة التكلفة، ولكن بغض النظر عن الاحتياطات التي اتُّخِذَت أو الموارد التي استُثمِرَت، لا يمكن تخفيض مخاطر الإخفاق التكنولوجي إلى

الصفر. لذا، ينطوي تحليل المخاطر على تقدير احتمالية حدوث كل نتيجة غير مرغوب فيها يمكن توقعها، وتقدير مقدار الضرر أيضاً الذي يمكن أن يحدث في حالة حدوثه. ثم تُقدَّر الأهمية المتوقعة لكل خطر من خلال الجمع بين احتماله وقياسه للضرر. يمكن بعد ذلك مقارنة الخطر النسبي للتصاميم المختلفة من حيث الضرر المحتمل المجتمِع الناتج عن كل تصميم.

قضايا في التكنولوجيا

وجود البشر

لقد تضاعف عدد سكان الأرض ثلاث مرّات خلال القرن الماضي. ومع ذلك، فإنّ الوجود البشري، الذي يكاد يكون واضحاً في كل مكان تقريباً على وجه الأرض، له تأثير أكبر مما تشير إليه الأرقام وحدها. لقد طوّرنا القدرة على السيطرة على معظم الأنواع النباتية والحيوانية، أكثر بكثير مما يمكن أن يسيطر عليها أيّ نوع آخر، والقدرة على تشكيل المستقبل بدلاً من مجرّد الاستجابة له.

إنّ استخدام هذه القدرة له محاسن وعيوب. فمن ناحية، أحدثت التطورات في التكنولوجيا نتائج هائلة تعود بالفائدة على كل الناس تقريباً. ويمكن لمعظم الناس اليوم الوصول إلى السلع والخدمات التي كانت في يوم من الأيام كماليات لا يتمتع بها إلا الأثرياء، في النقل والتواصل والتغذية والصرف الصحي والرعاية الصحية والترفيه، وما إلى ذلك. ومن ناحية أخرى، فإنّ هذا السلوك نفسه، الذي جعل الجنس البشري يزدهر بهذه السرعة، قد وضعنا والكائنات الحية الأخرى على الأرض تحت أنواع جديدة من المخاطر. وقد أفسح نمو التكنولوجيا الزراعية مجالاً لوجود عدد

كبير جداً من السكان، لكنه فرض ضغطاً ضخماً على التربة وأنظمة المياه اللازمة لمواصلة الإنتاج الكافي. تعالج المضادات الحيوية في أجسامنا الإصابة البكتيرية، لكنها قد تستمرّ في العمل فقط إذا اخترعنا أنواعاً جديدة من المضادات السريعة أسرع من ظهور سلالات بكتيرية مقاومة.

إنّ وصولنا إلى مخازن ضخمة من الوقود الأحفوري واستخدامها قد جعلنا نعتمد على مورد غير متجدد. وفي أعدادنا الحالية، لن نكون قادرين على الحفاظ على طريقتنا في العيش على الطاقة التي توفّرها التكنولوجيا الحالية، وقد تكون التقنيات البديلة غير كافية، أو قد تمثّل مخاطر غير مقبولة، فجهودنا الواسعة في التعدين والتصنيع تُنتِجُ بضائعنا، لكنها تلوّث أيضاً أنهارنا ومحيطاتنا وتربتنا وغلافنا الجوي على نحو خطر. وبالفعل، فإنّ منتجات التصنيع الثانوية في الغلاف الجوي قد تستنفد طبقة الأوزون، التي تحمي سطح الكوكب من الأشعة فوق البنفسجية الضارة، وربما تتسبب في تراكم ثاني أكسيد الكربون الذي يحبس الحرارة، ويمكن أن يرفع متوسط درجات حرارة كوكب الأرض إلى حدٍّ كبير. إنّ الآثار البيئية لحرب نووية، فضلاً عن كوارثها الأخرى، يمكن أن تغيّر جوانب حاسمة لكل أشكال الحياة على وجه الأرض.

لقد قلّل وجود البشر، من وجهة نظر الأنواع الأخرى، من مساحة الأرض المتاحة لهذه الأنواع عن طريق قطع الأشجار من مساحات كبيرة من الغطاء النباتي، وتدخّل وجود البشر في مصادر غذائهم، وغيّر موائلها عن طريق تغيير درجة الحرارة، وتكوين المواد الكيميائية لأجزاء كبيرة من البيئة العالمية، وزعزع استقرار نظمها البيئية عن طريق إدخال أنواع أجنبية، سواء كان عمداً أم عن طريق الخطأ، وقلّل عدد الأنواع الحيّة، وغيّر، في

بعض الأمثلة، خصائصَ نباتات وحيوانات معيّنة عن طريق التربية الانتقائية وعن طريق الهندسة الوراثية مؤخّراً.

سيُحدِّد الجنس البشري إلى حدٍّ كبير ما يخبئه المستقبل للحياة على وجه الأرض، باستثناء ظهور كارثة طبيعية هائلة ما. الذكاء نفسه، الذي أوصلنا إلى ما نحن عليه الآن (بتحسين جوانب كثيرة من الوجود البشري وإدخال مخاطر جديدة إلى العالم) هو مصدرنا الرئيس أيضاً للبقاء على قيد الحياة.

تتفاعل الأنظمة التكنولوجية الاجتماعية بقوة

يُعَدُّ الإبداع الفردي ضرورياً للابتكار التكنولوجي. ومع ذلك، فإنّ القوى الاجتماعية والاقتصادية تؤثّر بقوة فيما ستنفّذه التقنيات، وما ستهتم به وتستثمره وتستخدمه. تحدث مثل هذه القرارات على نحو مباشر على أنها مسألة سياسة حكومة، وعلى نحو غير مباشر على أنها نتيجة لظروف مجتمع ما وقيمه في أيّ وقت معين. إنّ القرارات المتعلّقة بأهمية الخيارات التكنولوجية في الولايات المتحدة تتأثر بعوامل كثيرة، مثل قبول المستهلك، وقوانين براءات الاختراع، وتوفّر رأس المال المخاطِر، وعملية الميزانية الفيدرالية، واللوائح المحلية والوطنية، واهتمام وسائل الإعلام، والمنافسة الاقتصادية والحوافز الضريبية والاكتشافات العلمية. يؤثّر توازن هذه الحوافز واللوائح بشكل مختلف في أنظمة تكنولوجية مختلفة، فيشجِّعُ بعضاً منها ويثبِّطُ بعضها الآخر.

لقد أثّرت التكنولوجيا بقوة في مسار التاريخ وفي طبيعة المجتمع البشري، ولا تزال مستمرة في تأثيرها. فعلى سبيل المثال، ربما كان للثورات العظيمة في التكنولوجيا الزراعية تأثير في كيفية عيش الناس أكثر من الثورات

السياسية. وقد أسهمت التغييرات في الصرف الصحي والطب الوقائي في الانفجار السكاني (وفي التحكم فيه)، وغيّرت الأقواس والسهام، والبارود والمتفجرات النووية بدورها طريقةَ شنِّ الحرب. يغيّر المعالج الدقيق طريقة الناس في الكتابة والحساب، والعمل في المصارف، وإدارة الأعمال، وإجراء البحوث، وتواصل بعضهم مع بعض. تُعَدُّ التكنولوجيا مسؤولة إلى حدٍّ كبير عن مثل هذه التغييرات واسعة النطاق مثل زيادة التحضّر في المجتمع، والنمو السريع للترابط الاقتصادي للمجتمعات في أنحاء العالـم كلّها.

يعتقد بعضُ المنظّرين الاجتماعيين من الناحية التاريخية أنّ التغيير التكنولوجي (مثل التصنيع والإنتاج الضخم) يسبّب تغييراً اجتماعياً، في حين يعتقد آخرون أنّ التغيير الاجتماعي (مثل التغييرات السياسية أو الدينية) يؤدي إلى تغييرٍ تكنولوجيٍّ، لكن من الواضح أنه بسبب وجود شبكة من الاتصالات بين الأنظمة التكنولوجية والأنظمة الاجتماعية الأخرى، فإنّ كثيراً من التأثيرات تعمل في كلا الاتجاهين.

يفرض النظام الاجتماعي بعض القيود على الانفتاح في التكنولوجيا

تُعَدُّ القيم المهنية للهندسة عموماً مشابهة كثيراً لقيم العلم، بما في ذلك المزايا التي تظهر في المشاركة المفتوحة للمعرفة، لكن بسبب القيمة الاقتصادية للتكنولوجيا، ثمة قيود في معظم الأحيان على انفتاح العلم والهندسة ذات الصلة بالابتكار التكنولوجي. فالاستثمار الكبير للوقت والمال والمخاطر التجارية الكبيرة مطلوبة عادةً لتطوير تقنية جديدة وتقديمها للسوق. وقد يتعرّض هذا الاستثمار للخطر إذا تمكّن المنافسون من الوصول إلى تكنولوجيا جديدة دون إجراء استثمار مماثل، وهكذا تُحجم

الشركات في كثير من الأحيان عن المشاركة في المعرفة التكنولوجية، لكن من المرجّح ألا تظل المعرفة العلمية أو التكنولوجية سرّية للغاية مُدَّةً طويلة. تقدّم السرّية في معظم الأحيان فائدة ومنفعة فحسب من حيث الوقت (الأسبقية، وليست السيطرة المطلقة للمعرفة). تشجع قوانين البراءات الانفتاح من خلال منح الأفراد والشركات سيطرةً على استخدام أيّ تقنية جديدة يطوّرونها. ومع ذلك، إذا أردنا تعزيز المنافسة في مجال التكنولوجيا، فإنّ هذا التحكّم محدود فقط بمدة زمنية معيّنة.

ليست الفائدة التجارية الدافع الوحيد للسرّية والتحكّم. يحدث معظم التطوّر التكنولوجي في أماكن مثل الوكالات الحكومية، إذ تكون المخاوف التجارية ضئيلة، ولكن مخاوف الأمن القومي قد تؤدي إلى السرّية. ويمكن أن تخضع أيّ تقنية لديها تطبيقات عسكرية محتملة لقيود تفرضها الحكومة الفيدرالية، التي قد تَـحُدُّ من مشاركة المعرفة الهندسية، أو حتى تصدير المنتجات، التي يمكن أن نستنتج منها المعرفة الهندسية. ولأنّ الروابط بين العلم والتكنولوجيا قوية للغاية في بعض المجالات، تبدأ السرّية حتماً في تقييد بعض التدفّق الحر للمعلومات في العلم أيضاً. يشعر بعضُ العلماء والمهندسين بعدم ارتياح شديد نحو ما يرون أنه حلّ وسط للمثل الأعلى العلمي، ويرفض البعضُ العمل في مشاريع تفرض السرّية، لكن الآخرين يرون القيود بأنها مناسبة.

القرارات المتعلّقة باستخدام التكنولوجيا معقدة

تنتشر معظم الابتكارات التكنولوجية أو تختفي على أساس قوى السوق الحرة، أيّ على أساس كيفية استجابة الأفراد والشركات لمثل هذه

الابتكارات. ولكن من حين لآخر، يصبح استخدام بعض التكنولوجيا قضيةً خاضعة للنقاش العام وربما التنظيم الرسمي. وإحدى الطرق التي تصبح فيها التكنولوجيا مثل هذه القضية هي حين يعزم شخصٌ ما أو مجموعة أو شركة على تقديم اختبار أو تكنولوجيا جديدة، كما كانت الحال في "الحرث الحدودي"[1] (contour plowing) والتلقيح والهندسة الوراثية ومحطات الطاقة النووية. ثمة طريقة أخرى حين تكون تكنولوجيا ما مُستخدَمة بالفعل على نطاق واسع موضع تساؤل، كما هي الحال حين يُقال للناس (عن طريق الأفراد أو المنظّمات أو الوكالات) إنه من الضروري وقف استخدام تكنولوجيا معيّنة أو الحد منه، أو وقف منتج تكنولوجي اكتُشِفَ أنه يمتلك آثاراً ضارة، أو قد تكون له هذه الآثار. قد يكون الحل المقترح، في مثل هذه الحالات، حظر دفن النفايات السامة في مكبّات المجتمع، أو حظر استخدام البنزين الذي يحتوي على الرصاص وعزل الأسبستوس.

قلّما تكون المشكلات المتعلّقة بالتكنولوجيا بسيطة ومن جانب واحد. إنّ الحقائق التقنية ذات الصلة وحدها، حتى حين تكون معروفة ومتاحة (وهي ليست كذلك في معظم الأحيان)، لا تسوّي الأمور عادةً بالكامل لصالح جانب أو آخر. تعتمد فرص الوصول إلى قرارات شخصية أو جماعية جيدة حول التكنولوجيا على وجود معلومات لا يكون المتحمّسون أو المشكّكون مستعدين دائماً للتطوّع بها. لذا، فإنّ مصالح المجتمع طويلة الأجل تتحقق على أفضل حال من خلال إيجاد عمليات تضمن أنّ الأسئلة الرئيسة المتعلّقة بمقترحات تقليص أو إدخال التكنولوجيا أُثيرت، وأنّ أكبر

---

(١) نوع من الحرث على طول محيط الأرض وحدودها لتقليل تآكل التربة. (المترجم).

قدر ممكن من المعرفة هو الذي له تأثير عليها. لا يضمن النظر في هذه الأسئلة الحصول على أفضل قرار يُتخَذ دائماً، لكنّ الإخفاق في طرح الأسئلة الرئيسة من المؤكد إلى حدٍّ ما أن يؤدي إلى قرارات سيئة. يجب أن تتضمن الأسئلة الرئيسة المتعلّقة بأيّ تقنية جديدة مقترحة النقاط الآتية:

- ما الطرق البديلة لتحقيق الغايات نفسها؟ ما محاسن البدائل ومساوئها؟ ما المقايضات الضرورية بين الآثار الجانبية الإيجابية والسلبية لكل منها؟
- من المستفيدون الرئيسون؟ من الذي لم يحصل على فوائد أو حصل على فوائد قليلة؟ من سيعاني نتيجة التكنولوجيا الجديدة المقترحة؟ إلى متى ستستمر الفوائد؟ هل سيكون للتكنولوجيا تطبيقات أخرى؟ لمن ستُقدَّم الفائدة؟
- ماذا ستكلِّف التكنولوجيا الجديدة المقترحة حتى نبنيها ونشغّلها؟ كيف يُقارَن ذلك بتكلفة البدائل؟ هل يجب على غير المستفيدين من الناس أن يتحمّلوا التكاليف؟ من الذي يجب عليه ضمان تكاليف تطوير تقنية جديدة مقترحة؟ وكيف ستتغيّر التكاليف مع مرور الوقت؟ ماذا ستكون التكاليف الاجتماعية؟
- ما هي مجالات المخاطر المرتبطة بالتكنولوجيا الجديدة المقترحة؟ ما المخاطر المرتبطة بعدم استخدامها؟ من سيكون في خطر أكبر؟ ما المخاطر التي ستُقدِّمها التكنولوجيا للأنواع الأخرى من الحياة وللبيئة؟ في أسوأ حالة ممكنة، ما المشكلة التي يمكن أن تسببها؟ ومن سيتحمّل المسؤولية؟ كيف يمكن تفادي المشكلة أو الحد منها؟

- ما الناس والمواد والأدوات والمعرفة والدراية التي سنحتاج إليها لبناء التكنولوجيا الجديدة المقترحة وتركيبها وتشغيلها؟ هل هذه الأشياء متوفرة؟ وإذا لم تكن متوفرة، فكيف سنحصل عليها، ومن أين؟ ما مصادر الطاقة المطلوبة للبناء أو التصنيع، وكذلك للتشغيل؟ ما الموارد المطلوبة لصيانة التكنولوجيا الجديدة وتحديثها وإصلاحها؟

- ما الذي يجب إجراؤه للتخلّص من مواد نفايات التكنولوجيا الجديدة على نحو آمن؟ وحين تصبح قديمة أو بالية، كيف ستُستبدَل؟ وأخيراً، ماذا سيحل بالمادة التي صُنِّعت منها والناس الذين كانت وظائفهم تعتمد عليها؟

قلّما يكون المواطنون الأفراد في وضع يسمح لهم بالسؤال أو طلب إجابات عن هذه الأسئلة على المستوى العام، لكنّ معرفتهم بأهمية الإجابات وصلتها بالموضوع يزيدان من الاهتمام، الذي نمنحه لأسئلة تطرحها شركاتٌ خاصة، ومجموعات ذات مصالح مشتركة، وموظّفون من عامّة الناس. وعلاوةً على ذلك، قد يطرح الأفراد الأسئلة نفسها فيما يتعلّق باستخدامهم الخاص للتكنولوجيا، على سبيل المثال، استخدامهم الخاص لتكنولوجيا الأجهزة المنزلية، وللمواد التي تسهم في تلوث الأطعمة والأقمشة. يمكن للتأثير التراكمي للقرارات الفردية أن يؤثّر إلى حدٍّ كبير في الاستخدام واسع النطاق للتكنولوجيا مثل التأثير الذي تفرضه القرارات العامّة.

لا يمكن الإجابة عن كل هذه الأسئلة بسهولة. يجب اتخاذ معظم القرارات التكنولوجية على أساس معلومات غير كاملة، ومن المرجّح أن يكون للعوامل السياسية تأثيرٌ كبير مثل العوامل التقنية، بل أكثر من ذلك في بعض الأحيان. غير أنّ العلماء وعلماء الرياضيات والمهندسين يؤدون دوراً مميّزاً في التطلّع إلى المستقبل البعيد والنظر بعيداً بقدر ما يقتضي الجانب العملي لتقدير الفوائد والآثار الجانبية والمخاطر. يمكنهم أيضاً المساعدة عن طريق تصميم أجهزة كشف وتقنيات مراقبة مناسبة، وعن طريق وضع إجراءات لجمع البيانات الإحصائية ذات الصلة وتحليلها.

الفصل الرابع

البيئة المادية

لم يفقد البشر قط اهتمامهم بمحاولة معرفة آلية ترابط الكون وآلية عمله، وأين مكانهم في هذا المخطط الكوني للأشياء. إنّ تطوير فهمنا لبنية الكون ليس كاملاً بالتأكيد، لكننا أحرزنا تقدماً عظيماً. ولـمّا كان الكون يتألّف من مسافات شاسعة جداً يصعب على المرء الوصول إليها، ومن جُسيمات متناهية في الصغر بحيث لا يمكن رؤيتها، ومن عددها الذي لا يُحصى، فإنّ إحرازنا للتقدّم هو تكريم لذكاء البشر كما هي الحال في تفسيرنا لتوافق بعض الأشياء مع بعض. يجب على جميع البشر المشاركة في السرور الذي يشعرون به من تعرُّف عالمهم على نحو أفضل.

يتكوّن هذا الفصل من توصيات للمعرفة الأساسية حول الهيكل العام للكون والمبادئ الفيزيائية التي يبدو أنه يعمل من خلالها، مع التركيز على الأرض والنظام الشمسي. يركّز الفصل على موضوعين رئيسين: بنية الكون والعمليات الأساسية التي كانت قد شكّلت كوكب الأرض، إضافةً إلى المفاهيم التي يصف العلمُ من خلالها العالَـمَ المادي بوجه عام. إنّ هذا الفصل منظّمٌ على نحو ملائم تحت عناوين مثل المادة والطاقة والحركة والقوى.

الكون

إنّ الكون هائلٌ وقديم، وبمقاييس مذهلة يصعب على العقل البشري فهمها. كانت الأرض موجودة منذ نحو ثلث تاريخ الكون فقط، وهي بالمقارنة معه مجرّد نقطة أو بقعة صغيرة في الفضاء. شمسنا هي نجم متوسط الحجم يدور في مدار قريب من حافة ذراع مجرّة لها شكل قرص عادي ومؤلَّفة من نجوم، ويمكننا أن نرى جزءاً منها على أنه شريط متوهج واسع يمتد في السماء في ليلة صافية (درب التبانة). تحتوي مجرّتنا على مليارات كثيرة من النجوم، ويحتوي الكون على مليارات كثيرة من هذه المجرّات، وقد نتمكّن من رؤية بعضها بالعين المجرّدة على أنها بقع ضبابية في ليلة صافية.

وباستخدام أسرع صواريخنا، سيستغرق الأمر منا آلاف السنين للوصول إلى النجم الأقرب لشمسنا. يستغرق الضوء القادم من أقرب نجم أربع سنوات للوصول إلينا، والضوء الذي يصل إلينا من أبعد المجرّات تركها في وقت ليس ببعيد بعد بداية الكون. ولهذا السبب حين ننظر إلى النجوم، فإننا ننظر إلى ماضيها.

ثمة أنواع مختلفة وعجيبة من النجوم وهي أكبر بكثير من نجوم أخرى، ومنها ما هو أصغر بكثير من النجوم الأخرى، وأعلى حرارة بكثير من غيرها، ومنها ما هو أكثر برودة من غيره، وأقدم بكثير من غيره، ومنها ما هو أقل عمراً من الشمس. يبدو أنّ معظم هذه النجوم ليست نجوماً معزولة مثل الشمس، لكنها جزءٌ من أنظمة تتألَّف من نجمين أو أكثر تدور حول مركز مشترك من الكتلة. وهكذا ثمة مجرّات أخرى ومجموعات من

المجرّات تختلف عن مجرّتنا في الحجم والشكل واتجاه الحركة، لكن على الرغم من هذا التنوّع، فإنها تبدو كلّها مؤلَّفة من العناصر والقوى نفسها فضلاً عن أشكال الطاقة الموجودة في نظامنا الشمسي ومجرّتنا، وتبدو أنها تتصرّف وفقاً للمبادئ الفيزيائية نفسها.

يبدو أنّ كل محتويات الكون المعروف قد توسّعت بعد انفجاره، ودخلت حيّز الوجود من كتلة واحدة ساخنة وكثيفة وفوضوية منذ أكثر من عشرة مليارات سنة. تجمّعت النجوم من سُحُب مؤلَّفة من أخف العناصر وزناً (كالهيدروجين والهيليوم)، وتلقّت السخونة من طاقة السقوط بعضها مع بعضٍ، وبدأت تطلقُ طاقةً نووية من انصهار العناصر الخفيفة إلى عناصر أثقل في نواها شديدة السخونة والكثافة. وفي نهاية المطاف، انفجرت نجومٌ كثيرة، فأدّى ذلك إلى ظهور سُحُب جديدة يمكن لنجوم أخرى - وربما لكواكب تدور حولها - أن تتكثف. وتستمرّ عملية تكوّن النجوم. تتشكّل النجوم ثم تتبدد في نهاية المطاف، وتتغيّر أشكال المادة والطاقة، كما حدث منذ مليارات السنين.

تكوّن نظامُنا الشمسي من سحابة عملاقة من الغاز والحطام الذي تبقّى في أعقاب النجوم التي انفجرت منذ نحو خمسة مليارات سنة. إنّ كل شيء في الأرض وعليها، بما في ذلك الكائنات الحيّة، مصنوعٌ من هذه المادة. ولـمّا تشكّلت الأرض والكواكب الأخرى، سقطت العناصر الأثقل من غيرها إلى مراكزها. أما على الكواكب القريبة من الشمس (مثل عطارد، والزُّهَرَة، والأرض، والـمِرِّيْخ)، فطارت وتبددت معظمُ العناصر الأخف وزناً أو تبخّرت بوساطة الإشعاع الصادر من الشمس المتكوّنة حديثاً. وعلى الكواكب البعيدة (مثل كوكب المشتري، وزحل، وأورانوس، ونبتون،

وبلوتو)، لا تزال العناصر الأخف وزناً تحيط بها على أنها أجواءٌ عميقة من الغاز أو طبقات صلبة متجمّدة.

إذا جمعنا الكواكب كلّها، فإننا سنجدها تسعة كواكب مختلفة الحجم والتكوين وخصائص السطح، التي تدور حول الشمس في مدارات دائرية تقريباً. تدور حول الكواكب مجموعةٌ كبيرة ومتنوعة من الأقمار (في بعض الحالات) التي تشكّل حلقات مسطّحة من الصخور والحطام الجليدي أو (في حالة كوكب الأرض) قمر وأقمار صناعية. تُظهِرُ خصائص كثير من الكواكب وأقمارها دليلاً على عمليات التطور المشابهة لتلك التي تحدث على كوكب الأرض (كالزلازل، وتدفّق الحمم البركانية، والتعرية).

ثمة أيضاً عددٌ كبير جداً من الأجسام الصغيرة من الصخور والجليد، التي تدور حول الشمس. بعضُ هذه الأجسام التي تلتقي بها الأرض في مدارها السنوي حول الشمس تتوهج وتتفكك بسبب الاحتكاك حين تغوص في الغلاف الجوي - وتؤثر في بعض الأحيان في سطح الأرض. ثمة قطع أخرى من الصخور الممزوجة بالجليد لها مدارات طويلة وبعيدة عن المركز تدور على نحو دوري مقتربة جداً من الشمس، إذ تنصهر بعض المواد من أسطحها بوساطة أشعة الشمس وتُدفَع لمسافة طويلة لتشكّل ذيلاً مضيئاً نراه ونتعرّفه بأنه مذنّب.

لا تزال معرفتنا المتزايدة بالنظام الشمسي وباقي الكون تأتي إلى حدٍّ ما عن طريق الملاحظة المباشرة، ولكن معظمها يأتي من خلال استخدام الأدوات التي طوّرناها لتوسيع نطاق حواسنا وزيادته. وتتضمن هذه الأدوات تلسكوبات المذياع والأشعة السينية، التي تكون حساسة لطيفٍ واسع من المعلومات، التي تأتي إلينا من الفضاء، وأجهزة حاسوب يمكنها

إجراء حسابات معقدة على نحو متزايد لأنظمة الجاذبية أو للتفاعلات النووية، وإيجاد أنماط في البيانات واستنتاج الآثار المترتبة على النظريات، والمسابير الفضائية التي ترسل صوراً مفصّلة وغيرها من البيانات من الكواكب البعيدة في نظامنا الشمسي، و"محطِّمات الذرّات" الضخمة، التي تحاكي الظروف في بدايات الكون، وتستقصي ما يعتمل في الذرّات.

يجب الاستدلال على معظم ما نعتقد أننا نعرفه عن الكون باستخدام كل هذه الأدوات لإلقاء نظرة على شرائح صغيرة جداً من الزمان والمكان. يعتمد ما نعرفه عن النجوم على تحليل الضوء الذي يصلنا منها. ويستند ما نعرفه عن باطن الأرض إلى القياسات التي نجريها على سطحها، أو بالقرب من الأقمار الصناعية التي تدور فوق سطحها. وما نعرفه عن تطوّر الشمس والكواكب ونشوئها يأتي من دراسة الإشعاع الصادر من عِيْنة بسيطة من النجوم، والخصائص المرئية للكواكب، وعِيْنات من المواد (كالصخور والنيازك، وعِيْنات من سطح القمر والـمِرِّيخ)، ومن تخيُّل كيف أصبحت على ما هي عليه الآن.

كوكب الأرض

يعيش البشر على كوكب صغير إلى حدٍّ ما، وهو الكوكب الثالث في بُعده عن الشمس في النظام الوحيد للكواكب المعروف بالتأكيد بأنه موجود (على الرغم من أنّ من المحتمل أن يكون وجود أنظمة مماثلة شائعاً في الكون). للأرض شكل كروي تقريباً مثل باقي الكواكب والنجوم، وهو نتيجة تجاذب طرفي الجاذبية بصورة متبادلة، وهذا التجاذب يسحب مادتها نحو مركز مشترك. وخلافاً للكواكب البعيدة الأكبر حجماً، التي تتكوّن من

غاز في جلّها، يتألّف معظم كوكب الأرض من الصخور، مع ثلاثة أرباع سطحها المغطى بطبقة رقيقة نسبياً من الماء، وكوكب الأرض كلّه مغلّف ببطانية رقيقة من الهواء. ترتفع انتفاخات في طبقة الماء على جانبي الكوكب بوساطة قاطرات الجاذبية للقمر والشمس منتجةً مدّاً عالياً مرّتين في اليوم على طول شواطئ المحيط، وكذا تَنتُج انتفاخاتٌ مماثلة في طبقة الهواء.

من بين الكواكب والأقمار المتنوعة كلّها في نظامنا الشمسي، تبدو الأرض فقط قادرة على دعم الحياة كما نعرفها. يُعَدُّ السحب الجاذبي لكتلة الكوكب كافياً للتمسك بالغلاف الجوي. نشأت هذه الطبقة الرقيقة للغازات نتيجة لتغيُّر الظروف الفيزيائية على سطح الأرض وتطوّر الحياة النباتية، وهي جزءٌ لا يتجزأ من النظام البيئي العالمي. إنّ تغيير تركيز الغازات الطبيعية المكوّنة للغلاف الجوي، أو إضافة أشياء جديدة، يمكن أن تكون له عواقب وخيمة على أنظمة الحياة على كوكب الأرض.

تضمن المسافة بين الأرض والشمس وصول الطاقة إلى الكوكب بمعدل كافٍ للحفاظ على الحياة، لكن ليس بالسرعة التي تجعل الماء يغلي ويتبخّر، أو لا تجعل الجزيئات الضرورية للحياة تتشكّل. يوجد الماء على الأرض في أشكال سائلة وصلبة وغازية، وهذا أمرٌ نادر الحدوث بين الكواكب (فالكواكب الأخرى إما أن تكون أقرب إلى الشمس وحارة أكثر مما يُطاق، أو بعيدة عن الشمس وباردة أكثر مما يُحتمَل).

لحركة كوكب الأرض وموقعه بالنسبة إلى الشمس والقمر تأثيرات ملحوظة. إنّ دوران الأرض مدّة عام واحد حول الشمس، بسبب ميلان محور الأرض، يغيّر كيف يقع ضوء الشمس المباشر على هذا الجزء من الأرض أو ذاك. يُنتِجُ هذا الاختلاف في تسخين أجزاءٍ مختلفة من سطح

الأرض تغيّرات موسمية في المناخ، ويُنتِجُ دوران الكوكب حول محوره كل ٢٤ ساعة دورةَ الليل والنهار للكوكب، ويجعل الأمر (بالنسبة إلى المراقبين على الأرض) يبدو كما لو أنّ الشمس والكواكب والنجوم والقمر تدور حول الأرض. أما الجمع بين حركة الأرض ومدار القمر حول الأرض، مرة واحدة في نحو ٢٨ يوماً، فيَنتُج عنه مراحل القمر (على أساس الزاوية المتغيّرة التي نرى منها الجانب المضاء من القمر بنور الشمس).

يوجد للأرض مجموعة متنوعة من الأنماط المناخية، التي تتكوّن من ظروف مختلفة من درجات الحرارة، وهطل الأمطار، والرطوبة، والرياح، وضغط الهواء، وغيرها من الظواهر الجوية. وتَنتُجُ هذه الأنماط من تفاعل عوامل عدّة. يكمن مصدر الطاقة الأساسي في تسخين الأرض والمحيطات والهواء من خلال الإشعاع الشمسي. ويُنتِجُ نقل الطاقة الحرارية في المناطق المشتركة بين الغلاف الجوي والأرض والمحيطات طبقات لها درجات حرارة مختلفة في كل من الهواء والمحيطات. وهذه الطبقات ترتفع أو تغرق أو تمتزج، مما يؤدي إلى ظهور الرياح وتيارات المحيط التي تحمل طاقةً حرارية بين المناطق الدافئة والباردة. يحني دوران الأرض تدفّق الرياح وتيّارات المحيط، التي يحرفها شكلُ الأرض.

يؤدي دوران الماء داخل الغلاف الجوي وخارجه دوراً مهماً في تحديد الأنماط المناخية، إذ يتبخّر من السطح ويرتفع ويبرد، ويتكثف في سُحُب، ويتحوّل إلى ثلج أو مطر، ثم يسقط مرة أخرى على سطح الأرض، فيتجمّع في أنهار وبحيرات وطبقات مسامية من الصخور. ثمة مساحات شاسعة أيضاً على سطح الأرض مغطاة بالجليد السميك (مثل القارة القطبية الجنوبية)، التي

تتفاعل مع الغلاف الجوي والمحيطات في التأثير على التغيّرات المناخية في أنحاء العالم كلِّها.

وقد تغيّرت أشكالُ المناخ على الأرض كلياً، ومن المتوقع أن تستمر في التغيير، ويرجع ذلك في معظم الأحيان إلى آثار التحوّلات الجيولوجية مثل تقدّم الأنهار الجليدية أو تراجعها على مدى قرون من الزمن، أو سلسلة من الانفجارات البركانية الضخمة في وقت قصير. ولكن حتى بعض التغييرات الطفيفة نسبياً في محتوى الغلاف الجوي أو في درجة حرارة المحيط، إذا بقيت مدة طويلة كفايةً، يمكن أن تكون لها تأثيرات واسعة النطاق في المناخ.

تمتلك الأرض مواردَ كثيرة ذات أهمية كبيرة بالنسبة إلى حياة الإنسان، بعضُها قابلٌ للتجديد بسهولة، وبعضُها قابلٌ للتجديد فقط بتكلفة كبيرة، وبعضُها أيضاً غير قابل للتجديد على الإطلاق. تتكوّن الأرض من مجموعة كبيرة ومتنوعة من المعادن، التي تعتمد خصائصها على تاريخ تشكيلها وعلى العناصر التي تتكوّن منها أيضاً. تتراوح وفرتها من الندرة إلى وفرة غير محدودة تقريباً، لكن صعوبة استخراجها من البيئة قضيةٌ مهمة مثل وفرتها. تُعَدُّ مجموعة متنوعة من المعادن مصادرَ للمواد الصناعية الأساسية كالحديد والألمنيوم والمغنيزيوم والنحاس. ويُستنزَف كثيرٌ من أفضل المصادر، مما يجعل الأمر أكثر صعوبة وكلفة للحصول على هذه المعادن.

تُعَدُّ المياه العذبة مورداً أساسياً للحياة اليومية والعمليات الصناعية. نحصل على مياهنا من الأنهار والبحيرات ومن المياه التي تتدفّق تحت سطح الأرض. تستغرق هذه المياه الجوفية، التي هي مصدرٌ رئيس لكثير من

الناس، وقتاً طويلاً لتتجمّع في الكميات المستخدَمة الآن، وتُستنفَد في بعض الأماكن بمعدّل سريع جداً. وعلاوةً على ذلك، قد لا يمكننا استخدام مصادر المياه العذبة الكثيرة، إذا ما أصبحت ملوّثة.

تتوفّر باستمرار الرياح والمد والجزر والإشعاع الشمسي، ويمكن تسخيرها لتوفير مصادر الطاقة. مِنْ حيثُ المبدأُ، تُعَدُّ المحيطات والغلاف الجوي والتربة السطحية والمخلوقات البحرية والأشجار مواردَ متجددة، ولكن قد تكون تنقية الهواء الملوّث والمياه، أو إصلاح الغابات المدمّرة ومناطق الصيد، أو استعادة التربة المتآكلة أو الحفاظ عليها في المناطق الزراعية التي تُدار بطريقة سيئة أمراً مكلفاً للغاية. وعلى الرغم من أنّ المحيطات والغلاف الجوي كبيرة جداً ولديها قدرة كبيرة على الامتصاص وإعادة تدوير المواد بصورة طبيعية، إلا أنّ لها حدودها وقيودها. لديها فقط قدرة محدودة على تحمّل التغيير دون توليد تغيّرات بيئية أساسية قد يكون لها آثار ضارة أيضاً على أنشطة الإنسان.

العمليات التي تشكّل الأرض

إنّ باطن الأرض ساخن، ويرزح تحت ضغط مرتفع بسبب وزن الطبقات التي تعلوه، وهو أكثر كثافة من قشرة الأرض الصخرية. تسبب القوى داخل الأرض تغيّرات مستمرة على سطحها، فالقشرة الصُّلْبة من الأرض - بما في ذلك كل من القارات وأحواض المحيطات - تتألّف من مقاطع منفصلة تعلو طبقة ساخنة شبه منصهرة. تتحرّك الصفائح القشرية المنفصلة على هذه الطبقة الأكثر ليونة - بقدر بوصة أو أكثر كل عام - وتصطدم في بعض الأماكن وتتفكك في أماكن أخرى. حين تتصادم

الصفائح القشرية، فإنها قد تتشقق في جوانبها، أو تضغط على الأرض في طيّات تتحوّل في النهاية إلى سلاسل جبلية (مثل جبال روكي وجبال الهيمالايا)، أو قد تنزلق صفيحة تحت صفيحة أخرى وتغرق في عمق الأرض. وعلى طول الحدود بين الصفائح التي اصطدمت، تهزُّ الزلازلُ السطح وتكسره، وتقذف الانفجارات البركانية الصخور المنصهرة من أعماقها، فتبني الجبال أيضاً.

حين تنفصل الصفائح تحت القارات، تغرق الأرض لتشكّل الأودية الآخذة في الاتساع. وحين يحدث الانفصال في المناطق الرقيقة من الصفائح، التي تكمن تحت أحواض المحيطات، تتكدّس الصخور المنصهرة لتكوّن أرضيات محيطية واسعة النطاق. وقد يبني النشاط البركاني على طول هذه الفواصل في منتصف المحيط جبالاً تحت البحر، وتكون أعلى بكثير من تلك المرتفعة على سطح الأرض، إذ تندفع في بعض الأحيان فوق سطح الماء لتشكّل جزراً وسط المحيط (مثل جزر هاواي).

تعمل الأمواج والرياح والمياه والجليد على نحت سطح الأرض لإنتاج التضاريس المميّزة. وتجرف الأنهارُ والجليد التربةَ وتفتتُ الصخور، مما يؤدي في النهاية إلى ترسّب المواد في رواسب أو حملها في شكل سائل إلى البحر. يحدث بعضُ هذه الآثار بسرعة ويحدث بعضُها الآخر ببطء شديد. فعلى سبيل المثال، إنّ كثيراً من خصائص سطح الأرض اليوم يمكن إرجاعها إلى حركة الأنهار الجليدية ذهاباً وإياباً عبر جزء كبير من نصف الكرة الشمالي، وعلى مدى أكثر من مليون سنة. وفي المقابل، يمكن أن يتغيّر الخط الساحلي بين عشية وضحاها تقريباً، إذ تؤدي الأمواج إلى تآكل السواحل، وتحمل الرياحُ المواد السطحية المفككة وترسّبها في مكان آخر.

تدور عناصر مثل الكربون والأكسجين والنيتروجين والكبريت ببطء من خلال الأرض والمحيطات والغلاف الجوي، فتغيّر مواقعها وتركيبها الكيميائي. تُصنَّع المعادن وتُحلّ ويُعاد تصنيعها على سطح الأرض وفي المحيطات وفي الطبقات الحارة ذات الضغط العالي تحت قشرة الأرض. وتُدفَن رواسب الرمل وأصداف الكائنات الميتة تدريجياً، ويلتصق بعضُها ببعض بوساطة المعادن المذابة، فتتحوّل في نهاية الأمر إلى صخرة صلبة مرة أخرى. وقد تتغيّر طبيعة الصخور الرسوبية المدفونة بعمق كافٍ بفعل الضغط والحرارة، وربما تذوب وتتبلور من جديد إلى أنواع مختلفة من الصخور.

قد تُجبَر طبقات الصخور المدفونة على الظهور مرة أخرى لتصبح سطحاً للأرض، وتصبح في نهاية الأمر جبالاً حتى. تشهد آلافُ الطبقات من الصخور الرسوبية على تاريخ الأرض الطويل، وعلى تاريخ أشكال الحياة الطويل وتغيّرها، التي عُثِرَ على بقاياها في طبقات الصخور المتلاحقة.

تُعيد النباتات والحيوانات تشكيل المنظر الطبيعي بطرق عدّة، فالتكوين وملمس التربة، وخصوبتها ومقاومتها للتآكل تتأثّر إلى حدٍّ كبير بجذور النباتات ومخلّفاتها، وبالبكتيريا والفطريات التي تضيف مادة عضوية إلى التربة وعن طريق الحشرات، والديدان والحيوانات المختبئة التي تفككها. لقد غيّر وجود الحياة أيضاً الغلاف الجوي للأرض. تسحب النباتات ثاني أكسيد الكربون من الهواء، وتستخدم الكربون لتشكيل السكريات وإطلاق الأكسجين. وهذه العملية مسؤولة عن الأكسجين الموجود في هوائنا اليوم.

تؤثّر التضاريس والمناخ وموارد سطح الأرض في المكان الذي يعيش فيه الناس وفي كيفية عيشهم، وفي آلية تكشّف تاريخ البشر. كما أنّ أنشطة

البشر، في الوقت نفسه، قد غيّرت سطح الأرض والمحيطات والغلاف الجوي. فعلى سبيل المثال، يؤدي تقليص الغطاء النباتي والغابات على سطح الأرض إلى ازدياد ملحوظ في ثاني أكسيد الكربون الموجود في الغلاف الجوي، الذي قد يؤدي إلى زيادة في متوسط درجة حرارة الغلاف الجوي للأرض وسطحها. يتفاعل الدخان وغيره من المواد الناتجة عن النشاط البشري كيميائياً مع الغلاف الجوي، ويُنتِجُ تأثيرات غير مرغوب فيها كالضباب الدخاني والأمطار الحمضية، وربما زيادة في الأشعة فوق البنفسجية الضارة، التي تخترق الغلاف الجوي. وقد أدّت الزراعة المكثّفة إلى تعرية الأرض من الغطاء النباتي والتربة السطحية، مما أحدث الصحارى تقريباً في بعض أنحاء العالم.

بِنيةُ المادة

تبدو أشياء العالـم المادي كأنها مصنوعة من تشكيلة متنوعة ومذهلة من المواد. وتختلف المواد اختلافاً كبيراً في الشكل والكثافة والمرونة والملمس والمتانة واللون، وفي قدرتها على التوهج، أو امتصاص الضوء، أو حَرْفِهِ أو عكسه، وفي أيّ شكل تتخذه في درجات حرارة مختلفة، وفي استجابة بعضها لبعض، وفي مئات الطرق الأخرى. وعلى الرغم من أشكالها الظاهرية، يتكوّن كل شيء حقاً من أنواع قليلة نسبياً من المواد الأساسية المركبة بطرق مختلفة. وكما يتضح، أصبح وجود نحو مئة مادة من هذه المواد - أو العناصر الكيميائية - معروفاً الآن، وقليلٌ منها فقط موجود بكثرة في الكون. حين تتفاعل مادتان أو أكثر لتشكّلا مَوَادَّ جديدة (كما هي الحال في الحرق والهضم والتأكسد والطبخ)، فإنّ العناصر المكوّنة لها تتحد بطرق جديدة.

وقد تكون خصائص التركيبات الجديدة، كما هي الحال في إعادة دمج التركيبات هذه، مختلفة جداً عن خصائص التركيبات القديمة. ثمة نوع مهم على نحو خاص من التفاعل بين المواد ينطوي على مزج الأكسجين بشيء آخر، كما هي الحال في الحرق أو الصدأ.

تزعم الفرضية الأساسية للنظرية الحديثة للمادة أنّ العناصر مكوّنة من أنواع مختلفة من الذرّات، وهي جُسيمات بالغة الصغر لا تُرى بالمجهر، ينضم بعضها مع بعضٍ في تكوينات مختلفة لتشكّل موادَّ. يوجد نوع أو أكثر، ولكن ليس ثمة أنواع كثيرة، من هذه الذرّات لكل عنصر تقريباً من العناصر المئة.

ثمة أنماطٌ مميّزة من الخصائص بين العناصر، وتوجد مجموعات من العناصر التي لها خصائص متشابهة، بما فيها معادن شديدة التفاعل، وغير المعادن ذات التفاعل الأقل، وغير المعادن ذات التفاعل الأشد (مثل الكلور والفلور والأكسجين)، وبعضها غازات غير تفاعلية كلياً تقريباً (مثل الهيليوم والنيون). لا يتناسب بعض العناصر مع أيّ فئة من هذه الفئات، ومنها الكربون والهيدروجين، وهما العنصران الأساسيان للمادة الحيّة. وحين تُدرَج العناصر في ترتيب وفق كتل ذرّاتها، يظهر تسلسلٌ مشابه من الخصائص في القائمة مرةً تلو أخرى.

تتألَّفُ كلُّ ذرّة من نواة مركزية مشحونة بشحنة موجبة، وهي مجرّد جزء صغير جداً من حجم الذرّة، لكنه يحتوي على معظم كتلتها، إذ تكون محاطةً بسحابة من الإلكترونات الأخف وزناً وذات شحنة سالبة. يتطابق عدد الإلكترونات في الذرّة، الذي يتراوح من إلكترون واحد إلى مئة تقريباً،

مع عدد الجسيمات المشحونة أو البروتونات في النواة، ويحدّد كيفية ارتباط الذرّة بالذرّات الأخرى لتشكيل الجزيئات. تضيف الجسيمات المحايدة كهربائياً (أي النيوترونات) في النواة إلى كتلتها، لكنها لا تؤثّر في عدد الإلكترونات، ومن ثَمَّ ليس لها تأثير في ارتباطات الذرّة بالذرّات الأخرى (أي بسلوكها الكيميائي). تتكوّن كتلة من الكربون النقي، على سبيل المثال، من نوعين أو نظيرين من ذرّات الكربون، التي تختلف إلى حدٍّ ما في الكتلة، لكنها تتطابق تقريباً في الخواص الكيميائية. يواصل العلماء الاستقصاء عن الذرّات حتى إنهم اكتشفوا مكوّنات أصغر من الذرّة مثل الإلكترونات والنيوترونات والبروتونات.

يمكن أن توجد كل مادة في حالات مختلفة ومتنوعة، استناداً إلى درجة الحرارة والضغط. ومثلما يمكن أن يوجد الماء في شكل جليد وماء وبخار، يمكن أن تتخذ المواد، باستثناء عدد قليل منها، شكلاً صلباً وسائلاً وغازياً. وحين تصبح المادة باردة تماماً، تُحتجز الذرّات أو الجزيئات في مكانها بطريقة منظّمة إلى حدٍّ ما كما هي الحال في المواد الصُّلْبة. تعني زيادة درجة الحرارة زيادةً في متوسط طاقة حركة الذرّات. وهكذا، إذا ازدادت درجة الحرارة، باتت الذرّات والجزيئات أكثر اهتياجاً، فيتباعد بعضُها عن بعض قليلاً، الأمر الذي يعني أنّ المادة تتمدد. تُعَدُّ الذرّات والجزيئات أكثر اهتياجاً في درجات الحرارة العالية، ويمكن أن ينزلق بعضُها عن بعضه الآخر تدريجياً في حين تظلّ مرتبطةً على نحو رخو، كما هي الحال في الشكل السائل. وفي درجات الحرارة الأعلى، يتغلّب اهتياج الذرّات والجزيئات على أشكال الجذب فيما بينها، ويمكنها الحركة بحرية، إذ تتفاعل فقط حين يقترب بعضُها من بعض، فيرتد عادةً أحدها عن الآخر، كما هي الحال في أيّ غاز.

ومع ارتفاعٍ أكثر لدرجة الحرارة، تُفكِّك طاقةُ التصادمات كلَّ الجزيئات إلى ذرّات، وتقذف الإلكترونات بعيداً عن الذرّات، منتجةً الأيونات. وفي درجات الحرارة العالية جداً، قد تقترب نوى الذرّات بشدة في أثناء اصطدامها، إذ تتأثر بالقوى النووية الداخلية القوية، وقد تحدث التفاعلات النووية.

يحدّد تنسيق الإلكترونات الخارجية في ذرّة ما كيف يمكن للذرّة أن ترتبط بالذرّات الأخرى وتشكّل المواد. وتتشكّل الروابط بين الذرّات حين تنتقل الإلكترونات من ذرّة إلى أخرى، أو حين تكون الإلكترونات مشتركة بشكل أو بآخر فيما بينها. واعتماداً على أنواع الروابط المتشكلة، قد ترتبط الذرّات بعضها مع بعضٍ في خليط هيولي، وفي جزيئات مميّزة لها عدد وتكوين موحد من الذرّات، أو بأنماط متكررة بصورة متماثلة من المصفوفات البلّورية. يمكن أن تكون التكوينات الجزيئية بسيطة مثل أزواج من الذرّات المتطابقة (مثل جزيئات الأكسجين) أو معقدة مثل سلاسل مطوية ومتشابكة من آلاف الذرّات (مثل جزيئات البروتين والحمض النووي). وتُعَدُّ الأشكال الدقيقة لهذه الجزيئات المعقدة عاملاً مهماً في كيفية تفاعل بعضها مع بعض. وقد تكون المصفوفات البلّورية منتظمة تماماً، أو تتخللها اختلالات في التركيب والبنية. ويمكن للاختلافات الصغيرة في التركيب والبنية أن تمنح المواد خصائص مختلفة للغاية.

يحدّد ترتيب الإلكترونات في الذرّات طبيعة التفاعلات التي يمكن أن تحدث بين الذرّات، وكمية الطاقة المطلوبة لحدوث التفاعل، وكمية الطاقة التي تصدر من التفاعل. وتعتمد المعدّلات التي تحدث فيها التفاعلات في مجموعات كبيرة من الذرّات إلى حدٍّ كبير على عدد المرّات التي تلتقي

فيها بعضُ المتفاعلات مع بعض، ويعتمد أيضاً على تركيز المواد المتفاعلة ومدى سرعة حركتها (أي على درجة الحرارة). يمكن أن تتأثر معدّلات التفاعل تأثراً كبيراً بتركيزات صغيرة جداً لبعض الذرّات والجزيئات، التي ترتبط بالمواد المتفاعلة بطريقة تجعلها تأخذ مكاناً مناسباً للارتباط فيما بينها، أو التي لديها حالة إثارة يمكنها أن تنقل كمية الطاقة المناسبة لحدوث التفاعل فقط. قد تتأثر التفاعلات التي تحدث في محلول مائي بوجه خاص بحموضة المحلول إلى درجة كبيرة.

يتكوّن كل عنصر من العناصر التي تشكّل المواد المعروفة من عدد قليل فقط من النظائر التي تحدث بصورة طبيعية. معظمُ النظائر الأخرى الممكنة لأيّ عنصر هي نظائر غير مستقرة، وإذا حدث وتشكّلت، فإنّها ستتفكك عاجلاً أم آجلاً إلى نظير ما لعنصر آخر (وقد يكون هذا العنصر غير مستقر في حدِّ ذاته). يتضمن التفكك انبعاث الجسيمات والإشعاع من النواة، أي النشاط الإشعاعي. يوجد في مواد الأرض نسبٌ صغيرة من بعض النظائر المشعة المتبقية منذ التكوين الأصلي للعناصر الثقيلة في النجوم. وقد تشكّل بعضُها مؤخّراً بفعل تصادمات الجسيمات النووية من الفضاء أو من التفكك النووي للنظائر الأخرى. وتُنتِجُ هذه النظائر مع بعضها مستوى منخفضاً من الخلفية الإشعاعية في البيئة العامة.

لا يمكن التنبؤ بالوقت الذي ستتفكك فيه نواة ما غير مستقرة. يمكننا فقط تحديد أيّ جزء من مجموعة النوى المتطابقة من المحتمل أن تتحلّل في مدة زمنية معيّنة. إنّ نصف عمر النظير غير المستقر هو الوقت الذي تستغرقه نصف النوى لتتفكك في أيّ عينة من ذلك النظير. وتتراوح مدة نصف عمر النظائر المختلفة بين أقل من جزء من المليون من الثانية إلى

ملايين السنين. ونصف عمر أيّ نظير معيّن هو عمر ثابت، ولا يتأثر بالظروف الفيزيائية كالضغط ودرجة حرارة. وهكذا، يمكن استخدام النشاط الإشعاعي لتقدير مرور الوقت، عن طريق قياس جزء النوى الذي تفكك بالفعل. على سبيل المثال، إنّ جزءاً من بقايا نظير غير مستقر، له نصف عمر عِيْنَة من صخرة يمكن استخدامها لتقدير متى تشكّلت هذه الصخرة.

تحوّلات الطاقة

تظهر الطاقة بأشكال عدّة، بما فيها الإشعاع، وحركة الأجسام، وحالات الذرّات المثارة، والإجهاد داخل الجزيئات وفيما بينها. وكل هذه الأشكال متكافئة من حيث الأهمية، إذ يمكن أن يتغيّر أحدُ الأشكال إلى شكل آخر. إنّ معظم ما يحدث في الكون، مثل سقوط النجوم وانفجارها، والنمو والتحلّل، وتشغيل الآلات وأجهزة الحواسيب، ينطوي على شكل من أشكال الطاقة، التي تحوّلت من شكل إلى آخر.

يمكن وصف أشكال الطاقة بطرق مختلفة: الطاقة الصوتية بشكل أساسي هي حركة الجزيئات المنتظمة ذهاباً وإياباً، والطاقة الحرارية هي الحركة العشوائية للجزيئات، وطاقة الجاذبية وتكمن في فصل الكتل المتجاذبة، والطاقة المخزّنة في الجهد الميكانيكي وتتضمن فصل الشحنات الكهربائية المتجاذبة على نحو متبادل. وعلى الرغم من أنّ الأشكال المتنوعة تبدو مختلفة جداً، يمكن أن يُقاس كلُّ شكل منها بطريقة تجعل من الممكن تعقّب مقدار تحوّل شكل من أشكال الطاقة إلى شكل آخر. وكلّما تناقصت كمية الطاقة في مكان أو شكل ما، ازدادت الكمية في مكان أو شكل آخر بمقدار متساوٍ. وهكذا، إذا لم تتسرّب الطاقة عبر حدود نظام ما دخولاً أو

خروجاً، فإنّ إجمالي الطاقة بأشكالها المختلفة لن يتغيّر، بغض النظر عن أنواع التغييرات التدريجية أو الشديدة التي تحدث داخل النظام.

بَيْدَ أنَّ الطاقة تميل حقاً إلى التسرّب عبر حدودها. يَنتُجُ عادةً عن تحوّلات الطاقة بوجه خاص إنتاج بعض الطاقة في شكل حرارة، التي تتسرّب عن طريق الإشعاع أو التوصيل (كما يحدث حين تتسرّب من المحرّكات، والأسلاك الكهربائية، وخزّانات المياه الساخنة، وأجسامنا وأنظمة الصوت). علاوةً على ذلك، حين تُنقَل الحرارة أو تُبعَث في جسم سائل، تظهر تيارات تعزّز عادةً نقل الحرارة. وعلى الرغم من أنّ المواد التي تنقل أو تبعث الحرارة على نحو سيئ للغاية يمكن استخدامها للتقليل من فقدان الحرارة، لا يمكن منع أو تجنّب هذا الأمر تماماً.

لذا، فإنّ إجمالي كمية الطاقة المتاحة للتحوّل يتناقص دائماً إلى حدٍّ ما. فعلى سبيل المثال، تُستهلَك تقريباً كل الطاقة المخزّنة في جزيئات البنزين المستخدمة في رحلة السيارة عن طريق الاحتكاك والاستهلاك، فتجعل السيّارة والطريق والهواء أكثر سخونةً بعض الشيء، ولكن حتى إذا مُنعت هذه الطاقة المنتشرة من الهدر، فإنها تميل إلى توزيع نفسها بالتساوي، ومن ثَمَّ قد لا تَعُد مفيدة بالنسبة إلينا؛ وهذا لأنّ الطاقة لا يمكن أن تنجز التحوّلات إلا حين تكون مركّزة في بعض الأماكن أكثر من أماكن أخرى (مثل سقوط الماء، وفي جزيئات عالية الطاقة في الوقود والغذاء، وفي نوى غير مستقرة، وفي إشعاع الشمس شديدة الحرارة). وحين تتحوّل الطاقة إلى طاقة حرارية تنتشرُ في كلّ مكان، فمن غير المرجّح أن تظهر تحوّلات أخرى.

إنّ السبب في أنّ الحرارة تميل دائماً إلى الانتشار من الأماكن الأكثر دفئاً إلى الأماكن الأكثر برودة هي مسألة احتمالية. تتكوّن الطاقة الحرارية في مادة

ما من الحركات غير المنتظمة لذرّاتها أو جزيئاتها المتصادمة بصورة دائمة. حين تتصادم أعدادٌ كبيرة جداً من الذرّات أو الجزيئات في نطاق واحد لمادة ما على نحو متكرر وعشوائي مع تلك الموجودة في نطاق مجاور، سيكون هناك طرق كثيرة جداً تصل فيها طاقة حركتهما العشوائية في نهاية المطاف لتكون متساوية في كلا النطاقين أكثر من الطرق التي تصل فيها الطاقة لتكون أكثر تركيزاً في نطاق واحد. وهكذا، من المرجّح أن تحدث المشاركة غير المنتظمة للطاقة الحرارية في كل مكان أكثر من أيّ تركيز منظّم للطاقة الحرارية في أيّ مكان آخر. إنّ الاحتمالات الإحصائية في أيّ تفاعلات للذرّات أو الجزيئات عموماً هي أنّ الأمر سينتهي بها في حالة عدم انتظام أكثر مما بدأت به.

على أيّ حال، من الممكن جداً لبعض الأنظمة أن تزداد من حيث الانتظام، ما دامت الأنظمة المتصلة بها تزداد أكثر من حيث عدم انتظامها. إنّ خلايا أي كائن بشري، على سبيل المثال، مشغولة دائماً في زيادة النظام، كما هي الحال في بناء الجزيئات المعقدة وبنى الجسم، لكنّ هذا يحدث على حساب زيادة عدم الانتظام حولنا، كما هي الحال في تفكيك التركيب الجزيئي للغذاء الذي نتناوله وفي تدفئة محيطنا. والمغزى هو أنّ مقدار عدم الانتظام يميل دائماً إلى الازدياد.

ترتبط مستويات الطاقة المختلفة بتكوينات مختلفة من الذرّات في الجزيئات. وتتطلّب بعض التغييرات في التكوين طاقةً إضافية، في حين تُحرِّر تغييرات أخرى طاقةً ما. يجب التزوّد بالطاقة الحرارية، على سبيل المثال، للبدء بحرق الفحم (عن طريق تطاير بعض ذرّات الكربون بعيداً عن الذرّات الأخرى في الفحم)، لكن حين تتحد جزيئات الأكسجين مع ذرّات الكربون

في تكوين جزيء ثاني أكسيد الكربون ذي الطاقة المنخفضة، تُحرَّر طاقة أكبر في شكل حرارة وضوء. أو يمكن إثارة جزيء الكلوروفيل بوساطة ضوء الشمس ليصبح تكويناً ذا طاقة عالية، ويثير الكلوروفيل بدوره جزيئات ثاني أكسيد الكربون والماء حتى يتمكّن بعضُها من الارتباط ببعضها الآخر من خلال خطوات عدّة لتصبح تكويناً ذا طاقة عالية لجزيء السكر (إضافة إلى بعض الأكسجين المتجدد). قد يتفاعل جزيء السكر لاحقاً مع الأكسجين لإنتاج جزيئات ثاني أكسيد الكربون والماء مرة أخرى، ناقلاً الطاقة الإضافية من ضوء الشمس إلى الجزيئات الأخرى.

أصبح من الواضح أنّ تلك الطاقة، (والمادة أيضاً)، على المستوى الجزيئي والأدنى منه، تقع في وحدات منفردة: حين تتغيّر طاقة ذرّة أو جزيء من قيمة إلى أخرى، فإنها تتغيّر بقفزات محددة دون وجود قيم محتملة بينها. هذه التأثيرات الكمومية تجعل الظواهر على المستوى الذرّي مختلفة تماماً عمّا نعرفه. حين يلاقي الإشعاع ذرّة ما، يمكنه أن يثير الذرّة إلى مستوى طاقة داخلي أعلى إذا كان بإمكانه توفير الكمية المناسبة من الطاقة لهذه الخطوة. ويحدث العكس أيضاً: حين يسترخي مستوى طاقة الذرّة في خطوة، تَنتُجُ كمية منفردة (كمومية) من الطاقة الإشعاعية. ويمكن للضوء المنبعث من مادةٍ ما، أو الذي امتصته مادةٌ ما، أن يعمل على تحديد طبيعة هذه المادة، سواء كانت هذه المادة في المختبر أم على سطح نجم بعيد.

تنطوي التفاعلات في نوى الذرّات على تغييرات أكبر في الطاقة من التفاعلات التي تحدث بين البنى الإلكترونية الخارجية للذرّات (أيّ التفاعلات الكيميائية). وحين تنقسم النوى الثقيلة جداً، مثل تلك الموجودة في عنصر اليورانيوم أو البلوتونيوم، إلى نوى متوسطة الوزن، أو

حين تتحد النوى الخفيفة جداً، مثل نوى الهيدروجين والهيليوم، مع ذرّات أثقل منها إلى حدٍّ ما، تُحرَّر كميات كبيرة من الطاقة في شكل إشعاع وجُسيمات متحرّكة بسرعة. يحدث انشطار بعض النوى الثقيلة تلقائياً، فيُنتِجُ مزيداً من النيوترونات التي تُحفّز الانشطار في المزيد من النوى الأخرى وهلم جرّا، مما يؤدي إلى ظهور تفاعل متسلسل. غير أنّ اتحاد النوى يحدث فقط إذا اصطدمت بسرعات كبيرة جداً (متغلّبة على التنافر الكهربائي فيما بينها)، مثل الاصطدامات التي تحدث في درجات الحرارة العالية جداً، التي تَنتُج داخل نجم ما أو بفعل انفجار انشطاري.

الحركة

الحركةُ جزءٌ من العالم المادي مثلما تكون المادةُ والطاقةُ جزأين منه. كلُّ شيء يتحرّك، كالذرّات والجزيئات، والنجوم، والكواكب، والأقمار، والأرض وسطحها وكل ما عليه، وكل الكائنات الحية، وكلّ جزء من الكائنات الحيّة. لا شيء ساكن في الكون.

ولـمّا كان كل شيء يتحرّك، لم يكن ثمة نقطة مرجعية ثابتة يمكن وصف حركة الأشياء استناداً إليها. فكلُّ حركة هي حركة نسبية لأيّ نقطة أو جسم نختاره. وهكذا، لا توجد لحافلة مركونة حركة بالنسبة إلى سطح الأرض، ولكن لـمّا كانت الأرض تدور حول محورها، فإنّ الحافلة تتحرّك بنحو ألف ميل في الساعة حول مركز الأرض. وإذا كانت الحافلة تتحرّك على الطريق السريع، فإنّ للشخص، الذي يمشي بين مقاعد الحافلة، سرعةً ما بالنسبة إلى الحافلة، وسرعةً أخرى بالنسبة إلى الطريق السريع، وأخرى بالنسبة إلى مركز الأرض، فلا توجد نقطة في المكان يمكن أن تكون بمنزلة مرجع للجسم الذي يتحرّك بالفعل.

تحدثُ التغييرات في الحركة، كالإسراع والإبطاء وتغيير الاتجاه، نتيجة تأثير القوى. يحافظ أيّ جسم على سرعة واتجاه حركة ثابتين ما لم تعمل عليه قوة خارجية غير متوازنة. حين تعمل قوة غير متوازنة على جسم ما، فإنّ حركته تتغيّر. وحسب اتجاه القوة المرتبط باتجاه الحركة، قد يُغيّر الجسم سرعته (مثل تفاحة تسقط)، أو اتجاه حركته (مثل القمر في مداره المنحني)، أو كليهما (مثل كرة تطير). كلّما ازداد مقدار القوة غير المتوازنة، ازدادت سرعة أو اتجاه حركة جسم معين، وكلّما كانت كتلة الجسم كبيرة، قلّت سرعته أو تغيّر اتجاهه استجابةً لأيّ قوة معينة. وكلّما يُطبِّق شيء ما (A) قوةً على شيء آخر (B)، فإنّ (B) يرد بقوة مساوية على (A). فعلى سبيل المثال، يسحب مسمار حديدي (A) المغناطيس (B) بالمقدار نفسه من القوة التي يسحب بها المغناطيس (B) مسماراً حديدياً، ولكن في الاتجاه المعاكس. وفي أغلب المواقف المألوفة، فإنّ الاحتكاك بين الأسطح يجعل القوى تتفاعل بطريقة تجعل وصف الحركة أمراً معقداً، على الرغم من أنّ المبادئ الأساسية لا تزال مُطبَّقة.

يمكن وصف بعض الحركات المعقدة على نحو مناسب جداً ليس من حيث القوى مباشرة، بل في أوصافٍ موجزة لنمط الحركة، مثل الاهتزازات والأمواج. يتضمّن الاهتزاز أجزاءً من نظام يتحرّك ذهاباً وإياباً في المكان نفسه تماماً، وهكذا يمكن تلخيص الحركة بعدد مرّات تكرارها وبمدى انزياح الجسيم أثناء دورة واحدة. ثمة سمة موجزة أخرى وهي معدّل تلاشي الاهتزاز إذا تُرك الجسيم وحده حين تتبدّد طاقته.

قد تؤدي الاهتزازات إلى حدوث اضطراب متنقل ينتشر بعيداً عن مصدره. ومن أمثلة هذه الاضطرابات نجد الصوت والضوء والزلازل،

التي تُبدي سلوكاً مشابهاً جداً لسلوك أسطح موجات الماء المعروفة، التي تغيّر الاتجاه عند الحدود بين الأوساط، وتنحرف عند الزوايا، ويتداخل بعضُها مع بعضٍ بطرق يمكن التنبؤ بها. لذا، فإننا نتحدّث عن موجات الصوت وموجات الضوء وما إلى ذلك، ورياضيات السلوك الموجي مفيدة في وصف هذه الظواهر كلّها. يمكن وصف سلوك الموجة من حيث سرعة انتشار الاضطراب، ومن حيث المسافة بين الذُّرا المتتالية في الاضطراب (أي طول الموجة).

يعتمد الطول الموجي المرصود للموجة إلى حدٍّ ما على الحركة النسبية لمصدر الموجة بالنسبة إلى المراقب. إذا كان المصدر يتحرّك نحو المراقب (أو العكس)، تغدو الموجة مضغوطةَ التأثير وتُرى بأنها أقصر، أما إذا كان المصدر والمراقب يتباعدان، فإنّ الموجة في الواقع ممتدة وتُرى بأنها أطول. إنّ التأثيرين كليهما جليّان في التغيّر الظاهري في درجة صوت بوق السيارة لحظة مرورها أمام المراقب. لذا، فإنّ هذه التحوّلات الظاهرية في طول الموجة توفّر معلومات حول الحركة النسبية. وأحد الأمثلة المهمة على هذا التحوّل بوجه خاص هو التغيّر في طول موجة ضوء النجوم والمجرّات؛ لأنّ الضوء المنبعث من معظمها ينتقل إلى موجات أطول (أي نحو الطرف الأحمر للطيف)، استنتج علماءُ الفلك أنّ المجرّات كلّها يبتعد بعضها عن بعضٍ، وهكذا، فإنّنا في كون آخذٍ في الاتساع عموماً.

يمكن أن يؤثر طول موجة ما إلى حدٍّ كبير في كيفية تفاعل هذه الموجة مع المادة، أو مدى جودة انتقالها أو امتصاصها أو انعكاسها أو انحرافها. فعلى سبيل المثال، إنّ الطرق التي تنتقل فيها موجات الصدمة ذات الأطوال الموجية المختلفة وتنعكس من طبقات الصخور لهي دليلٌ مهم على ماهية

شكل باطن الأرض. يختلف تفاعل الأمواج الكهرومغناطيسية مع المادة اختلافاً كبيراً باختلاف الطول الموجي، من حيث الطريقة التي نشأت منها وما هي آثارها. لقد أُطلِقَت تسميات مميزة لنطاقات مختلفة ولكنها إلى حدٍّ ما متداخلة: موجات المذياع، والموجات الدقيقة (المايكروويف)، والحرارة المشعة أو الأشعة تحت الحمراء، والضوء المرئي، والأشعة فوق البنفسجية، والأشعة السينية وأشعة غاما.

إنّ المواد التي تسمح لطيف واحد من الأطوال الموجية بالمرور من خلالها قد تمتص أمواجاً أخرى كليّاً. فعلى سبيل المثال، إنّ بعض الغازات في الغلاف الجوي، بما في ذلك ثاني أكسيد الكربون وبخار الماء، شفافة بالنسبة إلى كثير من ضوء الشمس القادم، لكنها ليست كذلك بالنسبة إلى الأشعة تحت الحمراء من سطح الأرض الدافئ. وهكذا، تُحتبس الطاقة الحرارية في الغلاف الجوي، وترتفع درجة حرارة الأرض إلى أن يصل صادر إشعاعها إلى التوازن مع وارد الإشعاع من الشمس. ويمتصُّ غازٌ آخر في الغلاف الجوي، وهو الأوزون، بعضَ الأشعة فوق البنفسجية الموجودة في ضوء الشمس، وهي الأمواج التي تسبب حروقاً وتصبّغاً وسرطاناً في جلد البشر.

تتفاعل أطوال موجية مختلفة مع المادة بطرق مختلفة، حتى ضمن نطاقات الإشعاع الكهرومغناطيسي المذكور. وأكثر مثال معروف هو أنّ أطوال الموجات المختلفة للضوء المرئي تتفاعل مع عيوننا بطريقة مختلفة، الأمر الذي يمنحنا إحساساً بألوان مختلفة. تبدو الأشياء ذات ألوان مختلفة، لأنّها تعكس أو تشتت الضوء المرئي لبعض أطوال الموجات أكثر من غيرها، كما هي الحال في النباتات التي تمتص أطوال الموجات الزرقاء

والحمراء وتعكس الخضراء والصفراء فقط. حين يشتت الغلافُ الجوي ضوءَ الشمس، وهو خليطٌ من كل أطوال الموجات، ينتشرُ ضوءٌ قصير الموجة (يعطينا إحساساً باللون الأزرق) من خلال جزيئات الهواء أكثر بكثير من الضوء طويل الموجة (الأحمر). لذا، يبدو الغلاف الجوي أزرق وتبدو الشمسُ مرئية بلونها الأحمر عن طريق الضوء غير المتناثر.

قوى الطبيعة

ندرك نوعين من القوى بوجه عام وهما قوة الجاذبية والقوة الكهرومغناطيسية. يطبّق كلّ شيء في الكون قوى الجاذبية على كلّ شيء آخر، على الرغم من أنّ التأثيرات يمكن ملاحظتها بسهولة حين يتعلّق الأمر على الأقل بشيء واحد ذي كتلة كبيرة (مثل نجم أو كوكب). تُعَدُّ قوةُ الجاذبية القوةَ الكامنة وراء هطل المطر، وقوة الأنهار، والدافع خلف المد والجزر، فهي التي تسحب مادّة الكواكب والنجوم نحو مراكزها لتُشكِّلَ عوالـمَ وأفلاكاً، وتُبقي الكواكبَ في مداراتها، وتجمعُ الغبارَ الكوني لتشكِّلَ النجوم. يُعتقد أنّ قوى الجاذبية، التي تشكّل مجال جاذبية ما، تؤثّر في المكان المحيط بأيّ كتلة. وتتناسب شدة المجال حول جسم ما مع كتلته، وتتناقص مع المسافة بينه وبين مركزه. وسيعتمد جذب الأرض للفرد، على سبيل المثال، على ما إذا كان هذا الشخص على الشاطئ مثلاً، أو في مكان بعيد في الفضاء.

إنّ القوى الكهرومغناطيسية التي تعمل داخل الذرّات وفيما بينها هي أقوى بكثير من قوى الجاذبية المؤثرة فيما بينها. تعمل القوى الكهربائية في المقياس الذرّي بين البروتونات والإلكترونات ذوات الشحنات المتعاكسة على جمع الذرّات والجزيئات بعضها مع بعضٍ، ومن ثَمَّ فإنها تشارك في جميع

التفاعلات الكيميائية. وعلى نطاق أوسع، تحافظ هذه القوى على اجتماع المواد السائلة والصلبة وتقوم بعملها عند حدوث تماس بين الأشياء (على سبيل المثال، الاحتكاك بين المنشفة وظهر شخص ما، وتأثير المضرب على الكرة). لا نلحظ عادةً الطبيعة الكهربائية لكثيرٍ من القوى المألوفة لدينا؛ لأنّ كثافة الشحنات الكهربائية (الموجبة والسالبة والمتساوية تقريباً في المواد) تُبطل تأثيرات بعضها في بعض خارج المادة، غير أنّ عدم التوازن الدقيق في هذه الشحنات المتعاكسة سيؤدي إلى ظهور ظواهر تبدأ من الشرر الكهربائي وتعليق الملابس إلى البرق.

تُبدي المواد اختلافات كبيرة في مدى استجابتها للقوى الكهربائية، استناداً إلى عدد الشحنات الكهربائية التي تتحرّك بحرية فيها. فمن جهة، لا تسمح عادةً مادة عازلة كهربائياً مثل الزجاج أو المطاط بمرور الشحنات من خلالها. ومن جهة أخرى، فإنّ المادة الناقلة للكهرباء، مثل النحاس، ستُبدي مقاومةً قليلة جداً لحركة الشحنات، لذا تُحدث القوى الكهربائية المؤثرة فيها تياراً من الشحنات. (ومعظم الأسلاك الكهربائية هي مزيج من النقيضين: ناقلٌ جيدٌ جداً مغطى بعازلٍ جيدٍ جداً). في الواقع، في درجات الحرارة المنخفضة جداً، يمكن لمواد معيّنة أن تصبح موادَّ فائقة النقل، ولا تُبدي أيّ مقاومة ألبتَّةَ. ثمة مواد شبه ناقلة بين المواد ذات المقاومة المنخفضة والعالية، إذ تختلف سهولة حركة الشحنات اختلافاً كبيراً مع التغييرات الطفيفة في التكوين أو الظروف. تُستخدَم تلك المواد في الترانزستورات ورُقاقات الحاسوب للتحكم في الإشارات الكهربائية. يحتوي الماء عادةً على أجزاء جزيئية مشحونة من شوائب مذابة متحرّكة، وهكذا فإنه يُعَدُّ ناقلاً جيداً إلى حدٍّ ما.

ترتبط القوى المغناطيسية ارتباطاً وثيقاً بالقوى الكهربائية، ويمكن النظر إليهما بأنهما جانبان مختلفان لقوة كهرومغناطيسية واحدة. يُعتقد أنّ كليهما يعمل بوساطة المجالات: للشحنة الكهربائية مجالٌ كهربائي في الفراغ المحيط بها، الذي يؤثّر في الشحنات الأخرى، ويحتوي المغناطيس على مجال مغناطيسي حوله يؤثّر في المغانط الأخرى. وعلاوةً على ذلك، فإنّ الشحنات الكهربائية المتحرّكة تُنتِجُ مجالات مغناطيسية وتتأثر بمجالات مغناطيسية أخرى. هذا التأثير يشكّل أساس كثير من الظواهر الطبيعية، فالتيارات الكهربائية التي تدور في قلب الأرض، على سبيل المثال، تمنح الأرض مجالاً مغناطيسياً واسع النطاق، وهذا ما نستشعره من خلال اتجاه إبرة البوصلة.

يُعَدُّ التفاعل بين القوى الكهربائية والمغناطيسية أيضاً أساسَ معظم التصميم التكنولوجي، كالمحرّكات الكهربائية (التي تقوم التيارات فيها بتوليد الحركة)، والمولّدات (التي يَنتُج عن الحركة فيها تيارات)، وصمامات التلفاز (إذ يحرف مجالٌ مغناطيسي متغيّر دورياً شعاعاً من شحنات كهربائية متحركة ذهاباً وإياباً). ويؤدي تغيير المجال الكهربائي عموماً إلى إحداث مجال مغناطيسي، والعكس صحيح.

تعمل أنواع أخرى من القوى على المستوى دون الذرّي فقط، فالقوة النووية التي تربط بعض الجسيمات مع بعض داخل النواة الذرّية، على سبيل المثال، أقوى بكثير من القوة الكهربائية، كما يتضح في الكميات الكبيرة نسبياً من الطاقة المنبعثة نتيجة التفاعلات النووية.

الفصل الخامس

البيئة الحيّة

لطالما شعر الناس بالفضول حول الكائنات الحيّة، فكانوا يسألون: كم عدد الأنواع أو الأجناس المختلفة؟ وكيف شكلها؟ وأين تعيش؟ وكيف يتعامل بعضُها مع بعض؟ وكيف تتصرّف؟ يسعى العلماء إلى الإجابة عن هذه الأسئلة وأسئلة أخرى عن الكائنات الحيّة التي تسكن الأرض. تحاول هذه الأسئلة بوجه خاص تطوير المفاهيم والمبادئ والنظريات التي تُمكّن الناس من فهم البيئة الحيّة على نحو أفضل.

تتكوّن الكائنات الحيّة من المكوّنات نفسها مثل المواد الأخرى كلّها، وتدخل النوعَ نفسَهُ من التحوّلات في الطاقة، وتتحرّك باستخدام الأنواع الأساسية نفسها من القوى. وهكذا، فإنّ كل المبادئ الفيزيائية التي جرت مناقشتها في الفصل الرابع، الذي يحمل عنوان «البيئة المادية»، تنطبق على الحياة وعلى النجوم أيضاً، وقطرات المطر، وأجهزة التلفاز، غير أنّ الكائنات الحيّة تتميز أيضاً بخصائص يمكن أن تكون مفهومة بطريقة أفضل من خلال تطبيق المبادئ الأخرى.

يُقدّم هذا الفصل توصيات حول المعرفة الأساسية فيما يتعلّق بكيفية قيام تلك الكائنات الحيّة بوظائفها وكيف يتفاعل بعضُها مع بعض ومع بيئتها. ويركّز الفصل على ستة موضوعات رئيسة: تنوّع الحياة كما تعكسه

الخصائص البيولوجية لكائنات الأرض، وانتقال الخصائص القابلة للوراثة من جيل إلى الجيل الذي يليه، وبنية الخلايا ووظائفها، ووحدات البناء الأساسية لكل الكائنات الحيّة، والترابط بين الكائنات الحيّة وبيئتها، وتدفّق المادة والطاقة من خلال دورات الحياة واسعة النطاق، وكيف يشرح التطوّر البيولوجي تشابه الحياة وتنوّعها.

توصيات

تنوّع الحياة

ثمة الملايين من الأنواع المختلفة من الكائنات الحيّة المستقلة، التي تسكن الأرض في أيّ حقبة معيّنة، بعضُها يشبه بعضَهُ الآخر للغاية، والبعضُ الآخر مختلفٌ جداً. يصنّف علماءُ الأحياء الكائنات الحيّة ضمن تسلسل هرمي لمجموعات أساسية ومجموعات فرعية بناءً على أوجه التشابه والاختلاف في البنية والسلوك. إنّ أحدَ أكثر الفروق عمومية بين الكائنات الحيّة نجدها بين النباتات، التي تحصل على طاقتها من ضوء الشمس مباشرة، وبين الحيوانات التي تستهلك الأطعمة الغنية بالطاقة، التي يركّبها النبات في البداية، لكن من الواضح أنّ الكائنات الحيّة ليست كلّها من هذا النوع أو ذاك. فعلى سبيل المثال، ثمة كائنات وحيدة الخلية دون نوى منسقة (البكتيريا)، التي تُصنَّفُ بأنها مجموعة متميزة.

لدى الحيوانات والنباتات مجموعة كبيرة ومتنوعة من خطط الجسم، مع هياكل مختلفة وترتيب مختلف شامل للأجزاء الداخلية لإجراء العمليات الأساسية لصنع الطعام أو العثور عليه، واستخلاص الطاقة والمواد منه، وتركيب مواد جديدة، والتكاثر. حين يُصنِّفُ العلماءُ الكائنات الحيّة، فإنّهم

يأخذون بالحسبان أن تكون تفاصيل التشريح مناسبةً أكثر من السلوك أو المظهر العام. تُصنَّف الحيتان والخفافيش، على سبيل المثال، على أنها متشابهة أكثر من التشابه بين الحيتان والأسماك أو التشابه بين الخفافيش والطيور بسبب مزايا مثل الغدد المنتجة للحليب وبنية الدماغ. وفي درجات مختلفة من القرابة، تُصنَّف الكلاب مع الأسماك بأنّ لها عموداً فقرياً، ومع الأبقار في أنّ لها شعراً، ومع القطط في أنها من آكلات اللحوم.

وبالنسبة إلى الكائنات الحيّة التي تتكاثر جنسياً، تضمُّ الأنواع كل الكائنات الحيّة، التي يُمكن أن يتزاوج بعضُها مع بعض لإنتاج ذرّية خصبة. وعلى أيّ حال، فإنّ تعريف الأنواع ليس دقيقاً. قد يكون من الصعب في حدود ذلك تحديد التصنيف الدقيق لكائن حي معيّن. إنّ أنظمة التصنيف في الواقع ليست جزءاً من الطبيعة، بل إنها أطرٌ أنشأها علماء الأحياء لوصف التنوّع الشاسع للكائنات الحيّة، الأمر الذي يشير إلى العلاقات بين الكائنات الحيّة، وصياغة أسئلة البحث.

لا يتضح تنوّع أشكال الحياة على الأرض من خلال دراسة أوجه التشابه والاختلاف بين الكائنات الحيّة من الناحية التشريحية والسلوكية فحسب، بل من خلال دراسة أوجه التشابه والاختلاف بين جزيئاتها أيضاً. إنّ أكثر الجزيئات تعقيداً والمتشكلة في الكائنات الحيّة ما هي سوى سلاسل من جزيئات أصغر، فالأنواع المختلفة للجزيئات الصغيرة متشابهة إلى حدٍّ كبير في أشكال الحياة كلّها، إلا أنّ التسلسلات المحددة لمكوّنات أكثر الجزيئات تعقيداً تميّز نوعاً معيناً. فعلى سبيل المثال، إنّ جزيئات الحمض النووي هي سلاسل طويلة تربط أربعة أنواع فقط من الجزيئات الأصغر، التي يشفّر تسلسلها الدقيق معلومات وراثية. يمكن استنتاج قرب العلاقة

بين الكائنات الحيّة أو بُعدها من مدى تشابه تسلسلات حمضها النووي. ويُستدَلُّ على ارتباط الكائنات الحيّة من التشابه في تركيبها الجزيئي الذي يتطابق بشدّة مع التصنيف المستند إلى أوجه التشابه التشريحية.

يُعَدُّ الحفاظُ على تنوّع الأنواع مهماً للبشر. نعتمدُ على شبكتين غذائيتين للحصول على الطاقة والمواد اللازمة للحياة. تبدأ الشبكة الأولى بنباتات المحيطات المجهرية والأعشاب البحرية، وتشمل الحيوانات التي تتغذى عليها والحيوانات التي تتغذى على تلك الحيوانات، في حين تبدأ الشبكة الأخرى بنباتات اليابسة، وتتضمن الحيوانات التي تتغذى عليها، وهلمّ جرّاً. تعمل أوجه الترابط المسهبة بين الأنواع على استقرار هاتين الشبكتين الغذائيتين، وتميل الاضطرابات الطفيفة في موقع معيّن إلى أن تؤدي إلى تغييرات تستعيد في نهاية الأمر نظامها. غير أنّ الاضطرابات الكبيرة للسكان أو بيئاتهم قد تؤدي إلى تغييرات لا رجعة فيها في الشبكتين الغذائيتين. ويزيد الحفاظ على التنوّع من احتمالية أن تتمتع بعض الأصناف بخصائص مناسبة للبقاء والاستمرار في ظلّ الظروف المتغيّرة.

الوراثة

إحدى الملحوظات المعروفة منذ زمن طويل هي أنّ المواليد تشبه آباءها إلى حدٍّ كبير، إلا أنها لا تزال تُبدي اختلافاً ما: تختلف المواليد إلى حدٍّ ما عن والديها ويختلف بعضُها عن بعض. يمكن لتلك الاختلافات أن تتراكم على مدى أجيال عدّة، لذا يمكن أن تكون الكائنات الحيّة مختلفة جداً في مظهرها وسلوكها عن أسلافها البعيدين. وقد حاول الناس، على سبيل المثال، أن يُكثروا من حيواناتهم الأليفة ونباتاتهم لاختيار خصائص مرغوبة،

فكانت النتائج أنواعاً حديثة من الكلاب والقطط والماشية والدواجن والفواكه والحبوب، التي تختلف على نحو ملحوظ عن أسلافها. لوحظت أيضاً بعض التغييرات الواسعة في الحبوب، على سبيل المثال، إلى درجة إنتاج أنواع جديدة. تختلف، في الواقع، بعض الفروع المنحدرة من نوع الآباء نفسه عن الفروع الأخرى بحيث لـم يَعُد بإمكان بعضها من التكاثر مع بعضها الآخر.

تنتقل التعليمات التي تتناول التطوّر من الآباء إلى الأبناء في آلاف المورّثات المتفرّدة، التي يُعرَف كلٌّ منها الآن بأنه قسمٌ من جزيء من الحمض النووي (DNA). تَرِثُ مواليدُ الكائنات غير الجنسية (أي الحيوانات المستنسخة) كلَّ مورّثات آبائها. وفي التكاثر الجنسي للنباتات والحيوانات تندمج خلية متخصصة من أنثى مع خلية متخصصة من ذكر. تحتوي كلُّ خلية من هذه الخلايا الجنسية نصفاً لا يمكن التنبؤ به من المعلومات الوراثية الخاصة للوالدين. وحين تندمج خليةٌ ذكرية معيّنة مع خلية أنثوية معيّنة في أثناء الإخصاب، فإنّهما تشكّلان خليةً ذات مجموعة كاملة من المعلومات الوراثية المزدوجة، أو مزيجاً من نصف مجموعة معلومات وراثية من كل والد. وحين تتكاثرُ الخليةُ المخصَّبة لتُشكِّلَ جنيناً، ويصبح ذريةً أو فرداً ناضجاً في نهاية الأمر، فإنّ المجموعات المركّبة تتكرّر في كل خليّة جديدة.

يَنتُج عن فرز المورّثات وتجميعها في التكاثر الجنسي مجموعة كبيرة ومتنوعة من التركيب الوراثي في مواليد الأبوين. ثمة ملايين التركيبات المختلفة الممكنة من المورّثات في النصف المنقسم في كل خلية جنسية منفصلة، وثمة أيضاً ملايين التركيبات الممكنة لكل خلية من تلك الخلايا الجنسية الذكرية والأنثوية.

على أيّ حال، ليس المزيجُ الجديدُ من المورّثات المصدرَ الوحيد لتنوّع خصائص الكائنات الحيّة. وعلى الرغم من أنّ التعليمات الوراثية قد يتم تناقلها لآلاف الأجيال عملياً دون تغيير، تتغيّر في بعض الأحيان بعضُ المعلومات الموجودة في الحمض النووي للخليّة. وقد تحدث عمليات حذف أو إدخال أو استبدال لأقسام من الحمض النووي بصورة تلقائية من خلال أخطاء عشوائية في النسخ، أو قد تُسببها مواد كيميائية أو إشعاع. إذا وُجِدَ مورّث متحوّر في الخليّة الجنسية للكائن الحي، فقد تنتقلُ نسخٌ منها إلى المواليد لتغدو جزءاً من الخلايا كلّها، وربما تعطي المولود خصائص جديدة أو معدّلة. وقد تؤول بعضُ هذه الخصائص المتغيّرة إلى زيادة قدرة الكائنات الحيّة التي تمتلكها على الازدهار والتكاثر، وقد يُقلّل بعضُها تلك القدرة، وقد لا يكون لبعضها تأثيرٌ ملموس.

الخلايا

تتألَّفُ أشكالُ الحياة التي تُبدِئ نفسها من خلايا، ابتداءً من البكتيريا وحيدة الخليّة وصولاً إلى الفيلة، بما لديها من تريليونات الخلايا. على الرغم من قدرتنا على رؤية بعض الخلايا العملاقة بالعين المجرّدة، مثل بيض الدجاج، فإنّ معظم الخلايا مجهرية. تُنفَّذ كثيرٌ من الوظائف الأساسية للكائنات الحيّة على مستوى الخلية: تركيب البروتين، واستخلاص الطاقة من المواد الغذائية، والتكاثر، وما إلى ذلك.

تملك الخلايا الحيّة كلّها أنواعاً متشابهة من الجزيئات المعقدة، التي تشارك في أنشطة الحياة الأساسية. وتتفاعل هذه الجزيئات في الحساء، الذي يحتوي ثُلثاه تقريباً على الماء، ويحيطه به غشاءٌ يتحكّم بما يمكنه الدخول

والخروج منه. وفي الخلايا الأكثر تعقيداً، تنتظم بعض الأنواع الشائعة من الجزيئات في بنى تنجز الوظائف الأساسية نفسها بفعالية أكبر. وبوجه خاص، فإنّ النواة التي تحتوي على الحمض النووي والهيكل البروتيني تساعد في تنظيم العمليات. تنجزُ معظمُ الخلايا في الكائنات الحيّة بعضَ الوظائف الخاصة التي لا تؤديها الخلايا الأخرى، فضلاً عن الوظائف الخلوية الأساسية المشتركة بين الخلايا كلّها. فعلى سبيل المثال، تفرز خلايا الغدة الهرمونات، وتنقبض الخلايا العضلية، وتوصل خلايا الأعصاب إشارات كهربائية.

تتألّف جزيئات الخليّة من ذرّات ذات عدد قليل من العناصر، وهي الكربون والهيدروجين والنيتروجين والأكسجين والفوسفور والكبريت بصورة أساسية. ويمكن لذرّات الكربون، بسبب صغر حجمها وتوفّر أربع إلكترونات للارتباط أن تنضمَّ إلى ذرّات كربون أخرى في سلاسل وحلقات كي تُشكّل جزيئات كبيرة ومعقدة. تحدثُ معظمُ التفاعلات الجزيئية في الخلايا في محلول مائي وتتطلّب مجالاً ضيّقاً إلى حدٍّ ما من الحرارة والحموضة. كما تحدثُ التفاعلات ببطء شديد في درجات الحرارة المنخفضة، في حين أنّ درجات الحرارة المرتفعة أو الحموضة الشديدة يمكن أن تُتلِف بنية جزيئات البروتين على نحو لا يمكن تجنّبه. وحتى التغييرات الصغيرة في الحموضة يمكنها أن تغيّر الجزيئات وطريقة تفاعلها. تمتلك كل من الكائنات وحيدة الخليّة ومتعددة الخلايا جزيئات تساعد في الحفاظ على حموضة الخلايا ضمن المجال الضروري.

تنفّذ أنواعٌ مختلفة من الجزيئات، معظمها من البروتينات، عملَ الخليّة الذي تجمعه. تُعَدُّ جزيئات البروتين سلاسلَ مطوية وطويلة عادةً مؤلّفة من

عشرين نوعاً مختلفاً من جزيئات الأحماض الأمينية. وتعتمد وظيفة كل بروتين على تسلسله المحدد من الأحماض الأمينية وعلى الشكل الذي تتخذه السلسلة نتيجة الجذب بين أجزائها. تساعدُ بعض الجزيئات المُجمَّعة في نسخ المعلومات الوراثية وإصلاح بنى الخلايا، الأمر الذي يساعد الجزيئات الأخرى على دخول الخلية أو الخروج منها، وعلى تحفيز التفاعلات الجزيئية عموماً وتنظيمها. وفي الخلايا المتخصصة، قد تحملُ جزيئاتُ البروتين الأخرى الأكسجين، وتُحدِثُ انقباضاً، وتستجيب للمحفزات الخارجية، أو توفّر مادة للشَّعر والأظافر وبنى الجسم الأخرى. يمكن تصدير الجزيئات المُجمَّعة في خلايا أخرى لتؤدي وظيفة هرمونات، أو أجسام مضادة، أو إنزيمات هضمية.

تقدّم المعلومات الوراثية المشفّرة في جزيئات الحمض النووي تعليمات لجمع جزيئات البروتين. وهذه الشيفرة عملياً هي نفسها بالنسبة إلى أشكال الحياة كلّها. وهكذا، إذا وُضِعَ مورِّثٌ من خلية بشرية في بكتيريا، على سبيل المثال، فإنّ الآلية الكيميائية للبكتيريا تتبعُ تعليمات المورِّث وتُنتِجُ البروتين نفسه، الذي ستنتجه الخلايا البشرية. يمكن للتغيير الذي قد تُحدثه المواد الكيميائية أو الإشعاع، حتى في ذرّة واحدة في جزيء الحمض النووي، أن يُغيّر البروتين الذي أُنتِج. وقد لا تُحدِثُ مثل هذه الطفرة في الحمض النووي اختلافاً كبيراً، وقد تُعطّل عمل الخلية بصورة خطرة، أو قد تغيّر العمل الناجح للخليّة بصورة ملحوظة (فعلى سبيل المثال، قد تعزّز التناسخ غير المنضبط، كما هي الحال في السرطان).

تنحدرُ كلُّ خلايا الكائن الحي من بويضة واحدة مخصّبة لها معلومات الحمض النووي نفسه. حالما تتشكّل الأجيال المتعاقبة من الخلايا من خلال

الانقسام، فإنّ اختلافات طفيفة في بيئتها الحالية قد تجعلها تتطوّر على نحو مختلف قليلاً عن طريق تنشيط أو تعطيل أجزاء مختلفة من معلومات الحمض النووي. وتختلف الأجيال اللاحقة من الخلايا أكثر، وتنضج في نهاية الأمر لتصبح خلايا مختلفة تأخذ شكل غدّة، وعضلة، وخلايا عصبية.

قد تؤدي التفاعلات المعقدة بين أنواع لا حصر لها من الجزيئات في الخليّة إلى دورات من النشاطات المميزة، مثل النمو والانقسام. يأتي التحكم في عمليات الخليّة أيضاً من الخارج، فقد يتأثر سلوكُ الخليّة بجزيئات من أجزاء أخرى من الكائن الحي، أو من الكائنات الحيّة الأخرى (مثل الهرمونات والناقلات العصبية، على سبيل المثال)، التي تتصل بغشاء الخليّة أو تمرّ عبره، وتؤثّر في نسب التفاعل بين مكوّنات الخليّة.

ترابط الحياة

يرتبط كلّ نوع، بشكل مباشر أو غير مباشر، بأنواع أخرى كثيرة في أيّ نظام بيئي. وتوفّر النباتاتُ الغذاء والمأوى وأماكن التعشيش التي تتخذها كائناتٌ أخرى. وتعتمد نباتاتٌ كثيرة من جانبها على الحيوانات للمساعدة في التكاثر (تلقيح النحل للأزهار، على سبيل المثال)، ومن أجل عناصر غذائية معيّنة (مثل المعادن الناتجة من مخلّفات الحيوانات). تُعَدُّ الحيوانات جزءاً من شبكات الغذاء، التي تشمل نباتات وحيوانات من أنواع أخرى (ومن النوع نفسه في بعض الأحيان)، فعلاقة المفترس مع الفريسة علاقة شائعة، بأدوات الحيوانات المفترسة الهجومية: أسنان، ومناقير، ومخالب، وسم، وما إلى ذلك، وأدوات الفريسة الدفاعية كالتمويه للاختباء، وسرعة الهروب، أو الدروع أو الأشواك لتفاديها، والمواد المهيّجة

لصدّها. تعتمد بعضُ الأنواع على غذاء معيّن (على سبيل المثال، يمكن لحيواني الباندا والكوالا أن يأكلا أنواعاً معيّنة فقط من الأشجار). وأصبحت بعضُ الأنواع متكيّفة بعضها مع بعضٍ حتى إنّ بعضَها لا يستطيع البقاء دون الآخر (على سبيل المثال، الزّنابير التي لا تعشش إلا في شجر التين، وهي الحشرة الوحيدة التي يمكنها تلقيح هذا النوع من الأشجار).

ثمة علاقات أخرى أيضاً بين الكائنات الحيّة، فالطفيليات تحصل على الغذاء من الكائنات الحيّة المضيفة، ومع عواقب سيئة في بعض الأحيان على الكائنات المضيفة. وتتغذى آكلاتُ القمامة والمحلّلات فقط على الحيوانات والنباتات الميتة. توجد لبعض الكائنات الحيّة علاقات ذات منفعة متبادلة، على سبيل المثال، النحل الذي يرتشف الرحيق من الأزهار، ويحمل في الوقت نفسه حبوبَ الطلع من زهرة إلى أخرى تليها، أو البكتيريا التي تعيش في أمعائنا وتُركِّبُ تلقائياً بعضَ الفيتامينات وتحمي بطانةَ الأمعاء من الجراثيم.

بَيْدَ أنَّ تفاعلَ الكائنات الحيّة لا يحدث في بيئة خاملة. تتشكّل الأنظمةُ البيئية من خلال البيئة غير الحيّة لليابسة والماء: الإشعاع الشمسي، وهطل المطر، وتركيزات المعادن، ودرجة الحرارة، والتضاريس. يحتوي العالـمُ على تنوّع واسع للظروف الفيزيائية، التي تخلق مجموعةً متنوعة من البيئات: المياه العذبة ومياه المحيطات، والغابات، والصحارى، والمراعي، والتندرا (أي السهول الجليدية)، والجبال، وغيرها. تستخدم الكائنات الحيّة موارد الأرض الحيوية في هذه البيئات كلّها، ويسعى كلٌّ منها إلى الحصول على نصيبه بطرق خاصة تحددها الكائنات الحيّة الأخرى. وفي كل جزء من البيئة الصالحة للسكن، تتنافس الكائنات الحيّة المختلفة على الطعام والمكان والضوء والحرارة والماء والهواء والمأوى. وتشكّل التفاعلات المترابطة والمتقلّبة لأشكال

الحياة والبيئة نظاماً بيئياً كاملاً. يتطلّب فهم أيّ جزء منه على نحو جيد معرفة كيفية تفاعل هذا الجزء مع الأجزاء الأخرى.

يؤدي الترابط بين الكائنات الحيّة في معظم الأحيان في نظام بيئي ما إلى استقرار تقريبي على مدى مئات أو آلاف السنين. حين يتكاثر أحدُ الأنواع، فإنه يتقيّد بعامل بيئي واحد أو أكثر، نفاد الطعام أو أماكن التعشيش، أو النقص المتزايد بالنسبة إلى الحيوانات المفترسة، أو غزو الطفيليات. إذا حدثت كارثة طبيعية كفيضان أو حريق، فمن المرجّح أن يتعافى النظام البيئي المتضرر من خلال سلسلة من المراحل التي تؤدي في نهاية المطاف إلى نظام مشابه للنظام الأصلي.

تميل النظمُ البيئية، شأنها في ذلك شأنُ كثيرٍ من الأنظمة المعقدة، إلى إظهار تقلّبات دورية نحو حالة من التوازن التقريبي. غير أنّ النظم البيئية تتغيّر حتماً، على المدى الطويل، حين يتغيّر المناخ أو حين تظهر أنواعٌ جديدة من الكائنات المختلفة جداً نتيجة للهجرة أو التطوّر (أو يُدخلها البشر عمداً أو عن غير قصد).

تدفّق المادة والطاقة

مهما بلغ تعقيد أعمال الكائنات الحيّة، فإنها تشترك مع الأنظمة الطبيعية الأخرى في المبادئ الفيزيائية نفسها الخاصة بالحفاظ على المادة والطاقة وتحوّلهما. وعلى مدى مدة طويلة من الزمن، تتحوّل المادة والطاقة فيما بين الكائنات الحيّة، وبين الكائنات الحيّة والبيئة المادية. وفي هذه الحلقات على نطاق واسع، يبقى المقدار الإجمالي للمادة والطاقة ثابتاً، على الرغم من أنّ شكلهما وموقعهما يخضعان لتغيير مستمر.

يتم الحفاظ على أشكال الحياة كلّها على الأرض تقريباً من خلال تحوّلات الطاقة، التي نحصل عليها من الشمس. تتلقى النباتات طاقةً من الشمس، وتستخدمها في تركيب الجزيئات المعقدة الغنية بالطاقة (مثل السكريات بصورة أساسية) من جزيئات ثاني أكسيد الكربون والماء. ومن ثَمَّ، تعمل هذه الجزيئات المركّبة، بصورة مباشرة أو غير مباشرة، بوصفها مصدراً للطاقة للنباتات نفسها وللحيوانات والكائنات المتحلّلة كلّها (مثل البكتيريا والفطريات) في نهاية الأمر. هذه هي الشبكة الغذائية: تستمد الكائنات الحيّة، التي تستهلك النباتات، الطاقة والمواد من تفكيك جزيئات النبات، وتستخدمها لتركيب بناها الخاصة، ومن ثَمَّ تستهلكها الكائنات الحيّة الأخرى. وفي كل مرحلة من مراحل الشبكة الغذائية، تُـخزَّن بعض الطاقة في بنى تم تركيبها حديثاً ويتبدّد بعضُها في البيئة في شكل حرارة تنتجها العمليات الكيميائية التي تطلق الطاقة في الخلايا. وتبدأ دورة طاقة مماثلة في المحيطات، وذلك بوساطة كائنات دقيقة تشبه النباتات، التي تأخذ طاقة الشمس. تأخذ كل مرحلة متلاحقة في شبكة الغذاء جزءاً يسيراً فقط مما تحتويه الكائنات التي تتغذى عليها من الطاقة.

يُعاد باستمرار تدوير العناصر التي تكوّن جزيئات الكائنات الحيّة. ومن أهم هذه العناصر: الكربون والأكسجين والهيدروجين والنيتروجين والكبريت والفوسفور والكالسيوم والصوديوم والبوتاسيوم والحديد. تمرّ هذه العناصر، فضلاً عن غيرها التي توجد في معظمها في جزيئات غنية بالطاقة، في شبكة الغذاء بأكملها، وتعيد المحلّلات تدويرها في نهاية الأمر إلى العناصر الغذائية المعدنية التي يمكن للنباتات استخدامها. وعلى الرغم من أنه قد تكون هناك في كثير من الأحيان زيادة وعجز محلي، فإنّ الوضع

على الأرض بأكملها هو أنّ الكائنات الحيّة تموت وتتحلّل بالمعدّل نفسه، الذي يتم فيه تركيب حياة جديدة. بمعنى آخر؛ إنّ إجمالي الكتلة الحيوية الحيّة يبقى ثابتاً تقريباً، وثمة تدفّق دوري للمواد من الحياة القديمة إلى الجديدة، وتدفّق لا رجعة فيه للطاقة التي نحصل عليها من أشعة الشمس المأخوذة إلى الحرارة المبدَّدة.

حدث على ما يبدو انقطاعٌ مهم في التدفّق المعتاد للطاقة منذ ملايين السنين لـمّا تجاوز نمو النباتات البرية والكائنات البحرية قدرةَ المحلِّلات على إعادة تدويرها، فتحوّلت الطبقاتُ المتراكمة من المواد العضوية الغنية بالطاقة تدريجياً إلى فحم ونفط بفعل ضغط الأرض فوقها. يمكن إطلاق الطاقة المخزّنة في بنيتها الجزيئية الآن عن طريق الاحتراق، وتعتمد حضارتنا الحديثة على كميات ضخمة من الطاقة التي نحصل عليها من هذا الوقود الأحفوري المستعاد من الأرض، فمن خلال حرق الوقود الأحفوري، نمرر أخيراً معظم الطاقة المخزّنة إلى البيئة في شكل حرارة. كما أننا نُعيد إلى الغلاف الجوي، في وقت قصير جداً نسبياً، كميات كبيرة من ثاني أكسيد الكربون، التي أُزيلت منه ببطء على مدى ملايين السنين.

إنّ كمية الحياة التي يمكن أن تحافظ عليها أيّ بيئة محصورة بأهم مواردها الأساسية: تدفّق الطاقة والمعادن والمياه. تتطلّب الإنتاجية المستدامة للنظام البيئي طاقة كافية للمنتجات الجديدة التي تُركَّب (كالأشجار والمحاصيل)، ولإعادة تدوير كاملة أيضاً لبقايا المنتجات القديمة (كالأوراق الميتة، ومياه الصرف الصحي لدى البشر، وما إلى ذلك). حين تتدخل التكنولوجيا البشرية، قد تتراكم المواد بوصفها نفايات لا يُعاد تدويرها.

وحين لا يكون تدفّق الموارد كافياً، يحدث ترشيح متسارع للتربة، أو التصحر، أو استنفاد لمخزون المعادن.

تطور الحياة

يبدو أنّ أشكال الحياة الحالية للأرض قد تطوّرت منذ الأسلاف المعروفين وصولاً إلى أبسط الكائنات أحادية الخليّة منذ ما يقرب أربعة مليارات سنة. تقدّم الأفكار الحديثة عن التطوّر تفسيراً علمياً لثلاث مجموعات رئيسة من الحقائق التي يمكن ملاحظتها عن الحياة على الأرض: العددُ الضخم من أشكال الحياة المختلفة التي نراها حولنا، وأوجه التشابه المنتظمة في التشريح والكيمياء الجزيئية التي نراها ضمن ذاك التنوع، وتسلسل التغييرات في الحفريات الموجودة في طبقات متتالية من الصخور، التي تشكّلت على مدى أكثر من مليار سنة.

منذ بداية سجل الأحافير، ظهرت أشكالُ الحياة الجديدة والكثيرة، واختفت معظم الأشكال القديمة. إنّ تسلسل الأشكال التشريحية المتغيّرة والقابلة للتعقّب، التي يُستدَل عليها من عمر طبقات الصخور، يقنع العلماء بأنّ تراكم الفروق من جيل إلى الجيل الذي يليه أدّى في نهاية الأمر إلى أنواع يختلفُ بعضُها عن بعض اختلافَ البكتيريا عن الفيلة. يدعم الدليلُ الجزيئي الدليلَ التشريحي من الحفريات، ويقدّم تفاصيل إضافية عن التسلسل الذي تفرّعت منه فروع النسب، التي اختلف بعضُها عن بعض.

وعلى الرغم من أنّ تفاصيل تاريخ الحياة على الأرض لا تزال تُجمع من الأدلة الجيولوجية والتشريحية والجزيئية، يتفق العلماء عموماً على السمات الرئيسة لذاك التاريخ. في البداية، ربما تكون الجزيئات البسيطة قد

شكّلت جزيئات معقدة تشكّلت بدورها لاحقاً في شكل خلايا قادرة على التكاثر الذاتي. لقد وُجدت الحياة على كوكب الأرض منذ ثلاثة مليارات سنة. وقبل ذلك، ربما تكون الجزيئات البسيطة قد شكّلت جزيئات عضوية معقدة تشكّلت بدورها في نهاية الأمر، وباتت خلايا قادرة على التكاثر الذاتي. وخلال أوّل ملياري سنة من الحياة، كانت الكائنات الحيّة الدقيقة موجودة فقط، إذ يبدو بعضُها مشابهاً تماماً للبكتيريا والطحالب الموجودة في يومنا هذا. ومع تطوّر الخلايا ذات النوى منذ نحو مليار سنة، كانت هناك زيادة كبيرة في معدّل تطوّر الكائنات الحيّة متعددة الخلايا التي ازدادت في تعقيدها. كان معدّل تطوّر الأنواع الجديدة متفاوتاً منذ ذلك الحين، وربما يعكس ذلك معدّلات التغيير المتفاوتة في البيئة المادية.

إنّ المفهوم الأساسي لنظرية التطوّر هو الانتقاء الطبيعي، الذي ينشأ من ثلاث ملحوظات ثابتة. أولاً: ثمة اختلافٌ في الخصائص الموروثة في كل نوع من أنواع الكائنات الحيّة. ثانياً: ستمنح بعض هذه الخصائص الأفراد تفوّقاً على الآخرين في البقاء على قيد الحياة إلى أن يحدث النضج والتكاثر. ثالثاً: من المرجّح أن يكون لدى هؤلاء الأفراد ذرّية أكثر من غيرهم، وستكون هذه الذرّية مرشّحة أكثر من غيرها للبقاء والتكاثر. والنتيجة المرجّحة هي أنه عبر الأجيال المتعاقبة، ستميلُ نسبةُ الأفراد الذين ورثوا خصائص مانحة للتفوق إلى الازدياد.

يمكن أن تشمل الخصائص القابلة للاختيار تفاصيل عن الكيمياء الحيوية، كالتركيب الجزيئي للهرمونات أو الأنزيمات الهاضمة، والسمات التشريحية التي تُنتَج في النهاية في تطوّر الكائن الحي، مثل حجم العظم أو طول الفراء. ويمكن أن تشمل أيضاً سمات أكثر دقة يحدّدها التشريح، مثل

حدة البصر أو كفاءة ضخ القلب. قد تؤثّر الخصائصُ التي من الممكن اختيارها أيضاً في السلوك، بوساطة الوسائل الكيميائية الحيوية أو التشريحية، مثل نسج شكل معين لشبكة، أو تفضيل خصائص معيّنة في الزوج، أو الاستعداد لرعاية النسل.

يمكن أن تَنتُج سمات جديدة قابلة للوراثة عن توليفات جديدة من مورّثات الوالدين أو من طفرات فيها. وباستثناء طفرة الحمض النووي في الخلايا الجنسية للكائن الحي، لا يمكن انتقال السمات حيوياً، التي تنتج عن حدوثها خلال حياة الكائن الحي إلى الجيل التالي. وهكذا، فإنّ التغييرات في الفرد، التي يتسبب فيها استخدام أو ترك بنية أو وظيفة ما، أو التغييرات في البيئة، على سبيل المثال، لا يمكن تفعيلها عن طريق الانتقاء الطبيعي.

من المرجّح أن يُفضي الانتقاء الطبيعي، بحكم طبيعته، إلى كائنات حيّة ذات سمات تتكيّف على نحو جيد للبقاء على قيد الحياة في بيئات معيّنة. ومع ذلك، فإنّ المصادفة وحدها، ولا سيّما في تعداد سكاني صغير، يمكن أن تؤدي إلى انتشار خصائص موروثة ليس لها بقاء متأصل أو نفع أو ضرر تناسلي. علاوةً على ذلك، حين تتغيّر البيئة (بمعنى أنّ الكائنات الحيّة الأخرى هي أيضاً جزء من البيئة)، يمكن أن تتغيّر منفعة الخصائص أو ضررها. لذا، فإنّ الانتقاء الطبيعي لا يؤدي بالضرورة إلى تقدّم طويل الأمد في اتجاه محدد. يعتمد التطوّر على ما هو موجود أصلاً، لذا كلّما ازداد التنوّع الموجود أصلاً، أمكن أن يكون ثمّة مزيد منه.

لقد أنتجت عملية الانتقاء الطبيعي المستمرة للخصائص الجديدة وفي بيئات متغيّرة، عبر ملايين السنين، تسلسلاً لأنواع جديدة متنوعة. ليس

التطوّر سُلّماً تُستبدَل فيه كل الأشكال الدنيا بأشكال عليا، مع ظهور البشر أخيراً في القمة بوصفها أكثر الأنواع تقدّماً، بل أشبه بالشجيرة، التي ظهرت فيها فروعٌ عدّة منذ زمن بعيد. مات بعض هذه الفروع، وبقي بعضٌ منها مع تغيّر ظاهري بسيط، أو دون تغيّر مع مرور الوقت، وبعضُها يتفرّع على نحو متكرر، الأمر الذي يؤدي في بعض الأحيان إلى ظهور كائنات أكثر تعقيداً.

يقدّم المفهومُ الحديث للتطوّر مبدأً موحِّداً لفهم تاريخ الحياة على الأرض، والعلاقات بين جميع الكائنات الحيّة، واعتماد الحياة على البيئة المادية. وفي حين أنه لا تزال كيفية سير التطوّر في كل التفاصيل أمراً غامضاً، فإنّ المفهوم راسخٌ جداً إلى درجة أنه يقدّم إطاراً لتنظيم معظم المعرفة البيولوجية في صورة مترابطة منطقياً.

الفصل السادس

الكائن البشري

لـمّا كنا نحن البشر نشبه الأنواع الأخرى من نواحٍ عدّة، تفرّدْنا بين أشكال الحياة على كوكب الأرض من حيثُ قدرتُنا على التفكير واستخدام اللغة. وبعد أن طوَّرَ جنسنا البشري دماغاً كبيراً ومعقداً، أصبح لدينا مَلَكة التفكير والتخيُّل والإبداع والتعلُّم من التجربة، التي تتجاوز تجربة أيّ نوع آخر. وقد استخدمنا هذه القدرة لإنشاء تقنيات وأعمال أدبية وفنية على نطاق واسع، ولتطوير فهم علمي لأنفسنا وللعالـم.

نحن متفرّدون أيضاً في فضولنا العميق عن أنفسنا: كيف رُكِّبت أجسامُنا؟ كيف تشكّلنا؟ كيف نرتبط بيولوجياً مع أشكال الحياة الأخرى ومع أسلافنا؟ كيف نشبه البشر الآخرين أو لا نشبههم؟ كيف يمكننا البقاء بصحة جيدة؟ يركّز معظم المسعى العلمي على مثل هذه الأسئلة.

يقدّم هذا الفصل توصيات لما يجب أن يعرفه الأشخاص المتعلّمون علمياً عن أنفسهم بوصفهم نوعاً. وتوفّر هذه المعرفة قاعدةً لزيادة الوعي نحو الذات والمجتمع. يركّز الفصل على ستة جوانب رئيسة للكائن البشري: الهوية البشرية، والتطور البشري، والوظائف الأساسية للجسم، والتعلُّم، والصحة البدنية، والصحة العقلية. وأدرجنا التوصيات المتعلّقة بالصحة

الجسدية والعقلية؛ لأنها تساعد في ربط الفهم العلمي للكائن البشري بمجال اهتمام رئيس مشترك بين البشر كلّهم، ألا وهو الرفاه الشخصي.

التوصيات

الهوية البشرية

يشبه البشر الكائنات الحيّة الأخرى في معظم النواحي الحيوية. يتكوّن البشر، على سبيل المثال، من خلايا مثل خلايا الحيوانات الأخرى، ولهم التركيب الكيميائي نفسه إلى حدٍّ كبير، وأنظمة عضوية وسمات جسدية مثل كثير من الكائنات الأخرى، ويتكاثرون بطريقة مماثلة، ويحملون النوع نفسه من نظام المعلومات الوراثية، وهم جزء من شبكة الغذاء.

تدعم الأدلةُ الأحفورية والجزيئية الاعتقاد بأنّ الأنواع البشرية، وهي ليست أقل من غيرها، تطوّرت من كائنات حيّة أخرى. تستمرّ الأدلة في التراكم، ويستمرّ العلماء في مناقشة التواريخ والنسب، لكنّ الخطوط العريضة للقصة مقبولة بوجه عام. بدأت الرئيسيات (وهي تصنيف من الكائنات الحيّة المتشابهة، التي تشمل البشرَ والغوريلا والقردة، وأنواعاً أخرى من الثدييات) تتطوّر من الثدييات الأخرى قبل أقل من مئة مليون سنة. بدأت أنواع كثيرة من الرئيسيات الشبيهة بالبشر في الظهور والتفرع منذ نحو خمسة ملايين سنة، لكنّها انقرضت جميعها ما عدا نوع واحد. وأدّى هذا النوع الذي بقي إلى الأجناس البشرية الحديثة.

يختلف الناس، مثل الكائنات الحيّة المعقدة الأخرى، في الحجم والشكل، ولون البشرة، وحجم الجسم، وشعر الجسم، وملامح الوجه، وقوة العضلات،

واستخدام اليدين بمهارة، وما إلى ذلك. بَيْدَ أنَّ هذه الاختلافات طفيفة مقارنة بالتشابه الداخلي للبشر كلّهم، كما يتضح من حقيقة أنّ الناس يمكنهم الاختلاط جسدياً من أيّ مكان في العالم على أساس التكاثر ونقل الدم وزراعة الأعضاء. فالبشر، في الواقع، نوعٌ منفرد. ومثلما تبدو الاختلافات الثقافية كبيرة بين مجموعات من الناس، فإنّ لغاتهم وتقنياتهم وفنونهم المعقدة تميّزهم من أيّ نوع آخر.

تُنظّم بعضُ الأنواع الأخرى نفسها اجتماعياً، من خلال تولّي وظائف متخصصة مختلفة بصورة أساسية، مثل الدفاع أو جمع الطعام أو التكاثر، إلا أنها تتبع أنماطاً ثابتة نسبياً ومحددة بإرثها الوراثي. إنّ للبشر نطاقاً أكبر بكثير من السلوك الاجتماعي، بدءاً من لعب ألعاب الورق إلى غناء الموسيقا الجماعية، ومن إتقان لغات متعددة إلى نظم القوانين.

من أهم الأحداث في تاريخ الجنس البشري هو التحوّل من الصيد والتجميع إلى الزراعة منذ نحو عشرة آلاف عاماً، الأمر الذي أتاح حدوث زيادة سريعة في عدد السكان. خلال تلك المدة المبكرة من التطوّر، بدأ الإبداع الاجتماعي للجنس البشري في إنشاء القرى ثم المدن، والأنظمة الاقتصادية والسياسية الجديدة، وحفظ السجلات، والقتال المنظَّم. أدّت زيادة كفاءة الزراعة والسيطرة على الأمراض المعدية مؤخّراً إلى زيادة تسارع النمو السكاني، الذي بلغ الآن أكثر من خمسة مليارات نسمة.

ولـمّا كان جنسنا جنساً حيوياً واجتماعياً وثقافياً، عُدَّ تكنولوجياً أيضاً. وبالمقارنة مع الأنواع الأخرى، لسنا شيئاً مميّزاً حين يتعلّق الأمر بالسرعة أو خفّة الحركة أو القوة أو القدرة على التحمّل أو الرؤية أو السمع أو القدرة

على تحمّل الظروف البيئية القاسية. وعلى أيّ حال، تعمل مجموعة متنوعة من التقنيات على تحسين قدرتنا على التفاعل مع العالم المادي. وبمعنى آخر؛ ساعدتنا اختراعاتنا في التعويض عن عيوبنا البيولوجية. تمكّننا السجلات المكتوبة من مشاركة كميات كبيرة من المعلومات وتجميعها. تسمح لنا المركبات بالتحرّك بسرعة أكبر من الحيوانات الأخرى، والسفر في وسائط عدّة (حتى في الفضاء)، والوصول إلى أماكن بعيدة ويصعب العيش فيها. توفّر لنا الأدوات تحكّماً دقيقاً للغاية وبقوة وسرعة مذهلة. وتوسّع التلسكوبات والكاميرات وأجهزة استشعار الأشعة تحت الحمراء ومكبّرات الصوت وغيرها من الأدوات حواسنا البصرية والسمعية واللمسية وتزيد من حساسيتها. وتمكِّنُ الأجهزةُ التعويضية والتدخل الكيميائي والجراحي الأشخاصَ ذوي الإعاقات الجسدية من العمل بفعالية في بيئتهم.

التطور البشري

يتطوّر الإنسان من خليّة واحدة تشكّلت من اندماج خلية بويضة وخليّة منوية. تُسهم كل واحدة بنصف المعلومات الوراثية للخليّة. تُنتِجُ المبايض في الإناث خلايا بويضات ناضجة، وعادةً ما تكون بويضة واحدة في كل دورة شهرية، في حين تُنتِجُ الخصيتان عند الذكور خلايا منوية بأعداد ضخمة. يحدث إخصاب خليّة البويضة بحيوان منوي عادةً بعد أن تُغرَس الخلايا المنوية بالقرب من البويضة، ولكن لا يحدث الإخصاب دائماً؛ لأنّ غرس الحيوانات المنوية قد يحدث في أثناء الدورة الشهرية للإناث حين لا توجد بويضة، أو حين لا يكون أحدُ الشريكين قادراً على إنتاج خلايا

جنسية حيّة. كما يمكن استخدام إجراءات منع الحمل لتعطيل النطاف، أو سدِّ طريقها إلى البويضة، أو منع إفراز البويضات، أو منع البويضة الملقحة من التعشيش في الرحم بنجاح. إنّ استخدام وسائل صناعية لمنع الحمل أو تسهيله يثير تساؤلات حول الأعراف الاجتماعية والأخلاق والمعتقدات الدينية حتى السياسة.

وفي غضون ساعات قليلة من الحمل، تنقسم البويضة الملقحة إلى خليتين متطابقتين، لا تلبث أن تنقسم كلُّ واحدة منهما مرة أخرى، وهكذا دواليك، إلى أن يصبح لدينا ما يكفي من الخلايا لتشكيل كرة صغيرة. وفي غضون أيام قليلة، تغرس هذه الكرة نفسها في جدار الرحم، إذ تغذّي المشيمة الجنين عن طريق السماح بنقل المواد بين دم الأم ودم الطفل في طور النمو. وتنتظم، خلال الأشهر الثلاثة الأولى من الحمل، الأجيال المتعاقبة من الخلايا لتشكيل أعضاء، وخلال الأشهر الثلاثة الثانية، تتطوّر الأعضاءُ كلُّها وملامحُ الجسم، وخلال الأشهر الثلاثة الأخيرة، يحدث مزيدٌ من التطوّر والنمو. تشبه هذه الأنماط من التطوّر البشري تلك الأطوار لدى الحيوانات الفقارية الأخرى، على الرغم من أنّ المقياس الزمني قد يكون مختلفاً تماماً.

قد يكون الجنين في طور النمو في خطر نتيجة عيوبه الوراثية، أو سوء صحة الأم، أو النظام الغذائي غير الكافي في أثناء الحمل، أو بسبب تعاطيها الكحول والتبغ والعقاقير الأخرى. إذا كان نمو الرضيع غير مكتمل عند حدوث الولادة، إما بسبب الولادة المبكرة وإما بسبب سوء الرعاية الصحية، فإنّ الرضيع قد لا يبقى على قيد الحياة. قد يتعرّض الرّضّع بعد

الولادة للخطر نتيجة الإصابة بأذى خلال الولادة أو بالعدوى في أثناء الولادة أو بعدها بمدة وجيزة. لذا، يختلف معدّل وفيات الرّضّع اختلافاً كبيراً من مكان إلى آخر، اعتماداً على جودة التدابير الصحية والنظافة وتغذية ما قبل الولادة والرعاية الطبية. حتى بالنسبة إلى الرّضّع الذين بقوا على قيد الحياة، قد تؤدي الظروف السيئة قبل الولادة أو بعدها إلى قدرات بدنية وعقلية أقل.

يتميز التطوّر العقلي لدى الأطفال العاديين بالظهور المنتظم لمجموعة من القدرات في مراحل متتالية. وتشمل هذه المجموعات تعزيز الذاكرة في نهاية الشهر الأول، وأصوات الكلام بحلول عيد الميلاد الأول، والكلام المترابط بحلول عيد الميلاد الثاني، والقدرة على ربط المفاهيم والفئات بحلول عيد الميلاد السادس، والقدرة على اكتشاف التناسق أو التناقض في الحجج خلال مرحلة البلوغ. إنّ تطور هذه المستويات ذات التعقيد المتزايد من الكفاءة الفكرية هو دلالة على زيادة نضج الدماغ وخبرات التعلّم. وإذا لم تتوفّر الأنواع المناسبة من التحفيز، ولا سيّما حين يكون الطفل في مرحلة نمو حساسة، فقد يصبح حدوث بعض أنواع التطوّر الحيوي والنفسي أكثر صعوبة أو قد يفشل في الحدوث.

هذه المدة الطويلة للغاية من التطور البشري، مقارنة بمدة تطور الأنواع الأخرى، مرتبطة بالدور البارز للدماغ في نشوء الإنسان وارتقائه. معظم الأنواع محدودة للغاية في مخزونها من السلوك، وتعتمد في بقائها على الاستجابات المتوقعة، التي تحددها البرمجة الوراثية إلى حدٍّ كبير. تعتمد الثدييات كثيراً، ولا سيّما البشر، على السلوك المكتسب. توفّر الطفولة الطويلة

وقتاً وفرصاً ليتطوّر الدماغ إلى أداة فعّالة للعيش الذكي. وهذا لا يتأتى من خلال اللعب والتفاعل مع الأطفال الأكبر سناً والبالغين فحسب، بل من خلال التعرّض أيضاً لمفردات أشخاص من أجزاء أخرى من العالم وفنونهم وأزمان أخرى في التاريخ. تستمرّ القدرة على التعلّم طوال الحياة وقد تتحسّن بطرق ما، إذ يؤسس الناس قاعدةً من الأفكار، ويصبحون على دراية بأفضل طريقة تساعدهم أن يتعلّموا.

تحدث مراحلُ التطوّر بتوقيت مختلف إلى حدٍّ ما بالنسبة إلى الأفراد المختلفين بوصفها دلالة على اختلاف العوامل النفسية والتجارب على حدٍّ سواء. وقد يكون الانتقال من مرحلة إلى أخرى مزعجاً، ولا سيّما حين تكون التغييرات البيولوجية ضخمة، أو حين تكون غير متوافقة مع القدرات الاجتماعية أو توقعات الآخرين. تضع المجتمعات المختلفة معنى وأهمية مختلفين لمراحل النمو وللتحوّلات من مرحلة إلى المرحلة التي تليها. تُعرَّف مرحلة الطفولة، على سبيل المثال، من الناحية القانونية والاجتماعية والبيولوجية أيضاً، وتختلف مدتها ومعناها باختلاف الثقافات والعصور التاريخية. ففي الولايات المتحدة، تحدث بداية البلوغ، أي نضج الجسم استعداداً للتكاثر، قبل بضع سنوات من عمرٍ يُعَدُّ عموماً مناسباً جسدياً ونفسياً للأبوة ووظائف البالغين الأخرى.

يتحدّد ما إذا كان البالغون سيصبحون آباءً، وكم سيكون عدد أبنائهم (إذا أصبحوا آباء)، من خلال مجموعة متنوعة من العوامل الثقافية والشخصية، وأيضاً من خلال البيولوجيا أو علم الأحياء. لقد أضافت التكنولوجيا شيئاً كثيراً للخيارات المتاحة للناس للتحكم في تكاثرهم، إذ توجد وسائل

كيميائية وميكانيكية لمنع الحمل أو اكتشافه أو إنهائه. ومن خلال تدابير مثل العلاج الهرموني والتلقيح الصناعي، من الممكن أيضاً تحقيق الحمل المرغوب، الذي ما كان من الممكن أن يحدث لولاها. ومع ذلك، فإنّ استخدام هذه التقنيات لمنع أو تسهيل الحمل أمرٌ مثير للجدل، ويثير تساؤلات حول الأعراف الاجتماعية والأخلاق والمعتقدات الدينية حتى السياسة.

إنّ التقدّم في السن عمليةٌ طبيعية لدى البشر كلّهم، لكنها لا تزال غير مفهومة. تختلف آثارها بصورة كبيرة بين الأفراد. تميل العضلات والمفاصل عموماً إلى أن تصبح أقل مرونة، وتفقد العظام والعضلات بعض كتلتها، وتنخفض مستويات الطاقة، وتصبح الحواس أقل حدة. يُعَدُّ انقطاع الطمث، بالنسبة إلى النساء، حدثاً رئيساً في عملية التقدّم في السن، ففي السنوات بين الخامسة والأربعين والخامسة والخمسين تمرّ النساء بتغيير كبير في عملية إفراز الهرمونات الجنسية، الأمر الذي يؤدي إلى انقطاع الدورة الشهرية لديهن وعدم الإباضة.

لا ترتبط عملية التقدّم في السن لدى الإنسان بالتغيّرات في النظام الهرموني فحسب، بل ترتبط أيضاً بالمرض والتعرّض للأذى، والنظام الغذائي، والطفرات التي تنشأ وتتراكم في الخلايا، وتآكل الأنسجة كالمفاصل الحاملة للوزن، والعوامل النفسية، والتعرّض للمواد الضارة. وقد يؤدي التراكم البطيء للعوامل الضارة مثل الترسبات في الشرايين، والأضرار التي تلحق بالرئتين من التدخين، والأضرار الإشعاعية للجلد، إلى حدوث مرض ملحوظ. تؤثّر الأمراض التي تظهر في وقت متأخر من العمر في وظائف المخ في بعض الأحيان، ويشمل ذلك الذاكرة والشخصية.

وبالإضافة إلى ذلك، يمكن أن يؤدي تضاؤل القدرة البدنية وفقدان دور الفرد الاجتماعي المعتاد إلى القلق أو الاكتئاب. ومن ناحية أخرى، يستطيع كثيرٌ من كبار السن التعايش مع وضعهم على نحو جيد، والعيش أيضاً حياةً مستقلة ونشطة، دون أن يمرّوا بمدة زمنية طويلة من العجز.

يبدو أنّ ثمة حداً أقصى لعمر كلّ نوع من الأنواع، بما في ذلك البشر. فعلى الرغم من أنّ بعض البشر يعيشون أكثر من مئة عام، لا يعيش معظمهم إلى هذا العمر. يتراوح متوسط العمر، بما في ذلك الأفراد الذين يموتون في مرحلة الطفولة، من ٣٥ سنة في بعض السكان إلى ٧٥ سنة في معظم الدول الصناعية. ترجع المعدّلات العالية في العمر في معظم الأحيان إلى انخفاض معدّلات الوفيات ليس للرّضّع والأطفال فحسب، بل لتحسين التدابير الصحية أيضاً والنظام الغذائي والنظافة لمعظم الناس، وإلى الرعاية الطبية المتطوّرة لكبار السن. كما يختلف متوسط العمر المتوقع باختلاف الفئات الاجتماعية والاقتصادية وباختلاف الجنس. تختلف أكثر أسباب الوفاة شيوعاً باختلاف الفئات العمرية والعرقية والاقتصادية، فحوادث المرور القاتلة في الولايات المتحدة، على سبيل المثال، أكثر شيوعاً بين الشبّان، وتتسبب أمراض القلب في وفيات الرجال أكثر من النساء، وتتسبب الأمراض المعدية وجرائم القتل في وفياتٍ بين الفقراء أكثر منها بين الأغنياء.

الوظائف الأساسية

يُعَدُّ جسم الإنسان نظاماً معقداً من الخلايا، معظُمها مجمَّع في أنظمة عضوية لها وظائف متخصصة. يمكن فهم تلك الأنظمة على نحو أفضل من ناحية الوظائف الجوهرية التي تقدّمها: استخلاص الطاقة من الطعام،

والحماية من الإصابة والأذى، والتنسيق الداخلي، والتكاثر. إنّ الحاجة المستمرة للطاقة تجعل الحواس والعضلات الهيكلية تشترك في الحصول على الغذاء، والجهاز الهضمي في تفكيك الطعام إلى مركّبات قابلة للاستخدام والتخلّص من المواد الغذائية غير المهضومة، والرئتين في الحصول على الأكسجين لحرق المواد الغذائية وانبعاث ثاني أكسيد الكربون الناتج، والجهاز البولي للتخلّص من النفايات المنحلة الناتجة عن نشاط الخلية، والجلد والرئتين للتخلّص من الحرارة الزائدة (التي يؤول إليها معظم الطاقة في الغذاء في نهاية الأمر)، ونظام الدورة الدموية لنقل كل هذه المواد كلّها من الخلايا وإليها، إذ تُنتَج أو تكون ثمة حاجة إليها.

يمتلك البشر، مثل كل الكائنات الحيّة، وسائل لحماية أنفسهم. تتضمّن حماية الذات استخدامَ الحواس في اكتشاف الخطر، ونظاماً هرمونياً في تحفيز القلب والوصول إلى إمدادات الطاقة في حالات الطوارئ، والعضلات في حالة الهروب أو الدفاع. يؤدي الجلد وظيفة الدرع ضد المواد والكائنات الضارة كالبكتيريا والطفيليات. ويوفّر جهاز المناعة حماية من المواد، التي تتمكّن من دخول الجسم، وحماية من الخلايا السرطانية التي تنمو بصورة عفوية في الجسم. يؤدي الجهاز العصبي دوراً مهماً بوجه خاص في البقاء على قيد الحياة، فهو يجعل التعلّم، الذي يحتاج إليه البشر للتأقلم مع التغيّرات في بيئتهم، أمراً ممكناً.

يؤدي الدماغ والجهاز العصبي، بالتعاون مع الغدد التي تفرز الهرمونات، وظيفة الرقابة الداخلية المطلوبة لإدارة هذه الأنظمة المعقدة وتنسيقها. وتدمج الإشارات الكيميائية والكهربائية، التي تنقلها الأعصاب والهرمونات،

الجسمَ وتجعله كياناً واحداً. كما تؤدي كثير من التأثيرات المتبادلة بين الهرمونات والأعصاب إلى نشوء نظام من الدورات المنسقة في كل وظائف الجسم تقريباً. يمكن أن تحفّز الأعصاب بعض الغدد لإفراز الهرمونات، كما تؤثّر بعض الهرمونات في خلايا الدماغ، فيفرز الدماغ نفسه هرمونات من شأنها أن تؤثّر في سلوك الإنسان، وتشترك الهرمونات في نقل الإشارات بين الخلايا العصبية. يمكن أن تؤثّر بعض الأدوية، المشروعة منها وغير المشروعة، في جسم الإنسان والدماغ عن طريق محاكاة الهرمونات أو تعطيلها، وعن طريق الناقلات العصبية، التي يفرزها الجهاز العصبي والهرموني.

يضمن التكاثر استمرار الأنواع، فالرغبة الجنسية ذات دافع بيولوجي، لكنّ العوامل النفسية والثقافية هي التي تحدد كيفية تجلّي هذا الدافع بين البشر. تشترك أجهزة الإحساس والهرمونات في ذلك، والأعضاء التناسلية الداخلية والخارجية في حدِّ ذاتها. وحقيقة أنّ التكاثر الجنسي يُنتِجُ تنوّعاً وراثياً أكبر عن طريق مزج مورثات الأبوين تؤدي دوراً رئيساً في النشوء والتطوّر.

التعلّم

إنّ كثيراً من سلوك الكائنات الحيّة فطريٌّ بمعنى أنّ أيّ فرد، في نوع من الأنواع، سيُظهِرُ سلوكاً معيّناً بصورة يمكن التنبؤ بها دون أن يكون لديه أيّ تجارب معيّنة تؤدي إليه (على سبيل المثال، ضفدع يصطاد ذبابة تتحرّك ضمن مجاله البصري). ومع ذلك، فإنّ بعضاً من هذه الإمكانات الفطرية للسلوك تتطلّب أن يتطوّر الفرد في بيئة طبيعية إلى حدٍّ ما من المحفّزات والخبرة. سيتطور الكلام لدى البشر، على سبيل المثال، كما هي الحال في طفل رضيع، دون أيّ تدريب خاص إذا كان الطفل يستطيع سماع الكلام وتقليده في بيئته.

كلّما كان دماغ نوع ما أكثر تعقيداً، ازدادت مرونة مخزونه السلوكي. تنشأ الاختلافات في سلوك الأفراد في جزء منها من الميول الموروثة، وفي الجزء الآخر من اختلاف تجاربه. ثمة دراسة علمية مستمرة للأدوار النسبية للوراثة والتعلّم، لكن من الواضح بالفعل أنّ السلوك يَنتُجُ عن تفاعل هذين الدورين، وليس من مجرّد اجتماعهما. ويبدو أنّ قدرة الإنسان الفريدة على نقل الأفكار والممارسات من جيل إلى الجيل الذي يليه، وابتكار أفكار وممارسات أخرى جديدة، قد أدّت إلى اختلافات غير محدودة تقريباً في الأفكار والسلوك المرتبطين بالثقافات المختلفة.

تحدث معظمُ مهارات قوة التعلّم من خلال الممارسة. إذا استخدمَ شخصٌ ما العضلات نفسها مراراً وتكراراً بالطريقة نفسها (في رمي الكرة)، فقد يصبح نمطُ الحركة تلقائياً ولم يَعُد يتطلّب أيَّ تركيز واع. يعتمدُ مستوى المهارة الذي تم الحصول عليه في نهاية الأمر على القدرات الفطرية للفرد، وعلى مقدار الممارسة، وعلى المكافأة والتغذية الراجعة. ومع ممارسة كافية، يمكن أن تصبح عواقب السلوكيات المديدة آلية وتلقائية تقريباً (مثل قيادة سيارة على طريق مألوف، على سبيل المثال). لا يتعيّن على الشخص في هذه الحالة التركيز على تفاصيل التنسيق بين الحركات العضلية والبصر، ويمكنه أيضاً الانخراط في محادثة، على سبيل المثال، في الوقت نفسه. ويمكن تركيز الانتباه الكامل بسرعة مجدداً، في حالة الطوارئ، على المتطلّبات الاستثنائية للمهمة.

يبدأ التعلّم عادةً بالأجهزة الحسية التي يتلقى الناس من خلالها معلومات عن أجسامهم والعالم المادي والاجتماعي من حولهم. ولا تعتمد الطريقة التي يدرك بها كلُّ شخص هذه المعلومات أو يختبرها على العنصر المحفّز في حدِّ ذاته، بل تعتمد أيضاً على السياق المادي الذي يحدث فيه

المحفّز وعلى بعض العوامل الجسدية والنفسية والاجتماعية في المراقب أو الناظر. لا تعطي الحواس للناس صورة مثل صورة المرآة التي تعكس العالم، لكنها تستجيب بصورة انتقائية لمجموعة معيّنة من المحفّزات، فالعين، على سبيل المثال، حساسة لجزء صغير فقط من الطيف الكهرومغناطيسي. وعلاوةً على ذلك، فإنّ الحواس تنقّي المعلومات وتصوغها في رموز مشفّرة على نحو انتقائي، فتمنحُ بعضَ المحفّزات أهميةً أكبر، كما هي الحال حين يسمعُ أحدُ الوالدين النائمين طفلاً يبكي، وتمنحُ بعضَها الآخر أهميةً أقل، كما هي الحال حين يتكيّف شخصٌ ما مع رائحة سيئة ولم يَعُد يلحظها. يمكن أن تؤثر التجارب والتوقعات والمحفّزات والمستويات العاطفية كلّها في الإدراك.

يبدو أنّ قسماً كبيراً من التعلُّم يحدث عن طريق الارتباط: إذا وصل مُدخَلان إلى الدماغ في الوقت نفسه تقريباً، فمن المحتمل أن يرتبطا في الذاكرة، وسيؤدي إدراك أحدهما إلى توقع الآخر. كما يمكن أن ترتبط الأفعال بالإدراكات، ففي أبسط مستوى ممكن، من المرجّح أن يتكرر السلوك المصحوب أو المتبوع بأحاسيس ممتعة، في حين أنّ السلوك المتبوع بأحاسيس غير سارة من غير المرجّح أن يتكرّر مرة أخرى. والسلوك الذي كانت له عواقب سارة أو غير سارة سيصبح، في ظروف خاصة فقط، أقل أو أكثر احتمالاً حين تحدث تلك الظروف الخاصة. تعتمد قوة التعلُّم عادةً على مدى تطابق المدخلات في الزمن وكم يتكرّر حدوث بعضها مع بعض. ومع ذلك، يمكن أن يكون هناك بعض التأثيرات الدقيقة. فعلى سبيل المثال، قد يؤدي حدوث أمر مزعج للغاية بعد سلوك معيّن إلى تجنّب السلوك بعد تلك اللحظة. ومن ناحية أخرى، قد تؤدي مكافأة سلوك معيّن حتى بين الحين والآخر إلى سلوك دائم ومثابر.

بَيْدَ أنَّ قسماً كبيراً من التعلُّم ليس تلقائياً إلى هذا الحد. يميل الناس إلى تعلّم أشياء كثيرة من التقليد المتعمِّد للآخرين. كما أنّ التعلُّم ليس مجرّد إضافة معلومات أو سلوكيات جديدة. يتعلّم الناس الارتباطات ليس بين الإدراكات والأفعال فحسب، بل بين مثيلاتها المجرّدة في الذاكرة أيضاً، أي بين الأفكار. يتضمن التفكير البشري تفاعلاً بين الأفكار، والأفكار التي تدور حول أفكار أخرى، ومن ثَمَّ يمكن أن يُنتِج كثيراً من الارتباطات الداخلية دون مزيد من المدخلات الحسية.

يمكن لأفكار الناس أن تؤثر في التعلُّم من خلال تغيير كيفية تفسيرهم للتصوّرات والأفكار الجديدة. يميل الناسُ إلى الاستجابة أو البحث عن المعلومات الداعمة للأفكار التي لديهم مسبقاً، ومن جهة أخرى يجب التغاضي أو تجاهل المعلومات، التي لا تتفق مع الأفكار. إذا لم نتغاضَ عن المعلومات المتضاربة أو نتجاهلها، فقد يؤدي ذلك إلى إعادة تنظيم التفكير الذي يجعل المعلومات الجديدة منطقية، فضلاً عن المعلومات السابقة كلّها. تَنتُجُ عادةً عملياتُ إعادة التنظيم المتلاحقة لجزء أو لآخر من أفكار الناس عن مواجهتها لمعلومات أو ظروف جديدة. ومثل إعادة التنظيم هذه ضرورية لعملية النضج البشري، ويمكن أن تستمر طوال الحياة.

الصحة الجسدية

حتى يبقى جسم الإنسان في حالة سليمة وجيدة، فإنه يحتاج إلى مجموعة متنوعة من الأطعمة والتجارب. تختلف كمية الطاقة الغذائية (أي السعرات الحرارية)، التي يحتاج إليها شخص ما باختلاف حجم الجسم والعمر والجنس ومستوى النشاط ومعدّل الاستقلاب. وبعيداً عن الطاقة وحدها، تتطلّب وظيفة الجسم الطبيعي موادَّ ليضيفها إلى مواد أخرى، أو لاستبدال

هذه المواد التي صُنع منها، كالدهون غير المشبعة، وكميات ضئيلة من عشرات العناصر، التي تؤدي ذرّاتها أدواراً مهمة، وبعضُ الكميات القليلة من المواد، التي لا تستطيع الخلايا البشرية تركيبها، بما في ذلك بعض الأحماض الأمينية والفيتامينات. تتطلّب الحالة الطبيعية لمعظم أجهزة الجسم أن تؤدي الوظيفة التكيفية: على سبيل المثال، يجب أن تُحدِث العضلات حركة، ويجب أن تحمل العظام الأحمال، ويجب أن يضخ القلب الدم بكفاءة. لذا، فإنّ التمرين المنتظم مهم للحفاظ على صحة نظام القلب أو الرئة للحفاظ على قوة العضلات ومنع هشاشة العظام.

تعتمد الصحةُ الجيدة أيضاً على تجنّب التعرّض المفرط للمواد التي تتدخل في وظائف الجسم. ومن هذه الوظائف الأساسية التي يمكن لكل فرد السيطرة عليها التبغ (الذي له علاقة بسرطان الرئة، وانتفاخ الرئة، وأمراض القلب)، والعقاقير المسببة للإدمان (التي لها علاقة في التخبّط النفسي واضطرابات الجهاز العصبي)، والكميات المفرطة من الكحول (التي تؤثّر سلبياً في الكبد والدماغ والقلب). وقد تحتوي البيئة على مستويات خطرة من المواد (مثل الرصاص وبعض المبيدات الحشرية والنظائر المشعة)، التي يمكن أن تكون ضارة بالبشر. لذا، تعتمد الصحة الجيدة للأفراد أيضاً على جهد الأشخاص الجماعي لمراقبة الهواء والتربة والماء واتخاذ خطوات للحفاظ على سلامتها.

يمكن أن تتدخل الكائنات الحيّة الأخرى أيضاً في العملية الطبيعية لجسم الإنسان. ويمكن لبعض أنواع البكتيريا أو الفطريات أن تصيب الجسم، وتشكّل مستعمرات في الأعضاء أو الأنسجة المفضّلة لها. تغزو الفيروسات الخلايا السليمة، وتجعلها تصنّع مزيداً من الفيروسات، وتقتل الفيروسات عادةً تلك

الخلايا في هذه العملية. قد تسبب الطفيليات الحيوانية أمراضاً معدية، إذ يمكن أن تستقرّ في الأمعاء أو مجرى الدم أو الأنسجة.

إنّ خطَّ الدفاع الأول للجسم ضد العناصر المعدية هو منعها من دخول الجسم أو الاستقرار فيه. ويُعَدُّ الجلد من آليات الحماية التي تمنع العناصر المعدية، فضلاً عن الدموع واللعاب التي تُخرجها، والمعدة والإفرازات المهبلية التي تقتلها. ثمة وسائل حماية من الكائنات التي تغزو الجسم مرتبطة بذلك وتشمل الحفاظ على الجلد نظيفاً، وتناول الطعام بطريقة سليمة، وتجنّب الأطعمة والسوائل الملوّثة، وتجنّب التعرّض غير الضروري للمرض بوجه عام.

يُعَدُّ جهازُ المناعة خط الدفاع التالي للجسم. تعمل خلايا الدم البيضاء على محاصرة الغزاة وإنتاج أجسام مضادة محددة من شأنها أن تهاجمهم (أو تسهّل الهجوم الذي تشنّه الخلايا البيضاء الأخرى). إذا نجا الفرد من الغزو، تبقى بعضُ هذه الأجسام المضادة مع القدرة على إنتاج مزيد منها بسرعة. وسيكون جهاز المناعة جاهزاً لهذا النوع من الكائنات الحيّة، ويكون قادراً على الحد من المرض أو الوقاية منه لسنوات لاحقة، أو حتى مدى الحياة. يمكن لأيّ شخص أن "يُصاب بنزلة برد" مرّات عدة؛ لأنّ ثمة أنواعاً كثيرة من الجراثيم التي تسبب أعراضاً متشابهة. تحدث تفاعلات الحساسية نتيجة الاستجابات المناعية القوية على نحو غير عادي لبعض المواد البيئية، مثل تلك الموجودة في غبار الطلع، أو على شعر الحيوانات، أو في بعض الأطعمة. ويمكن أن يحدث خلل في الجهاز المناعي البشري في بعض الأحيان، فيهاجم حتى الخلايا السليمة. تُدمّر بعضُ الأمراض الفيروسية، مثل مرض الإيدز، الخلايا الأساسية لجهاز المناعة، الأمر الذي يجعل الجسم عاجزاً عن التعامل مع العوامل المعدية والخلايا السرطانية المتعددة.

بَيْدَ أنَّ الأمراض المعدية ليست التهديد الوحيد لصحة الإنسان، فقد تُصاب أجزاءُ الجسم أو أجهزته بضعف الوظيفة لأسباب داخلية تماماً. ومن المعروف أنّ بعض العمليات المضطربة لعمليات الجسم ناتجة عن مورّثات شاذة. وقد يكون لها تأثيرٌ مباشر وواضح، مثل التسبب في نزيف سهل، أو قد تزيد فقط من استعداد الجسم للإصابة بأمراض معيّنة، مثل انسداد الشرايين أو الاكتئاب النفسي. وقد تكون مثل هذه المورّثات موروثة، أو قد تَنتُج عن طفرة في خلية أو بضع خلايا في أثناء نمو الفرد. ونظراً لأنّ مورّثاً وظيفياً واحداً من شفع المورّثات يعمل على نحو صحيح قد يكون كافياً لأداء وظيفة المورّث، فإنّ كثيراً من الأمراض الوراثية لا تظهر ما لم تُورَّث الصيغة المعيبة من الوالدين كليهما (اللذين قد لا يكون لديهما، للسبب نفسه، أعراض المرض).

إنّ حقيقة أنّ معظم الناس يعيشون الآن في بيئات مادية واجتماعية مختلفة تماماً عن تلك التي تكيّفت معها فيزيولوجية الإنسان منذ مدة طويلة هي عامل في تحديد صحة السكان عموماً. وأحدُ "الاختلالات" الحديثة في البلدان الصناعية هي النظام الغذائي، الذي كان يشتمل في السابق على مواد خام نباتية وحيوانية بصورة رئيسة، لكنه يتضمّن الآن كميات زائدة من السكر المكرّر، والدهون المشبعة والملح، فضلاً عن الكافيين والكحول والنيكوتين والعقاقير الأخرى. إنّ قلة ممارسة الرياضة هو تغيير آخر من نمط الحياة الأكثر نشاطاً في عصور ما قبل التاريخ. ثمة أيضاً ملوّثات بيئية وتوتر نفسي بسبب العيش في بيئة اجتماعية مزدحمة ومحمومة وسريعة التغيير. ومن ناحية أخرى، فإنّ تقنيات طبية جديدة، وأنظمة فعّالة لتقديم الرعاية الصحية، وتحسين الصرف الصحي، وفهم شعبي أشمل لطبيعة المرض اليوم تمنح البشر فرصة أفضل للبقاء بصحة جيدة مقارنة بما كان عليه أسلافهم.

تتضمّن الصحة الذهنية الجيدة تأثيراً متبادلاً للأنظمة النفسية والبيولوجية والفيزيولوجية والاجتماعية والثقافية. يُنظَر إليها عموماً على أنّها القدرة على تحمّل الظروف العادية التي يواجهها الناس في حياتهم الشخصية والمهنية والاجتماعية. وعلى الرغم من ذلك، تختلف الأفكار عمّا تمثله الصحة النفسية الجيدة من ثقافة إلى أخرى ومن مدة زمنية إلى أخرى، فالسلوك الذي يمكن اعتباره جنوناً صريحاً في ثقافة ما قد يُنظر إليه في ثقافة أخرى على أنه مجرّد غرابة أطوار أو حتى إلهام إلهي. وفي بعض الثقافات، يمكن تصنيف الناس بأنهم مرضى نفسيّون إذا أعربوا باستمرار عن عدم توافقهم مع السلطات الدينية أو السياسية. تختلف أيضاً الأفكار حول طبيعة العلاج المناسب للحالات العقلية غير الطبيعية. ويمكن معالجة الدليل على التفكير غير الطبيعي - الذي يمكن أن يُعاقَب عليه عمداً في ثقافة ما - في الثقافات الأخرى من خلال المشاركة الاجتماعية، أو العزل، أو زيادة الدعم الاجتماعي أو الصلاة، أو المقابلات المكثّفة، أو الإجراءات الطبية.

يختلف الأفرادُ اختلافاً كبيراً في قدرتهم على التعايش مع البيئات المثيرة للتوتر. وقد يكون من الصعب بوجه خاص التعامل مع أوجه التوتر في مرحلة الطفولة، ونظراً لأنها قد تشكّل الخبرة والتفكير اللاحقين للطفل، قد تكون لها آثار على المدى الطويل على الصحة النفسية والتكيف الاجتماعي للشخص. يختلف الناس أيضاً في مدى قدرتهم على التأقلم مع الاضطرابات النفسية حين تحدث. يستجيب الناس في معظم الأحيان للمحن العقلية عن طريق إنكار أنّ لديهم مشكلة نفسية. وحتى حين يدرك الناس أنّهم يُعانون من مشكلة كهذه، قد لا يكون لديهم المال أو الوقت أو

الدعم الاجتماعي اللازم للسعي وراء المساعدة. وقد يؤدي اضطراب السلوك المديد إلى استجابات شديدة من العائلات ومشرفي العمل والسلطات المدنية التي تزيد من التوتر على الفرد.

يمكن أن يكون تشخيص الاضطرابات العقلية وعلاجها صعباً بوجه خاص، لأنّ قسماً كبيراً من حياة الناس العقلية لا يمكن الوصول إليه عادةً حتى بالنسبة إليهم. فعلى سبيل المثال، حين نتذكر اسم شخص ما يبدو أنّ الاسم يتبادر إلى ذهننا وحسب، فليس للعقل الواعي أدنى فكرة عن طبيعة عملية البحث. وبالمثل، قد نمرّ بمشاعر الغضب أو الخوف أو الاكتئاب دون معرفة السبب. ووفقاً لبعض نظريات الاضطراب العقلي، فإنّ مثل هذه المشاعر تَنتُجُ عن أفكار مزعجة على نحو استثنائي أو ذكريات مُنِعَت من أن تصبح مُدرَكة. وفي المعالجة المبنية على مثل هذه النظريات، يمكن البحث عن دلائل تتعلّق بالأفكار غير الواعية المسببة للإزعاج في أحلام المريض أو في زلّات لسانه، إذ يُشجَّع المريض على التحدّث مدّة طويلة وبحرّية للإفصاح عن الأفكار ليتم التعامل معها بعدئذٍ.

إنّ بعض أنواع الاضطرابات النفسية الشديدة التي كان يُعتقد في السابق أنها روحية أو عقلية بحتة لها أساس في الاختلال البيولوجي. يمكن أن يُنتِج تدمير أنسجة الدماغ (الناتجة عن الأورام أو الأوعية الدموية التالفة) مجموعةً متنوعة من الأعراض السلوكية، استناداً إلى المواقع المتأثرة في الدماغ. وقد تؤثر إصابات الدماغ، على سبيل المثال، في القدرة على تجميع الكلمات معاً على نحو مفهوم أو القدرة على فهم كلام الآخرين، أو قد تسبب انفعالات عاطفية تافهة. وقد يؤدي نقص أو زيادة بعض المواد الكيميائية التي يفرزها الدماغ إلى الهلوسة والاكتئاب المزمن. قد يكون التدهور العقلي الذي يحدث في بعض الأحيان عند

المسنّين ناتجاً عن مرض فعلي في الدماغ. ولا يسبب الاختلال البيولوجي في حدِّ ذاته خللاً نفسياً بالضرورة، لكنه قد يجعل الأفراد عُرضة بصورة استثنائية لمسببات اضطرابات أخرى.

وفي المقابل، فإنّ للحالات العاطفية الانفعالية بعض التأثيرات الكيميائية الحيوية المميزة. يتسبب الخوف والغضب في إفراز هرمونات تُضَخُّ في مجرى الدم، الذي يهيئ الجسم للعمل كالقتال أو الهروب. وقد يؤثّر الكرب النفسي أيضاً في تعرّض الفرد للأمراض البيولوجية. ثمة دليل على أنّ الحالات العاطفية الشديدة أو المزمنة يمكن أن تُسبّب في بعض الأحيان تغيّرات في الجهاز العصبي والحشوي وجهاز المناعة. فعلى سبيل المثال، قد يؤدي الخوف أو الغضب أو الاكتئاب أو حتى مجرّد خيبة الأمل إلى الإصابة بالصداع والقرحات والعدوى. يمكن لمثل هذه التأثيرات أن تجعل الفرد أكثر عرضة للتوتر النفسي، الأمر الذي يشكّل حلقة مفرغة من الخلل الوظيفي. ومن ناحية أخرى، ثمة دليل على أنّ جهات التواصل الاجتماعية والدعم قد تحسّن من قدرة الفرد على مقاومة أمراض معيّنة أو قد تُقلّل من آثارها.

الفصل السابع

المجتمع البشري

إننا، بوصفنا جنساً بشرياً، كائناتٌ اجتماعية نعيش حياتنا بصحبة البشر الآخرين. وننظّم أنفسنا ضمن أنواع مختلفة من المجموعات الاجتماعية، كمجموعة البدو الرُّحّل وسكان القرى والمدن والبلدان، التي نعمل فيها ونتاجر ونلهو ونتكاثر بطرق عدّة. وخلافاً للأنواع الأخرى، فإنّنا مع مرور الزمن نجمع بين التنشئة الاجتماعية والتغييرات المتعمّدة في السلوك الاجتماعي والتنظيم. وبالنتيجة، تختلف أنماط المجتمع البشري من مكان إلى آخر، ومن عصر إلى آخر، وعبر الثقافات أيضاً، الأمر الذي يجعل العالم الاجتماعي بيئة معقدة وديناميّة للغاية.

تأتي النظرة المتعمّقة في السلوك البشري من مصادر عدّة. تستند الآراء المقدَّمة هنا بالدرجة الأولى إلى البحث العلمي، ولكن يجب أن ندرك أيضاً أنّ الأدب والدراما والتاريخ والفلسفة وغيرها من التخصصات غير العلمية تسهم كثيراً في فهمنا لأنفسنا. يدرس علماء الاجتماع السلوك البشري من مجموعة متنوعة من وجهات نظر ثقافية وسياسية واقتصادية ونفسية، مستخدمين كلاً من النهجين النوعي والكمّي. ويبحث هؤلاء العلماء عن أنماط ثابتة من الأفراد والسلوك الاجتماعي، ويبحثون أيضاً عن تفسيرات علمية لتلك الأنماط. وقد تبدو هذه الأنماط واضحة في بعض الحالات بمجرّد الإشارة إليها، على الرغم من أنها ربما لم تكن جزءاً من الطريقة

التي كان يفكر فيها معظم الناس بالعالـم على نحوٍ واع. وفي حالات أخرى، قد تُظهِر الأنماطُ للناس، كما أظهر البحث العلمي، بأنّ معتقداتهم القديمة حول جوانب معيّنة من السلوك البشري غير صحيحة.

يغطي هذا الفصل توصيات حول المجتمع البشري من حيثُ السلوكُ الفرديُّ والجماعيُّ، والمنظمات الاجتماعية، وعمليات التغيير الاجتماعي. وهذا الأمر مبني على نهج معيّن للموضوع: رسم صورة مفهومة للعالـم تتوافق مع نتائج التخصصات المنفصلة ضمن العلوم الاجتماعية مثل علم أصل الإنسان، والاقتصاد، والعلوم السياسية، وعلم الاجتماع، وعلم النفس، لكن دون محاولة وصف النتائج في حدِّ ذاتها، أو وصف المنهجيات الأساسية.

يصف هذا الفصل سبعة جوانب رئيسة للمجتمع البشري: التأثيرات الثقافية في السلوك البشري، وتنظيم المجموعات وسلوكها، وعمليات التغيير الاجتماعي، والمقايضات الاجتماعية، وأشكال التنظيم السياسي والاقتصادي، وآليات حل النزاع ضمن الجماعات والأفراد، والأنظمة الاجتماعية الوطنية والدولية. وعلى الرغم من أنّ كثيراً من الأفكار مرتبطة بالمجتمعات البشرية كلّها، يركّز هذا الفصل بصورة أساسية على الخصائص الاجتماعية للولايات المتحدة الأمريكية في يومنا هذا.

التوصيات

التأثيرات الثقافية في السلوك

يتأثر السلوك البشري بكل من المورّثات الموروثة وبالتجربة الشخصية. تتشكّل الطرق التي يتطوّر بها الناس من خلال التجارب الاجتماعية والظروف، التي تكون ضمن سياق الإمكانية الجينية الموروثة الخاصة بهم.

والتساؤل العلمي هنا هو الآتي: كيف تتفاعل التجربة والإمكانات الوراثية لإنتاج السلوك البشري؟

يُولَد كلُّ شخص في بيئة اجتماعية وثقافية: الأسرة، والمجتمع، والطبقة الاجتماعية، واللغة، والدين، ويُطوّر في نهاية المطاف روابط اجتماعية كثيرة. تؤثّر خصائص بيئة الطفل الاجتماعية في الطريقة التي يتعلّم بها من أجل التفكير والتصرّف، سواء عن طريق التعليمات، أم الثواب والعقاب، أم القدوة. وتشمل هذه البيئة الاجتماعية: المنزل، والمدرسة، والحي، وربما المنظّمات الدينية أيضاً والجهات القائمة على تنفيذ القانون. ثم تأتي تفاعلات الطفل غير الرسمية مع الأصدقاء والأقران والأقارب ووسائل الإعلام والترفيه. إنّ الطريقة التي سوف يستجيب بها الأفراد لكل هذه التأثيرات، أو حتى طبيعة التأثير الذي سيكون أقوى، هو شيء غير قابل للتنبؤ. وعلى الرغم من ذلك، ثمة بعض التشابه الملموس في كيفية استجابة الأفراد لنمط التأثيرات نفسه، أي تربية الشخص ونموه في الثقافة نفسها. إنّ أنماط السلوك الناتجة عن الثقافة، مثل أنماط الكلام ولغة الجسد وأشكال الدعابة، تغدو متأصلةً بعمق في العقل البشري، حتى إنها تعمل في كثير من الأحيان دون أن يدركها الأفراد أنفسهم.

تتضمّن كلُّ ثقافة شبكةً من أنماط ومعانٍ مختلفة إلى حدٍّ ما: طرق كسب العيش، وأنظمة التجارة والحكومة، والأدوار الاجتماعية، والأديان، والتقاليد المتعلّقة بالملابس والطعام والفنون، والتوقعات المتعلّقة بالسلوك والمواقف نحو الثقافات، والمعتقدات والقيم المتعلّقة بكل هذه الأنشطة. وقد تكون في مجتمع كبير مجموعات عدّة ذات ثقافات فرعية مختلفة بصورة واضحة ومرتبطة بالمنطقة أو الأصل العرقي أو الطبقة الاجتماعية. إذا هيمنت

ثقافة واحدة في منطقة كبيرة، فيمكن عَدُّ قيمها صحيحة ويمكن تعزيزها، ليس من جانب الأُسر والمجموعات الدينية فحسب، بل من جانب المدارس والحكومات أيضاً. وقد تنشأ بعض الثقافات الفرعية بين فئات اجتماعية خاصة (مثل رجال الأعمال والمجرمين)، وقد يتعدى بعضُها الحدود الوطنية (مثل الموسيقيين والعلماء).

تُعَدُّ الفروق الاجتماعية سواء كانت عادلة أم ظالمة، مرغوبة أم غير مرغوبة، جزءاً بارزاً من كل ثقافة تقريباً. ويختلف شكل الفروق تبعاً للزمان والمكان، ويشمل في بعض الأحيان الطوائف المتزمّتة، وفي بعض الأحيان التسلسلات الهرمية القبائلية أو العشائرية، وفي بعض الأحيان يشمل طبقة اجتماعية أكثر مرونة. يُبنى التمييز الطبقي على أساس الثروة والتعليم والمهنة، ولكن من المحتمل أيضاً أن يكون مرتبطاً بالاختلافات المتعلّقة بالثقافات الفرعية، مثل اللباس واللهجة والمواقف نحو المدرسة والعمل. هذه الفروق الاقتصادية والسياسية والثقافية يدركها تقريباً جميع أعضاء المجتمع، ويستاء منها بعضهم الآخر.

تؤثّر الطبقة التي يُولَد فيها الناس في طبيعة اللغة والنظام الغذائي والأذواق والاهتمامات، التي ستكون لديهم بوصفهم أطفالاً، ومن ثَمَّ تؤثّر في الطريقة التي سيرون العالـم الاجتماعي من خلالها. علاوةً على ذلك، تؤثّر الطبقة في طبيعة الضغوط والفرص التي سيختبرها الناس، ومن ثَمَّ تؤثّر في طبيعة المسارات، التي من المرجّح أن تتخذها حياتهم، بما في ذلك التعليم والمهنة والزواج ومستوى المعيشة. ومع ذلك، لا يزال كثير من الناس يعيشون حياةً مختلفة عن المعايير التي تنطبق على طبقتهم.

تختلف السهولة التي يمكن فيها لشخص أن يُغيّر طبقته الاجتماعية اختلافاً كبيراً باختلاف الزمان والمكان. فعلى مدى معظم تاريخ البشرية، يكاد يكون الناس متأكدين أنهم سيعيشون ويموتون في الطبقة التي ولدوا فيها. وقد حدثت أوقات الحركة الصاعدة الأكبر حين كان مجتمع ما ينفّذ مشاريعَ جديدة (في الإقليم أو التكنولوجيا على سبيل المثال)، ومن ثَمَّ فقد احتاج إلى مزيد من أصحاب المهن ذوي الطبقة الأعلى. تهربُ أعدادٌ متزايدة من الناس من الفقر في بعض أنحاء العالـم اليوم من خلال الفرص الاقتصادية أو التعليمية، في حين تتزايد أعدادُ الفقراء في أجزاء أخرى.

يختلفُ ما يُعَدُّ سلوكاً بشرياً مقبولاً من ثقافة إلى أخرى ومن مدة زمنية إلى أخرى. قَبِلت كلُّ فئة اجتماعية عموماً مجموعة سلوكيات خاصة بأفرادها، ومع وجود بعض المعايير المحددة الخاصة بالمجموعات الفرعية مثل البالغين والأطفال والإناث والذكور والفنانين والرياضيين. قد تُعَدُّ بعض السلوكيات غير العادية إمّا مسلّية، أو بغيضة، أو من النوع الذي يعاقب عليه القانون. يمكن أن تُعَدّ بعض السلوكيات العادية في ثقافة ما غير مقبولة في ثقافة أخرى. فعلى سبيل المثال، يُعَدُّ السلوك التنافسي العدواني أمراً وقحاً في الثقافات المتعاونة للغاية. وفي المقابل، في بعض الثقافات الفرعية ذات المجتمع شديد التنافسية، مثل مجتمع الولايات المتحدة الأمريكية، يمكن عدّ عدم الاهتمام بالمنافسة خروجاً عن النهج الطبيعي. فعلى الرغم من أنّ العالـم يحتوي على تنوّع كبير في التقاليد الثقافية، ثمة بعض أنواع السلوك (كالنكاح المُحرَّم، والعنف ضد الأقارب، والسرقة والاغتصاب)، التي تُعَدُّ غير مقبولة في الثقافات كلّها تقريباً.

تختلف العواقب الاجتماعية المناسبة للسلوك غير المقبول اختلافاً كبيراً بين المجتمعات المختلفة حتى داخلها. وتتراوح معاقبة المجرمين من الغرامة أو الإذلال إلى السجن أو النفي، ومن الضرب أو التشويه إلى الإعدام. يتأثر شكل العقاب المناسب بالنظريات الخاصة بالغرض منه وهو منع أو ردع الفرد عن تكرار الجريمة أو ردع الآخرين عن ارتكاب الجريمة، أو ببساطة إحداث المعاناة في حدّ ذاتها وقت العقاب أو القصاص. إنّ نجاح العقوبة في ردع الجريمة أمرٌ يصعب دراسته، ويعود ذلك من جهة إلى القيود الأخلاقية المفروضة على الاختبارات التي توجّه عقوبات مختلفة لمجرمين متشابهين، ومن جهة أخرى بسبب صعوبة إبقاء العوامل الأخرى ثابتة.

لطالما أدّت التكنولوجيا دوراً أساسياً في السلوك البشري، وقد أدّت القيمة العالية المعطاة للاختراع التكنولوجي في أجزاء عدّة من العالم إلى سفر وتواصل سريع وغير مكلف على نحو متزايد، الأمر الذي أدّى بدوره إلى الانتشار السريع للأزياء والأفكار المتعلّقة بالملابس والطعام والموسيقا وأشكال الترفيه. تصف الكتب والمجلات والمذياع والتلفاز طرقاً لارتداء الملابس، وتربية الأطفال، وكسب المال، والعثور على السعادة، والزواج، وطهي الطعام، ومطارحة الغرام. تعزز هذه الأشياء أيضاً بصورة ضمنية القيم والتطلعات والأولويات من خلال الطريقة التي تصوّر فيها سلوك الأشخاص الآخرين كالأطفال والآباء والمعلّمين والسياسيين والرياضيين والمواقف التي تُظهِرها نحو العنف والجنس والأقليات ودور الرجل والمرأة والشرعية.

وفضلاً عن الانتماء إلى الأوساط الاجتماعية والثقافية التي وُلِدَ فيها الناس، فإنهم ينضمّون طوعاً إلى مجموعات تستند إلى أساس المهن أو المعتقدات أو المصالح المشتركة (مثل النقابات، أو الأحزاب السياسية، أو النوادي). تؤثّر العضوية في هذه المجموعات في طريقة تفكير الناس بأنفسهم وطريقة تفكير الآخرين بهم. تفرض هذه الجماعات توقعات وقواعد تجعل سلوك الأعضاء قابلاً للتنبؤ به على نحو أكبر، الأمر الذي يُمكّن كل مجموعة من العمل بسلاسة والاحتفاظ بهويتها. قد تكون القواعد غير رسمية، ويمكن نقلها من خلال الأمثلة، مثل طريقة التصرّف في تجمّع اجتماعي، أو قد تكون قواعد مكتوبة فُرِضَت بحزم. تشير المجموعات الرسمية في بعض الأحيان إلى نوع السلوك الذي تفضّله عن طريق المكافآت (مثل الثناء أو الجوائز أو الامتيازات) أو العقوبات (مثل التهديدات، والغرامات أو الرفض).

يجلب الانتساب إلى أيّ فئة اجتماعية، سواء انضمّ إليها الفرد طواعية أم وُلِدَ فيها، عدداً كبيراً من الامتيازات: إمكانية تجميع الموارد (كالمال أو العمالة)، وتضافر الجهود (كالإضرابات أو المقاطعات أو التصويت)، والهوية والاعتراف (كالمنظّمات أو الشعارات أو الاهتمام الصادر عن وسائل الإعلام). تساعد مواقف الأعضاء ضمن كل مجموعة، التي تتضمّن في معظم الأحيان صورة لمجموعتهم كونها متفوقة على المجموعات الأخرى، في ضمان التماسك ضمن المجموعة، لكن ذلك يمكن أن يؤدي أيضاً إلى نزاع خطير مع المجموعات الأخرى. ومن المرجّح أن تنطوي المواقف نحو

المجموعات الأخرى على النمطية - معاملة كل أعضاء مجموعة ما كما لو كانوا متشابهين، ورؤية الصفات الفعلية لدى هؤلاء الناس، التي تتناسب مع المفاهيم المسبقة للمراقِب. قد يشمل هذا التحيّز الاجتماعي احتراماً مطلقاً نحو بعض فئات الناس، كالأطباء أو رجال الدين، فضلاً عن عدم الاحترام المطلق للفئات الأخرى من الناس، الذين وُلِدوا، على سبيل المثال، في الخارج أو كانوا من النساء.

لا يمكن فهم سلوك المجموعات وحده على أنه السلوك الكلّي للأفراد. فعلى سبيل المثال، لا يمكن فهم الحروب المعاصرة من خلال تلخيص الميول العدوانية لدى الأفراد، فالشخص الذي يكون بين حشد من الناس، في لعبة كرة القدم على سبيل المثال، أو في عِظة دينية جماعية، أو في صفوف اعتصام، قد يتصرّف بطريقة مختلفة تماماً عن الطريقة التي يتصرّف فيها حين يكون بمفرده أو مع أفراد الأسرة. وقد تخرّب مجموعة من الأطفال بناءً ما، على الرغم من أنّ أياً منهم لن يفعل ذلك بمفرده. وبالمثل، سيكون الشخص البالغ سخياً ومستجيباً في معظم الأحيان لاحتياجات الآخرين بوصفه عضواً في نادٍ أو جماعة دينية، على سبيل المثال، أكثر مما يميل حين يكون بمفرده. يوفّر وضع المجموعة مكاسب الصحبة والقبول من أجل مواكبة العمل المشترك للمجموعة، ويجعل من الصعب إلقاء اللوم أو نسب الفضل إلى شخص واحد فقط.

وقد تخدم المنظّمات الاجتماعية غايات عدّة أبعد من تلك الغايات الموجودة بصورة رسمية، فالنوادي الخاصة الموجودة ظاهرياً من أجل الترفيه هي أماكن مهمة عادةً للانخراط في الصفقات والأعمال التجارية.

وقد تساعد الجامعات - التي تهدف بصورة رسمية لتعزيز التعليم والمنح الدراسية - في تعزيز أو تقليل الفروق الطبقية؛ وغالباً ما يكون للمنظمات التجارية والدينية أجندات سياسية واجتماعية تتجاوز تحقيق الربح أو خدمة الناس. وفي حالات عدّة، يكون الغرض غير المعلن للمجموعات هو استبعاد أشخاص في فئات معيّنة من أنشطتها، وهذا شكل آخر من أشكال التمييز أيضاً.

التغيير الاجتماعي

تتطوّر المجتمعات، على نحو مشابه للأنواع، في اتجاهات مفتوحة أو مقيّدة جزئياً بالقوى الداخلية مثل التطوّرات التكنولوجية أو التقاليد السياسية. تَـحُدُّ ظروفُ جيل ما الاحتمالات المفتوحة أمام الجيل التالي وتشكّل نطاقها. فمن ناحية، يتعلّم كلُّ جيل جديد الأشكال الثقافية للمجتمع، ومن ثَمَّ يجب عليه ألّا يعيد اختراع إستراتيجيات جديدة من أجل إنتاج الغذاء، والتعامل مع النزاع، وتثقيف الشبّان، والحكم، وما إلى ذلك. كما أنّ الجيل يتعلّم التطلّعات المتعلّقة بالطريقة التي يمكن من خلالها الحفاظ على المجتمع وتحسينه. ومن ناحية أخرى، يجب على كل جيل جديد معالجة المشكلات التي لم يجد لها في الجيل السابق حلولاً، ونذكر منها الآتي: التوترات التي قد تؤدي إلى حرب، وتعاطي المخدرات على نطاق واسع، والفقر والحرمان، والعنصرية، ومظالم كثيرة خاصة أو جماعية. فعلى سبيل المثال، لا تزال للعبودية في التاريخ المبكر للولايات المتحدة الأمريكية عواقب وخيمة على الأمريكيين من أصل أفريقي، وعلى الاقتصاد الأمريكي والتعليم والرعاية الصحية والأنظمة القضائية بوجه عام. وقد تُـخفَّف

المظالم بما يكفي لجعل الناس قادرين على تحمّلها، أو قد تتدفق لتصبح ثورةً ضد بنية المجتمع في حدِّ ذاته. يستمرّ كثيرٌ من المجتمعات في إدامة النزاعات، التي استمرّت لقرون مع الآخرين حول الحدود والدين والمعتقدات الراسخة المتعلّقة بأخطاء الماضي.

تحاول الحكومات عموماً هندسة التغيير الاجتماعي من خلال السياسات أو القوانين أو الحوافز أو الإكراه. وتعمل هذه الجهود في بعض الأحيان على نحو فعّال، وتجعل من الممكن تجنّب الصراع الاجتماعي، وقد تعجّل من الصراع في أحيانٍ أُخَر. فعلى سبيل المثال، لم تتحقق إقامة بلديات زراعية في الاتحاد السوفييتي لقاء رغبات الفلاحين في زراعة أرضهم الخاصة إلا بقوة السلاح وخسارة ملايين الأرواح. ولم يأتِ تحريرُ العبيد في الولايات المتحدة إلا نتيجةً لحرب أهلية دامية. وبعد مرور مئة عام، تم القضاء على الفصل العنصري الصريح في بعض الأماكن فقط من خلال استخدام الإجراءات التشريعية، وأوامر المحاكم، والحرس العسكري المسلّح، ولا يزال الفصل العنصري قضيةً اجتماعية رئيسة.

تشكّل العوامل الخارجية - كالحرب والهجرة والسيطرة الاستعمارية والأفكار المستوردة والتكنولوجيا أو الأوبئة، والكوارث الطبيعية - الطرق التي يتطوّر من خلالها كل مجتمع. فعلى سبيل المثال، تأثّرت بشدة وجهةُ نظر الاتحاد السوفيتي بالخسائر الفادحة التي تكبّدتها في الحربين العالميتين، فقد دُمِّرت مجتمعات الهنود الحمر وشُرِّدت بسبب الأمراض والحروب، التي جلبها المستعمرون من أوروبا. وفي الولايات المتحدة الأمريكية، أثّر كل من الاستيراد القسري للأفارقة والموجات المتعاقبة للمهاجرين من أوروبا وأمريكا

اللاتينية وآسيا إلى حدٍّ كبير في الأنظمة السياسية والاقتصادية والاجتماعية (كالعمالة، وكتل الناخبين[1]، والبرامج التعليمية)، فضلاً عن إثراء التنوّع الثقافي في البلاد. يمكن أن تسبب الكوارث الطبيعية مثل العواصف أو الجفاف تلفاً للمحاصيل وجلب المعاناة والمجاعة، والهجرة أو الثورة في بعض الأحيان.

تحفّز الاتصالات ووسائل النقل المريحة أيضاً التغيير الاجتماعي، وأصبحت المجموعات، التي كانت معزولة سابقاً جغرافياً أو سياسياً، أكثر إدراكاً من أيّ وقت مضى للطرق المختلفة للتفكير والعيش والتصرّف، وأصبحت تدرك أكثر وجود معايير مختلفة تماماً للعيش. لا تؤدي الهجرة ووسائل الإعلام إلى الاختلاط الثقافي فحسب، بل إلى انقراض بعض الثقافات والتطوّر السريع لثقافات أخرى أيضاً. تفرض سهولة الاتصالات والنقل في جميع أنحاء العالم حدوثَ صدامات بين القيم والتوقعات، على نحو متعمّد كالدعاية والترويج في بعض الأحيان، وعلى نحو عَرَضي فحسب في أحيانٍ أُخَر، كما هي الحال في السعي وراء المصالح التجارية.

يتأثر حجم السكان، وتجمّعهم في أماكن معيّنة، ونمط نموهم بالوسط المادي وبكثير من جوانب الثقافة: الاقتصاد والسياسة والتكنولوجيا والتاريخ والدين. واستجابة للمخاوف الاقتصادية، تضع الحكومات الوطنية سياسات مختلفة للغاية، بعضها من أجل تقليل النمو السكاني، وبعضها الآخر من

---

(١) الكتلة الانتخابية (voting bloc): هي مجموعة من الناخبين يحفّزهم اهتمامٌ مشترك محدد أو مجموعة من الاهتمامات إلى درجة أنّ هذه الاهتمامات المحددة تسيطر على أنماط تصويتهم، وهذا ما يجعلهم يصوتون معاً في الانتخابات. (المترجم).

أجل زيادته. تتخذ بعض الجماعات الدينية موقفاً قوياً نحو مسائل تعداد السكان. لطالما شنّ قادة الكنيسة الرومانية الكاثوليكية، على سبيل المثال، حملات طويلة الأمد على تحديد النسل، في حين صادق قادة الأديان الأساسية الأخرى في السنوات الأخيرة على استخدام وسائل منع الحمل من أجل تحديد نسل الأسرة.

وبصرف النظر عن سياسة الحكومة أو التعاليم الدينية، فإنّ كثيراً من الناس يقرّرون ما إذا كانوا يريدون إنجاب طفل أم لا استناداً إلى المسائل العملية، كالمخاطر الصحية على الأم، والقيمة أو التكلفة المترتبة على إنجاب طفل في ظروف اقتصادية أو اجتماعية معيّنة، ومقدار مساحة المعيشة، أو مدى الشعور الشخص بأنه مناسب ليكون والداً. وفي بعض أجزاء العالم، في المجموعات ذات التعليم الرديء في أيّ بلد، فإنّ للأزواج قليلاً من المعرفة بالمعلومات والتكنولوجيا الحديثة المتعلّقة بتحديد النسل، أو لا يكونون قادرين على الوصول إليها. وفي الولايات المتحدة الأمريكية، أدّى التوجّه نحو العلاقات الجنسية المتكررة بين المراهقين إلى زيادة عدد حالات الحمل غير المتوقعة وغير المرغوب فيها.

تتأثر النظم الاجتماعية في المقابل بتعداد السكان وحجمه، ومعدّل التغيير فيه، ونسبته من أصحاب الخصائص المختلفة (كالعمر والجنس واللغة). تتطلّب الزيادة الكبيرة في حجم تعداد السكان تخصصاً وظيفياً أكبر، ومسؤوليات جديدة للحكومة، وأنواعاً جديدة من المؤسسات، والحاجة إلى تنظيم توزيع موارد أكثر تعقيداً. وتؤثّر أنماط تعداد السكان، ولا سيّما حين تتغيّر، في تغيير الأولويات الاجتماعية. فكلّما ازداد تنوّع الثقافات الفرعية،

ازداد تنوّع الأحكام التي يجب أن توضع من أجلها. وحين يزداد حجم مجموعة اجتماعية ما، يزداد أيضاً تأثيرها في المجتمع. وقد يكون التأثير من خلال الأسواق (كالشبّان الذين يشترون، بوصفهم مجموعة، معدات رياضية أكثر)، وقوة التصويت (على سبيل المثال، إنّ كبار السن أقل احتمالاً أن يصوّتوا على مواثيق التشريعات المدرسية)، أو اعتراف المخططين الاجتماعيين بالاحتياجات (على سبيل المثال، سيحتاج عددٌ أكبر من الأمهات اللواتي يعملن خارج المنزل إلى برامج رعاية الأطفال).

المقايضات الاجتماعية

لا يمكن للأفراد أو المجموعات أن يتجنّبوا الخيارات بين المنافع والتكاليف البديلة. وحتى نحصل على شيء نريده أو نحتاج إليه، من الضروري أن نتخلّى عادةً عن شيء نملكه مسبقاً، أو أن نتخلّى على الأقل عن فرصة ما من أجل الحصول على شيء آخر بدلاً منه. فعلى سبيل المثال، كلّما ازداد إنفاق عامة الناس ككل على المشاريع التي تموّلها الحكومة، كالطرق السريعة والمدارس، قلّ إنفاقها على الدفاع (إذا كانت قد قرّرت مسبقاً عدم زيادة الإيرادات أو الديون).

ليست المقايضات الاجتماعية اقتصادية أو مادية دائماً، بل تنشأ في بعض الأحيان من الخيارات بين حقوقنا الخاصة والمنفعة العامة: إنّ القوانين المتعلّقة بالتدخين في الأماكن العامة، وتنظيف مخلّفات الحيوانات الأليفة، وحدود السرعة على الطرق السريعة، على سبيل المثال، تقيّدُ حرية بعض الأشخاص لما فيه من صلاح للآخرين، أو قد تنشأ خيارات بين الجماليات والمنفعة. فعلى سبيل المثال، قد يرحّب المستأجرون المحتملون بمقترح إقامة

مجمّع سكني واسع النطاق، لكنّ الأشخاص الذين يعيشون مسبقاً في الحي قد يعارضون هذا المقترح.

لدى الأشخاص المختلفين أفكار مختلفة حول كيفية القيام بالمقايضات، الأمر الذي قد ينتج عنه إمّا تسوية وإما استمرار النزاع. تعتمد خدمة المصالح المختلفة في معظم الأحيان على كمية الموارد أو السلطة التي يملكها الأفراد أو الجماعات. وتُعَدُّ الجهود السلمية الرامية إلى التغيير الاجتماعي أكثر نجاحاً حين يُدرَج الأشخاص المتضررون في التخطيط، وحين تتوفّر المعلومات من جميع الخبراء المعنيّين، وحين تُفهَم القيم والصراعات على السلطة على نحو واضح وتُدمَج في عملية صنع القرار.

ثمة سؤال عادةً حول ما إذا كان ينبغي تحسين الترتيب الحالي، أو ما إذا كان ينبغي ابتكار نظام جديد كليّاً، فترقيعُ وضع صعب مراراً وتكراراً، من ناحية، قد يجعله مقبولاً تماماً بحيث لا يحدث أبداً تغيير واسع النطاق في المشكلة الأساسية. ومن ناحية أخرى، قد يؤدي التسرّع في استبدال كل نظام فيه مشكلات إلى خلق مشكلات أكثر مما يمكن حلّها.

من الصعب مقارنة المنافع المحتملة للبدائل الاجتماعية، وأحد أسباب ذلك هو أنه لا يوجد مقياس مشترك لأشكال المنفعة المختلفة. فعلى سبيل المثال، لا يوجد مقياس يمكن من خلاله مقارنة الثروة بالعدالة الاجتماعية بطريقة مباشرة. وثمة سبب آخر، وهو أنّ مجموعات مختلفة من الأشخاص تمنح قيماً متباينة إلى حدٍّ كبير للنوع نفسه من المنفعة الاجتماعية، كما هي الحال في التعليم العام أو الحد الأدنى للأجور. وفي تعدادات السكان الكبيرة جداً، تُعَدُّ مقارنات القيمة أكثر تعقيداً بسبب واقع أنّ نسبة صغيرة

جداً من تعداد السكان قد تكون عدداً كبيراً من الأشخاص. فعلى سبيل المثال، في إجمالي تعداد السكان الذي يبلغ مئة مليون نسمة، فإنّ ارتفاع معدّل البطالة بنسبة واحد في المئة فقط (الذي قد يَعُدُّه بعض الناس نسبة صغيرة وتافهة) يعني خسارة عشرة آلاف وظيفة (وهذا ما قد يَعُدُّه أناس آخرون أمراً خطيراً للغاية).

تميل الأحكام المطلقة على نتائج المقايضات الاجتماعية إلى تضمين قضايا أخرى أيضاً. القضية الأولى هي تأثير المسافة: كلّما كانت نتائج قرار ما أبعد في المسافة أو الزمن، قلّت الأهمية التي من المحتمل أن نمحنها إليها. فعلى سبيل المثال، قد لا يدعم سكان المدن التشريعات الوطنية الخاصة بدعم المحاصيل أكثر من المزارعين، وقد لا يرغب المزارعون في أن تُدفَع دولارات ضرائبهم الفيدرالية على تكاليف مشاريع الإسكان داخل المدن. نجد صعوبةً، بوصفنا أفراداً، في مقاومة المتعة الآنية حتى وإن كان من المحتمل أن تكون العواقب طويلة الأمد سلبية، أو أن نتحمل إزعاجاً آنياً من أجل منفعة ما في نهاية الأمر. وبالمثل، لـمّا كنا مجتمعاً واحداً، فإنّ من المحتمل أن نولي أهمية أكبر للفوائد الفورية (مثل استهلاك النفط والرواسب المعدنية بسرعة) من تلك التي نوليها للعواقب طويلة الأمد (أشكال النقص التي قد نعانيها نحن أو حفداؤنا لاحقاً).

يزداد تأثير المسافة في معظم الأحيان في الحكم على المقايضات الاجتماعية بسبب عدم اليقين بشأن ما إذا كانت التكاليف والفوائد المحتملة ستنشأ أصلاً. وفي بعض الأحيان من الممكن تقدير احتمالات العديد من النتائج الممكنة لقرار اجتماعي ما، على سبيل المثال، يَنتُجُ عن ممارسة الجنس، دون تحديد النسل، حملٌ بمعدّل مرة واحدة من أصل أربع مرّات تقريباً. إذا أمكن

أيضاً تطبيق مقاييس القيمة النسبية على النتائج المحتملة كلّها، حينئذٍ يمكن جمع الاحتمالات ومقاييس القيمة من أجل تقدير البديل الأفضل. لكن حتى حينما تتوفّر كل من الاحتمالات ومقاييس القيمة، سيكون هناك نقاش حول طريقة جمع المعلومات. فعلى سبيل المثال، قد يكون الناس خائفين جداً من بعض المخاطر بوجه خاص، فيصرّون على تخفيضها إلى أقرب نقطة ممكنة من الصفر، بغض النظر عن المنافع أو الأخطار الأُخرى المتضمّنة فيها.

وأخيراً، نجد عادةً القرارات المتعلّقة بالبدائل الاجتماعية معقدة بسبب حقيقة أنّ الناس لديهم ردّة فعل. حينما نُحدِث برنامجاً اجتماعياً من أجل تحقيق بعض التأثير المقصود، فإنّ إبداع الأشخاص المتمثل في الترويج لهذا التأثير أو مقاومته سيضيف عدم اليقين إلى النتيجة.

الأنظمة السياسية والاقتصادية

في معظم دول العالم، تُخصَّص القوة والسلطة الوطنية لمختلف الأفراد والجماعات من خلال السياسة، وعادةً عن طريق وسائل الحلول الوسط بين المصالح المتضاربة. ومن خلال السياسة، ينتخب الشعبُ الحكومات أو يُعيّنها، أو يؤسسها في بعض الأحيان بوساطة القوة المسلّحة. لدى الحكومات القدرة على صياغة القواعد والقرارات وتفسيرها وتطبيقها، التي تحدد كيف تُدار البلدان.

تضمُّ القواعد التي تضعها الحكومات مجموعةً واسعة من الشؤون الإنسانية، التي تتضمّن التجارة والتعليم والزواج والرعاية الطبية والتوظيف

والخدمة العسكرية والدين والسفر والبحث العلمي وتبادل الأفكار. وتُسنَد إلى حكومة البلد الوطنية، أو في بعض الحالات، حكومة الولاية أو الحكومة المحلية، مسؤوليةَ الخدمات التي يُعتقَد بأنّ الأفراد أو المنظّمات الخاصة غير قادرين على فعلها بأنفسهم. فعلى سبيل المثال، يُلزم دستور الولايات المتحدة الأمريكية الحكومة الفيدرالية بأداء مهام قليلة مثل تسليم البريد، وحساب التعداد السكاني، وسك النقود، والدفاع العسكري. ومع ذلك، أدّت زيادة مجتمع الولايات المتحدة الأمريكية وتعقيده إلى توسّع ضخم في الأنشطة الحكومية.

تشارك الحكومة الفيدرالية اليوم بصورة مباشرة في مجالات مثل التعليم، والرفاهية، والحقوق المدنية، والبحث العلمي، والتنبؤ بالطقس، والنقل، والحفاظ على الموارد الوطنية كالمتنزّهات الوطنية، وغير ذلك. يتم التفاوض على القرارات المتعلّقة بالمسؤوليات - التي ينبغي لحكومة الدولة أو الولاية أو الحكومة المحلية أن تقع على عاتقها - بين المسؤولين الحكوميين، الذين يتأثرون بالجمهور الذي انتخبهم، وبمراكز القوى مثل الشركات والجيش والزراعة والمصالح والنقابات العمالية.

تختلف النظم السياسية والاقتصادية للأمم في نواحٍ عدّة، منها وسائل تسعير السلع والخدمات، ومصادر رأس المال للمشاريع جديدة، وحدود الأرباح التي تنظّمها الحكومة، والتحصيل، والإنفاق، والسيطرة على المال، وعلاقات المديرين بالعمال وبالحكومة. يرتبط النظام السياسي لأمة ما بنظامها الاقتصادي ارتباطاً وثيقاً، ويُحكِّمُ ما يتعلّق بالنشاط الاقتصادي للأفراد والجماعات على المستويات كلّها.

ومن المفيد التفكير في اقتصاد أمة ما بأنه يميل نحو أحد النموذجين النظريين الرئيسين. ففي الطرف النظري الأول نجد النظام الرأسمالي البحت، الذي يَفترضُ أنّ المنافسة الحرّة تُنتِجُ أفضلَ تخصيص للموارد النادرة، والإنتاجية والكفاءة الأعظم، والتكلفة الأقل. تُتخذ القرارات المتعلّقة بمن يفعل شيئاً ما ومن يحصل على شيء ما على نحو طبيعي حين يتفاعل المستهلكون والشركات التجارية في السوق، إذ تتأثر الأسعار بشدة بتكلفة صنع شيء ما أو فعله، وبمقدار المال الذي يكون الناس على استعداد لدفعه مقابل ذلك الشيء. معظمُ الشركات يُنشِئها أفراد أو مجموعات تطوعية من الناس. حين تكون ثمة حاجة إلى موارد أكثر مما هو متاح لشخص واحد (كبناء مصنع)، يمكن حينئذٍ الحصول عليها من أشخاص آخرين، إمّا عن طريق الاقتراض من البنوك وإما عن طريق بيع أسهم ملكية الشركة لأشخاص آخرين. يتطلّب الحافز الشخصي الكبير للمنافسة ملكيةً خاصة للموارد الإنتاجية (كالأرض والمصانع والسفن)، والحد الأدنى لتدخل الحكومة في الإنتاج أو التجارة. ووفقاً للنظرية الرأسمالية، تُكافأ المبادرة الفردية والموهبة والعمل الجاد بالنجاح والثروة، وتكون الحقوق الفردية السياسية والاقتصادية محمية.

وفي الطرف النظري الثاني نجد النظام الاشتراكي البحت، الذي يفترض أنّ التخصيص الأكثر حكمة وإنصافاً للموارد يتحقق من خلال تخطيط الحكومة لما يُنتَج، ومن يحصل عليه، وبأيّ ثمن. معظمُ الشركات تموّلها وتُنشِئها الحكومة، وتملك الدولة موارد الإنتاج كلّها، وذلك استناداً إلى افتراض أنّ الملكية الخاصة تسبب الجشع، وتؤدي إلى استغلال أرباب العمل للعمال.

يسهم الناس، وفقاً للنظرية الاشتراكية، بعملهم ومواهبهم في المجتمع لا من أجل تحقيق المكاسب الشخصية، بل من أجل المنفعة الاجتماعية، وتقدّم الحكومة الفوائد للناس على نحو عادل، وذلك على أساس احتياجاتهم النسبية، وليس على أساس مواهبهم وجهودهم. يُعَدُّ رفاه المجتمع ككل أكثر أهمية من حقوق أيّ فرد.

على أيّ حال، لا توجد دول لديها أنظمة اقتصادية في الطرف الرأسمالي أو الاشتراكي، بل لدى دول العالم على الأقل بعض العناصر من كليهما. ويمكن لمزجٍ كهذا أن يكون مفهوماً من الناحية العملية.

من جهة أخرى، قلّما تكون المنافسة حرّة في نظام رأسمالي بحت، فبالنسبة إلى أيّ مصدر أو مُنتَج أو خدمة، تميل بعض الشركات الكبرى أو النقابات إلى احتكار السوق ورفع السعر بصورة أكبر مما تسمح به المنافسة المفتوحة. ويزيدُ من تشويه فكرة المنافسة الحرة التمييزُ المبني على المواقف الاجتماعية التي ليست لها صلة من الناحية الاقتصادية (على سبيل المثال، ضد الأقليات والنساء، أو لصالح الأصدقاء والأقارب). وحتى إذا كان النظام فعّالاً، فإنه يميل إلى جعل بعض الأفراد أغنياءَ جداً وبعضهم الآخر فقراء جداً. وهكذا، تحاول الولايات المتحدة الأمريكية، على سبيل المثال، الحد من الآثار المتطرّفة لنظامها الاقتصادي الرأسمالي بصورة أساسية، وذلك من خلال وسائل التدخل الانتقائية للحكومة في نظام السوق الحرة. ويشمل هذا التدخل معدّلات الضرائب التي تزداد مع زيادة الثروة، والتأمين ضد البطالة، والتأمين الصحي، ودعم الرعاية الاجتماعية للفقراء، والقوانين التي تَحُدُّ من القوة الاقتصادية لمؤسسة ما، وتنظيم التجارة بين

الولايات، والقيود الحكومية المفروضة على الإعلانات غير العادلة، والمنتجات غير الآمنة والتوظيف التمييزي، والدعم الحكومي للزراعة والصناعة.

ومن ناحية أخرى، يميل الاقتصاد الاشتراكي البحت، على الرغم من إمكانية أن يكون منصفاً أكثر من ذي قبل، إلى عدم الكفاءة بسبب إهمال المبادرة الفردية ومحاولة تخطيط كل تفصيل في الاقتصاد الوطني بأكمله. ودون وجود بعض المزايا في الفوائد من أجل تحفيز جهود الناس، ستميل الإنتاجية إلى أن تكون منخفضة. ودون امتلاك الأفراد لحرية اتخاذ القرارات بأنفسهم، سيكون من الصعب الاستجابة للاختلافات قصيرة المدى في العرض والطلب. وعلاوةً على ذلك، تنشأ اقتصاديات سرّية لتتناسب مع حقائق العرض والطلب على المنتجات الاستهلاكية. لذا، تسمح أنظمة اشتراكية كثيرة بقدر من المنافسة المفتوحة، وتعترف بأهمية الملكية والمبادرة الفردية. تخضع معظمُ الاقتصادات في جميع أنحاء العالـم كلّها اليوم للتغيير، إذ يتبنى بعضُها مزيداً من السياسات والممارسات الرأسمالية، ويتبنى بعضُها الآخر سياسات اشتراكية أكثر.

الصراع الاجتماعي

ثمة صراع في المجتمعات البشرية كلّها، ولدى المجتمعات كلّها أنظمة تهدف إلى تنظيم هذا الصراع. ينشأ الصراع عادةً بين الناس أو الجماعات من التنافس على الموارد والسلطة والمناصب. وقد يتنافس أفراد الأسرة للحصول على الاهتمام. كما يتنافس الأفراد على الوظائف والثروة. وتتنافس الأمم على الأرض والهيبة أو النفوذ. وتتنافس مجموعات المصالح المختلفة على التأثير والقدرة على صوغ القواعد. ولا تكون المنافسة في معظم الأحيان من أجل

الموارد، بل من أجل الأفكار، كأن يرغب شخصٌ ما أو مجموعة في كبح أفكار أو سلوكيات مجموعة أخرى، أو معاقبتها، أو إعلان أنها غير قانونية.

يمكن أن يكون التغيير الاجتماعي فعّالاً في إثارة الصراع. وقلّما يحقق مقترح التغيير الاجتماعي أو الاقتصادي أو السياسي الفائدة المتساوية لجميع مكوّنات نظام اجتماعي ما، لذا فإنّ المجموعات التي تنظر إلى نفسها بأنّها خاسرة ستقاوم التغيير. وتتفاقم العداوات والشكوك المتبادلة بسبب عدم قدرة كل من مؤيدي ومعارضي أيّ تغيير على التنبؤ على نحو مقنع بالتأثيرات، التي سيحدثها فعل التغيير أو عدم فعله. ويكون الصراع حاداً على نحو خاص حين يكون ثمة بدائل قليلة فقط دون وجود حل وسط ممكن، على سبيل المثال، بين الاستسلام والحرب، أو بين المرشح (أ) والمرشح (ب). وعلى الرغم من أنّ المسائل قد تكون معقدة، وقد لا يكون الناس في البداية متباعدين في تصوّراتهم، فإنّ الحاجة إلى اختيار هذا الطريق أو ذاك يمكن أن تدفع الناس إلى مواقف متطرّفة لدعم قرارهم حول طبيعة البديل الأفضل.

في المجموعات الأسرية والمجتمعات الصغيرة، تضع السلطات المعترف بها القوانين، مثل الآباء أو كبار السن، لكنّ المجموعات كلّها تقريباً، بدءاً من كليات الجامعة وصولاً إلى فِرق الكشّافة المحلية، لديها إجراءات رسمية فيما يتعلّق بوضع القواعد والتحكيم في النزاعات. توفّر الحكومة على نطاق أوسع آليات للتعامل مع الصراع عن طريق وضع القوانين وإدارتها. وفي الديمقراطية، يتخذ النظام السياسي دورَ التحكيم في الصراع الاجتماعي عن طريق الانتخابات. ويعلن المرشحون للمنصب عن نواياهم في وضع القواعد وتعديلها، ويصوّت الناس لمن يعتقدون أنّ لديه أفضل مزيج من النوايا، وأفضل الفرص لتنفيذها على نحو فعّال، لكنّ

الحاجة للقيام بالمقايضات الاجتماعية المعقدة تميل إلى منع السياسيين من تحقيق كل نواياهم حين يكونون في المنصب.

قد تتعارض الرغبة في الحرية الكاملة في الذهاب والإياب كما يشاء المرء، وحمل السلاح، وتنظيم المظاهرات، مع الرغبة في الحصول على الأمن العام. وقد تتعارض الرغبة في اتخاذ قرارات حازمة وفعّالة - الديكتاتورية في حدّها الأقصى - مع رغبة عامّة الشعب في المشاركة - وفي حدّها الأقصى هذه ديمقراطية يصوّت فيها كل الناس على كل شيء. يتضمّن إنشاء القوانين والسياسات عادةً صياغة تسويات تتفاوض عليها مجموعات المصالح المختلفة. وقد تكون المجموعات الصغيرة من الناس، من أصحاب الاهتمامات الخاصة التي يَعُدُّونها مهمة جداً، قادرة على إقناع أعضائها بالتصويت على أساس تلك القضية الواحدة، ومن ثَمَّ المطالبة بتقديم تنازلات من الأغلبية العظمى.

وحتى حينما يتفق معظم الناس في المجتمع على قرار اجتماعي، قد تحصل الأقلية التي لا توافق عليه على بعض الحماية. وفي النظام السياسي الأمريكي، على سبيل المثال، نجد أنّ لدى الحكومة الفيدرالية وحكومات الولايات دساتير تنشئ حقوقاً للمواطنين لا يمكن أن يغيّرها المسؤولون المنتخبون مهما كان حجم الأغلبية الكبيرة التي تدعم هؤلاء المسؤولين. وتتطلّب عادةً التغييرات في هذه الدساتير أغلبية ساحقة من ثلثي مجموع الناخبين أو ثلاثة أرباعهم، وليس أكثر من نصفهم.

إنّ إحدى إستراتيجيات الأقليات السياسية هي توحيد القوى مؤقتاً على الأقل، مع مجموعات صغيرة أخرى لها مصالح متشابهة إلى

حدٍّ ما. وقد يكون تحالف الأقليات الصغيرة قادراً على ممارسة قدر كبير من التأثير. وقد يصبح تحالفُ الأقليات أغلبيةً ما دامت مصالح الأقليات المشتركة تفوق اختلافاتها.

وتتوفر حماية مماثلة للحقوق السياسية من جانب المجلسين في الهيئة التشريعية الفيدرالية وفي معظم الهيئات التشريعية للولايات. ففي الكونغرس، على سبيل المثال، يكون لمجلس النواب تمثيل يتناسب مع السكان، إذ يُمثَّل كلُّ مواطن في الدولة على قدم المساواة. على الرغم من ذلك، يحتوي مجلس الشيوخ على عضوين بالضبط من كل ولاية، بغض النظر عن تعدادها السكاني، مما يضمن أنّ مواطني أيّ ولاية، مهما كانت صغيرة، سيكون لهم التمثيل نفسه الخاص بأيّ ولاية أخرى مهما كانت كبيرة.

طوّرت المجتمعات، فضلاً عن ذلك، كثيراً من طرق بَثِّ الصراع غير الرسمية، بما في ذلك المناظرات والإضرابات والمظاهرات واستطلاعات الرأي والإعلانات، وحتى المسرحيات والأغاني والرسوم المتحركة. تقدّم وسائل الإعلام (وقد تشجّع حتى) الوسائل المجانية لمجموعات صغيرة من الناس، الذين لديهم تظلّم من أجل الإدلاء ببيانات عامّة شديدة الوضوح. وهذه الطرق أو الوسائل إما أن تُزيل التوتر وتدعم التسوية، وإما أن تُشعِل الخلافات وتزيد من استقطابها. يؤدي الإخفاق في حلّ الصراعات المعتدلة إلى ضغط ضخم على النظام الاجتماعي. وقد تؤدي عدم القدرة أو عدم الرغبة في التغيير إلى مستوى أعلى من الصراع: مثل دعاوى قضائية أو تخريب أو عنف أو ثورات وحروب واسعة النطاق. إنّ الصراع بين المجموعات، سواء كان قانونياً أم غير ذلك، لا ينتهي بالضرورة حين

يتمكّن جزءٌ من المجتمع أخيراً من تنفيذ قرار لصالحه. يمكن حينئذٍ أن تبذل المجموعات المقاومة مجهوداً لقلب التغيير وتعديله أو الالتفاف عليه، ومن ثَمَّ يستمرّ الصراع. يمكن للنزاع، على أيّ حال، أن يرسّخ أيضاً عمل الجماعة؛ تميل الأمم والأُسر إلى أن تكون أكثر اتحاداً في أوقات الأزمات. وفي بعض الأحيان يستخدم قادة المجموعة هذه المعرفة عمداً من أجل إثارة صراع مع مجموعة خارجية، مما يحدّ من التوترات ويعزّز الدعم داخل مجموعتهم.

الترابط العالمي

تعتمد بعض الدول والثقافات على نحو متزايد على بعض من خلال الأنظمة الاقتصادية الدولية والمشكلات البيئية المشتركة (مثل الآثار العالمية للحرب النووية، وإزالة الغابات، والأمطار الحمضية). كما أنها تتعلّم أيضاً مزيداً بعضها عن بعضٍ من خلال السفر الدولي واستخدام وسائل الإعلام. يزداد النظام العالمي تشابكاً أكثر فأكثر، فأيّ تغيير في أيّ جزء من هذه الشبكة له تأثيرات كبيرة على الآخرين. فعلى سبيل المثال، تنتشر الصراعات المحلية خارج الحدود لتشمل الأمم الأخرى، وتؤثر إمدادات النفط المتقلّبة في الإنتاجية الاقتصادية، والموازين التجارية، وأسعار الفائدة، والتوظيف في جميع أنحاء العالـم كلّها. ويكاد يكون بعض الثراء والأمان والرفاه العام لجميع الأمم تقريباً مرتبطاً ببعض. ثمة إجماع متزايد بين قادة معظم الدول على أنّ السياسات الانعزالية لم تَعُد مستدامة، وأنّ قضايا عالمية مثل السيطرة على انتشار الأسلحة النووية وحماية النظام النقدي العالمي من التقلّبات الشديدة لا يمكن أن تتحقق إلا حين تتناغم الأمم كلّها بعضها مع بعضٍ.

تتفاعل الدول من خلال مجموعة واسعة ومتنوعة من الترتيبات الرسمية وغير الرسمية. تشمل الترتيبات الرسمية العلاقات الدبلوماسية، والتحالفات الاقتصادية والعسكرية، والمنظّمات العالمية مثل الأمم المتحدة والبنك الدولي، لكن خلافاً للحكومات الوطنية، تتمتع المنظّمات الدولية عادةً بسلطة محدودة على أعضائها. أما الترتيبات الأخرى فتشمل التبادل الثقافي، وتدفّق السياح، والتبادل الطلابي، والتجارة الدولية، وأنشطة المنظّمات غير الحكومية التي لها عضوية عالمية (مثل منظمة العفو الدولية، والحملات المناهضة للجوع، والصليب الأحمر، والمنظّمات الرياضية).

تعتمد ثروة أيّ دولة على جهود ومهارات عمّالها، ومواردها الطبيعية، ورأس المال والتكنولوجيا المتاحة لها لتحقيق أقصى استفادة من تلك المهارات والموارد. غير أنّ الثروة الوطنية لا تعتمد على المقدار الذي يمكن أن تنتجه الدولة لنفسها فحسب، بل تعتمد على التوازن أيضاً بين مقدار منتجاتها، التي تُباع للدول الأخرى ومقدار المنتجات التي تسعى للحصول عليها من الدول الأخرى. لا تَنتُج التجارة الدولية فقط عن افتقار البلدان إلى موارد أو منتجات مثل الزيت أو المحاصيل الغذائية المختلفة أو السيارات ذات الكفاءة. وحتى لو كان بإمكان دولة ما إنتاج كل ما تحتاج إليه بنفسها، فلا يزال بمقدورها الاستفادة من التجارة مع البلدان الأخرى. إذا كانت دولة ما تفعل الأشياء بأكبر قدر من الكفاءة (من حيث الجودة أو التكلفة أو كليهما) وتبيع منتجاتها للدول الأخرى، فإنّ نظاماً كهذا يمكّن نظرياً كل الدول المشارِكة من التفوق.

بَيْدَ أنَّ ثمة كثيراً من التأثيرات العملية التي تشوّه الواقع الاقتصادي للتجارة الدولية. فعلى سبيل المثال، تجارة كهذه قد يحبطها الخوف من

الاستغلال اقتصادياً أو سياسياً على يد الدول الأقوى، ومن خلال الرغبة في حماية مجموعات خاصة من العمال، التي ستخسر أمام المنافسة الاقتصادية الأجنبية، وعدم الرغبة في أن تصبح معتمدة على دول أجنبية في الحصول على منتجات محددة يمكن أن تصبح غير متوفرة في حالة النزاعات المستقبلية.

وبسبب زيادة العلاقات الدولية، قد لا تكون الفوارق بين السياسة الدولية والسياسة الداخلية واضحة في حالات كثيرة. فعلى سبيل المثال، تستند السياسات - التي تحدد أنواع السيارات أو الملابس التي نشتريها وبأيّ أسعار - إلى التجارة الخارجية والميزان الدولي للمدفوعات. ويعتمد الإنتاج الزراعي في المنزل على الأسواق الأجنبية فضلاً عن السياسات المحلية. وعلى الرغم من أنّ الأسواق الدولية قد تعود بالنفع على البلدان كلّها، قد تسبّب ضرراً كبيراً لمجموعات معيّنة من الأشخاص داخل البلدان. وقد يفيد الإنتاج الرخيص للسيارات في الدول الآسيوية، على سبيل المثال، مشتري السيارات في جميع أنحاء العالم كلّها، لكنّه قد يجعل شركات صناعة السيارات في بلدان أخرى عاطلة عن العمل. وهكذا، قد تكون ثمة حاجة إلى السياسات المحلية من أجل تجنّب معاناة هذه المجموعات، وستؤثر هذه السياسات في التجارة الدولية، فالدول التي يكون لديها إجماع داخلي قوي على عقائدها الدينية أو السياسية قد تتبع سياسات خارجية تعزّز على نحو عدواني انتشار مثل هذه العقائد في البلدان الأخرى وتقوّض مجموعات ذات أفكار منافسة.

إنّ الترابط المتزايد لأنظمة العالم الاجتماعية والاقتصادية والبيئية يجعل من الصعب التنبؤ بنتائج القرارات الاجتماعية. ويمكن أن يكون

للتغييرات في أيّ مكان في العالم تأثيرات ضخمة في أماكن أخرى، فضلاً عن زيادة الفوائد لبعض الأشخاص وزيادة التكاليف بالنسبة إلى آخرين. ثمة أيضاً احتمال أن تؤدي بعض التغييرات إلى عدم الاستقرار وعدم اليقين اللذين يضرّان بكل الناس. وقد يعتمد الاستقرار في جميع أنحاء العالم كلّها على قيام الدول بإنشاء أنظمة موثوقية أكثر وقادرة على أداء الأعمال التجارية، وتبادل المعلومات، وتطوير آليات مراقبة للتحذير من الكوارث العالمية (مثل المجاعة والحرب النووية)، وتقليص الفجوة الكبيرة في مستوى المعيشة بين أغنى الدول وأفقرها. تجد الدول في بعض الأحيان، وعلى نحو يشبه كل المشاركين في الأنظمة الاجتماعية، أنّ من مصلحتها أن تتكبّد بعض الخسائر على المدى القصير كي تحقق فوائد على المدى الطويل تتعلّق بالاقتصاد العالمي المستقر.

الفصل الثامن

العالم المصمَّم

لقد شكّل العمل البشري العالم الذي نعيش فيه بطرق مهمة كثيرة. وقد أوجدنا الخيارات التقنية لنمنع التهديدات الموجّهة للحياة والطبيعة ونزيلها ونقلّلها، ولنحقّق الحاجات الاجتماعية. لقد وضعنا سدوداً على الأنهار، وقطعنا أشجار الغابات، وصنعنا موادَّ وآلات جديدة، وغطّينا مساحات شاسعة بالمدن والطرق السريعة، وقرّرنا، سواء شئنا أم أبينا، مصير الكائنات الحيّة.

وبمعنى أو بآخر؛ فإنّ أجزاءً أخرى من عالمنا نصمّمها ونشكّلها ونتحكم بها في معظمها من خلال استخدام التكنولوجيا في ضوء اهتماماتنا. وقد أوصلنا الأرض إلى نقطة سيكون فيها ازدهارنا المستقبلي معتمداً أساساً على الطريقة التي نستخدم فيها التكنولوجيا ونطوّرها ونقيّدها. وفي المقابل، سيعتمد ذلك بصورة جوهرية على مدى فهمنا لعمل التكنولوجيا، وعلى الأنظمة الاجتماعية والثقافية والاقتصادية والبيئية التي نعيش فيها.

يضع هذا الفصل في متناول أيدينا توصيات حول جوانب مفتاحية معينة تتعلّق بالتكنولوجيا، فضلاً عن تأكيد النشاطات البشرية الرئيسة، التي كانت قد شكّلت بيئتنا وحيواتنا. ويركّز هذا الفصل على ثمانية مجالات أساسية تتعلّق بالتكنولوجيا: الزراعة، والمواد، والتصنيع، ومصادر الطاقة، واستخدام الطاقة، والاتصالات، ومعالجة المعلومات، وتكنولوجيا الصحة.

توصيات

الزراعة

كان على معظم الناس، على مرّ التاريخ، قضاء قسم كبير من وقتهم في الحصول على الطعام والوقود. وبدأ الناس يعملون بوصفهم صيادين بدواً وجامعي الأشياء، مُستخدمين الحيوانات والنباتات التي يجدونها في البيئة المحيطة بهم طعاماً لهم. وقد تعلّموا بصورة تدريجية توسيع إمداداتهم الغذائية عن طريق استخدام تكنولوجيا التصنيع (مثل السَّحق، والتمليح، والطهي، والتخمير)، وتعلّموا أيضاً كيفية استخدام بعض أجزاء الحيوانات والنباتات التي تكون عادةً غير صالحة للأكل لصناعة أشياء مثل الأدوات، والملابس، والأواني. وبعد آلاف السنوات من الصيد والتجميع، طوّرت السلالات البشرية طرقاً للتلاعب بالنباتات والحيوانات من أجل توفير إمدادات غذائية أفضل، ومن ثَمَّ دعم عدد أكبر من السكان. زرع الناس المحاصيل في مكان واحد، وشجعوا النمو من خلال حرث الأرض، وإزالة الأعشاب الضارة، والسقاية، والتسميد. وقد اصطادوا الحيوانات وروّضوها من أجل الطعام والمواد، ودرّبوها أيضاً من أجل مهمات مثل الحراثة ونقل الحمولات. وكانوا فيما بعد يربّون هذه الحيوانات في الأسر.

جاء التقدّم في الزراعة مع مرور الوقت حين تعلّم الناس استخدام أشكال الحياة وتعديلها، وكانوا في البداية يتحكمون في التناسل من خلال اختيار حيواناتهم ونباتاتهم، التي يمكن أن تتكاثر. وهكذا، قد يكون جمع التنوّع الطبيعي للخصائص ممكناً، وذلك من أجل تحسين التآلف، والقدرة على التحمّل، وإنتاجية أنواع النباتات والحيوانات. وقد تمّ نشر مصارف

البذور في جميع أنحاء العالم كلّها من أجل الحفاظ على التنوّع الكبير لأنواع المحاصيل المُكيّفة طبيعياً والمتاحة للتهجين. وتكمن أهميتها في المفاوضات الدولية حول مَنْ لديه الحق في هذه الموارد الوراثية.

ساعد نجاح علم الوراثة الحديث في القرن العشرين على زيادة التقلّب الطبيعي في أنواع النباتات من خلال استخدام الأشعة لإحداث طفرات، ليكون ثمة مزيد من الخيارات للتناسل الانتقائي. يتعلّم العلماء الآن كيفية تعديل المادة الوراثية للكائنات الحيّة بصورة مباشرة. وحين نتعلّم أكثر حول كيفية عمل الشيفرة الوراثية (فهي نفسها في أشكال الحياة كلّها)، يصبح من الممكن نقل الجينات من كائن حي إلى آخر. حين نعرف ما الشيفرات الوراثية التي تتحكم في أيّ وظائف معينة، فيمكن نقل بعض الخصائص من نوع إلى آخر. قد تؤدي هذه التقنية في نهاية الأمر إلى تصميم خصائص جديدة. فعلى سبيل المثال، يمكن منح النباتات البرنامج الوراثي الخاص لتركيب المواد التي تمنحهم مقاومة ضد الحشرات المفترسة.

كان أحد عوامل تحسين الإنتاجية الزراعية في العقود الأخيرة هو مكافحة الآفات النباتية والحيوانية. وفي الماضي، في الولايات المتحدة الأمريكية، وفي أماكن أخرى من العالم، خسرنا جزءاً كبيراً من المنتجات الزراعية بسبب انتشار الأعشاب الضارة، والقوارض، والحشرات، والكائنات الحيّة الدقيقة المسببة للأمراض. وقد أدّى الاستخدام الواسع للمبيدات الحشرية ومبيدات الأعشاب ومبيدات الفطريات إلى زيادة كبيرة في الإنتاج الزراعي القابل للاستخدام، غير أنّ ثمة مشكلات تواجهنا. إحدى هذه المشكلات هو أنّ المبيدات الحشرية قد تضرّ أيضاً بالكائنات الحيّة الأخرى

في البيئة، وهذا بعيداً عن مكان استخدامها في بعض الأحيان، إذ تكون عالية التركيز بسبب جريان المياه وشبكة الغذاء في أحيان أُخَر. فعلى سبيل المثال، قتلت المبيدات الحشرية، التي استُخدِمَت للسيطرة على سوسة القطن، مفترسيها الطبيعيين، الأمر الذي جعل مشكلة سوسة القطن أسوأ. وثمة مشكلة أخرى، وهي أنّ فعالية مبيدات الآفات قد تتضاءل حالما تطوّر الكائنات الحياة مقاومةً محددة وراثياً ضدّها، الأمر الذي يتطلّب زيادةً في كميات المبيدات الحشرية أو تطوير مبيدات جديدة.

ونتيجةً لذلك يجري استكشاف الاستخدام التكنولوجي الأكثر انسجاماً مع البيئة. ويتضمن هذا العمل تصميماً واستخداماً حذراً للمواد الكيميائية وتنوّعاً أكثر دراية في المحاصيل الزراعية، وتغييراً في المحاصيل المزروعة على مساحة معيّنة من الأرض من محاصيل تستنزف بعض مكوّنات التربة إلى محاصيل تغذيها. إنّ تغيير المحاصيل يمكن أن يقلّل أيضاً من احتمالية إصابة المحصول بأمراض معيّنة. وأحد بدائل المكافحة الكيميائية للآفات هو إدخال كائنات الحيّة من النظم البيئية الأخرى في محاولة للحد من عدد الآفات في النظام البيئي الزراعي (مثل استخدام الحشرات الخارجية التي تتغذى على الأعشاب المحلية الضارة). يحمل هذا النهج أيضاً خطراً ما يتمثل في أن يصبح الكائنُ الذي أُدخِلَ آفةً في حدّ ذاته.

نمت الإنتاجية الزراعية من خلال استخدام الآلات والأسمدة. وقد أتاحت الآلات ومحرّكات الوقود الأحفوري اللازمة لتشغيلها لشخص واحد زراعة وحصاد مزيد من الأرض، وزراعة أنواع مختلفة من الأراضي، وتغذية واستخدام أجزاء ومنتجات خاصة بعدد أكبر من النباتات والحيوانات.

تُستخدَم الأسمدة الكيميائية على نطاق واسع في النصف الغربي من الكرة الأرضية لاستكمال مغذيات التربة الناقصة، بدلاً من السماد الطبيعي المستخدم في أجزاء أخرى من العالم. وأحد مخاطر الاستخدام المكثّف للآلات والأسمدة هو الميل إلى استنفاد التربة بسبب الاستخدام المفرط. ولهذا السبب، تشجع حكومة الولايات المتحدة الأمريكية المنتجين الزراعيين على إيقاف استخدام الأراضي وإعطائها استراحة من الإنتاج الزراعي من مدة إلى أخرى، واتخاذ خطوات لاستعادة الثراء الطبيعي للتربة.

استُهلِكَ أو سُوِّقَ معظم الأطعمة لقرون عدّة داخل نطاق بضعة عشرات من الأميال من المكان الذي نمت فيه. وقد أحدثت التكنولوجيا ثورةً في الأسواق الزراعية من خلال مجالي النقل والاتصالات. وأدّى التحسن الكبير في إنتاجية الأراضي إلى توفّر مزيد من الطعام في بعض المناطق على نحو أكبر مما يحتاج إليه السكان المحليون. يقلّل تطوّر النقل السريع والرخيص من تلف الطعام، كما تفعل المعالجة والإضافات والتبريد والتعبئة والتغليف، لكنّ التوزيع السريع للمنتجات الزراعية لمسافات طويلة يتطلّب أيضاً اتصالات بعيدة المدى من أجل بيعها ونقلها. مكّنت أنظمة النقل والاتصالات الحديثة كلّها من تسويق الطعام واستهلاكه على بُعد آلاف الأميال من مكان إنتاجه.

لـمّا كانت معظم الأسواق محلية، كان من الممكن أن يسبّب الطقس السيئ في حدوث تقلّبات كبيرة في رفاه المزارعين والمستهلكين. ولأنّ الطعام يُوزَّع الآن من خلال سوق عالمية، لدى المستهلكين في الدول الثرية قلق أقل بشأن نقص الإمدادات الغذائية. ومن جهة أخرى، يمكن أن يؤثّر

الطقس السيئ في أيّ مكان من العالم في الأسواق في مكان آخر. إنّ حرص الحكومة على الحفاظ على الإمدادات الغذائية الوطنية من أجل المستهلكين ومن أجل حماية المزارعين من التقلّبات الكارثية قد أدّى إلى كثير من أشكال التحكم في الزراعة، التي تشمل التحكم في كيفية استخدام الأراضي، وما هي المنتجات التي تُباع وبأيّ أسعار.

كان معظم العمال في القرن الماضي في الولايات المتحدة الأمريكية منشغلين في الزراعة. أما الآن، بسبب التكنولوجيا التي زادت من كفاءة الزراعة على نحو كبير جداً، فثمة نسبة ضئيلة جداً من السكان (نحو اثنين في المئة فقط) يشاركون في الإنتاج بصورة مباشرة. بَيْدَ أنَّ ثمة كثيراً من الأشخاص المنخرطين في إنتاج المعدات والمواد الكيميائية الزراعية، والمعالجة، والتخزين، والنقل، وتوزيع الطعام والألياف. يسبّب الانخفاض السريع في عدد المزارعين اللازم لإنتاج غذاء الأمة في انتقال عدد كبير من السكان إلى خارج المجتمعات الريفية، الأمر الذي أدّى إلى اختفاء افتراضي لما كان الطريقة السائدة للحياة مؤخّراً.

المواد وتصنيعها

المواد

تعتمد التكنولوجيا على استخدام مجموعة كبيرة ومتنوّعة من المواد وتطبيقها، إذ ينشأ بعضُها بصورة طبيعية، وبعضُها يُنتَج بوساطة وسائل الخلط أو المعالجة، وبعضُها الآخر يُصنَّع من المواد الأساسية. لدى المواد خصائص فيزيائية معيّنة كالقوة والكثافة والصلابة والمرونة والمتانة والمناعة ضد الماء والنار، وسهولة إجراء تدفّق من الحرارة أو التيار الكهربائي.

تحدد هذه الخصائص استخدام المصنّعين والمهندسين وغيرهم من المعنيين بالتكنولوجيا لهذه المواد.

كانت تكنولوجيا المواد، في معظم تاريخ البشرية، مبنيةً أساساً على استخدام المواد الطبيعية كالنباتات والمنتجات الحيوانية والمعادن. ومع مرور الوقت، تعلّم الناس أنّ خصائص المواد الطبيعية يمكن تغييرها عن طريق المعالجة، كدباغة الجلود وشوي الطين. واكتشفوا فيما بعد أنّ المواد يمكن دمجها فيزيائياً عن طريق الخلط في شكل طبقات أو ربط بعضها ببعض، من أجل الحصول على خليط من خصائص مواد مختلفة عدّة (على سبيل المثال، أنواع مختلفة من الخشب مرقّقة في قوس، وقضبان حديدية مدمجة في الإسمنت، والصلب المطلي بالزنك، والألياف المتشابكة في الأقمشة). كما تعلّموا أيضاً أن التحكّم الدقيق بعمليات مثل سقاية الفولاذ أو تلدين الزجاج يمكن أن يحسّن بعض الخصائص إلى حدٍّ كبير.

ركّزت تكنولوجيا المواد منذ الستينيات على نحو متزايد على تركيب مواد ذات خصائص جديدة تماماً. تتضمّن هذه العملية عادةً خلط بعض المواد مع مواد أخرى، مثلما كان يتمّ فعله بالسبائك المعدنية على مدى آلاف السنين. ثمة تغييرات كيميائية متضمنة في معظم الحالات، وقد تكون خصائص المادة الجديدة مختلفة تماماً عن مكوّناتها. تُصنَّع بعض المواد الجديدة، مثل البلاستيك، في تفاعلات كيميائية تربط بعض السلاسل الطويلة من الذرّات ببعضٍ. ويمكن تصميم البلاستيك بحيث يكون له مجموعة متنوعة من الخصائص من أجل الاستخدامات المختلفة، ابتداءً من قطع غيار السيارات والمركبات الفضائية، إلى تغليف المواد الغذائية والأقمشة، وصولاً إلى مفاصل الورك الاصطناعية والغرز المتحلّلة. ويمكن

تصميم السيراميك أيضاً ليكون له مجموعة متنوعة من الخصائص، ويمكن حتى صنعه بحيث تختلف الخصائص اختلافاً كبيراً من سيراميك إلى آخر (على سبيل المثال، الناقلية الكهربائية المنخفضة جداً لعوازل السيراميك، وأشباه موصلات السيراميك التي يمكن التحكم بناقليتها، والناقلية المطلقة تقريباً لموصلات السيراميك الفائقة). يمكن حتى تصميم بعض المواد لتتكيّف مع بيئات متنوعة، مثل زيت المحرّك الصالح في الأحوال الجوية كلّها، والنظّارات الشمسية ذات الكثافة المتباينة.

قادنا ازدهارُ التكنولوجيا إلى استخدام بعض المواد من البيئة على نحو أسرع بكثير مما يمكن استبداله بالعمليات الطبيعية. وقد تقلّصت الغابات إلى حدٍّ كبير في بلدان عدّة خلال بضعة قرون خلت، واستنفدنا رواسب الخام. ثمة بحثٌ دؤوب عن مواد بديلة، وقد عُثِرَ عليها أو اختُرِعَت في كثير من الحالات.

أصبح التخلّص من المواد المستخدمة على نحو متزايد مشكلةً، فيمكن إرجاع بعض المواد المستخدَمة، كالنفايات العضوية، إلى البيئة على نحو آمن، على الرغم من أنّ المهمة، مع النمو السكاني، باتت أكثر صعوبة وتكلفة. غير أنّ بعض المواد، مثل البلاستيك، لا يمكن إعادة تدويرها بسهولة، ذلك أنّها لا تتحلّل بسرعة حين تُعاد إلى البيئة. ومع ذلك، فإنّ المواد الأخرى المستخدَمة (مثل النفايات المشعة التي كانت ملحوظة أكثر من غيرها لكنّها ليست المثال الوحيد) شديدة الخطورة لمثل هذه المدة الطويلة إلى درجة أنه لا تزال طريقة التخلّص منها غير واضحة، وموضع جدل على نطاق واسع. يتطلّب حلّ مشكلات التخلّص هذه جهوداً منهجية تشمل كلاً من الابتكارات التكنولوجية والاجتماعية.

التصنيع

يتطلّب صنع الأشياء مجموعة كبيرة ومتنوعة من الأدوات. لقد تطورت التكنولوجيا إلى حدٍّ كبير بوجه عام نتيجة التحسينات في جودة وحدّة أدوات القطع، والقوة التي يمكن تطبيقها، والدرجة التي يمكن عندها تركيز الحرارة، والسرعة التي يمكن أن تحدث فيها العمليات، والاتساق والثبات الذي يمكن فيه تكرار العمليات. هذه الأدوات هي عامل أساسي في التصنيع الحديث، الذي يعتمد كثيراً على الحاجة إلى إنتاج أعداد كبيرة من المنتجات ذات الجودة الموحّدة (كالسيارات وساعات اليد)، وأعداد أقل من المنتجات فائقة الجودة (كالمركبات الفضائية والساعات الذرّية).

تتضمّن عمليات التصنيع الحديثة عادةً ثلاث خطوات رئيسة:

أولاً: الحصول على المواد الخام وتحضيرها.

ثانياً: المعالجة الآلية مثل التشكيل والدمج والتجميع.

ثالثاً: الطلاء والاختبار والتفقد والتعبئة.

توجد في جميع هذه الخطوات خيارات حول كيفية تسلسل المهام وكيفية إنجازها، لذا فإنّ تنظيم المهام لتحسين الإنتاجية عنصرٌ أساسي آخر من عناصر التصنيع.

تميل المصانع الحديثة إلى التخصص في صنع منتجات محددة. حين يُصنَع عددٌ كبير من الأشياء المتطابقة تقريباً بصورة مستمرة في المكان نفسه، فمن الممكن أن نجعلها أقل تكلفة مما لو كانت مصنوعة على نحو منفصل. تتحقق فعالية التكلفة هذه من خلال الجمع بين العمال والآلات، ومصادر

الطاقة، والمواد الخام أو الأجزاء المكوّنة. من المرجّح أن يكون إصلاح المنتجات أسهل أيضاً حينما يكون الإنتاج مركزياً؛ لأنّ الأجزاء يمكن صنعها بحيث تكون قابلة للتبادل بين الوحدات وحتى بين النماذج المختلفة.

أصبح الإنتاج مؤتمتاً على نحو متزايد. يُستخدَم الرجال الآليّون في بعض المناطق لأداء المهام المتكررة الخاصة بالإنتاج الضخم. وتُستخدَم التعليمات المتعلّقة بالمعالجة من أجل التحكم في العمليات إلكترونياً، بدلاً من أن يفسّرها وينفّذها الأشخاص. هذه المرونة في التحكم تجعل من الممكن تصميم واستخدام آلات متعددة الأغراض يمكنها تعديل خط من خطوط المنتجات. وقد تمكّن آلات كهذه أيضاً الشركات المصنعة لإدخال خط جديد من المنتجات دون صنع مجموعة خاصة من الآلات الجديدة.

إنّ التصميم الخاص بأنظمة التصنيع، سواء كانت آلية أم لا، يمكن أن يكون معقداً للغاية. أولاً: يسمح تسلسل العمليات باحتمالات كثيرة يجب أن نختار منها تلك الاحتمالات ذات الكفاءة العالية وذات التكلفة المجدية. ومن ثَمَّ، وبالنسبة إلى أيّ تسلسل يتم اختياره، ثمة عدد كبير من تدفّقات المواد ومواقيت العمليات التي يجب التحكم بها ورصدها وتنسيقها. وقد يكون ثمة كثير من التفاصيل الدقيقة المتعلّقة بالمهارة والأحكام البشرية، التي يصعب تحديدها بدقة. لا يستطيع الخبراء، في كثير من الأحيان، أن يشرحوا بالضبط ماذا يفعلون أو كيف يفعلون أيّ شيء. إنّ التحكم عن طريق أجهزة الحاسوب يجعل التشغيل الفعّال لأنظمة التصنيع المعقدة للغاية أمراً ممكناً، لكنه لا يزال يتطلّب إشرافاً بشرياً من أجل التعامل مع الأمور الطارئة أو التي لا يمكن التنبؤ بها.

لقد غيّر تطوّر الإنتاج طبيعة العمل. كان يمكن للعامل الحرفي في الماضي إجراء المهام نفسها مدى الحياة مع تغيير طفيف في المُنتَج أو التقنية. أدّى الإنتاج على نطاق واسع في مكان واحد إلى أقصى حدٍّ من التخصص: يؤدي كلُّ عامل مهمةً بسيطة واحدة فقط مراراً وتكراراً بدلاً من تجميع منتجات كاملة. وتتطلّب زيادة الأتمتة عمالة مباشرة أقل، وعدداً أقل من المهارات الحرفية، لكنها تتطلّب مزيداً من الهندسة، وبرمجة الحاسوب، ومراقبة الجودة، والإشراف، والصيانة. وعلى الرغم من أنّ الأتمتة قد تقلّل من مشاعر الملل وعدم الأهمية، التي تنتج عن تكرار المهام البسيطة نفسها إلى ما لا نهاية، فإنها تقلّل أيضاً من سيطرة العمال، وقد تلغي بعض وظائف العمال حتى وإن كانت تخلق غيرها. أصبحت المرونة والمهارة في تعلُّم سلسلة من الأدوار الوظيفية الجديدة تتمتع بأهمية متزايدة مع زيادة سرعة وتيرة التغيير التكنولوجي.

مصادر الطاقة واستخدامها

مصادر الطاقة

ترتبط الصناعة والنقل والتطوير العمراني والزراعة ومعظم الأنشطة البشرية الأخرى ارتباطاً وثيقاً بكمية الطاقة المتاحة ونوعها. فالطاقة مطلوبة من أجل العمليات التكنولوجية: كالتفكيك، والتجميع، والتحريك، والتوصيل، والحصول على المواد الخام، ومن ثَمَّ التعامل معها وإعادة تدويرها.

ولدى مصادر الطاقة المتنوعة وطرق استخدامها تكاليف وآثار ومخاطر مختلفة. وستستمرّ بعض المصادر - مثل أشعة الشمس المباشرة والرياح

والمياه - في أن تكون متاحة إلى أجل غير مسمّى. يجدد وقود النباتات، كالخشب والأعشاب، نفسه، ولكن بمعدّل محدود فحسب، وإذا زرعنا فقط بقدر ما نحصد. سيصبح من الصعب الحصول على الوقود المتراكم مسبقاً في الأرض - كالفحم والنفط والغاز الطبيعي واليورانيوم - نظراً لنفاد الموارد المتاحة بسرعة. وحين تهدّدنا الندرة، فإنّ التكنولوجيا الجديدة تسمح باستخدام الموارد المتبقية على نحو أفضل من خلال الحفر عميقاً، أو معالجة الخامات ذات التركيز الأقل، أو التنقيب في قاع المحيطات. غير أنه حين تنفد الموارد كلياً، فمن الصعب التنبؤ. وقد يكون الحد الأقصى هو التكلفة الباهظة بدلاً من الاختفاء التام، وهذه مسألة متى تصبح الطاقة المطلوبة للحصول على الموارد أكبر من الطاقة التي ستوفرها هذه الموارد.

تُعَدُّ أشعة الشمس المصدر الأساسي لمعظم الطاقة التي نستخدمها. وهي تتوفّر لنا بطرق عدّة: تلتقط النباتات الطاقة الموجودة في أشعة الشمس مباشرة، وتسخّن هذه الطاقة الهواء والأرض والماء لتسبب الرياح والأمطار، لكنّ تدفّق الطاقة ضعيفٌ إلى حدٍّ ما، وثمة ضرورة لوجود مجموعة كبيرة من الأنظمة من أجل تركيز الطاقة وتسخيرها في معظم الاستخدامات التكنولوجية: تَستخدِمُ تكنولوجيا الطاقة الكهرومائية مياه الأمطار المركّزة في الأنهار عن طريق الجريان السطحي فوق مساحات شاسعة من الأرض، وتستخدمُ طواحين الهواء تدفّق الهواء الناتج عن تسخين مساحات كبيرة من الأراضي وأسطح المحيطات، كما تتطلّب الكهرباء التي تولِّدها طاقة الرياح وأشعة الشمس، التي تسطع على الأسطح الحساسة للضوء، نظمَ تجميعٍ كبيرة جداً. يمكن تحقيق إنتاج الطاقة على نطاق ضيق للاستخدام المنزلي إلى حدٍّ ما من خلال استخدام طواحين الهواء والتدفئة الشمسية

المباشرة، لكنّ التكنولوجيا ذات التكلفة الفعّالة الخاصة بالاستخدام واسع النطاق للطواحين الهوائية والتدفئة الشمسية لم تُطوَّر بعد.

كان حرق الخشب، في معظم تاريخ البشر، المصدر الأكثر شيوعاً للطاقة المكثّفة المستخدمة في الطبخ، وتدفئة المساكن، وتشغيل الآلات. وتُستمد معظم الطاقة المستخدمة اليوم من حرق الوقود الأحفوري الذي خزّن طاقة ضوء الشمس، التي جمعتها النباتات على مدى ملايين السنين. كان الفحمُ الوقودَ الأحفوري الأكثر استخداماً على نطاق واسع حتى وقت قريب، لكن في القرن الماضي، أصبح النفطُ والغاز الطبيعي المصاحب له مفضَّلَين بسبب سهولة جمعهما، واستخداماتهما المتعددة في الصناعة، وقابلية تركيزهما في مصدر طاقة قابل للنقل بسهولة للمركبات كالسيارات والشاحنات والقطارات والطائرات. بَيْدَ أنَّ احتراق الوقود الأحفوري يضخُّ في الغلاف الجوي نفايات قد تهدّد صحة الإنسان وحياته: يشكّل استخراجُ الفحم تحت الأرض خطراً كبيراً على صحة عمال المناجم وسلامتهم، ويمكن أن يسبب تشققات في الأرض، ويمكن لتسرّب النفط أن يعرّض الحياة البحرية للخطر. إنّ العودة إلى حرق الأخشاب ليس بديلاً يبعث على الرضا؛ لأنه يضيف أيضاً إلى الغلاف الجوي ما يسمّى بغازات الاحتباس الحراري، كما أنّ الإفراط في قطع الأشجار بهدف الحصول على الوقود يستنفد الغابات اللازمة للحفاظ على النظم البيئية الصحية محلياً وعالمياً على حدّ سواء.

بَيْدَ أنَّ ثمة مصادر أخرى للطاقة. أحدُها انشطار نوى العناصر الثقيلة، التي تطلق - مقارنةً بحرق الوقود الأحفوري - كميةً ضخمة من الطاقة مقارنةً بكتلة المواد المستخدمة. تُستخدَم الطاقة المولَّدة في المفاعلات

النووية من أجل غلي الماء وتحويله إلى بخار يدير عجلة المولّدات الكهربائية. يتوفّر اليورانيوم المطلوب بكميات كبيرة، وإنْ كانت محدودة في نهاية المطاف، غير أنّ المخلّفات الناتجة عن الانشطار شديدةُ الإشعاع وتبقى على هذا النحو لآلاف السنين. تتفاقم المشكلة التقنية المتمثلة في التخلّص الآمن على نحو معقول من نواتج الانشطار بسبب خوف الناس من النشاط الإشعاعي، وقلقهم بشأن تخريب محطات الطاقة النووية وسرقة المواد النووية لصناعة أسلحة. وتُعَدُّ تفاعلات الانصهار النووي الخاضعة للرقابة مصدراً محتملاً أكبر للطاقة، غير أنّ التكنولوجيا لم تثبت جدواها بعد. قد تستخدم تفاعلات الانصهار مواد الوقود التي تكون أكثر أماناً في حدِّ ذاتها، على الرغم من استمرار وجود مشكلة التخلّص من مواد البناء البالية التي أصبحت مشعّة بسبب العملية. وكما هي الحال دائماً مع التكنولوجيا الجديدة، قد يكون ثمة مخاطر غير متوقعة.

استخدام الطاقة

يجب توزيع الطاقة من مصدرها إلى المكان الذي ستُستخدَم فيه. وفي معظم تاريخ البشر، كان لا بُدَّ من استخدام الطاقة في المكان نفسه، في الطاحونة الهوائية أو الطاحونة المائية، أو بالقرب من الغابة. ومع مرور الزمن، وفّر التحسّن في النقل إمكانية حرق الوقود الأحفوري في مكان بعيد عن مكان استخراجه، وتمكّنت الصناعات التحويلية المكثّفة من الانتشار على نطاق أوسع. كان من الشائع استخدام مصادر الطاقة لتوليد الكهرباء في هذا القرن، التي يمكن أن توفّر الطاقة على الفور تقريباً عبر أسلاك بعيدة عن المصدر. وعلاوةً على ذلك، يمكن تحويل الكهرباء بسهولة من أنواع أخرى من الطاقة أو إليها.

إنّ لكمية الطاقة المتاحة أهميةً موازية لجودتها: إلى أيّ مدى يمكن تركيزها، وملاءمتها مع الاستخدام. لقد كان العامل الرئيس في التغيير التكنولوجي هو مدى السخونة التي يمكن إيصال النار إليها. وقد أدّى اكتشافُ أنواع جديدة من الوقود وتصميمُ مواقدَ وأفران أفضل، وتوفير الهواء أو الأكسجين الصرف، إلى زيادة تدريجية في درجة الحرارة المتاحة لحرق الطين والزجاج، وصهر الخامات المعدنية، وتنقية وإعادة تشكيل المعادن. يُعَدُّ الليزر أداة جديدة لتركيز الطاقة الإشعاعية بكثافة وتحكم كبيرين، ويُطوَّر من أجل استخدامه في عدد متزايد من التطبيقات ابتداءً من صنع رقائق الحاسوب وإجراء عمليات جراحة العيون وانتهاءً بالتواصل بواسطة الأقمار الصناعية.

يوجد حتماً، خلال أيّ تحوّل مفيد للطاقة من شكلٍ إلى آخر، بعضُ التبديد للطاقة في البيئة. وباستثناء الطاقة ذات الاتصال الوثيق بمنظومة المواد المصنّعة، ينتج عن معظم استخداماتنا للطاقة تبديداً كاملاً لها، الأمر الذي يؤدي إلى رفع درجة حرارة البيئة قليلاً، وفي النهاية إشعاعها إلى الخارج نحو الفضاء. وبهذا المعنى العملي، فإنّ الطاقة "تُستهلَك"، على الرغم من أنها لا تزال موجودة في مكان ما.

لقد ابتكر الناس طرقاً عبقرية تتعلّق بالإحداث المتعمّد لتحوّلات الطاقة المفيدة بالنسبة إليهم. وتتراوح الطرق بين الأفعال البسيطة المتمثلة في رمي الصخور (التي تحوّل الطاقة الكيميائية الحيوية إلى حركة) وإشعال النيران (الذي يحوّل الطاقة الكيميائية إلى حرارة وضوء)، وصولاً إلى استخدام أجهزة معقدة كالمحرّكات البخارية (التي تحوّل الطاقة الحرارية إلى حركة)، والمولّدات الكهربائية (التي تحوّل الحركة إلى طاقة كهربائية)،

ومفاعلات الانشطار النووي (التي تحوّل الطاقة النووية إلى حرارة)، ومحوّلات الطاقة الشمسية (التي تحوّل الطاقة الإشعاعية إلى طاقة كهربائية). حين تُشغَّل هذه الأجهزة، كما هي الحال في الظواهر كلّها، فإنّ ناتج الطاقة المفيد، أي ما هو متاح لإحداث مزيد من التغييرات، أقلُّ من مدخلات الطاقة، مع الاختلاف الذي يظهر عادةً في شكل حرارة. والهدف الوحيد من تصميم هذه الأجهزة هو جعلها فعّالة قدر الإمكان، أي تعظيم الفائدة المفيدة لأيّ مُدخَل من المدخلات.

وتماشياً مع الاختلافات العامة في التوزيع العالمي للثروة والتنمية، تُستخدَم الطاقة بمعدلات غير متكافئة للغاية في أجزاء مختلفة من العالـم. تستخدم الدول الصناعية كميات ضخمة من الطاقة من أجل العمليات الكيميائية والميكانيكية في المصانع، وإنتاج مواد اصطناعية، وإنتاج الأسمدة من أجل الزراعة، وتشغيل وسائل النقل الصناعية والشخصية، وتدفئة المباني وتبريدها والإضاءة والاتصالات. ومن المرجّح أن يزداد معدّل الطلب على الطاقة مع تزايد نمو السكان في العالـم، واستمرار الدول في التصنيع. وإلى جانب الاستخدام على نطاق واسع، ثمة هدر كبير للموارد (على سبيل المثال، المركبات التي تتمتع بقوة أكبر من القوة التي تتطلّبها وظيفتها، والمباني غير المحصّنة ضد انتقال الحرارة). لكنّ عوامل أخرى، ولا سيّما زيادة كفاءة استخدام الطاقة، يمكن أن تساعد في تقليل الطلب على الطاقة الإضافية.

يمكن إبطاء استنفاد مصادر الطاقة من خلال الوسائل التقنية والاجتماعية على حد سواء. وتشمل الوسائل التقنية زيادة الاستفادة التي ندركها من مُدخَل معيّن من الطاقة عن طريق التصميم البارع لأداة التحويل، وعزل المكان الذي نريد تقييد تدفّق الحرارة فيه (على سبيل المثال، عزل خزانات الماء الساخن)،

أو استخدام الحرارة المتسرّبة في شيء ما. وتشمل الوسائل الاجتماعية الحكومة، التي قد تقيّد استخدامات الطاقة ذات الأولوية المنخفضة أو قد تضع شروطاً تتعلّق بالكفاءة (مثل محركات السيارات) أو بالعزل (كما هي الحال في بناء المنازل). يمكن للأفراد أيضاً أن يأخذوا كفاءة استخدام الطاقة في الحسبان حين يختارون التكنولوجيا ويستخدمونها (على سبيل المثال، إطفاء الأنوار وقيادة سيارات عالية الكفاءة)، إما من أجل الحفاظ على الطاقة بوصفها مسألة مبدأ، وإما من أجل تخفيض نفقاتهم الشخصية طويلة الأمد. ثمة مقايضات، كما جرت العادة دائماً. فعلى سبيل المثال، تبقى المنازل المعزولة على نحو أفضل أكثر دفئاً في الشتاء وأكثر برودة في الصيف، لكنّها تقيّد التهوية ومن ثَمَّ فإنها قد تزيد من التراكم الداخلي للملوثات.

التواصل

يتواصل الناس في كثير من الأحيان، حتى وإن لم يكن ذلك على نحو فعّال دائماً. تطوّرت المئات من اللغات المختلفة كي تتناسب مع احتياجات الأشخاص الذين يستخدمونها. ولـمّا كانت اللغات تتفاوت إلى حدٍّ كبير من حيثُ الصوتُ والبِنيةُ والمفردات، ولـمّا كانت اللغةُ مترابطةً جداً من الناحية الثقافية، فإنه ليس من السهل دائماً أن يترجم المرء من لغة إلى أخرى بصورة دقيقة. فالمراسلات الكتابية، ابتداءً من الرسائل الشخصية وانتهاءً بالكتب وبريد الإعلانات، تعبرُ القارات وتصل إلى أقاصي الأماكن المأهولة بالسكان. والهاتف والمذياع والتلفاز والأقمار الصناعية والتسجيلات الصوتية والبصرية وغيرها من أشكال الاتصال الإلكتروني قد زادت الخيارات المتاحة للإنسان، وأضافت كثيراً إلى تدفّق المعلومات.

يتضمّن التواصل وسائل تمثيل المعلومات، ووسائل نقلها واستقبالها، وبعض الضمان حول الموثوقية بين ما يُرسَل وما يُستقبَل. يتطلّب التمثيلُ ترميزَ المعلومات في وسيط إرسالي ما. كانت وسائل التواصل الطبيعية عبر تاريخ البشر اتصالاً ميكانيكياً (عبر اللمس)، وموادَّ كيميائية (عبر الشم) وموجاتٍ صوتيةً (عبر الكلام والسمع)، وضوءاً مرئياً (عبر الرؤية). غير أنّ الموثوقية والاستمرارية تتطلّبان وسيطاً لتسجيل المعلومات. كان الوسيط الموثوق به الذي طوّره الإنسان أولاً هو وضع علامات على المواد الصلبة كالخشب والصلصال والأحجار، ثم الورق في النهاية. واليوم، نضع علامات مجهرية أيضاً على الأقراص البلاستيكية والأشرطة المغناطيسية. يمكن لهذه المواد المعدّلة أن تدوم لسنوات عدّة، ويمكن نقلها لمسافات طويلة مع ضمان سلامة معلوماتها المشفّرة.

ومع اختراع أجهزةٍ لتوليد التيار الكهربائي والتحكم به، أصبح من الممكن تشفير المعلومات على أنها تغيّرات في التيار، ونقلها إلى مسافات طويلة بوساطة الأسلاك بصورة مباشرة تقريباً. ومع اكتشاف موجات المذياع، صار من الممكن تشفير المعلومات نفسها على أنها تغيّرات في نمط الموجة وتوزيعها في الاتجاهات كلّها في الجو دون الحاجة إلى أسلاك. وكان الشيء المهم بوجه خاص اختراع المضخّمات الإلكترونية، التي تتحكّم فيها الإشارة الكهربائية الضعيفة في تدفّق تيار كهربائي أكثر قوة، دامغة إياه بنمط المعلومات نفسه. أتاح التحكّمُ الفعّال، في الآونة الأخيرة، في موجات الضوء في الليزر إمكانية تشفير المعلومات ونقلها في شكل نبضات في كثافة الضوء عبر الألياف البصرية.

يمكن تشفير المعلومات في شكل تناظري أو رقمي. فعلى سبيل المثال، كانت الاتصالات السلكية واللاسلكية الكهربائية في الأصل تتخذُ الشكل الرقمي للنبضات المتقطعة، التي تتطلّب شيفرة اصطناعية لتمثيل الحروف والأعداد. ثم جاءت فائدة كبيرة مع اختراع الإلكترونيات، وهي أجهزة لتحويل إشارات الصوت والضوء إلى إشارات كهربائية، والعكس صحيح. أتاحت الإلكترونيات إرسال الإشارات التناظرية التي تمثّل الاختلافات الدقيقة في الصوت أو الضوء، ونسخ تلك الإشارات على أنها متغيّرات مستمرة في وسيط ما. فالقدرة على نسخ المعلومات مجهرياً، ونقل المعلومات بمعدّلات عالية للغاية، مكّنت من تقليل التشويش والضوضاء في معالجة الإشارات التناظرية من خلال العودة إلى موثوقية الإشارات الرقمية المتقطعة. يمكن الآن أخذ عينات من كل أنواع الإشارات التناظرية وتمثيلها بوصفها أرقاماً، وتخزينها أو نقلها في تلك الصيغة، ومعالجتها على نحو ملائم بوساطة أجهزة الحاسوب، وإعادتها ربما إلى شكلها التناظري من أجل العرض الصوتي أو المرئي.

إنّ التحدي التقني الأساسي الذي يواجه الاتصال هو الحفاظ على إشارة كبيرة مقارنةً بالضوضاء، التي تميل إلى الزيادة عند تسجيل المعلومات أو تحويلها أو نقلها. ويمكن تحسين نسبة الإشارة مقارنةً بالضوضاء من خلال تعزيز الإشارة أو تقليل الضوضاء. كما يمكن الحفاظ على الإشارات قوية بوساطة التضخيم أو منع فقدان الطاقة (من خلال تركيزها في حزمة ضيّقة من الموجات). يمكن الحد من الضوضاء بوساطة عزل الإشارة عن المصادر الخارجية للضوضاء (مثل تغليف كابلات الميكروفون) أو من خلال تقليل المصادر الداخلية للضوضاء (مثل تبريد مضخّم ما). وثمة

طريقة مختلفة تماماً لتقليل الأخطاء الناتجة عن الضوضاء وهي من خلال استخدام التكرار، أو شكل آخر من أشكال التكرار، التي تسمح باكتشاف الأخطاء ومقارنتها. وقد يكون بعض التكرار مرغوباً فيه دائماً في الاتصال، وإلا يمكن لخطأ واحد أن يغيّر معنى الرسالة كلياً.

يتطلّب التواصلُ حمايةً في بعض الأحيان. يمكن اعتراض البريد ونسخه، ويمكن التنصت على خطوط الهاتف، ويمكن مراقبة الاتصالات الهوائية. من الممكن حماية الخصوصية عن طريق منع الوصول إلى الإشارات (على سبيل المثال، من خلال استخدام الأقفال وكلمات المرور) أو عن طريق منع تفسيرها (مثل استخدام الرموز السرّية). إنّ إنشاء رموز سرّية من الصعب جداً اكتشافها هو تطبيق مثير للاهتمام لنظرية الأعداد في الرياضيات، لكنّ التحسّن في تقنيات الحماية جلب معه تحسّناً في تقنيات اختراقها.

معالجة المعلومات

أدّت التكنولوجيا دوراً مهماً مدّةً طويلة في جمع المعلومات وتخزينها واسترجاعها، فضلاً عن نقلها، فاختراعُ الكتابة، وجداول البيانات، والرسوم البيانية، والصيغ الرياضية، وطرق تنظيم الملفات قد زاد من كمية المعلومات، التي نستطيع التعامل معها، والسرعة التي يمكننا معالجتها بها. وتُعَدُّ الكميات الكبيرة من المعلومات ضرورية لعمل المجتمعات الحديثة؛ في الواقع، أصبح توليد المعلومات ومعالجتها ونقلها المهنة الأكثر شيوعاً للعمال في البلدان الصناعية.

تُعَدُّ المعلومات مفيدةً للغاية حين تُنظَّم وتُـمثَّل بوساطة مجموعات منظّمة من الرموز. يستخدم الناسُ جداولَ وفهارسَ وقوائمَ أبجدية وشبكات

هرمية لتنظيم كميات كبيرة من البيانات. وتعتمد أفضل طريقة لتخزين المعلومات على ما يجب فعله بها، فالمعلومات المخزّنة من أجل غرض واحد في الذهن من الصعب للغاية استرجاعها من أجل أغراض أخرى (على سبيل المثال، يُعَدُّ الترتيبُ الأبجدي لأرقام الهاتف مثالياً إذا كان المرء يعرف اسم الشخص، ولكن ليس إذا كان يعرف عنوانه فقط). تمكّنُ قواعدُ البيانات متعددة الأغراض من تحديد مواقع المعلومات بطرق مختلفة كثيرة (على سبيل المثال، الكتب المدرَجَة حسب المؤلِّف أو العنوان أو الموضوع). والسمة النموذجية لأنظمة المعلومات هذه هي أنها تربط البيانات المدخَلَة بمجموعة محددة من الكلمات المفتاحية، التي تمكّن جهاز الحاسوب من البحث عن العناصر المطابقة.

كانت الأجهزة الميكانيكية الخاصة بأداء العمليات الحسابية أو المنطقية موجودة منذ قرون، لكنّ اختراع الحاسوب الإلكتروني أحدث ثورةً في معالجة المعلومات. وأحدُ جوانب المنطق الرياضي هو أنّ أيّ معلومات مهما كانت، بما فيها الأعداد والأحرف والفرضيات المنطقية، يمكن ترميزها في شكل سلسلة من بِتّات نعم أو لا (على سبيل المثال، في شكل نقاط وشرطات، أو رقم واحد وصفر، أو مفاتيح تشغيل وإيقاف). تُعرَّف الحواسيبُ الإلكترونية في الأساس بأنها عبارة عن مصفوفات كبيرة جداً من مفاتيح تشغيل أو إيقاف لها صلة بطرق تسمح لها بأداء العمليات المنطقية. أتاحت المواد والتقنيات الجديدة موثوقية مفاتيح التبديل الخالية من الأجزاء المتحرّكة وتصغيرها إلى حدٍّ كبير، الأمر الذي أتاح وضع عدد كبير جداً من مفاتيح التبديل المتصلة في مساحة صغيرة. والحجم الصغير جداً يعني أيضاً اتصالات قصيرة جداً، الأمر الذي يعني وقت مرور

قصير جداً للإشارات. لذا، فإنّ الدوائر الإلكترونية المصغّرة يمكن أن تعمل بسرعة كبيرة. وإذا نظرنا إلى الأوقات القصيرة جداً المطلوبة لحدوث خطوات المعالجة، إلى جانب العدد الكبير جداً من الاتصالات التي يمكن تنفيذها، سنكتشف أنّ هذا يعني أنّ بإمكان أجهزة الحاسوب تنفيذ تعليمات معقدة أو متكررة للغاية على نحو أسرع بملايين المرّات مما يستطيع البشر فعله.

يتحكّم الإنسان في نشاط أجهزة الحاسوب من خلال الطريقة التي توصل بها من جهة، ومن خلال مجموعة من التعليمات المشفّرة من جهة أخرى، ففي أجهزة الحاسوب ذات الأغراض العامة لا تكون تعليمات معالجة المعلومات مُدمَجة، بل مخزّنة بصورة مؤقتة (مثل غيرها من المعلومات). يسمح هذا الترتيب بمرونة كبيرة فيما يمكن أن تفعله أجهزة الحاسوب. يعطي الناس تعليمات لأجهزة الحاسوب من خلال برامج مُبرمجة مُسبقاً أو عن طريق برامج أصلية مكتوبة بلغة البرمجة. وتمكّن لغات البرمجة المبرمج من إنشاء التعليمات بمساعدة اللغة الإنكليزية أو الجبر، أو التلاعب الهندسي بالرسوم البيانية، ثم تُترجَم هذه التعليمات بوساطة برنامج آخر إلى لغة آلة من أجل الحاسوب. يستدعي البرنامج في معظم الأحيان مدخلات أخرى في شكل بيانات مُدخَلة عن طريق لوحة المفاتيح، من جهاز تخزين المعلومات، أو من جهاز استشعار تلقائي. وقد تكون مُخرجات الحاسوب رمزية (كلمات، أرقام)، أو بيانية (مخططات، رسوم بيانية)، أو قد تكون التحكّم التلقائي في جهاز آخر (إشارة إنذار، فعل خاص برجل آلي)، أو إرسال طلب إلى مشغّل بشري من أجل الحصول على مزيد من التعليمات.

من الأدوار المهمة للحواسيب نمذجة أو محاكاة الأنظمة، على سبيل المثال، الاقتصاد أو الطقس، أو شبكة من إشارات المرور الضوئية، أو لعبة إستراتيجية، أو تفاعلات كيميائية. يحسب الحاسوب في واقع الأمر النتائج المنطقية لمجموعة من التعليمات المعقدة، التي تمثّل كيفية عمل النظام. ويكون برنامج الحاسوب مكتوباً بطريقة تحدّد هذه التعليمات ومن ثَمَّ يؤدي عمله، إذ يبدأ من البيانات التي تصف الحالة الأولية للنظام. يعرض البرنامج أيضاً ملفات الحالات اللاحقة للنظام، التي يمكن مقارنتها بالطريقة التي تتصرّف الأنظمةُ فعلياً استناداً إليها من أجل رؤية مدى معرفتنا بالقواعد وللمساعدة في تصحيحها. وإذا كنا متأكدين من أننا نعرف كل القواعد جيداً، فيمكننا استخدام قوة استنتاج النتائج في الحواسيب لمساعدتنا في تصميم الأنظمة.

إنّ أحد الأدوار المهمة المحتملة لبرامج الحاسوب هو مساعدة البشر في حل المشكلات واتخاذ القرار. تؤدي الحواسيب بالفعل دوراً في مساعدة الناس على التفكير من خلال تشغيل البرامج، التي تجمع البيانات وتحلّلها وتلخّصها وتعرضها. وتساعد برامج البحث عن الأنماط في استخراج المعنى من مجموعة كبيرة من البيانات. وأحدُ المجالات المهمة في بحوث علوم الحاسوب هو تصميم البرامج (المستندة إلى مبادئ الذكاء الاصطناعي)، التي تهدف إلى محاكاة الفكر البشري وربما تحسينه. على أيّ حال، لا يزال معظمُ التفكير البشري مستعصياً على الفهم. وكما هي الحال بالنسبة إلى عمليات محاكاة الأنظمة المعقدة الأخرى مثل الاقتصاد أو الطقس، فإنّ المقارنة بين أداء البرامج والظواهر التي تمثلها هذه البرامج هي تقنية لمعرفة مزيد من المعلومات عن كيفية عمل النظام.

في الأنظمة الميكانيكية المفهومة على نحو جيد، يمكن للحواسيب أن توفّر تحكّماً جيداً بقدر يعادل التحكّم البشري، أو حتى تحكّماً أسرع وأدق من تحكّم البشر. وهكذا، فإنّ تشغيل محرّكات السيارات، والتحكّم في طيران الطائرات والمركبات الفضائية، وتحديد الأهداف وإطلاق النار بالأسلحة يمكن حوسبتها كلّها لنأخذ مزيداً من المعلومات في الحسبان للحصول على استجابة أسرع بكثير مما يستطيع المشغّل البشري فعله. ومع ذلك، ثمة مخاطر أيضاً بأنّ التعليمات أو المعلومات المُدخَلة قد تحتوي على أخطاء، وقد يحتوي الحاسوب على أعطال في أجهزته أو برامجه، وحتى الحواسيب والبرامج والمعلومات الموثوقة تماماً قد تعطي نتائج مغلوطة، إذا لم يكن هناك بعض العوامل ذات الصلة المدرَجَة في البرامج، أو إذا كانت قيم العوامل المدرَجَة تقع خارج مداها المتوقع، ولكن حتى لو كان النظام بأكمله لا يحتوي على أخطاء من الناحية التقنية، فإنّ النظام المعقد عالي السرعة قد يتسبب بحدوث مشكلات؛ لأنّ سرعة استجابته قد تفوق قدرة البشر على مراقبة المخرجات أو الحكم عليها.

تتطلّب طبيعة التحكم المعقدة في عالمنا المعاصر إدارة حاسوبية واسعة للمعلومات. ومع تزايد كمية المعلومات، تزداد الحاجة إلى تتبّع المعلومات وتفسيرها والتحكّم بها، الأمر الذي يتضمن أيضاً مزيداً من المعلومات، وما إلى ذلك عبر مزيد من طبقات المعلومات. ويتطلّب هذا التدفّق من المعلومات اختراعَ طرقٍ لتخزينه في مساحة أقل، وتصنيفه على نحو أكثر فائدة، واسترجاعه بسرعة أكبر، وإرساله بمعدّل أعلى، وفرزه والبحث فيه على نحو أكثر كفاءة، وتقليل الأخطاء، وهذا يعني تدقيقها وتصحيحها حيثما نجدها. وكما هي الحال بالنسبة إلى الاتصالات، يتضمّن تخزين

المعلومات أيضاً مسائل تتعلّق بالخصوصية والأمان، وتتطلّب أنظمة المعلومات التي يديرها الحاسوب وسائلَ لضمان أنّ المعلومات لا يمكن تغييرها أو فقدانها عن طريق الخطأ، أو أنها ستكون مبهمة في حال حدوث وصول غير مُصرَّح به.

تكنولوجيا الصحة

تُعنى تكنولوجيا الصحة بتقليل تعرّض البشر لظروفٍ من شأنها أن تهدّد الصحة، فضلاً عن زيادة مقاومة الجسم لمثل هذه الظروف والتقليل من الآثار الضارة التي تحدث بالفعل.

كان التأثير الأهم للتكنولوجيا عبر التاريخ على صحة الإنسان من خلال الوقاية من المرض، وليس من خلال العلاج أو الدواء. والاعتراف بأنّ الكائنات الحيّة المسببة للأمراض تنتشر من خلال الحشرات والقوارض والفضلات البشرية قد أدّى إلى تحسينات كبيرة في المجال الصحي الذي أثّر إلى حدٍّ كبير في طول حياة الإنسان وجودتها. وتشمل التدابير الصحية احتواء القمامة والتخلّص منها، وبناء شبكات الصرف الصحي ومحطّات معالجة مياه الصرف الصحي، وتنقية الماء وإمدادات الحليب، والحجر الصحي على الأشخاص الحاملين للأمراض، والتخفيض الكيميائي لأعداد الحشرات والكائنات الحيّة الدقيقة (بالمبيدات الحشرية والمطهرات)، والحد من أعداد الفئران والذباب والبعوض التي تحمل الكائنات الحيّة الدقيقة. ولا تقلُّ أهمية الوقاية من الأمراض عن أهمية توفير إمدادات غذائية كافية تحتوي على مجموعة متنوعة من الأطعمة اللازمة لتزويد الجسم بكل احتياجاته من البروتينات والمعادن وأثر المواد المختلفة.

يمكن استخدام تكنولوجيا الصحة لتحسين الدفاعات الطبيعية لجسم الإنسان ضد الأمراض. وفي ظلّ التغذية والتدابير الصحية الجيدة والمعقولة، يتعافى جسم الإنسان من معظم الأمراض المعدية من تلقاء نفسه دون حدوث تدخّل من أيّ نوع، كما أنّ الشفاء في حدّ ذاته يجلب مناعةً في معظم الأحيان، لكن يمكننا منع معاناة الإنسان من أمراض خطرة كثيرة بطريقة اصطناعية. يمكن تحريض الجهاز المناعي لجسم الإنسان عن طريق التلقيح ليطوّر دفاعاته الخاصة ضد مرض ما دون حدوث معاناة وخطر الإصابة بالمرض حقاً، فحقن الدم بالكائنات الدقيقة المسببة للأمراض، التي تكون ضعيفة أو ميتة، قد يحرّض جهاز المناعة في الجسم ليكوّن الأجسام المضادة، التي ستعطّل لاحقاً الكائنات الحيّة الدقيقة إنْ حاولت الغزو. كان التلقيح، فضلاً عن التدابير الصحية، الوسيلة الأكثر فعالية للوقاية من الموت المبكر بسبب الأمراض، ولا سيّما بين الرّضّع والأطفال.

بدأ علم الأحياء الجزيئي يتيح إمكانية تصميم المواد التي تثير استجابات مناعية على نحو أدق وأكثر أماناً من اللقاحات الحالية. وتعمل الهندسة الوراثية على تطوير طرق لتحريض الكائنات الحيّة على إنتاج هذه المواد بكميات كافية من أجل الأبحاث والتطبيقات.

تسبّب البكتيريا أو الفيروسات أمراضاً كثيرة. وإذا كان الجهاز المناعي للجسم لا يستطيع قمع العدوى البكتيرية، فقد يكون الدواء المضاد للبكتيريا فعالاً على الأقل ضد أنواع البكتيريا التي كان مُصمَّماً لمحاربتها. غير أنّ الإفراط في استخدام أيّ دواء مضاد للبكتيريا يمكن أن يؤدي، عن طريق الانتقاء الطبيعي، إلى انتشار البكتيريا التي لا تتأثر به. لا نعرف سوى القليل عن علاج

الإصابات الفيروسية، وثمة عددٌ قليل جداً من الأدوية المضادة للفيروسات المكافئة لتلك المستخدَمة في مكافحة الإصابات البكتيرية.

تحسّنت عمليات الكشف عن الأمراض وتشخيصها ومراقبتها بوساطة أنواع مختلفة من التكنولوجيا. وجاء التقدّم الملحوظ في تعرُّف الحالة العامة لجسم الإنسان مع تطوير أجهزة ميكانيكية بسيطة لقياس درجة الحرارة وضغط الدم والاستماع للقلب. فتوفّرت لدينا نظرة أفضل إلى داخل جسم الإنسان عن طريق أجهزة التصوير التي تستخدم مسابر رفيعة لتوفير الضوء المرئي، أو الرنين المغناطيسي والأشعة تحت الحمراء، والموجات الصوتية، والأشعة السينية، أو الإشعاع النووي (من خارج الجسم). إنّ استخدام الحواسيب لنماذج رياضية لسلوك الموجة يجعلها قادرة على معالجة المعلومات في هذه المسابر، وذلك لإنتاج صور متحرّكة ثلاثية الأبعاد. تتضمّن تقنياتٌ أخرى تقنياتٍ خاصة بالكشف عن مكوّنات سوائل الجسم ذات الصلة بالأمراض، ومقارنة مستويات المكوّنات الشائعة مع الحدود الطبيعية المعروفة.

من الممكن للتقنيات التي تحدّد مواقع الجينات على الكروموسومات أن ترصد الجينات ذات الصلة بالأمراض لدى الأطفال أو الآباء المُتبنّين، وتقدّم هذه الجينات الأخيرة معلومات ومشورة حول المخاطر المحتملة. ومع النمو المستمر للتكنولوجيا الخاصة بمراقبة الجسم وقياس أدائه، يمكن أن يصبح عبء المعلومات أكبر مما يستطيع الأطباء أخذه في الحسبان بسهولة مرة واحدة. إنّ برامج الحاسوب التي تقارن بين بيانات المريض والمعايير والأنماط المعتادة للمرض تساعد بصورة متزايدة في التشخيص.

حسّنت التقنيات التي استندت إلى العلم المعالجة الحديثة لكثيرٍ من الأمراض، فمعرفة الكيمياء، على سبيل المثال، قد حسّنت فهمنا لكيفية عمل

الأدوية والمواد الكيميائية الطبيعية في الجسم، وكيفية تصنيعها بكميات كبيرة، وكيفية إمداد الجسم بكميات مناسبة منها. وقد حدّد العلماء المواد الأكثر ضرراً بأنواع معيّنة من الخلايا السرطانية. وأدّت المعرفة بالتأثيرات البيولوجية لحزم الضوء الخاضعة للتحكم الدقيق، والموجات فوق الصوتية، والأشعة السينية، والإشعاع النووي (كلّها بكثافة أكبر بكثير من تلك المستخدمة في التصوير) إلى بدائل تكنولوجية للمباضع والكي. ومع تزايد المعرفة بالجهاز المناعي عند الإنسان وتطوّر المواد الجديدة، ازداد زرع الأنسجة أو الأعضاء الكاملة شيوعاً. وأتاحت المواد الجديدة التي كانت ثابتة ولم يرفضها الجهاز المناعي استبدالَ بعض أجزاء الجسم وزرع أجهزة لتنظيم ضربات القلب كهربائياً، واستشعار الحالات الداخلية، أو منح الأدوية ببطء في الأوقات المثلى.

يتضمّن العلاج الفعّال للاضطرابات العقلية انتباهاً ليس للأعراض النفسية الفورية فحسب، بل لأسبابها وعواقبها الفسيولوجية المحتملة أيضاً، ولجذورها المحتملة في تجربة الفرد الكاملة. وقد يشمل العلاج النفسي المقابلات الشخصية المطوّلة أو المكثّفة، والمناقشات الجماعية بين الأشخاص الذين يعانون مشكلات مماثلة، أو العقاب والمكافأة المبرمجيَن عمداً لتشكيل السلوك. وقد يشمل العلاج الطبي استخدام الأدوية، أو الصدمة الكهربائية، أو حتى الجراحة. تُعَدُّ الفعالية الشاملة لأيّ علاج من هذه العلاجات، وحتى التي تكون أكبر مما هي عليه الحال في معظم العلاجات الطبية الأخرى، غير مؤكدة، إذ إنّ أيّ نهج قد يكون نافعاً في بعض الحالات، وقد لا يكون على هذا النحو في حالات أخرى.

تثير التقنيات الطبية المحسّنة قضايا أخلاقية واقتصادية، فالنتائج المُجمَّعة للتكنولوجيا المحسّنة في مجالات الصحة العامة، كالطب والزراعة،

قد زادت من عمر الإنسان وحجم الكثافة السكانية. ويزيد هذا النمو في الأعداد، الذي من غير المرجّح أن ينتهي قبل منتصف القرن المقبل، من التحدي المتمثل في توفير الغذاء الكافي والمأوى والرعاية الصحية والعمل لكل البشر، ويزيد من الضغط على البيئة. فالتكاليف المرتفعة لبعض العلاجات تجبر المجتمع على اتخاذ خيارات غير مرحَّب بها بشأن من يجب اختياره للاستفادة، ومن يجب أن يدفع. وعلاوةً على ذلك، تزيد التكنولوجيا المتطوّرة الخاصة بتشخيص الأمراض والاختلالات ورصدها وعلاجها من قدرة المجتمع على إبقاء الناس في قيد الحياة، وإلا لن يكونوا قادرين على مواصلة العيش بأنفسهم. يثير هذا الأمر تساؤلات حول من يجب أن يقرّر ما إذا كان يجب توفير رعاية استثنائية، وإلى متى، ولمن. ثمة جدلٌ مستمر بشأن الإجهاض، والعناية المركّزة للرّضّع ذوي الإعاقات الشديدة، والحفاظ على الوظائف الحيوية للأشخاص الذين ماتت أدمغتهم، وبيع الأعضاء، وتغيير الجينات البشرية، وقضايا اجتماعية وثقافية كثيرة تنشأ من التكنولوجيا الطبية الحيوية.

وأحدُ الملحقات التي تزداد أهمية فيما يخصّ الرعاية الصحية الوقائية والتصحيحية هو استخدام الإحصائيات لتتبّع توزّع المرض، وسوء التغذية، والوفيات في مختلف المجموعات الجغرافية والاجتماعية والاقتصادية. وهي تساعد في تحديد أماكن مشكلات الصحة العامة ومدى سرعة انتشارها، ومن الممكن تحليل مثل هذه المعلومات وذلك بمساعدة النمذجة الرياضية من أجل إبراز آثار التدابير الوقائية والتصحيحية، ومن ثَمَّ التخطيط على نحو أكثر فاعلية.

الفصل التاسع

العالم الرياضي

الرياضيات في جوهرها عمليةُ تفكير تتضمّن بناء شبكات الأفكار المجرّدة والمرتبطة منطقياً وتطبيقها. تنشأ هذه الأفكار في معظم الأحيان من الحاجة إلى حل المشكلات في العلوم والتكنولوجيا والحياة اليومية، ومشكلات تتراوح من كيفية نمذجة جوانب معيّنة من مشكلة علمية معقدة إلى كيفية موازنة دفتر الشيكات مع رصيد المصرف. يقدّم هذا الفصل توصيات حول الأفكار الرياضية الأساسية، ولا سيّما تلك التي لديها تطبيق عملي، التي تؤدي مجتمعةً دوراً رئيساً في كل المساعي البشرية تقريباً. تُوصَف الرياضيات في الفصل الثاني بأنها عملية النمذجة التي تُصنَع فيها التجريدات وتُفحَص فيها الآثار المترتبة مقابل الوضع الأصلي. ويكون التركيز هنا على سبعة أمثلة على أنواع الأنماط الرياضية المتوفرة لمثل هذه النمذجة: طبيعة الأعداد واستخدامها، والعلاقات الرمزية، والأشكال، وعدم اليقين، وتلخيص البيانات، وبيانات أخذ العِيْنَات، والاستدلال.

التوصيات

الأعداد

ثمة أنواعٌ عدّة من الأعداد التي تُدمَج مع المنطق لربطها معاً وتشكيل أنظمة مجرّدة مثيرة للاهتمام، ويمكن أن تكون مفيدة بطرق مختلفة جداً.

نشأ المفهوم القديم للعدد ربما بسبب الحاجة إلى حساب عدد الأشياء الموجودة في مجموعة من الأشياء. وهكذا، فإنّ الأصابع، والحصى في الحاويات، والعلامات على الألواح الطينية، والشقوق على العصي، والعُقد على الحبال كلّها طرق مبكرة لتتبع الكميات المحسوبة وتمثيلها. وفي الآونة الأخيرة، خلال الألفي سنة الماضية أو نحو ذلك، كانت أنظمة الكتابة المختلفة تُستخدَم لتمثيل الأعداد. إنّ نظام الأعداد العربيّة الشائع اليوم مبني على أساس عشرة رموز (٠، ١، ٢، ... ٩) وقواعد الجمع بينهما في أيّ موقف أمرٌ بالغُ الأهمية (على سبيل المثال، في العدد ٢٠٣، يرمز العدد ٣ إلى ثلاثة، ويرمز العدد ٢ إلى مئتين، والصفر يرمز إلى عدم وجود عشرات إضافية). وفي النظام الثنائي، كاللغة الرياضية للحواسيب، يمكن دمج رمزين فقط، ٠ و ١، في سلسلة لتمثيل أيّ عدد. أما نظام الأعداد الروماني، الذي لا يزال مستخدماً لبعض الأغراض (ولكن نادراً ما يُستخدَم للحساب)، فيتكوّن من بضعة أحرف أبجدية وقواعد الجمع بينها (على سبيل المثال، IV أربعة، X عشرة، و XIV أربعة عشر، ولكن لا يوجد رمز للصفر).

ثمة أنواع مختلفة من الأعداد. الأعداد التي تأتي من عَدِّ الأشياء هي أعدادٌ صحيحة، وهي الأعداد التي نستخدمها في معظم الأحيان في الحياة اليومية. العددُ الصحيح في حدِّ ذاته هو تجريدٌ لعدد الأشياء الموجودة في مجموعة ما، ولكن ليس للأشياء نفسها. يمكن أن تشير كلمة "ثلاث" إلى تفاحات أو صخرات أو شخصيات أو أيّ شيء آخر، ولكن في معظم الحالات العملية، نريد أن نعرف ما هي الأشياء أيضاً وكم عددها. وهكذا، فإنّ الإجابة عن معظم الحسابات هي المقدار، وهو عدد متصل بالتسمية. لو سافر بعضُ الناس مسافة (١٦٥) ميلاً في ثلاث ساعات، فإنّ متوسط

سرعتهم هي (٥٥) ميلاً في الساعة، وليس (٥٥) فقط. وفي هذا المثال، فإنّ (١٦٥)، (٣)، (٥٥) هي أعداد: إنّ (١٦٥) ميلاً و(٣) ساعات و(٥٥) ميلاً في الساعة هي مقادير. تُعَدُّ التسميات مهمة في حفظ وتتبع معاني الأعداد.

الكسور هي أعداد نستخدمها للتعبير عن جزء من شيء أو للمقارنة بين كمّيتين. ويحدث نوعٌ شائع من المقارنة حين نقيس مقداراً ما كالطول أو الوزن، أي بالمقارنة مع وحدة قياسية كالمتر أو الرطل. ثمة نوعان من الرموز يستخدمان على نطاق واسع للدلالة على الكسور، لكنهما متعادلان عددياً. فعلى سبيل المثال، الكسر العادي ¾ (ثلاثة أرباع) والكسر العشري (٠,٧٥) كلاهما يمثّلان العدد نفسه، ولكن لـمّا كانا يُستخدمان للتعبير عن المقادير المقيسة، فإنهما تعبيران قد يكون لهما إلى حدٍّ ما تداعيات مختلفة: يمكن استخدام (¾) ليعني أقرب إلى (¾) من (٢/٤) أو (٤/٤)، في حين أنّ (٠,٧٥) قد يعني أنه أقرب إلى (٠,٧٥) من (٠,٧٤) أو (٠,٧٦)، وهو توصيف أدق. يمكن استخدام الأعداد الصحيحة والكسرية معاً: (١+ ١/٤)، و(١,٢٥)، ١٢٥/١٠٠، و٥/٤، على سبيل المثال، كلّها تعني الشيء نفسه عددياً.

يتوفّر مزيدٌ من المرونة في الرياضيات من خلال استخدام الأعداد السلبية، التي يمكن التفكير فيها من حيث خط الأعداد. يضع خطُّ العدد أعداداً متتالية على مدد متساوية على طول خط مستقيم يتمحور حول الصفر. تُسمّى الأعداد الموجودة على أحد جانبي الصفر موجبة، وتلك على الجانب الآخر سلبية. وإذا كانت الأعداد على يمين الصفر موجبة، فإنّ الأعداد على يساره سلبية. إذا كانت المسافة فوق مستوى سطح البحر موجبة، فإنّ المسافة تحت مستوى سطح البحر سلبية. إذا كان الدخل إيجابياً، فإنّ الدَّين سلبي. وإذا كان العدد ٢:١٥ هو الوقت المحدد للإقلاع،

فإنّ العدد ٢:١٠ "أقلُّ منه بخمس دقائق". إنّ النطاق الكامل للأعداد: موجب، وصفر، وسالب، يسمح بطرح أيّ عدد من أيّ عدد آخر، ولا يزال يعطي إجابة.

الحساب هو التلاعب بالأعداد والرموز الأخرى للتوصّل إلى بيان رياضي جديد. وقد تكون هذه الرموز الأخرى حروفاً مستخدمة لترمز إلى الأعداد. فعلى سبيل المثال، في محاولة لحل مشكلة معيّنة، قد نسمح لـ x بأن ترمز إلى أيّ عدد من شأنه تلبية شروط المشكلة. ثمة رموز أيضاً للدلالة إلى العمليات لإجرائها على رموز الأعداد، وأكثرها شيوعاً هي **+** و**-** و x و **/** (يوجد رموز أخرى أيضاً). العمليتان **+** و – بعضهما عكس بعضٍ تماماً، مثل x و **/**: تُبطل عملية ما تفعله عملية أخرى. يمكن أن يعني التعبير a **/** b "الكمية a مقارنة بالكمية b" أو "a هي العدد الذي تحصل عليه إذا قسّمت ١ على b " أو "a جزء من الحجم 1 **/** b". الأقواس في a (b + c) تخبرنا بضرب a في مجموع b و c. يدرسُ علماءُ الرياضيات أنظمةَ الأعداد لاكتشاف خصائصها وعلاقاتها ووضع قواعد للتلاعب بالرموز الرياضية بطرق تعطي نتائج صحيحة.

للأعداد استخدامات عدّة مختلفة، بعضها غير كمي أو منطقي تماماً. في العد، على سبيل المثال، يحتوي الصفر على معنى خاص للعدم. ومع ذلك، على مقياس درجة الحرارة العامة، فإنّ الصفر مجرّد موقف تعسّفي، ولا يعني غياب درجة الحرارة (أو أيّ شيء آخر). يمكن استخدام الأعداد لترتيب الأشياء والإشارة فقط إلى أيهما أعلى أو أقل من الآخرين، لا لتحديد المقدار (على سبيل المثال، ترتيب الفائزين في السباق، أو عناوين الشوارع، أو الدرجات في الاختبارات النفسية، التي ليس للاختلافات العددية فيها

أي معنى موحّد). يشيع استخدام الأعداد ببساطة لتحديد الأشياء دون أيّ ترتيب ذي معنى، كما في أرقام الهواتف، وكما هي مُستخدَمة على القمصان الرياضية ولوحات الترخيص.

وبصرف النظر عن تطبيقها في عالم التجربة اليومية، تُعَدُّ الأعداد نفسها مثيرةً للاهتمام. وقد طرح الناس في عصور التاريخ القديمة أسئلةً مثل: هل يوجد عدد أكبر؟ وعدد أصغر؟ هل يمكن الحصول على كل عدد ممكن بقسمة عدد صحيح على آخر؟ وبعض الأعداد، مثل نسبة محيط الدائرة إلى قطرها (pi)، يجذب خيال كثير من الناس، وليس فقط علماء الرياضيات.

العلاقات الرمزية

يمكن تمثيل الأعداد والعلاقات فيما بينها في بيانات رمزية توفّر طريقة للنمذجة والتحقيق وعرض علاقات العالم الحقيقي. قلّما نهتم بكمية أو فئة واحدة. بدلاً من ذلك، نهتم عادةً بالعلاقة بينهما، أي العلاقة بين العمر والطول ودرجة الحرارة ووقت اليوم، والحزب السياسي والدخل السنوي والجنس والمهنة. يمكن التعبير عن هذه العلاقات باستخدام الصور (والمخططات والرسوم البيانية عادةً)، أو الجداول أو المعادلات الجبرية أو الكلمات. تفيدنا الرسوم البيانية بوجه خاص في فحص العلاقات بين الكميات.

يستكشف الجبر، وهو فرعٌ من فروع الرياضيات، العلاقات بين كميات مختلفة من خلال تمثيلها على أنها رموز والتلاعب في العبارات التي تتعلّق بالرموز. تشير المعادلة الرمزية في بعض الأحيان إلى أنّ قيمة واحدة أو مجموعة من القيم ستجعل المعادلة صحيحة. فعلى سبيل المثال، تكون المعادلة ($2A+4=10$) صحيحة إذا (وفقط إذا) كانت ($A = 3$). لكن بوجه عام تسمح

المعادلة الجبرية الكمية التي يجب أن تتخذ أي نطاق من القيم وتشير إلى كل قيمة ما تحمله القيمة المقابلة لكمية أخرى. فعلى سبيل المثال، تحدد المعادلة **($A = s^2$)** قيمة المتغيّر **(A)**، التي تتوافق مع أيّ خيار لقيمة المتغيّر **(s)**.

ثمة أنواعٌ كثيرة من العلاقات الممكنة بين متغيّر وآخر. تتضمّن المجموعة الأساسية من الأمثلة البسيطة: **(١)** التناسب المباشر **(**تحافظ كمية واحدة دائماً على النسبة نفسها مقابل نسبة أخرى**)**، **(٢)** التناسب العكسي **(**كلّما ازدادت كمية، انخفضت كمية أخرى تناسبياً**)**، **(٣)** علاقة متسارعة **(**كلّما ازدادت كمية بطريقة موحدة، تزداد الأخرى على نحو أسرع فأسرع**)**، **(٤)** التقارب **(**كلّما ازدادت كمية بلا حدود، تقترب الكمية الأخرى أكثر فأكثر من قيمة محددة**)**، **(٥)** دورية **(**كلّما ازدادت كمية واحدة، ازدادت الأخرى وتناقصت في دورات متكررة**)**، و **(٦)** متصاعدة **(**كلّما تغيّرت كمية بسلاسة، تغيّرت الأخرى في قفزات نحو الأعلى**)**.

يمكن التلاعب بالمعادلات الرمزية بوساطة قواعد المنطق الرياضي لإنتاج معادلات أخرى من العلاقة نفسها، التي قد تُظهِر بعض الجوانب المثيرة للاهتمام بوضوح أكثر. فعلى سبيل المثال، يمكننا القول رمزياً إنّ العلاقة بين عرض الصفحة **(P)**، وطول نوع الخط، **(L)**، وعرض كل هامش رأسي **(m)**: **($P = L + 2m$)**. هذه المعادلة هي نموذج مفيد لتحديد بنية الصفحة. يمكن أن يُعاد ترتيبها منطقياً لإعطاء بيانات أخرى صحيحة للعلاقة الأساسية نفسها: على سبيل المثال، المعادلات **($L = P-2m$)**، أو **($m = (P-L)/2$)**، التي قد تكون ملاءمة أكثر لحساب القيم الفعلية لـ **(L)** أو **(m)**.

قد نرغب في بعض الحالات في العثور على قيم تُرضي علاقتين مختلفتين أو أكثر في الوقت نفسه. فعلى سبيل المثال، يمكننا أن نضيف إلى نموذج بنية

الصفحة شرطاً آخر: يجب أن يكون طول نوع الخط ٢/٣ من عرض الصفحة: (L = 2/3 P). لدى الجمع بين هذه المعادلة و (m = (P-L)/2)، نصل منطقياً إلى النتيجة بأنّ (m = 1/6 P). تحدد هذه المعادلة الجديدة، المشتقة من المعادلتين الأُخريين معاً، القيم الوحيدة لـ (m)، التي ستناسب كلتا العلاقتين. في هذا المثال البسيط، يمكن تحديد مواصفات عرض الهامش بسهولة دون استخدام العلاقات الرمزية. غير أنه في حالات أخرى يكون التمثيل الرمزي والتلاعب ضروريين للوصول إلى حل، أو رؤية ما إذا كان الحل ممكناً.

وفي كثير من الأحيان، فإنّ الكمية التي تهمنا أكثر هي مدى سرعة شيء ما في التغيير بدلاً من التغيير نفسه. وفي بعض الحالات، فإنّ معدّل التغيير لكمية واحدة تعتمد على كمية أخرى (على سبيل المثال، إنّ التغيير في تسارع الجسم المتحرك يتناسب مع القوة المطبّقة عليه). وفي بعض الحالات الأخرى، يكون معدّل التغيير متناسباً مع الكمية نفسها (على سبيل المثال، عدد الفئران الجديدة المولودة في مجتمع الفئران يعتمد على عدد الفئران الموجودة بالفعل وجنسها).

الأشكال

يمكن تمثيل الأنماط المكانية بمجموعة صغيرة إلى حدٍّ ما من الأشكال الهندسية الأساسية والعلاقات التي لها تمثيل رمزي مقابل. ولفهم العالم، يعتمد عقلُ الإنسان إلى حدٍّ كبير على إدراكه للأشكال والأنماط: القطع الأثرية من حولنا (مثل المباني والمركبات والألعاب والأهرامات) والأشكال المألوفة التي نراها في الطبيعة (مثل الحيوانات، وأوراق الشجر،

والحجارة، والأزهار، والقمر، والشمس) من حيث شكلها الهندسي. وقد أصبحت بعض الأفكار والمصطلحات الهندسية جزءاً من لغة الحياة اليومية. فعلى الرغم من أنّ الكائنات الحقيقية لا تتطابق تماماً مع شكل هندسي معين، تتقارب معه إلى حدٍّ ما، إذ إنّ ما هو معروف عن الأشكال الهندسية والعلاقات يمكن تطبيقه على الأشياء. ولأغراض كثيرة، يكفي أن يكون المرء على دراية بالنقاط والخطوط والأسطح والمثلثات والمستطيلات والمربّعات والدوائر والأشكال البيضوية، والمواد الصلبة المستطيلة والمجالات، وعلاقات التشابه والتطابق، والعلاقات المحدّبة والمقعّرة والمتقاطعة والتماسية، والزوايا بين الخطوط أو الأسطح، والعلاقات المتوازية والعمودية بين الخطوط والأسطح، وأشكال التناظر مثل الإزاحة والانعكاس والدوران، ونظرية فيثاغورس.

يمكن أن يكون لكل من الشكل والمقياس عواقب مهمة على أداء الأنظمة. فعلى سبيل المثال، تزيد العلاقات المثلثية من الصلابة، في حين تقلّل الأسطح الملساء من الاضطراب، ويقلّل وعاء كروي من مساحة السطح لأيّ كتلة أو حجم معين. إنّ تغيير حجم الأشياء مع الحفاظ على الشكل نفسه يمكن أن يكون له تأثيرات عميقة بسبب هندسة القياس: تختلف المساحة حسب مربّع الأبعاد الخطية، ويختلف الحجم حسب المكعب. ومن ناحية أخرى، تبدو بعض أنواع الأنماط المعروفة باسم «الجزيئات الكسرية» المثيرة للاهتمام على نحو خاص أنها يشبه بعضها بعضاً لدى ملاحظتها في أيّ نطاق مهما كان، وتبدو بعض الظواهر الطبيعية (مثل أشكال السحب والجبال والخطوط الساحلية) على هذا النحو.

يمكن أيضاً التعبير عن العلاقات الهندسية في رموز وأعداد والعكس صحيح. تُعَدُّ أنظمة التنسيق وسائل مألوفة للأعداد المتعلّقة بالهندسة.

وأبسط مثال هو أنّ أيّ عدد يمكن تمثيله على أنه نقطة فريدة على خط ما، إذا حددنا أولاً نقاطاً لتمثيل العددين صفر وواحد. وعلى أيّ سطح مستو، يمكن تحديد المواقع على نحو فريد بزوج من الأعداد أو الإحداثيات، كما هي الحال في المسافة من الجانب الأيسر لخريطة ما والمسافة من الأسفل، أو المسافة والاتجاه من مركز الخريطة.

تُعَدُّ أنظمة التنسيق ضروريةً لعمل خرائط دقيقة، ولكن ثمة بعض التفاصيل الدقيقة. فعلى سبيل المثال، لا يمكن تمثيل السطح الكروي تقريباً للأرض على خريطة مسطّحة دون تشويه. وعلى بُعد بضع عشرات من الأميال، لا تكاد تكون المشكلة ملحوظة، لكن على مقياس مئات أو آلاف الأميال، يظهر التشويه واضحاً بالضرورة. يمكن عمل مجموعة متنوعة من التمثيلات التقريبية، وتتضمّن كل مجموعة منها نوعاً مختلفاً من التشويه للشكل أو المنطقة أو البُعد. ثمة نوعٌ شائع من الخرائط يبالغ في المناطق الظاهرة في المناطق القريبة من القطبين (على سبيل المثال، غرينلاند وألاسكا)، في حين تحرّف أنواعٌ مفيدة أخرى أقصر مسافة بين مكانين، أو حتى ما هو مجاور لشيء ما.

تشمل المعالجة الرياضية للشكل أيضاً التصوير البياني للعلاقات العددية والرمزية. ويتم تصوّر الكميات بأنها أطوال أو مناطق (كما في المخططات الشريطية والدائرية) أو مسافات من محاور المرجع (كما في الرسوم البيانية الخطية أو المخططات المبعثرة). يمكّن العرض البياني من تعرّف الأنماط بسهولة، التي قد لا تكون واضحة بطريقة أخرى: على سبيل المثال، الأحجام النسبية (بوصفها نسباً أو اختلافات)، ومعدّلات التغيير (مثل الانحدرات)، والانقطاعات

المفاجئة (مثل الفجوات أو القفزات)، والتكتلات (مثل المسافات بين النقاط المرسومة)، والاتجاهات (مثل تغيير الانحدرات أو التوقعات). تساعد رياضيات العلاقات الهندسية أيضاً في تحليل تصميم البنى المعقدة (مثل جزيئات البروتين أو أجنحة الطائرات) والشبكات المنطقية (مثل ارتباطات خلايا الدماغ أو أنظمة الهاتف بعيدة المدى).

عدم اليقين

الاحتمال

إنّ معرفتنا بكيفية عمل العالم محدودة بخمسة أنواع على الأقل من عدم اليقين.

أولاً: عدم كفاية المعرفة بكل العوامل التي قد تؤثّر في شيء ما.

ثانياً: عددٌ غير كافٍ من الملحوظات لهذه العوامل.

ثالثاً: عدم الدقة في الملحوظات.

رابعاً: نقص النماذج المناسبة لدمج المعلومات كلّها على نحو هادف.

خامساً: عدم كفاية القدرة على إجراء الحساب من النماذج.

من الممكن التنبؤ ببعض الأحداث بدقة كبيرة (كالكسوف)، والبعض الآخر بدقة مقبولة (كالانتخابات)، وبعضها بقليل من اليقين (كالزلازل). وعلى الرغم من استحالة تحقيق اليقين المطلق، نستطيع في كثير من الأحيان تقدير الاحتمالية، سواء كانت كبيرة أم صغيرة، أنّ بعض الأشياء سوف تحدث، وما هو هامش الخطأ المحتمل الذي يمكن تقديره.

من المفيد عادةً التعبير عن الاحتمالية على أنها احتمالٌ رقمي. نستخدم عادةً مقياس احتمالية من ٠ إلى ١، إذ يشير ٠ إلى اعتقادنا بأنّ حدثاً معيناً لن يحدث بالتأكيد، في حين يشير ١ إلى اعتقادنا بأنه من المؤكد حدوثه، وأيّ شيء بينهما يشير إلى عدم اليقين. فعلى سبيل المثال، يشير احتمال ٩ إلى الاعتقاد بوجود ٩ فرص من أصل ١٠ من حَدَثٍ متوقع الحدوث، ويشير احتمال ٠٠١ إلى الاعتقاد بأنّ ثمة فرصة واحدة فقط من بين ١٠٠٠ فرصة لحدوثها. وبالمثل، يمكن أيضاً التعبير عن الاحتمالات بأنها نسب مئوية تتراوح من ٠ في المئة (أي لا توجد فرصة) إلى ١٠٠ في المئة (وهو اليقين). يمكن التعبير عن عدم اليقين أيضاً في صورة احتمالات: يمكن التعبير عن احتمال ٨ لحادثة ما بأنه ٨ إلى ٢ (أو ٤ إلى ١) لصالح حدوثها.

ثمة طريقة لتقدير احتمال وقوع حدث ما وهي النظر في ماضي الأحداث. إذا كان الوضع الحالي مشابهاً للأوضاع الماضية، فيمكننا أن نتوقع نتائج مماثلة إلى حدٍّ ما. فعلى سبيل المثال، إذا أمطرت بنسبة ١٠ في المئة من أيام الصيف في العام الماضي، فيمكننا أن نتوقع أنها ستمطر بنحو ١٠ بالمئة من أيام الصيف هذا العام. وهكذا، فإنّ التقدير المعقول لاحتمالية هطل الأمطار في أي يوم صيفي محدد هو ٠.١ فرصة واحدة من أصل عشرة. يمكن للمعلومات الإضافية أن تغيّر تقديرنا للاحتمال، فعلى سبيل المثال، ربما تهطل الأمطار بنسبة ٤٠ في المئة في الأيام الملبّدة بالغيوم في الصيف الماضي ومن ثَمَّ، إذا كان يومنا غائماً، فسيرتفع التقدير من ١ إلى ٤ لاحتمال هطل الأمطار. كلّما ازدادت الطرق التي نهتم بها وكان لدينا بيانات لها، كان من المرجّح أن يكون تقديرنا أفضل.

ثمة نهجٌ آخر لتقدير الاحتمالات وهو النظر في النتائج البديلة المحتملة لحدث معين. فعلى سبيل المثال، إذا كان لدينا (٣٨) فتحة متساوية في الاتساع على عجلة الحظ (أو الروليت)، فقد نتوقع أن تقع الكرة في كل فتحة بنحو ١/٣٨ من المرّات. تعتمد تقديرات نظرية الاحتمال هذه على افتراض أنّ كل النتائج المحتملة قد حُسِبَت، ومن المرجّح أن تحدث كلّها بالقدر نفسه، ولكن إذا لم يكن هذا الأمر صحيحاً - على سبيل المثال، إذا كانت الفتحات غير متساوية في الحجم أو طارت الكرة في بعض الأحيان خارج العجلة - فإنّ الاحتمال المحسوب سيكون خطئاً.

تُعَدُّ الاحتمالات مفيدةً للغاية في التنبؤ بنسب النتائج في أعداد كبيرة من الأحداث. في عملية قذف العملة المعدنية في الهواء لدينا فرصة بنسبة ٥٠ في المئة لتكون نقشاً، على الرغم من أن الشخص عادةً لا يحصل على نسبة ٥٠ في المئة بالضبط في عدد زوجي من الرميات. كلّما قذفها المرء بعدد مرّات أكثر، قلَّ احتمالُ الحصول على عددٍ دقيق بنسبة ٥٠ في المئة، لكنه يكون أقرب إلى نسبة النقش بـ ٥٠ في المئة من الناحية النظرية. وبالمثل، يمكن لشركات التأمين أن تطرح عادةً نسبة مئوية تقارب نقطة أو اثنتين للتنبؤ بنسبة الأشخاص الذين يبلغون من العمر ٢٠ عاماً، الذين سيموتون في عام معين، لكن هذا الاحتمال يتراجع بسبب إجمالي آلاف الوفيات، وليس لديها أيّ قدرة على الإطلاق للتنبؤ بما إذا كان الأشخاص في عمر العشرين سيموتون. وفي سياقات أخرى أيضاً، من المهم التمييز بين النسبة والعد الفعلي. حين يكون ثمة عدد كبير جداً من الأحداث المماثلة، فإنّ نتيجةً ذات احتمال ضئيل للغاية يمكن أن تحدث في كثير من الأحيان إلى حدٍّ

ما. فعلى سبيل المثال، قد يبدو اختبارٌ طبي مع احتمال أن يكون صحيحاً بنسبة ٩٩ في المئة دقيقاً للغاية، لكن إذا أُجري هذا الاختبار على مليون شخص تقريباً، فسيحصل ١٠٠٠٠ فرد منهم على نتائج خاطئة.

تلخيص البيانات

توجد المعلومات في كل مكان حولنا وبكميات كبيرة جداً عادةً، إذ لا نكون قادرين على فهم معناها. يمكن تمثيل مجموعة من البيانات بوساطة بعض الخصائص الموجزة، التي قد تكشف أو تخفي جوانب مهمة منها. الإحصاء هو شكل من أشكال الرياضيات التي تُطوّر طرقاً مفيدة لتنظيم كميات كبيرة من البيانات وتحليلها. وللحصول على فكرة ما طبيعة مجموعة البيانات، على سبيل المثال، يمكننا رسم كل حالة على خط الأعداد، ثم فحص الحالة لمعرفة أماكن تراكم الحالات، إذ ينفصل بعضها عن بعضه الآخر، حيث توجد الحالات الأعلى والأدنى وما إلى ذلك. وبدلاً من ذلك، يمكن تمييز مجموعة البيانات بطريقة التلخيص من خلال وصف مكان وسطها ومقدار الاختلاف هناك حول هذا الوسط.

الإحصاء الأكثر شيوعاً لتلخيص توزيع البيانات هو المتوسط أو المتوسط المشترك، ولكن يجب توخّي الحذر لدى استخدامه أو تفسيره. حين تكون البيانات منفصلة (مثل عدد الأطفال في كل أسرة)، قد لا يكون المتوسط قيمةً محتملة (على سبيل المثال، عدد الأطفال ٢,٢). حين تميل البيانات بشدة نحو طرف واحد، فإنّ المتوسط قد لا يكون قريباً من القيمة النموذجية. فعلى سبيل المثال، جزءٌ صغير من الناس الذين لديهم دخل شخصي كبير جداً أن يرفع المتوسط أعلى بكثير مما يمكن أن يُخفضه معظم

الأشخاص المكدّسين في الطرف الأدنى. يُعَدُّ الوسيط، الذي يقسم النصف السفلي من البيانات عن النصف العلوي، أكثر أهمية لأغراض كثيرة. حين يكون هناك فقط عدد قليل من القيم المنفصلة للكمية، فقد يكون النوع الأكثر إفادة للمتوسط هو النمط، وهو القيمة المفردة الأكثر شيوعاً. فعلى سبيل المثال، العدد الأكثر شيوعاً للسيارات لكل أسرة أمريكية هو ١.

تُهمِلُ المتوسطات عموماً في حدِّ ذاتها الاختلاف في البيانات، وقد تنطوي على تجانس أكثر مما هو موجود. فعلى سبيل المثال، يبلغ متوسط درجة الحرارة على كوكب عُطارد نحو ١٥ درجة فهرنهايت، وهذا لا يبدو سيئاً للغاية، إلى أن ينظر المرء أنه يتراوح بين ٣٠٠ درجة فهرنهايت فوق الصفر و٣٠٠ درجة فهرنهايت تحت الصفر. يمكن أن يكون إهمال الاختلاف بوجه خاص مضلّلاً لدى مقارنة المتوسطات. فعلى سبيل المثال، حقيقة أنّ متوسط طول الرجال أكبر بوضوح من طول النساء يمكن أن يُذكَر على النحو الآتي: "الرجال أطول من النساء"، في حين أنّ كثيراً من النساء أطول من كثير من الرجال. إذن، لتفسير المتوسطات، من المهم الحصول على معلومات حول التباين داخل المجموعات، مثل إجمالي نطاق البيانات أو النطاق الذي يغطيه متوسط ٥٠ في المئة. إنّ مخطط البيانات الموجودة كلّها على طول خط الأعداد يجعل من الممكن رؤية كيف تنتشر البيانات.

يتم تزويدنا في معظم الأحيان ببيانات موجزة تشير إلى إظهار وجود علاقة بين متغيّرين، لكنها تفتقر إلى المعلومات الأساسية. فعلى سبيل المثال، إنّ الادعاء بأنّ "أكثر من ٥٠ في المئة من الأشخاص المتزوجين الذين لديهم ديانات مختلفة يصلون إلى الطلاق في نهاية المطاف" لن يخبرنا كثيراً عن

العلاقة بين الدين والطلاق ما لم نعرف أيضاً النسبة المئوية للأزواج، الذين لديهم الدين نفسه وحصلوا على الطلاق. يمكن أن تخبرنا مقارنة النسبتين ما إذا كانت ثمة علاقة حقيقية بينهما. ومع ذلك، فإنّ الحذر ضروري بسبب التحيّز المحتمل في كيفية اختيار العِيْنَات، ولأنّ الاختلافات في النسبة المئوية يمكن أن تحدث فقط من خلال المصادفة في اختيار العِيْنَة. يجب أن تتضمّن التقارير الصحيحة حول هذه المعلومات وصفاً للمصادر المحتملة للتحيّز وتقديراً لعدم اليقين الإحصائي في المقارنة.

ترتبط كمّيتان ارتباطاً إيجابياً إذا كان ما نحصل عليه من واحدة يرتبط بوجود مزيدٍ من الأخرى. (يُقصد بالارتباط السلبي أنّ ما نحصل عليه من واحدة يرتبط بوجود قليل من الأخرى). ولكن حتى الارتباط القوي بين كميتين لا يعني بالضرورة أنّ إحداهما سببٌ للأخرى. ويمكن أن تتسبّب أيّ كمية منهما في حدوث الأخرى، أو يمكن أن يكون كلتاهما نتيجةً مشتركة لعامل ثالث ما. فعلى سبيل المثال، يرتبط متوسط العمر المتوقع في المجتمع على نحو إيجابي بمتوسط عدد الهواتف في كل أسرة. ويمكن للمرء أن يبحث عن شرح لكيفية امتلاك مزيدٍ من الهواتف بأنّ ذلك يحسّن صحةَ الفرد، أو لماذا يشتري الأشخاص الأكثر صحة مزيداً من الهواتف. لكن على الأرجح كلا الصحة وعدد الهواتف نتيجة لمستوى الثروة العام للمجتمع، الأمر الذي يؤثّر في الجودة العامة للتغذية والرعاية الطبية، فضلاً عن ميل الناس إلى شراء الهواتف.

أخذ العينات

نحصل على معظم ما نتعلّمه عن العالـم من معلومات تستند إلى عِيْنَات مما ندرسه: عِيْنَات، على سبيل المثال، من التكوينات الصخرية، أو

ضوء النجوم، أو مشاهدي التلفاز، أو مرضى السرطان، أو الحيتان، أو الأعداد. وتُستخدَم العِيْنَات لأنها قد تكون مستحيلة أو غير عملية أو مكلفة للغاية لفحص كل شيء؛ ولأنَّ العِيْنَة كافية في معظم الأحيان لمعظم الأغراض. ولدى استخلاص النتائج حول كل شيء من عِيْنَات منه، يجب أن يكون هناك شاغلان رئيسان يؤخذان في الحسبان.

أولاً: يجب أن نكون متيقظين للتحيّز المحتمل الناتج عن كيفية اختيار العِيْنَة. وتشمل المصادر الشائعة للتحيّز في أخذ العِيْنَات الملاءمة (على سبيل المثال، إجراء مقابلات فقط مع أصدقاء المرء، أو التقاط الصخور السطحية فقط)، والاختيار الذاتي (على سبيل المثال، دراسة الأشخاص المتطوعين أو الذين يُرجِعون الاستبانات فقط)، وعدم شمول أولئك الذين تملّصوا من الأمر (على سبيل المثال، اختبار الطلاب فقط الذين يبقون في المدرسة، أو المرضى فقط الذين يلتزمون دورةَ العلاج)، واتخاذ قرار باستخدام البيانات التي تدعم تصوّراتنا المسبقة.

أما الشاغل الرئيس الثاني الذي يحدّد فائدة العِيْنَة فهو حجمها. إذا أخذنا العِيْنَات دون تحيّز في الطريقة، فكلّما كانت العِيْنَة أكبر، ازدادت احتمالية تمثيل الكل بدقة. وهذا لأنه كلّما كانت العينة أكبر، قلّت تأثيرات الاختلافات العشوائية البحتة في خصائصها الموجزة. إنّ فرصة استخلاص نتيجة خاطئة تقلُّ مع زيادة حجم العِيْنَة. فعلى سبيل المثال، بالنسبة إلى العِيْنَات المختارة عشوائياً، فإنّ وجود ٦٠٠ من العِيْنَة من أصل ١٠٠٠ لديهم مزيّة معيّنة هو دليلٌ أقوى بكثير على أنّ أغلبية السكان الذين استُخلِصُوا منها لديهم هذه المزيّة مقابل إيجاد أنّ ٦ عناصر من عِيْنَة مؤلَّفة من ١٠ (أو حتى ٩ من أصل ١٠) يمتلكونها. ومن ناحية أخرى، فإنّ الحجم

الفعلي لإجمالي السكان الذي أُخذت منه العِيْنَة له تأثير ضئيل على دقة نتائج العِيْنَة. فالعِيْنَة العشوائية المؤلّفة من ١٠٠٠ سيكون لها هامش الخطأ نفسه سواء استُخلِصَت من عدد سكان يصل إلى ١٠٠٠٠ أم من عدد سكانها نفسه البالغ ١٠٠ مليون نسمة.

التفكير المنطقي

لدى بعض جوانب التفكير المنطقي قواعد منطقية واضحة، في حين أنّ لدى البعض الآخر فقط مبادئ توجيهية، ولا يزال لدى الآخرين مساحة غير محدودة تقريباً للإبداع (والخطأ بطبيعة الحال). تتطلّب الحجّة المقنعة بيانات صحيحة وصلات فعّالة فيما بينها. ومع ذلك، فإنّ المنطق الرسمي يتعلّق بصحة الروابط بين العبارات، وليس بما إذا كانت البيانات صحيحة في واقع الأمر. من الصحيح منطقياً أن نناقش بأنه إذا كان بإمكان الطيور كلّها أن تطير، وأنّ البطريق هو من الطيور، فيمكن أن تطير طيور البطريق، لكنّ هذا الاستنتاج غير صحيح ما لم تكن الفرضيات صحيحة: هل تطير الطيور كلّها حقاً، وهل يُصنَّف البطريق من الطيور حقاً؟ إنّ فحص صحة الفرضيات مهم للحصول على تفكير منطقي جيد مثلما يكون مهماً الحصول على المنطق الذي يُبنى عليها. في هذه الحالة، نظراً لأنّ المنطق صحيح لكن الاستنتاج خطأ (لا يمكن لطيور البطريق أن تطير)، يجب أن تكون إحدى الفرضيتين أو كلتاهما خاطئة (لا يمكن لكل الطيور أن تطير، و / أو لا يُصنَّف البطريق من الطيور).

يمكن بناء الحجج المنطقية المعقدة للغاية من عدد صغير من الخطوات المنطقية، التي تتعلّق بالاستخدام الدقيق للمصطلحات الأساسية "إذا"،

و "و"، "أو"، و "لا". فعلى سبيل المثال، يتضمّن التشخيص الطبي وضع سلاسل المنطق في فروع مثل: "إذا كان المريض مصاباً بمرض (X) أو مرض (Y) وكانت لديه أيضاً نتيجة المختبر (B)، ولكن ليس لديه تاريخ (C)، فإنّ هذا المريض يجب أن يحصل على العلاج (D)". وقد يتطلّب حلّ مثل هذه المشكلة المنطقية معرفة الخبراء بكثير من العلاقات، والوصول إلى كثير من البيانات لدمجها في العلاقات، ومهارة في استنتاج سلاسل متفرعة لعمليات المنطق. ولأنّ الحواسيب لديها قدرة على تخزين أعداد كبيرة من العلاقات والبيانات واسترجاعها، ويمكنها أن تؤدي بسرعة سلسلة طويلة من الخطوات المنطقية، فإنها تُستخدَم على نحو متزايد لمساعدة الخبراء في حلّ المشكلات المعقدة التي كان من الصعب جداً حلّها، أو من المستحيل حلّها، غير أنه لا يمكن حلّ المشكلات المنطقية كلّها بوساطة الحواسيب.

يمكن بسهولة تشويه الارتباطات المنطقية. فعلى سبيل المثال، إنّ الافتراض القائل إنّ كل الطيور تستطيع الطيران لا يعني منطقياً أنّ كل المخلوقات التي تستطيع الطيران هي من الطيور. يبدو مثل هذا المثال البسيط واضحاً، لكنّ التشويه يحدث في معظم الأحيان، ولا سيّما في المواقف المشحونة عاطفياً. فعلى سبيل المثال، يرفض كل السجناء المذنبين أن يشهدوا ضد أنفسهم. يرفض السجين سميث أن يشهد ضد نفسه. لذا، فإنّ السجين سميث مذنبٌ.

تَنتُجُ التشوّهات في المنطق من عدم التمييز بين الشروط اللازمة والشروط الكافية. والشرط الذي يكون ضرورياً لنتيجة ما مطلوبٌ دائماً، لكنه قد لا يكون كافياً في حدِّ ذاته - أن تكون مواطناً أمريكياً أمرٌ ضروري لتُنتَخَب رئيساً، على سبيل المثال، لكنّ هذا ليس كافياً. الشرط الذي يكون

كافياً لعاقبة ما يكون كافياً في حدِّ ذاته، ولكن قد تكون ثمة طرق أخرى للوصول إلى النتيجة نفسها - الفوز في يانصيب الدولة كافٍ لتصبح ثرياً، لكنّ ثمة طرقاً أخرى. ومع ذلك، قد يكون الشرط ضرورياً وكافياً. فعلى سبيل المثال، إنّ تلقي غالبية التصويت الانتخابي ضروري لكي يُنتخَب الشخص رئيساً وهو كافٍ لفعل ذلك، لأنه السبيل الوحيد.

للمنطق فائدة محدودة في إيجاد حلولٍ لمشكلات كثيرة. وخارج النماذج المجرّدة، لا يمكننا في كثير من الأحيان أن نؤسس بثقة حقيقة الفرضيات أو الروابط المنطقية بينها. يتطلّب المنطق الدقيق أن نتمكّن من تقديم مثل هذه التصريحات مثل: "إذا كان (X) صحيحاً، فإنّ (Y) صحيحٌ أيضاً" (الكلبُ الذي ينبح لا يَعُضُّ)، و "(X) هو صحيح" (الكلب الذي اسمه سبوت ينبح). غير أنّ كل ما نعرفه في معظم الحالات هو أنّ: "إذا كان (X) صحيحاً، فإنّ (Y) صحيحٌ أيضاً". (لا يَعُضُّ الكلبُ الذي ينبح عادةً) و"يبدو (X) صحيحاً تقريباً في كثير من الأحيان" (ينبحُ سبوت عادةً). لذا، يجب عموماً استبدال المنطق الصارم باحتمالات أو أنواع أخرى من التفكير، التي تؤدي إلى نتائج أقل تأكيداً بكثير، على سبيل المثال، للادعاء أنه في المتوسط، ستهطل الأمطار قبل المساء بنسبة (70) في المئة من الأيام التي يكون فيها طقس الصباح مشابهاً لظروف الطقس اليوم.

إذا طبّقنا استنتاجاً منطقياً على قاعدة عامة (كل الكائنات التي لها ريش تطير)، فيمكننا أن نقدّم استنتاجاً حول حالة معيّنة أو فئة من الحالات (طيور البطريق تطير)، ولكن من أين تأتي القواعد العامة؟ إنها في مجملها تعميمات استنبطناها من ملحوظات، إذ وجدنا عدداً من الحالات المتشابهة وخمّنا أنّ ما هو صحيح منها ينطبق على كل فئاتها ("كل مخلوق ذي ريش

رأيته يمكنه الطيران، لذا فإنها كلّها ربما تستطيع الطيران")**.** أو قد تبرز قاعدة عامة من خيال المرء، بوسائل لا يمكن تتبعها، على أمل أن تستطيع بعض الجوانب التي يمكن ملاحظتها إثبات أنّ الظواهر يمكن أن نجعلها تبرز منها منطقياً **(**على سبيل مثال**:** "ماذا لو كان صحيحاً أنّ الشمس مركز حركة كل الكواكب بما فيها كوكب الأرض؟ هل يمكن لمثل هذا النظام أن يُنتِجَ الحركات الظاهرة في السماء؟")**.**

بمجرّد أن نفترض قاعدة عامة، بأيّ وسيلة كانت، يؤدي المنطق دوراً في التحقق من صحتها**.** إذا عثرنا على حالة مخالفة **(**مخلوقٌ ذو ريش لا يستطيع الطيران**)**، فإنّ الفرضية لا تبقى صحيحة**.** ومن ناحية أخرى، فإنّ الطريقة الوحيدة والمنطقية لإثبات أنّ فرضية عامّة حول فئة ما هي صحيحة لفحص كل الحالات الممكنة **(**أي كل الطيور**)**، التي تكون صعبة من حيث الممارسة ومستحيلة في بعض الأحيان حتى من حيثُ المبدأُ**.** لذا، فإنّ إثبات أنّ الفرضيات العامّة خاطئة من الناحية المنطقية أسهلُ من إثبات أنها صحيحة**.** فمن الممكن أن تثبت الحواسيب الآن في بعض الأحيان حقيقة التعميمات الرياضية المشكوك فيها على نحو مقنع، حتى لو لم تُثبَت، عن طريق اختبار أعداد ضخمة من حالات معيّنة**.**

يمكن للعلم استخدام المنطق الاستنتاجي إذا كانت المبادئ العامّة عن الظواهر قد افتُرِضَت، لكنّ مثل هذا المنطق لا يمكن أن يؤدي إلى تلك المبادئ العامّة**.** نتوصّل عادةً إلى المبادئ العلمية عن طريق التعميم من عدد محدود من التجارب**:** على سبيل المثال، إذا كانت كل المخلوقات ذات الريش الملحوظة تفقس من البيض، فإنّ كل المخلوقات ذات الريش تفقس من البيض أيضاً**.** وهذا نوعٌ مهم جداً من التفكير المنطقي حتى لو كان عدد

المشاهدات قليلاً (على سبيل المثال، إنّ احتراق المرء بالنار مرة واحدة قد يكون كافياً لجعل شخص ما حذراً من النار مدى الحياة). ومع ذلك، فإنّ ميلنا الطبيعي للتعميم يمكن أن يضلّلنا أيضاً. إنّ شعور المرء بالمرض بعد يوم من كسر المرآة قد يكون كافياً لجعل شخص ما يخاف المرايا المكسورة مدى الحياة. وعلى مستوى أكثر تعقيداً، فإنّ إيجاد أنّ كثيراً من المرضى يعانون الأعراض نفسها بعد استخدام دواء جديد قد يدفع الطبيب إلى التعميم بأنّ كل المرضى المتشابهين سيتعافون باستخدامه، على الرغم من أنّ التعافيَ قد يحدث فقط عن طريق المصادفة.

إنّ ميل البشر إلى التعميم له بعض الجوانب الدقيقة. وبمجرّد أن تُشكَّل هذه الجوانب، فإنّ العموميات ستميل إلى التأثير في إدراك الناس وتفسير الأحداث. وبعد أن ذكرنا التعميم بأنّ الدواء سيساعد كل المرضى الذين يعانون أعراضاً معيّنةً، على سبيل المثال، قد يفسّر الطبيب على الأرجح حالة المريض بأنها تحسّنت بعد تناول ذاك الدواء، حتى لو كان هذا الأمر مشكوكاً فيه. ولمنع مثل هذه التحيّزات في البحث، يستخدم العلماء عادةً إجراءً "أعمى" يكون فيه الشخص الذي يراقب النتائج أو يفسّرها هو ليس الشخص نفسه الذي يتحكّم في الظروف (على سبيل المثال، لا يعرف الطبيب الذي يحكم على حالة المريض ما العلاج المحدّد الذي تلقاه المريض سابقاً).

لا يتضمّن كثيرٌ من التفكير المنطقي، وربما معظم التفكير الإبداعي، المنطق فحسب، بل يشمل المقارنات أيضاً. حين تبدو حالةٌ ما أنها تشبه حالةً أخرى بطريقة ما، قد نعتقد أنها تشبهها بطرق أخرى أيضاً. فعلى سبيل المثال، ينتشر الضوء بعيداً عن مصدر ما مثلما تنتشر موجاتُ الماء من

اضطراب ما، لذا ربما يعمل الضوء مثل موجات الماء بطرق أخرى، مثل إنتاج أنماط التداخل حيث تعبر الموجات **(وهي تعبر بالفعل)**. أو أنّ الشمس كالنار تُنتِجُ الحرارةَ والضوء، لذا فإنّ ذلك ينطوي أيضاً على حرقٍ للوقود **(وفي الواقع، لا يحدث هذا)**. النقطة المهمة هي أنّ التفكير المنطقي عن طريق التشابه يمكن أن يوحي باستنتاجات، لكنه لا يمكن أن يثبت صحتها أبداً.

الفصل العاشر

وجهات نظر تاريخية

ثمة سببان رئيسان لإدراج بعض المعرفة بالتاريخ ضمن التوصيات. السبب الأول هو أنّ التعميمات حول كيفية عمل المؤسسة العلمية ستكون فارغة دون أمثلة ملموسة. خذ في الحسبان، على سبيل المثال، الاقتراح بأنّ الأفكار الجديدة مقيّدة بالسياق الذي تكون متخيَّلة فيه، وغالباً ما ترفضها المؤسسة العلمية، وتبرز في بعض الأحيان من النتائج غير المتوقعة، وعادةً ما تنمو ببطء من خلال إسهامات كثير من التحقيقات المختلفة. ومن دون أمثلة تاريخية، فإنّ هذه التعميمات لن تكون سوى مجرّد شعارات، مهما تذكرناها جيداً. ولتحقيق هذا الغرض، من الممكن أن نختار أيّ عدد من الحلقات.

والسبب الثاني هو أنّ بعض الحلقات في تاريخ المسعى العلمي لها أهمية تتجاوز تراثنا الثقافي. تتضمّن مثل هذه الحلقات بالتأكيد دور غاليليو في تغيير تصوّرنا لمكاننا في الكون، وتوضيح نيوتن بأنّ القوانين نفسها تنطبق على الحركة في السماوات وعلى الأرض، وملحوظات داروين الطويلة حول مجموعة متنوعة والعلاقة بين أشكال الحياة، التي أدّت إلى افتراضه آلية لكيفية حدوث ذلك، والتوثيق الدقيق للعالِم «ليل» لعصر الأرض الذي لا يُصدَّق، وتحديد باستور للأمراض المعدية والكائنات الدقيقة، التي لا يمكن رؤيتها إلا بالمجهر. تقف هذه القصص بين معالم تطوّر الفكر كلّه في الحضارة الغربية.

تضمّنت الثقافات البشرية كلّها دراسة الطبيعة مثل حركة الأجرام السماوية، وسلوك الحيوانات، وخصائص المواد، والخصائص الطبية للنباتات. تركّز التوصيات الواردة في هذا الفصل على تطوّر العلوم والرياضيات والتكنولوجيا في الثقافة الغربية، لكنّ الفصل لا يركّز على كيفية استنباط هذا التطوّر من أفكار من الثقافات المصرية والصينية واليونانية والعربيّة القديمة. والعلوم المذكورة في هذا التقرير هي إلى حدٍّ كبير جزء من تقليد فكري حَدَثَ ليتطوّر في أوروبا خلال الـ ٥٠٠ سنة الماضية، وهو تقليد كان الناس من الثقافات كلّها يسهمون فيه اليوم.

ينصبُّ التركيزُ هنا على عشر روايات عن اكتشافات مهمّة، والتغييرات التي تجسّد تطوّر المعرفة العلمية وتأثيرها: كوكبية الأرض، والجاذبية الشاملة، والنسبية، والوقت الجيولوجي، والألواح التكتونية، وحفظ المادة، والنشاط الإشعاعي والانشطار النووي، وتطوّر الأنواع وطبيعة المرض، والثورة الصناعية. وعلى الرغم من أنّ الخيارات الأخرى يمكن أن تكون صالحة على نحو متساوٍ، تناسبُ هذه الخيارات بوضوح معاييرنا المزدوجة المتعلّقة بتجسيد الموضوعات التاريخية وامتلاك البروز الثقافي.

التوصيات

إزاحة كوكب الأرض عن مركز الكون

بالنسبة إلى المراقبين على كوكب الأرض، يبدو أنّ الأرض ثابتةٌ ولا تتحرّك وكل شيء يتحرّك حولها. وهكذا، في محاولة تخيّل كيف يعمل الكون، من المنطقي أن يبدأ الناس في العصور القديمة بتلك الحقائق الظاهرة. وضع المفكّرون اليونانيون القدماء، ولا سيّما أرسطو، نمطاً استمرّ نحو

٢٠٠٠ عام: أرضٌ كبيرة ثابتة في مركز الكون، وحول الأرض تتمركز الشمس والقمر والنجوم الصغيرة المنتظمة في فلك كامل، مع كل هذه الأجسام التي تدور في دوائر كاملة بسرعات ثابتة. وبعد وقت قصير من بداية العصر المسيحي، تحوّل هذا المفهوم الأساسي إلى أنموذج رياضي قوي بفضل عالِـم الفلك المصري بطليموس. ساعد أنموذجه عن الحركات الدائرية المثالية على نحو جيد في التنبؤ بمواقع الشمس والقمر والنجوم، بل فسّر بعضَ الحركات في السماء التي ظهرت بوضوح غير عادي. يبدو أنّ بعض "النجوم المتجوّلة" والكواكب لا تدور حول الأرض تماماً بل تغيّر سرعتها وتذهب في بعض الأحيان حتى في الاتجاه المعاكس باتّباع مسارات حلقية فردية. فُسِّرَ هذا السلوك في أنموذج بطليموس بإضافة دوائر أكثر تنسج على الدوائر الرئيسة.

وعلى مدى القرون التالية، بعد أن تراكمت البيانات الفلكية وأصبحت أكثر دقة، تحسّن هذا الأنموذج وتعقد بوساطة كثيرٍ من علماء الفلك من العرب والأوروبيين. وبقدر ما كانت التنقيحات لنماذج الدوائر المثالية، لم يقدّموا أياً من هذه التفسيرات المادية حول السبب الذي يجعل الأجرام السماوية تتحرّك بهذه الطريقة. عُدَّت مبادئ الحركة في السماء بأنها مختلفة تماماً عن تلك المبادئ التي تُعنى بالحركة على الأرض.

وبعد وقت قصير من اكتشاف الأمريكتين، طرح عالِـمُ الفلك البولندي واسمه نيكولاس كوبرنيكوس، وهو عالِـمٌ معاصرٌ لمارتن لوثر وليوناردو دافنشي، أنموذجاً مختلفاً للكون. وبعد أن نَبَذَ فرضية الأرض الثابتة، أظهر أنه إذا كانت الأرض والكواكب تدور كلّها حول الشمس، فإنّ الحركة الشاذة الواضحة في الكواكب يمكن تفسيرها أيضاً، وعلى نحو

مُرضٍ من الناحية الفكرية. غير أنّ أنموذج كوبرنيكوس لا يزال يستخدم حركات دائرية مثالية، وكان معقداً تقريباً مثل الأنموذج القديم المتمركز حول الأرض. وعلاوةً على ذلك، فإنّ أنموذجه ينتهك مفاهيم الفطرة السائدة حول العالم، من حيثُ إِنَّهُ يقتضي أنّ الأرض غير المتحرّكة على ما يبدو تدور تماماً حول محورها مرة واحدة في اليوم، وأنّ الكون أكبر مما كان متخيّلاً، والأسوأ من ذلك كلّه أنّ الأرض ستصبح مكاناً مألوفاً بفقدان موقعها في مركز الكون. وعلاوةً على ذلك، كان يُعتقد أنّ الأرض التي تدور حول نفسها غير متسقة مع بعض المقاطع في الإنجيل. تصوَّرَ معظمُ العلماء فائدة ضئيلة للغاية في الأنموذج الذي تكون الشمس مركزه، وتكلفة عالية جداً في التخلي عن الأفكار الكثيرة الأخرى المرتبطة بالأنموذج التقليدي المتمركز حول الأرض.

ولدى استمرار القياسات الفلكية في أن تصبح أكثر دقة، بات من الواضح أنّ كلا المفهومين (أنّ الشمس مركز الكون أو الأرض مركز الكون) لا ينفعان طالما كانت الأجسام كلّها لها حركة دائرية منتظمة. طوّر عالِـمُ الفلك الألماني يوهانس كيبلر، الذي عاش في الوقت نفسه الذي عاش فيه غاليليو، أنموذجاً رياضياً لحركة الكواكب، وهذا الأنموذج تخلّى عن كلتا الفرضيتين الموقرتين: أرضٌ ثابتة وحركة دائرية. وافترض ثلاثة قوانين، كان أكثرها ثورية هو أنّ الكواكب تتحرّك بصورة طبيعية في مدارات إهليلجية يمكن التنبؤ بها ولكن بسرعات متفاوتة. وعلى الرغم من أنّ هذا القانون اتضح أنه صحيح فيما بعد، كانت الحسابات من أجل الحركة الإهليليجية صعبة بوجود الرياضيات المعروفة في ذاك الوقت، ولم يقدّم كبلر أيّ تفسير لسبب تحرّك الكواكب بهذه الطريقة.

كانت الإسهامات الكثيرة التي قدّمها العالِـم الإيطالي غاليليو، الذي عاش في الوقت نفسه الذي عاش فيه شكسبير وروبنز، ذات أهمية كبيرة في تطوّر علم الفيزياء وعلم الفلك. وبوصفه عالماً فلكياً، بنى التلسكوب المبتكر حديثاً، واستخدمه لدراسة الشمس والقمر والكواكب والنجوم، وأجرى مجموعة من الاكتشافات التي دعمت فكرة كوبرنيكوس الأساسية عن حركة الكواكب. وربما كان أهمها اكتشافه لأربعة أقمار تدور حول كوكب المشتري، مما يدلّ على أنّ الأرض لم تكن المركز الوحيد في الحركة السماوية. وباستخدام التلسكوب، اكتشف أيضاً الظواهر التي لا يمكن تفسيرها حول الحفر والجبال على القمر، والبقع على الشمس، ومراحل كوكب الزهرة التي تشبه مراحل القمر، وأعداد ضخمة من النجوم التي لا تُرى بالعين المجرّدة.

كان الإسهام العظيم الآخر لغاليليو في الثورة الكونية يتمثل في نقله إلى عامة الناس. قدّم وجهة النظر الجديدة في شكلٍ ولغةٍ (وهي الإيطالية) جعلاها في متناول كل المتعلّمين في زمنه. كما دحض حججاً شائعة كثيرة ضد دوران الأرض، وأظهر تناقضات في الرواية الأرسطية حول الحركة. كانت ثمة انتقادات من رجال الدين الذين ما زالوا يؤمنون بأنموذج بطليموس. ومحاكمة غاليليو اللاحقة من قبل محاكم التفتيش بسبب معتقداته الهرطقية المزعومة كلّها زادت فقط من الاهتمام بالقضايا، ومن ثَمَّ سرّعت عملية تغيير الأفكار المقبولة عموماً حول ما يشكّل الفطرة السليمة. كما كشفت عن بعض التوترات التي لا مفرّ منها، التي لا بُدَّ أن تحدث كلّما توصّل العلماء إلى أفكار جديدة جذرية.

ولكن بقي على العالم الإنكليزي إسحق نيوتن أن يجلب كل شيء من تلك الخيوط معاً، وأن يتجاوز ذلك، لإنشاء فكرة الكون الجديد. وفي كتابه «المبادئ الرياضية للفلسفة الطبيعية»، الذي نُشِرَ في أواخر القرن السابع عشر، وكان مقدراً له أن يصبح من أكثر الكتب تأثيراً على الإطلاق، قدّم نيوتن وجهة نظر رياضية سلسة للعالَـم جلبت معرفةً لحركة الأشياء على الأرض ومعرفةً لحركات الأجرام السماوية البعيدة.

كان عالَـمُ نيوتن عالماً بسيطاً بصورة مدهشة. باستخدام نيوتن بعض المفاهيم الأساسية (الكتلة، والزخم، والتسارع، والقوة)، وثلاثة قوانين للحركة (القصور الذاتي، واعتماد التسارع على القوة والكتلة، والفعل وردّة الفعل)، والقانون الرياضي حول كيفية اعتماد قوة الجاذبية بين كل الكتل على المسافة، تمكّن هذا العالِـمُ من إعطاء تفسيرات صارمة للحركة على الأرض وفي السماء. وبمجموعة من الأفكار، كان قادراً على حساب المدارات المرصودة للكواكب والأقمار، وحركة المذنّبات، والحركة غير المنتظمة للقمر، وحركة الأجسام الساقطة على سطح الأرض، ووزنها، والمد والجزر في المحيط، والانتفاخ الاستوائي الطفيف للأرض. جعل نيوتن الأرض جزءاً من كونٍ مفهوم، وكونٍ أنيق في بساطته وهيبته من حيث هندسته، وهو كونٌ جرى من تلقاء نفسه حسب عمل القوى بين أجزائها.

ساد نظام نيوتن بوصفه وجهة نظر علمية وفلسفية للعالَـم مدّة ٢٠٠ عام. كان قبولها المبكر مضموناً تماماً من خلال التحقق من تنبؤات إدموند هالي، التي تحققت منذ بضع سنوات، ومفادها أنّ مذنّباً معيّناً سيظهر مرة

أخرى في تاريخ معيّن محسوب وفق مبادئ نيوتن. كان الاعتقاد في نظام نيوتن يعزّز باستمرار فائدته في العلم وفي المساعي العملية، وصولاً إلى استكشاف الفضاء في القرن العشرين. لم تُطح نظريات ألبرت آينشتاين عن النسبية، التي كانت ثورية في حدِّ ذاتها، بعالَم نيوتن، لكنها عدّلت بعض مفاهيمه الأساسية.

كان علمُ نيوتن ناجحاً إلى درجة أن تأثيره انتشر وتجاوز علم الفيزياء وعلم الفلك. وأصبحت المبادئ الفيزيائية ومبادئ طريقة نيوتن الرياضية لاشتقاق النتائج منها الأنموذجَ الأمثل لجميع العلوم الأخرى كلّها. نما الاعتقاد بأنّ الطبيعة كلّها في نهاية المطاف يمكن تفسيرها من حيثُ الفيزياء والرياضيات، وأنّ الطبيعة إذن يمكن أن تعمل من تلقاء نفسها، دون مساعدة أو اهتمام الآلهة، على الرغم من أنّ نيوتن نفسه رأى أنّ فيزياءه تدلُّ على يد الله التي تحرّك الكون. فكّر المفكّرون الاجتماعيون ما إذا كانت الحكومات قابلة للتصميم مثل نظام نيوتن الشمسي، مع امتدادٍ في توازن القوى والإجراءات، التي من شأنها أن تضمن التشغيل المنتظم والاستقرار على المدى الطويل.

شعر الفلاسفة في العلوم وخارجها بالقلق بسبب موضوع أنه إذا كان كل شيء بدءاً من النجوم إلى الذرّات يعمل وفقاً لقوانين ميكانيكية دقيقة، فقد يكون المفهوم البشري للإرادة الحرة مجرّد وهم. هل يمكن أن يكون كل تاريخ البشرية، من الأفكار إلى الاضطرابات الاجتماعية، مجرّدَ عرضٍ لتسلسل محدد تماماً للأحداث؟ أثار المفكّرون الاجتماعيون تساؤلات حول الإرادة الحرّة وتنظيم النظم الاجتماعية، التي نوقشت على نطاق واسع في الثامن عشر والقرن التاسع عشر. أما في القرن العشرين، فإنّ ظهور عدم القدرة على التنبؤ بسلوك الذرّات أراح بعضاً من هذه المخاوف، لكنه أثار أيضاً تساؤلات فلسفية جديدة.

ربط المادة والطاقة بالزمان والمكان

كان على وجهة نظر نيوتن للعالَـم أن تخضع لبعض التنقيحات الأساسية في بداية القرن العشرين، كونها كانت وجهة نظر مسهبة وناجحة تماماً. كان نيوتن لا يزال في العشرينات من عمره، إذ نشر ألبرت آينشتاين، المولود في ألمانيا، أفكاراً نظرية أحدثت إسهامات ثورية في فهمنا للطبيعة. وإحدى هذه الأفكار هي نظريته الخاصة بالنسبية، التي رأى فيها أنّ الزمان والمكان يجب أن يكونا بُعدين مترابطين ارتباطاً وثيقاً بدلاً من أن يكونا، كما اعتقد نيوتن، بُعدين مختلفين تماماً.

كان للنظرية النسبية بعض المعاني المدهشة. أحدها أنّ سرعة الضوء تُقاس بالطريقة نفسها من قبل كل المراقبين، بغض النظر عن كيفية تحرّكهم أو تحرّك مصدر الضوء. وهذا ليس صحيحاً بالنسبة إلى حركة الأشياء الأخرى؛ لأنّ سرعتها المقيسة تعتمد دائماً على حركة المراقب. وعلاوةً على ذلك، فإنّ سرعة الضوء في حيّز الفراغ هي أقصى سرعة ممكنة، إذ لا يمكن تسريع أيّ شيء للوصول إلى تلك السرعة، أو ملاحظة أنه يتحرّك على نحو أسرع.

تشتهر نظرية النسبية الخاصة بتأكيدها معادلة الكتلة والطاقة. بمعنى آخر؛ أيّ شكل من أشكال الطاقة له كتلة، والمادة نفسها هي شكل من أشكال الطاقة. وهذا ما يُعبَّر عنه في المعادلة الشهيرة (**$E = mc^2$**)، إذ يرمز (**E**) للطاقة و(**m**) للكتلة و(**c**) لسرعة الضوء. ولـمّا كانت (**c**) تساوي تقريباً (**١٨٦٠٠٠**) ميلاً في الثانية، فإنّ تحوّل حتى كمية ضئيلة من الكتلة يطلق كمية هائلة من الطاقة. وهذا ما يحدث في تفاعلات الانشطار النووي، التي تُنتِجُ الطاقة الحرارية في هذه المفاعلات، وفي تفاعلات الانصهار النووية أيضاً، التي تُنتِجُ الطاقة المنبعثة من الشمس.

وبعد نحو عقد من الزمان، نشر آينشتاين ما يُعَدُّ بأنه أعظم إنجازاته ومن أعمق إنجازات العقل البشري في التاريخ كلّه: نظرية النسبية العامة. ترتبط النظرية بالعلاقة بين الجاذبية والزمان والمكان، إذ تُفسَّر قوة الجاذبية عند نيوتن بأنها تشويه في هندسة المكان والزمان. كانت النظرية النسبية قد اختُبِرَت مراراً وتكراراً عن طريق التحقق من التنبؤات المستندة إليها، ولم تُخفق قط. وليس ثمة نظرية عن بنية الكون أقوى استطاعت أن تستبدلها، لكنّ كثيراً من الفيزيائيين يبحثون عن طرق حتى الآن لابتكار نظرية مكتملة أكثر من شأنها أن تربط بين النسبية العامة ونظرية الكم للسلوك الذرّي.

تمديد الزمن

لم يكن عمرُ كوكب الأرض موضعَ خلاف في معظم تاريخ البشرية. وفي القرن التاسع عشر، اعتقد كلُّ شخص تقريباً في الثقافات الغربية بأنّ عمر كوكب الأرض لا يزيد على بضعة آلافٍ من السنين، وأنّ وجه الأرض كان ثابتاً: الجبال والأودية والمحيطات والأنهار كانت كما هي دائماً منذ لحظة نشوئها. ومن وقت لآخر، تأمّل الناس في احتمال أنّ سطح الأرض تَشكَّلَ من خلال نوع من عمليات التغيير البطيئة، التي يمكنهم مراقبة حدوثها، وفي هذه الحالة قد تكون الأرض أقدم مما يعتقده معظم الناس. إذا تشكّلت الأودية من الأنهار التي شقّت طريقها، وإذا نشأت طبقات الصخور في طبقات من الرواسب الناتجة عن التعرية، فيمكن للمرء أن يقدّر أنّ الأرض تحتاج إلى ملايين السنين لإنتاج المناظر التي نراها اليوم. غير أنّ الجدل لم يحرز إلا تقدّماً تدريجياً للغاية إلى أن نَشَرَ عالِـمُ الجيولوجيا الإنكليزي «تشارلز ليل» (Charles Lyell) الطبعة الأولى من كتابه المميّز «مبادئ

الجيولوجيا»، في مطلع القرن التاسع عشر. ينبع نجاح كتاب «ليل» من غناه من الملحوظات التي قدّمها عن أنماط طبقات الصخور في الجبال ومواقع أنواع مختلفة من الأحافير، ومن التفكير المنطقي، الذي استخدمه في استخلاص الاستنتاجات من تلك البيانات.

مَرَّ كتابُ «مبادئ الجيولوجيا» بطبعات عدّة، ودرسته أجيالٌ عدّة من طلاب الجيولوجيا، الذين قبلوا فلسفة «ليل» واعتمدوا طرائقه في التحقيق والاستدلال. وعلاوةً على ذلك، أثّر كتاب «ليل» أيضاً في تشارلز داروين، الذي قرأه بينما كان في رحلاته حول العالم يدرسُ تنوّع الأنواع أو الأجناس. لـمّا طوّر داروين مفهومَهُ للتطوّر البيولوجي، اعتمد فرضيات «ليل» حول عمر الأرض، وأسلوب «ليل» في دعم حجته بأدلة هائلة.

وكما يحدث في العلم في معظم الأحيان، فإنّ نظرة «ليل» الثورية الجديدة، التي أتاحت التفكير في العالـم، قيّدت تفكيره. أخذ «ليل» فكرة التغيير البطيء جداً للإيحاء بأنّ الأرض لم تتغيّر قط بطرق مفاجئة، وفي الحقيقة لم تتغيّر كثيراً قط في جوانبها العامة على الإطلاق، إذ كانت تدور باستمرار عبر سلاسل متشابهة من التغييرات على نطاق صغير. غير أنّ أدلة جديدة تجمّعت، وبحلول منتصف القرن العشرين، اعتقد الجيولوجيون أنّ مثل هذه الدورات الصغيرة كانت فقط جزءاً من عملية معقدة تضمّنت أيضاً تغييرات مفاجئة أو حتى كارثية وتطوّراً على المدى الطويل في دول جديدة.

تحريك القارات

حالما بدأت خرائطُ العالـم الدقيقة إلى حدٍّ ما تظهر، لحظ بعضُ الناس أنّ قارتي أفريقيا وأمريكا الجنوبية تبدوان كما لو أنهما قد تتطابقان معاً،

كأنهما قطعتان عملاقتان من أُحجية الصور. هل يمكن أن تكونا ذات مرة جزءاً من كتلة يابسة واحدة عملاقة انقسمت إلى قطعتين، ثم انجرفتا بعيداً بعضهما عن بعضٍ؟ اقتُرِحَت الفكرة مرّات عدّة، لكنها رُفِضَت لعدم وجود دليل. بدت هذه الفكرة خيالية في ضوء الحجم والكتلة وصلابة القارات وأحواض المحيطات وعدم حركتهما الظاهرية.

بَيْدَ أنَّ الفكرة ظهرت مرة أخرى في أوائل القرن العشرين، لـمّا طرحها العالِـمُ الألماني «ألفريد فيجينر» (Alfred Wegener) مع دليل جديد: تتطابق الخطوط العريضة لحواف القارات تحت الماء مع بعضها على نحو أفضل من الخطوط العريضة فوق الماء. كانت النباتات والحيوانات والمستحاثات على حافة القارة الأولى تشبه تلك الموجودة على الحافة المواجهة للقارة المطابقة. والأهم من ذلك أنّ القياسات أظهرت أنّ غرينلاند وأوروبا كانتا تتحرّكان ببطء ويبتعد بعضهما عن بعضٍ. ومع ذلك، لم تحظَ الفكرة إلا قبولاً قليلاً (ومعارضة قوية) إلى أن تُجمَع أدلة كافية، وبعد أن تتطوّر تقنيات وأدوات جديدة. ثمة مزيدٌ من المطابقات للجرف القارّي وخصائص المحيطات عُثِرَ عليها من خلال استكشاف تكوين قاع المحيط الأطلسي وشكله، والتأريخ الإشعاعي للقارات والصفائح، ودراسة كل من عِيْنَات الصخور العميقة من الجرف القارّي والأخطاء الجيولوجية.

وبحلول الستينيات من القرن العشرين، كانت كمية كبيرة ومتنوعة من البيانات متسقة مع فكرة أنّ قشرة الأرض تتكوّن ببطء من عدد قليل من الصفائح المتحرّكة ببطء، التي تركب عليها القارّات وأحواض المحيط. وقد ثَبَتَ أنّ أكثر حجة يصعب التغلّب عليها (وهي أنّ سطح الأرض أكثر

صلابة من أن يسمح للقارات بالتحرّك) هي حجة غير صحيحة. يُنتِجُ باطنُ الأرض الساخن طبقةً من الصخور المنصهرة تحت الصفائح، التي تحرّكها التيّارات الحرارية في الطبقة. وفي الستينيات من القرن العشرين، كان الانجراف القارّي في شكل نظرية تتحدّث عن انزياح الصفائح التكتونية مقبولاً على نطاق واسع في العلم، وزوّد علم الجيولوجيا بمفهوم قوي يُوحِّدُ الأفكار.

قُبِلَت نظرية الصفائح التكتونية أخيراً، لأنها كانت مدعومة بالأدلة، ولأنها فسّرت كثيراً من الأمور التي بدت في السابق غامضة أو مثيرة للجدل. وهذا التنوّع والظواهر غير المرتبطة بالموضوع على ما يبدو كالزلازل والبراكين وتشكيل نظم الجبال والمحيطات، وتقلّص المحيط الهادئ واتساع المحيط الأطلسي، حتى بعض التغييرات الرئيسة في مناخ الأرض يمكن الآن أن يُنظَر إليها على أنها عواقب حركة صفائح قشرة الأرض.

فهم النار

كان يُعتقد أنّ النار، عبر تاريخ البشرية، واحدة من العناصر الأربعة الأساسية، التي تنضمُّ إلى الأرض والماء والهواء، التي صُنِعَ منها كل شيء. كان يُعتقد أنّ المواد المحترقة تؤدي إلى إطلاق النار التي احتوتها بالفعل. حتى القرن الثامن عشر، كانت النظرية العلمية السائدة هي أنه حين يحترق أيّ شيء تنبعثُ منه مادة تُذهِبُ وزنه. أكد هذا الرأي ما رآه الناس: حين تحترق قطعة ثقيلة من الخشب، فإنّ كل ما يبقى منها هو بقايا الرماد الخفيف.

أجرى «أنطوان لافوازييه» (Antoine Lavoisier)، وهو عالِـمٌ فرنسي حقق معظم اكتشافاته في العقدين بعد الثورة الأمريكية، وأُعدِمَ لاحقاً على أنه ضحية للثورة الفرنسية، سلسلةً من التجارب التي قاس فيها بدقة كل

المواد التي دخلت الاحتراق، بما فيها الغازات المستخدمة والغازات المنبعثة. أظهرت قياساته أنّ عملية الحرق كانت خلافاً لما اعتقده الناس، إذ أظهر أنّ المواد حين تحترق، فإنّ وزنها لا يزيد أو ينقص. حين يحترق الخشب، على سبيل المثال، يتحد الكربون والهيدروجين الموجود فيه مع الأكسجين في الهواء ليكوّن بخار الماء وثاني أكسيد الكربون، وهما غازان غير مرئيين يتلاشيان في الهواء. الوزن الإجمالي للمواد الناتج عن الاحتراق (الغازات والرماد) هو الوزن الإجمالي نفسه للمواد المتفاعلة (كالخشب والأكسجين).

ولدى كشف سرّ الاحتراق (وهو شكل من أشكال الحرق) أسس لافوازييه علم الكيمياء الحديث. كان العلمُ الذي سبقه هو الخيمياء، الذي يبحثُ في طرق تحويل المادة، ولا سيّما تحويل الرصاص إلى ذهب لإنتاج إكسير من شأنه أن يُضفي حياةً أبدية. نَتَجَ عن البحث تراكم بعض المعرفة الوصفية للمواد والعمليات، لكنه لم يكن قادراً على أن يقودنا إلى فهم طبيعة المواد وكيفية تفاعلها.

ابتكر «لافوازييه» مشروعاً جديداً بالكامل يعتمد على نظرية المواد والقوانين الفيزيائية والطرق الكمّية. كان المحور الثقافي للعلم الجديد هو مفهوم الحفاظ على المادة: يتكوّن الاحتراق وكل العمليات الكيميائية الأخرى من تفاعل المواد مثل الكتلة الكلية للمادة بعد أن تكون ردّة الفعل هي نفسها بالضبط كما كانت من قبل.

كان قبول الكيمياء الجديدة لمثل هذا التغيير الجذري سريعاً نسبياً. وأحدُ الأسباب هو أنّ «لافوازييه» ابتكر نظاماً لتسمية المواد ووصف ردّة فعل بعضها نحو بعض. كانت القدرة على الإدلاء بمثل هذه البيانات الصريحة في حدِّ ذاتها خطوة مهمة إلى الأمام؛ لأنها شجعت الدراسات الكمّية، وأتاحت

انتشاراً واسعاً للاكتشافات الكيميائية دون لبس أو غموض. وعلاوةً على ذلك، أصبح يُنظَر إلى الاحتراق ببساطة على أنه مثالٌ واحد على فئة من التفاعلات الكيميائية - كالأكسدة - التي يتحد فيها الأكسجين مع عناصر أو مركبات أخرى وتطلق الطاقة.

ثمة سببٌ آخر لقبول الكيمياء الجديدة وهو أنها تتلاءم جيداً مع النظرية الذرّية، التي طوّرها العالِـمُ الإنكليزي «جون دالتون» (John Dalton) بعد قراءة منشورات «لافوازييه». أسهب «دالتون» في شرح وصقل الأفكار اليونانية القديمة للعنصر والمركب والذرّة والجزيء، وهي مفاهيم أدرجها «لافوازييه» في نظامه. وأعطت هذه الآلية المخصصة لتطوير التوليفات الكيميائية مزيداً من الخصوصية لنظام مبادئ «لافوازييه»، وقدّمت الأساس للتعبير عن السلوك الكيميائي من الناحية الكمّية.

وهكذا، حين يحترق الخشب، على سبيل المثال، فإنّ كل ذرّة من عنصر الكربون تتحد مع ذرّتين من عنصر الأكسجين لتشكّل جُزيئاً واحداً من مركب ثاني أكسيد الكربون، وتُطلِقُ الطاقة في أثناء هذه العملية. غير أنّ اللهب أو درجات الحرارة المرتفعة لا تحتاج إلى أن تدخل تفاعلات الأكسدة. أما الصدأ واستقلاب السكريات في الجسم فهما مثالان على الأكسدة التي تحدث في درجة حرارة الغرفة.

في القرون الثلاثة التي تلت «لافوازييه» و«دالتون»، توسّع النظامُ إلى حدٍّ كبير في تفسير التكوين، الذي اتخذته الذرّات حين يرتبط بعضُها ببعضٍ، وفي وصف الأعمال الداخلية للذرّات، التي تفسّر سبب ارتباط بعضها ببعض بهذه الطريقة.

بدأ فصلٌ جديد في فهمنا لبنية المادة في نهاية القرن التاسع عشر مع الاكتشاف العَرَضي في فرنسا بأنّ مركّب اليورانيوم جعل لوحة فوتوغرافية ملفوفة وغير مكشوفة داكنةً إلى حدٍّ ما. وهكذا، بدأ بحثٌ علمي يشرح هذا على أنه "نشاطٌ إشعاعي". كانت الباحثة الرائدة في هذا المجال الجديد هي «ماري كوري» (Marie Curie)، وهي عالمة بولندية شابة متزوجة الفيزيائي الفرنسي «بيير كوري». واعتقاداً منها بأنّ النشاط الإشعاعي لليورانيوم الذي يحمل المعادن ناتجٌ عن كميات قليلة جداً من مادة مشعة إلى درجة عالية، حاولت «ماري كوري» في سلسلة من الخطوات الكيميائية إنتاج عِيْنَة نقية من المادة وتَعَرُّفِ خصائصها. وضع الزوجُ جانباً أبحاثه ليساعدها في المهمة الضخمة المتمثلة بفصل أثر بعيد المنال عن كمية ضخمة من المادة الخام. وكانت النتيجة اكتشافهما لعنصرين جديدين، كلاهما عالي الإشعاع، أطلقا عليهما البولونيوم والراديوم.

اختار الزوجان، الحائزان جائزة نوبل في الفيزياء لأبحاثهما في النشاط الإشعاعي، عدم استغلال اكتشافاتهما تجارياً. وفي الواقع، جعلا الراديوم متاحاً للمجتمع العلمي ليتمكّن من دراسة طبيعة النشاط الإشعاعي على نحو أوسع. وبعد وفاة «بيير كوري»، تابعت «ماري كوري» بحثها، وكانت واثقة من قدرتها على النجاح على الرغم من التحيّز واسع الانتشار ضد المرأة في العلوم الفيزيائية. ونجحت بالفعل: فازت بجائزة نوبل في الكيمياء عام ١٩١١، لتصبح أوّل شخص يفوز بجائزة نوبل للمرّة الثانية.

وفي الوقت نفسه، أجرى علماء آخرون لديهم خدمات أفضل من «ماري كوري»، اكتشافات رئيسة حول النشاط الإشعاعي، واقترحوا نظريات

جريئة وجديدة حول هذا الموضوع. وسرعان ما أصبح «إرنست رذرفورد» (Ernest Rutherford)، عالِـمُ الفيزياء البريطاني الجديد المولود في نيوزيلندا، رائداً في هذا المجال الآخذ بالاتساع. اكتشف هو وزملاؤه أنّ النشاط الإشعاعي الذي يحدث بصورة طبيعية في اليورانيوم يتألَّفُ من ذرّة يورانيوم ينبعث منها جزيء يصبح ذرّة تشبه عنصر الهيليوم من حيث خفّة وزنها، وأنّ ما يُترك وراءها لم تَعُد ذرّة يورانيوم، بل ذرّة أخف قليلاً من ذرّة عنصر مختلف. أشار مزيدٌ من البحث إلى أنّ هذا التحويل كان واحداً من سلسلة تنتهي بنظير مستقر للرصاص. وكان الراديوم عنصراً واحداً فقط في السلسلة المشعة.

كانت عملية التحويل هذه نقطة تحوّل في اكتشافات العلم، فقد كشفت أنّ الذرّات ليست في الواقع الوحدات الأساسية للمادة، بل تتكوّن كل ذرّة من ثلاث جُسيمات متميزة: نواة صغيرة ضخمة تتكوّن من بروتونات ونيوترونات، تحيطُ بها إلكترونات خفيفة. يُغيِّرُ النشاط الإشعاعي النواة، في حين تؤثّر التفاعلات الكيميائية فقط في الإلكترونات الخارجية.

لكنّ قصة اليورانيوم لم تنتهِ بعد، فقد أظهر عددٌ من العلماء الألمان والنمساويين، قبل الحرب العالمية الثانية مباشرةً، أنه حين يكون اليورانيوم مشعاً بالنيوترونات، تَنتُجُ نظائر العناصر المختلفة التي تمتلك نصف الكتلة الذرّية لليورانيوم تقريباً. كانوا مترددين في قبول ما يبدو الآن أنه استنتاج واضح، وهو تحفيز نواة اليورانيوم على الانقسام إلى نواتين أصغر متساويتين تقريباً. وسرعان ما طَرَحَت هذا الاستنتاج الفيزيائية النمساوية المولد وعالمة الرياضيات «ليز مايتنر» (Lise Meitner) وابن أخيها «أوتو فريش» (Otto Frisch)، الذي قدّم مصطلح "الانشطار". لاحظا، بما يتفق مع نظرية النسبية

الخاصة لآينشتاين، أنه إذا كانت نواتج الانشطار معاً تحتوي على نسبة أقل من ذرّة اليورانيوم الأصلية، فإنّ كميات ضخمة من الطاقة ستُطلَق.

ولأنّ الانشطار يُطلِقُ أيضاً بعض النيوترونات الزائدة، التي يمكن أن تحفّز مزيداً من الانشطارات، بدا من الممكن حدوث تفاعل متسلسل، مما يطلق كميات ضخمة من الطاقة باستمرار. وخلال الحرب العالمية الثانية، أظهر فريق علمي أمريكي بقيادة الفيزيائي الإيطالي «إنريكو فيرمي» (Enrico Fermi) أنه إذا كُدِّسَت كمية كافية من اليورانيوم بعضها فوق بعضٍ، في ظروف خاضعة للرقابة بعناية، فيمكن بالفعل أن يستمرّ التفاعل المتسلسل. وهذا الاكتشاف أصبح أساساً لمشروع سرّي للحكومة الأمريكية أُنشِئَ لتطوير أسلحة نووية في حربها مع إيران. ومنذ بداية الحرب، استمرّ الانشطار ليكون مكوّناً رئيساً للأسلحة النووية الإستراتيجية التي طوّرتها بعض البلدان، وقد استُخدم على نطاق واسع في الإطلاق الخاضع للرقابة لطاقة التحوّل إلى طاقة كهربائية.

تفسير تنوّع الحياة

أشعلت الثورةُ الفكرية التي بدأها داروين شرارةَ المناقشات العظيمة. كان الخلافُ علمياً هو كيفية شرح التنوّع الكبير للكائنات الحيّة وللكائنات السابقة، الذي كان واضحاً في سجل الأحافير أو المستحاثات. كان من المعروف أنّ الأرض مأهولة بآلافٍ من أنواع الكائنات الحيّة المختلفة، وكانت ثمة أدلة كثيرة على وجودها موجودة ذات يوم في كثير من الأنواع التي انقرضت. كيف حصلوا عليها كلّها هنا؟ قبل عصر داروين، كان الرأي السائد هو أنّ الأنواع لم تتغيّر، وأنّ كل الأنواع المعروفة تماماً منذ بداية

الزمن هي الآن على حالها في الوقت الحاضر. وربما، في مناسبات نادرة، قد تختفي الأنواعُ كلُّها بسبب بعض الكوارث، أو عن طريق خسارتها أمام أنواع أخرى في المنافسة من أجل الغذاء، لكن لا توجد أنواع جديدة يمكن أن تظهر.

ومع ذلك، بدأت تظهر في أوائل القرن التاسع عشر فكرة تطوّر الأنواع. كانت إحدى الأفكار أنّ الكائنات الحيّة ستتغيّر على نحو طفيف خلال حياتها استجابةً للظروف البيئية، وأنّ هذه التغييرات يمكن أن تنتقل إلى ذرّيتها. (وإحدى وجهات النظر، على سبيل المثال، هي أنّ لدى محاولة الزرافات الوصول إلى الأوراق عالية على الأشجار، على مدى أجيال متعاقبة، استطاعت أن تطوّر أعناقاً طويلة). غير أنّ داروين قدّم آليةً مختلفة تماماً للتطوّر، إذ افترض أنّ الاختلافات الموروثة بين الأفراد داخل نوع ما جعل البعض منها أكثر احتمالاً من غيرها للبقاء على قيد الحياة وإنجاب ذرّية، وأنّ هذه الذرّية سترثُ هذه المزايا. (وهكذا، فإنّ الزرافات التي ورثت أعناقاً أطول من غيرها ستكون أكثر احتمالاً للبقاء على قيد الحياة وإنجاب ذرّية). وعلى مدى الأجيال المتعاقبة، فإنّ الخصائص المفيدة ستجتمع مع الخصائص الأخرى، في ظلّ بعض الظروف، مما يؤدي إلى ظهور أنواع جديدة.

قدّم داروين نظريته مع عدد كبير من الأدلة الداعمة التي جمعها على مدى سنوات عدّة في كتابه بعنوان «أصل الأنواع» (Origin of Species)، الذي نُشِرَ في منتصف القرن التاسع عشر. يمكن أن يرجع تأثيره الدرامي في علم الأحياء إلى عوامل عدّة: كانت حجّة داروين التي قدّمها كاسحة، لكنها كانت واضحة ومفهومة؛ كانت حجته مدعومة في كل جزء منها بأدلة بيولوجية وأحفورية غنية، وكانت مقارنته بين «الانتقاء الطبيعي» و«الانتقاء

الاصطناعي»، الذي استُخدِمَ في تربية الحيوانات، مقنعةً، فقدّمت حجته إطاراً مُوحِّداً يوجّه البحث في المستقبل.

أما العلماء الذين عارضوا أنموذج داروين، ففعلوا ذلك لأنهم عارضوا بعض الآليات التي اقترحها من أجل «الانتقاء الطبيعي»، أو لأنهم اعتقدوا أنه لم يكن تنبُّئياً بالطريقة نفسها التي كانت في علم نيوتن. غير أنه مع بداية القرن العشرين كان معظم علماء الأحياء قد قبلوا الفرضية الأساسية، التي مفادها أنّ الأنواع تتغيّر تدريجياً، على الرغم من أنّ آلية الوراثة البيولوجية لا تزال غير مفهومة تماماً. لم يَعُد النقاش اليوم يدور حول ما إذا كان النشوء يحدث، بل عن تفاصيل الآليات التي يحدث النشوء من خلالها.

ثمة بعض الأشخاص بين عامّة الناس يرفضون تماماً مفهوم النشوء أو التطوّر، ليس على أسس علمية، بل على أساس ما يَعُدُّونه تداعياته غير المقبولة: أنّ البشر والأنواع الأخرى لها أسلاف مشتركة، ومن ثَمَّ فإنّ بعضَها مرتبطٌ ببعض، وأنّ البشر والكائنات الحيّة الأخرى نتجوا من عملية تفتقر للاتجاه والغرض، وأنّ البشر، مثل سائر الحيوانات الأقل شأناً، يخوضون صراعاً من أجل البقاء والتكاثر. وبالنسبة إلى بعض الناس، فإنّ مفهوم النشوء أو التطوّر ينتهك الرواية الإنجيلية التي تتحدّث عن خلق البشر الخاص (والمنفصل) والأنواع الأخرى كلّها.

في مطلع القرن العشرين، أُعيد اكتشاف العمل الذي أجراه عالِـمُ التجريب النمساوي «جريجور مندل» (Gregor Mendel) حول الخصائص الموروثة بعد مرور سنوات عدّة دون أن يلحظه أحد. طَرَحَ عملُه فكرةً مفادها أنّ الصفات التي يرثها الكائن الحي لا تَنتُجُ من مزج سائلي الوالدين، بل

من انتقال الجسيمات المنفصلة، التي تسمّى الآن «الجينات»، من كل والد. إذا كان للكائنات الحيّة عددٌ كبير من هذه الجسيمات وعملية ما تتعلّق بالفرز العشوائي الذي يحدث في أثناء التكاثر، فإنّ تنوّع الأفراد داخل النوع، وهو أمرٌ ضروري للنشوء أو التطوّر من وجهة نظر داروين، سيتبع بصورة طبيعية.

وفي غضون ربع قرن من إعادة اكتشاف عمل «مندل»، أظهرت الاكتشافات باستخدام المجهر أنّ الجينات منظّمة في خيوط تنقسم وتتحد بطرق تزوّد كل خلية بويضة أو حيوان منوي بمجموعة مختلفة من الجينات. وبحلول منتصف القرن العشرين، اكتشف العلماء أنّ الجينات جزءٌ من جزيئات الحمض النووي، التي تتحكّم في تصنيع المواد الأساسية التي تُصنَع منها الكائنات الحيّة. جلبت دراسة كيمياء الحمض النووي الدعم الكيميائي المفاجئ للنشوء أو التطوّر البيولوجي: الشفرة الجينية الموجودة في الحمض النووي هي نفسها بالنسبة إلى كل أنواع الكائنات الحيّة تقريباً، بدءاً من البكتيريا وانتهاءً بالإنسان.

اكتشاف الجراثيم

ابتكر الناس، على مرّ التاريخ، تفسيرات للمرض. كان يُنظَر إلى كثير من الأمراض على أنها روحية في الأصل، وأنها عقابٌ على خطايا المرء، أو سلوك متقلّب للآلهة أو المعنويات. ومنذ عصور قديمة، كانت النظرية البيولوجية الأكثر شيوعاً هي أنّ المرض كان يُعزى إلى نوع من عدم التوازن في أخلاط الجسم (أي السوائل الافتراضية التي وُصِفَت من خلال تأثيراتها، لكنها لم تُحدَّد كيميائياً). وهكذا، منذ آلاف السنين، يتألّف علاج المرض من مناشدة قوى خارقة من خلال القرابين والتضحية والصلاة، أو من خلال

محاولة تعديل مزاج الجسم عن طريق التحريض على القيء أو النزيف أو التطهير. غير أنّ تقديم نظرية الجرثومة في القرن التاسع عشر غيّرت جذرياً تفسير ما يسبب الأمراض وطبيعة علاجها أيضاً.

وفي القرن السادس عشر، ظهرت تكهّنات بأنّ للأمراض أسباباً طبيعية، وأنّ عوامل المرض خارجية بالنسبة إلى الجسم، ومن ثَمَّ يجب أن يتكوّن العلم الطبي من تحديد هذه العوامل وإيجاد مواد كيميائية لمكافحتها، لكن لم يشعر أحد بالريب من أنّ بعض العوامل المسببة للمرض قد تكون كائنات غير مرئية، ذلك أنّ هذه الكائنات لم تكن مُكتشَفَة بعد، أو لم يتخيّلها أحدٌ بعد. أدّى تحسين العدسات المجهرية وتصميمها في القرن السابع عشر إلى اكتشاف عالَمٍ جديد واسع من النباتات والحيوانات الصغيرة مجهرياً، ومنها البكتيريا والخمائر. غير أنّ اكتشاف هذه الكائنات الدقيقة لم يوحِ ما الآثار التي قد تظهر على البشر والكائنات الحيّة الأخرى.

إنّ الاسم الأكثر ارتباطاً بنظرية الجرثومة الخاصة بالمرض هو الكيميائي الفرنسي «لويس باستور» (Louis Pasteur). ليست العلاقة بين الكائنات الحيّة الدقيقة والأمراض ظاهرة على الفور، ولا سيّما (كما نعلم الآن) أنّ معظمَ الكائنات الحيّة الدقيقة لا تسبب المرض، وأنّ كثيراً منها مفيدٌ لنا. اكتشف باستور دورَ الكائنات الحيّة الدقيقة من خلال دراساته لما يسبّب فساد الحليب والنبيذ، وأثبت أنّ التلف والتخمير يحدثان حين تدخلهما الكائنات الحيّة الدقيقة من الهواء، فتتكاثر بسرعة وتعطي منتجات فاسدة. وأظهر أنّ الطعام لن يفسد إذا أُبعِدَت الكائنات الحيّة الدقيقة عنه، أو إذا قُتِلَت بالحرارة.

انتقل باستور إلى دراسة أمراض الحيوان لإيجاد علاجات عملية، وأظهر مرة أخرى علاقة الكائنات الحيّة الدقيقة بذلك. وجد في أثناء هذه العملية أنّ العدوى عن طريق الكائنات الحيّة المرضية، أي الجراثيم، تجعل الجسم يبني مناعةً ضد العدوى اللاحقة من خلال الكائنات الحيّة نفسها، وأنّ من الممكن إنتاج لقاحات من شأنها أن تحرّض الجسم على بناء مناعة ضد مرض ما دون التسبب في الإصابة بذاك المرض نفسه. لـم يوضّح باستور بصرامة أنّ مرضاً معيناً سببه جرثومة معيّنة يمكن تعرّفها، فهذا الأمر سرعان ما أُنجِزَ على يد علماء آخرين.

كانت عواقب قبول نظرية المرض الجرثومية ضخمة على كل من العلم والمجتمع. انتقل علماء الأحياء إلى تعرُّف الكائنات الحيّة الدقيقة والتحقيق فيها، إذ اكتشفوا آلاف البكتيريا والفيروسات المختلفة، واكتسبوا فهماً أعمق للتفاعلات بين الكائنات الحيّة. كانت النتيجة العملية تغييراً تدريجياً في ممارسات صحة الإنسان، وهي التعامل الآمن مع الطعام والماء، وبسترة الحليب، واستخدام تدابير الصرف الصحي والحجر الصحي والتطعيم والجراحة المطهرة، فضلاً عن القضاء الافتراضي على بعض الأمراض. واليوم، تسهّل التكنولوجيا الحديثة، التي تُعنى بالتصوير عالي الطاقة والتكنولوجيا الحيوية، التحقيق في علاقة الكائنات الحيّة الدقيقة بالمرض، وكيف يحاربها جهاز المناعة، وحتى كيف يمكن التلاعب بها وراثياً.

استخدام الطاقة

يشير مصطلح «الثورة الصناعية» إلى مدة طويلة في التاريخ حدثت خلالها تغييرات كبيرة في كيفية صنع الأشياء وكيفية تنظيم المجتمع. بدأ

التحوّل من الاقتصاد المعتمد على الحِرفة اليدوية الريفية إلى الاقتصاد المعتمد على حِرفة التصنيع الحضري.

حدثت التغييرات الأولى في صناعة النسيج البريطانية في القرن التاسع عشر. وحتى ذلك الحين، كانت الأقمشة تُصنَع في المنازل باستخدام التقنيات والأدوات نفسها بصورة أساسية، التي استُخدِمت لقرون. وكانت الآلات، مثل كل الأدوات في ذلك الوقت، صغيرة ومصنوعة يدوياً، وتعمل بوساطة العضلات أو الرياح أو المياه الجارية. تغيّرت تلك الصورة بطريقة جذرية لا رجعة فيها من خلال سلسلة من الاختراعات التي تُعنى بالغزل والنسيج واستخدام مصادر الطاقة. استبدلت الآلات بعض الحِرف البشرية، وأخذ الفحمُ مكان البشر والحيوانات بوصفه مصدر الطاقة لتشغيل الآلات، واستبدل نظام المصنع المركزي نظامَ الإنتاج الموزَّع والمرتكز على المنزل.

وقع اختراعُ المحرّك البخاري وتحسينه في قلب الثورة الصناعية. المحرّك البخاري هو جهاز لتحويل الطاقة الكيميائية إلى عمل ميكانيكي حين يحترق الوقود، وتُستخدَم الحرارة التي يطلقها الوقود في تحويل الماء إلى بخار، الذي يُستخدَم بدوره في دفع العجلات أو الروافع. طوّر المخترعون المحرّكات البخارية أوّل مرة استجابةً للحاجة العملية لضخِّ مياه الفيضانات من مناجم الفحم والخام. وبعد أن حسّن المخترع الإسكتلندي «جيمس وات» (James Watt) المحرّك البخاري بشكل كبير، سرعان ما استُخدِمَ لدفع الآلات في المصانع، ونقل الفحم في مناجم الفحم، وتشغيل قاطرات السكك الحديدية والسفن وأوّل ظهور للسيّارات لاحقاً.

حدثت الثورة الصناعية أولاً في بريطانيا العظمى لأسباب عدّة نذكر منها الميل البريطاني لتطبيق المعرفة العلمية على الشؤون العملية، والنظام

السياسي الذي يحبّذ التنمية الصناعية، وتوفّر المواد الخام، ولا سيّما من أجزاء كثيرة من الإمبراطورية البريطانية، وأكبر أسطول تجاري في العالـم، الذي أعطى البريطانيين وصولاً إلى مواد خام إضافية (مثل القطن والخشب)، ولأسواق ضخمة لبيع المنسوجات. وقد خاض البريطانيون إدخال الابتكارات في الزراعة، مثل المحاريث الرخيصة، التي سهّلت لبعض العمال إنتاج المزيد من الغذاء، وحرّرت العمال الآخرين للعمل في المصانع الجديدة.

كانت العواقب الاقتصادية والاجتماعية عميقة. ولـمّا كانت آلات الإنتاج الجديدة باهظة الثمن، كان من السهل الوصول إليها أساساً للأشخاص الذين لديهم مبالغ كبيرة من المال، التي أغفلت معظم الأُسر. نَتَجَ عن ورش العمل خارج المنزل، التي جلبت العمال والآلات معاً، مصانعَ أولاً في المنسوجات، ثم في الصناعات الأخرى. يمكن للعمال غير المهرة نسبياً أن يميلوا إلى آلات جديدة، خلافاً للحِرف التقليدية التي تطلّبت مهارات تعلّمها الناس عن طريق التدريب المهني الطويل. لذا، يمكن توظيف عمال المزارع الزائدين والأطفال للعمل مقابل أجر معيّن.

انتشرت الثورةُ الصناعية في جميع أنحاء أوروبا الغربية وعبر المحيط الأطلسي إلى أمريكا الشمالية. وهكذا، تميَّزَ القرنُ التاسع عشر في العالم الغربي بزيادة الإنتاج وهيمنة التنظيم الرأسمالي للصناعة. كانت التغيّرات مصحوبة بنمو كبير ومعقد وصناعات مترابطة، ونمو سريع في مجموع السكان والتحوّل من المناطق الريفية إلى المناطق الحضرية. نشأ توترٌ متزايدٌ بين أولئك الذين سيطروا واستفادوا من الإنتاج من جهة، والعمال الذين عملوا مقابل أجر معيّن من جهة أخرى، الذي لا يكاد يكون كافياً

لاستمرار الحياة. نمت الأيديولوجيات السياسية الرئيسة إلى حدٍّ كبير في القرن العشرين من المظاهر الاقتصادية للثورة الصناعية.

تشير الثورة الصناعية بمعناها الضيّق إلى حلقة معيّنة في التاريخ، لكن بالنظر إليها على نطاق أوسع، فإنها لـم تنتهِ بعد. منذ بداياتها في بريطانيا العظمى، انتشر التصنيع إلى بعض أجزاء العالـم على نحو أسرع بكثير من الدول الأخرى، وهو الآن لا يزال يصل إلى بعض الدول فقط. وحالما يصل إلى بلدان جديدة، فإنّ آثاره الاقتصادية والسياسية والاجتماعية هي عادةً مفاجئة، مثل تلك التي حدثت في القرن التاسع عشر في أوروبا وأمريكا الشمالية، ولكن بتفاصيل تُشكِّلها الظروف المحلية.

علاوةً على ذلك، اتسعت الثورة إلى ما وراء القوة البخارية وصناعة النسيج، فدمجت سلسلة من التطوّرات التكنولوجية الجديدة، كان لكلٍّ منها تأثيره الضخم في كيفية عيش الناس. وفي المقابل، غيّرت التقنياتُ الكهربائية والإلكترونية والحاسوبية تغييراً جذرياً النقل والاتصالات والتصنيع والصحة والتكنولوجيات الأخرى، كما غيّرت أنماط العمل والترفيه، وأدّت إلى معرفة أكبر بكيفية عمل العالـم. (قد تكون وتيرة التغيير في البلدان الصناعية الجديدة أكبر؛ لأنّ موجات الابتكار المتتالية تصل من كثب مع تباعد في الوقت). وبطريقتها الخاصة، فإنّ كل استمرارية من هذه الاستمراريات للثورة الصناعية أظهرت الترابط المتزايد الذي لا مفرّ منه بين العلم والتكنولوجيا.

الفصل الحادي عشر

موضوعات عامة

تنتشر بعض الموضوعات المهمة في العلوم والرياضيات والتكنولوجيا وتظهر مراراً وتكراراً، "سواء كنا ننظر إلى حضارة قديمة، أم إلى جسم الإنسان، أم إلى مذنّب. إنها أفكارٌ تتخطّى حدود الميدان أو المجال، وهي مثمرة في التفسير من الناحية النظرية والملاحظة والتصميم.

يقدّم هذا الفصل توصيات حول بعض هذه الأفكار وكيفية تطبيقها على العلوم والرياضيات والتكنولوجيا. وهنا، تُقدَّم أفكارٌ موضوعية تحت أربعة عناوين رئيسة: الأنظمة، والنماذج، والثبات والتغيير، والنطاق.

التوصيات

الأنظمة

يمكن أن نَعُدَّ أيّ مجموعة من الأشياء، التي لها بعض التأثير في بعضها الآخر، نظاماً. ويمكن أن تكون هذه الأشياء كائناتٍ حيّةً أو آلاتٍ أو عملياتٍ أو أفكاراً أو أعداداً أو منظّماتٍ. والتفكير في مجموعة من الأشياء على أنها نظامٌ يجذب الانتباه إلى ما يجب تضمينه بين الأجزاء لفهم هذا النظام، وكيفية تفاعل بعض أجزائه مع بعضها الآخر، وكيف أنّ تفاعل النظام كلّه يتعلّق بالأنظمة الأخرى. والتفكير بمبدأ النظم يعني ضمناً أنَّ كلَّ جزء لا يمكن فهمه تماماً إلا من حيث تعلّقه ببقية أجزاء النظام.

وفي تعريف النظام، سواء كان نظاماً بيئياً أم نظاماً شمسياً، نظاماً تعليمياً أم نقدياً، نظاماً فسيولوجياً أم طقسياً، يجب علينا تضمين أجزاء كافية لتحظى علاقةُ بعضها مع بعض بنوع من المعنى. ويعتمد ما هو منطقي على ما لدينا من غرض. فعلى سبيل المثال، إذا كنا مهتمين بتدفق الطاقة في النظام البيئي للغابات، فيجب علينا تضمين المدخلات الشمسية وتحلّل الكائنات الحيّة الميتة. ومع ذلك، إذا كنا مهتمين فقط بالعلاقة بين المفترس والفريسة، فيمكننا تجاهل هذه العلاقة. وإذا كنا مهتمين فقط بتفسير تقريبي للمد والجزر على الأرض، فيمكننا إهمال كل الأجسام الأخرى في الكون ما عدا الأرض والقمر.

غير أنّ التفسير الأدق يتطلّب أن نأخذ في الحسبان أيضاً الشمس بوصفها جزءاً من النظام.

يمكن أن يُحدِثَ رسمٌ لحدود نظام ما على نحو جيد فرقاً بين الفهم وعدم الفهم لما يجري. لم يكن الحفاظُ على الكتلة في أثناء الاحتراق، على سبيل المثال، متعارفاً عليه مدّةً طويلة؛ لأنّ الغازات المنتَجَة لم يتضمنها النظام الذي قيس وزنه. واعتقد الناس أنّ الديدان يمكن أن تنمو تلقائياً من القمامة إلى أن أُجريت التجارب، واستُبعِدَ الذبابُ الذي يضع بيضه فيها من النظام.

إنّ التفكير في كل شيء داخل حدود ما بأنه نظام يقترح الحاجة إلى البحث عن أنواع معيّنة من التأثير والسلوك. فعلى سبيل المثال، قد نفكّر في مدخلات النظام ومخرجاته. يدخل الهواء والوقود في المحرّك الذي يُخرج العادم والحرارة والعمل الميكانيكي. وتدخل المعلومات والطاقة الصوتية والطاقة الكهربائية نظامَ الهاتف، ثم تخرج المعلومات والطاقة الصوتية والحرارة.

ونبحث عما يدخل أيّ جزء من النظام ويخرج منه، أي إنّ مخرجات بعض الأجزاء هي مدخلات لأجزاء أخرى. فعلى سبيل المثال، الفاكهة والأكسجين، التي هي مخرجات النباتات في النظام البيئي، هي مدخلات لبعض الحيوانات في النظام، وثاني أكسيد الكربون والفضلات الناتجة عن الحيوانات قد تكون بمنزلة مدخلات للنباتات.

قد يتم تضمين جزء من مخرجات النظام في ملف مدخلات النظام الخاصة. تعمل هذه التعليقات عموماً على أنها عنصر تحكّم على ما يمضي في النظام. ويمكن أن تشجع التعليقات مزيداً مما يحدث بالفعل، أو تثبّطه أو تعدّله لجعله شيئاً مختلفاً. فعلى سبيل المثال، بعض الأصوات المكبّرة من نظام مكبّر الصوت يمكن أن تغذي الميكروفون، ثم تُضَخَّم أكثر، وما إلى ذلك، فتقود النظام إلى حمل زائد، وصرير التغذية الراجعة المألوف، لكنّ تغذية النظام لا تكون سريعة دائماً. فعلى سبيل المثال، كلّما ازداد عددُ الغزلان في موقع معيّن في عام واحد، ازدادَ الطلبُ على الإمدادات الغذائية الشتوية النادرة وقد يؤدي ذلك إلى زيادة معدّل المجاعة في العام التالي، وهكذا فإنّ ذلك يقلّل عدد الغزلان في ذاك الموقع.

الطريقة التي تؤثّر فيها بعضُ أجزاء النظام في بعض ليست عن طريق نقل المواد فحسب، بل عن طريق نقل المعلومات أيضاً. وتتضمّن مثل هذه التغذية المعلوماتية الراجعة عادةً آلية مقارنة بوصفها جزءاً من النظام. فعلى سبيل المثال، يقارن منظِّمُ الحرارة المقاسة درجة الحرارة في الغرفة إلى قيمة محددة ويشغّل جهاز التدفئة أو التبريد إذا كان الاختلاف أكبر مما ينبغي. ومثال آخر هو الطريقة التي تتسرّب فيها أخبار الخطط الحكومية قبل أن يُعلَن عنها رسمياً يمكن أن يثير الإعلان ردّات فعل تتسبّب في تغيير

الخطط. يقارن الأشخاص الخطط المسرّبة بما يريدون، ثم يصادقون عليها أو يعترضون على الخطط وفقاً لذلك.

يمكن عَدُّ أيّ جزء من النظام في حدِّ ذاته نظاماً، أو نظاماً فرعياً، بأجزائه الداخلية وتفاعلاته. يُعَدُّ الغزال جزءاً من نظام بيئي ونظاماً في حدِّ ذاته مؤلّفاً من الأعضاء المتفاعلة والخلايا، إذ يمكن عَدُّ كل واحدة منها نظاماً أيضاً. وبالمثل، فإنّ أيّ نظام من المحتمل أن يكون جزءاً من نظام أكبر يؤثّر فيه وهذا النظام الأكبر يمكن أن يؤثر فيه أيضاً. فعلى سبيل المثال، يمكن عَدُّ حكومة الولاية نظاماً يتضمّن حكومات المقاطعات والمدن بوصفها مكوّنات، لكنّ ذلك في حدِّ ذاته عنصر واحد فقط في نظام الحكم الوطني.

لا تلغي الأنظمةُ أنظمةً أخرى، بل قد تكون الأنظمة وثيقة الصلة بعضها ببعضٍ إلى درجة أنه لا تكون هناك طريقة لرسم حدود تفصل بين كل أجزاء القسم الواحد عن جميع أجزاء القسم الآخر. وهكذا، فإنّ نظام الاتصال ونظام النقل والنظام الاجتماعي مترابطة بعضها مع بعضٍ على نطاق واسع، ويمكن أن يكون أحد المكوّنات - مثل طيّار في سلك الطيران - جزءاً من الأقسام الثلاثة.

النماذج

إنّ أنموذج شيء ما هو تقليد مبسّط منه نأمل أن يساعدنا في فهمه على نحو أفضل. وقد يكون الأنموذج جهازاً أو خطّة أو رسماً أو معادلة، أو برنامجاً حاسوبياً، أو حتى مجرّد صورة ذهنية. وسواء كانت النماذج مادية أم رياضية أم مفاهيمية، فإنّ قيمتها تكمن في اقتراح كيفية عمل الأشياء أو احتمالية عملها. فعلى سبيل المثال، بمجرّد تشبيه القلب بمضخة لشرح

ما يفعله، يمكن الاستدلال على أنّ المبادئ الهندسية المستخدمة في تصميم المضخات يمكن أن تكون مفيدة في فهم أمراض القلب. حين لا يقلّد أنموذجٌ ما الظاهرة جيداً، فإنّ طبيعة التناقض دليلٌ على كيفية تحسين الأنموذج. غير أنّ النماذج قد تضلّل أيضاً، الأمر الذي يشير إلى خصائص ليست مشتركة حقاً مع ما يُصمَّم. لطالما عُدَّت النار أنموذجاً لـتحوّل الطاقة في الشمس، على سبيل المثال، ولكن لا شيء تبيّن أنه يحترق في الشمس.

النماذج المادية

المعنى الأكثر شيوعاً لمصطلح «أنموذج» هو الأنموذج المادي، وهو جهاز أو عملية فعلية تتصرّف تماماً مثل ظاهرة تجري نمذجتها، ويمكننا أن نأمل أن نتعلّم شيئاً منها. والتعامل مع الأنموذج المادي عادةً أسهل من العمل مع ما يمثله؛ لأنه أصغر حجماً وأقل تكلفة من حيث المواد، أو أقصر من حيث المدة.

يمكن إجراء التجارب التي يتم فيها التحكّم في المتغيّرات من كثب على أنموذج مادي على أمل أن تكون استجابته مماثلة لاستجابة الظاهرة ذات النطاق الواسع. فعلى سبيل المثال، يمكن استخدام أنموذج مصغر لطائرة في نفق هوائي لاستكشاف تأثيرات أشكال الجناح المختلفة. ويمكن نمذجة العمليات البيولوجية البشرية باستخدام حيوانات المختبر أو ثقافات في أنابيب اختبار لفحص العلاجات الطبية لاستخدامها المحتمل على الناس. يمكن أيضاً نمذجة العمليات الاجتماعية، كما هي الحال حين تُختَبر طريقة جديدة من التعليمات في صف دراسي واحد بدلاً من اختبارها في نظام المدرسة بأكمله، لكنّ القياس يجب ألا يكون موجّهاً دائماً نحو الأصغر

والأرخص. فالظواهر المجهرية مثل التكوّينات الجزيئية قد تتطلّب نماذج أكبر بكثير يمكن قياسها والتلاعب بها باليد.

يمكن قياس الأنموذج من حيث الزمن ومن حيث الحجم والمواد أيضاً. وقد يستغرق حدوث شيء ما وقتاً طويلاً على نحو غير مريح إلى درجة أننا نلحظ فقط جزءاً منه. فعلى سبيل المثال، قد نرغب في معرفة أنّ الناس سيتذكرون بعد سنوات ما تم تدريسه في المدرسة بطبيعة الحال، لكننا نكتفي باختبارهم بعد أسبوع فقط. قد تحاول النماذج ذات المدى القصير ضغط التأثيرات طويلة المدى عن طريق زيادة معدّلات حدوث الأحداث. وأحدُ الأمثلة هو إجراء التجارب الجينية على الكائنات الحيّة مثل البكتيريا والذباب والفئران، التي تَلِدُ أعداداً كبيرة من أجيالها في مدة زمنية قصيرة نسبياً. ومثالٌ آخر مهم هو إعطاء جرعات ضخمة من المواد الكيميائية لحيوانات المختبر في محاولة إدخال التأثير في وقت قصير الذي ستُحدِثُهُ الجرعات الصغيرة على المدى الطويل. ومثالٌ ميكانيكي هو الاختبار المدمّر للمنتجات، باستخدام آلاتٍ لمحاكاة ارتداء أحذية أو ألبسة، على سبيل المثال، التي تحدث على مدى سنوات في الاستخدام العادي. ومن ناحية أخرى، قد تتطلّب الظواهر السريعة جداً نماذج بطيئة، مثل تصوير الحركة البطيئة لحركة الطيور أو الراقصين أو تصادم السيّارات.

لا يمكن توقع سلوك الأنموذج المادي على الإطلاق أن يمثّل الظاهرة الشاملة بدقة كاملة، ولا حتى في مجموعة محدودة من الخصائص قيد الدراسة. إذا كان أنموذج القارب صغيراً جداً، فإنّ الطريقة التي يتدفّق بها الماء ستكون مختلفة إلى حدٍّ كبير عن المحيط الحقيقي والقارب، وإذا كان صفٌّ واحدٌ فقط في المدرسة يستخدم طريقة جديدة، فإنّ تخصصها قد

يجعلها أكثر نجاحاً مما ستكون عليه الطريقة لو كانت شائعة. قد تحتوي الجرعاتُ الكبيرة من الدواء على أنواع مختلفة من التأثيرات (وقد تقتل بدلاً من أن تعالج)، وليس مجرّد تأثيرات أسرع. قد يكون عدم ملاءمة الأنموذج مرتبطةً بعوامل مثل التغييرات في الحجم أو وجود اختلافات نوعية لا تؤخذ في الحسبان في الأنموذج (على سبيل المثال، قد تكون الفئران حساسة للأدوية التي لا يتحسس الناس لها، والعكسُ صحيح).

نماذج مفاهيمية

إحدى الطرق لإعطاء معنى غير مألوف هو تشبيهه بشيء مألوف إلى حدٍّ ما، أي استخدام المجاز أو القياس. وهكذا، كانت السيّارات تسمّى في البداية عربات بلا أحصنة. وسُمِّيت «الخلايا» الحيّة بهذا الاسم؛ لأنها بدت في النباتات كأنها تصطفُّ في صفوف مثل غرف في دير؛ كان «التيار» الكهربائي يُشبَّه بتدفّق الماء، وقيل إنّ الإلكترونات في الذرّات مرتّبة حول النواة في «قواقع». في كل حالة، تستند الاستعارة أو المقارنة إلى بعض سمات التشابه، لكنْ فقط بعضٌ منها. ليس للخلايا الحيّة أبوابٌ، وليست التياراتُ الكهربائية مبتلّة، ولا تحتوي قواقع الإلكترون على أسطح صُلْبة. لذا يمكن أن يضلّلنا هذا الأمر، ويمكن أن يساعدنا أيضاً، من خلال الاستعارة أو التشبيه، اعتماداً على ما إذا كان يُستدَلُّ عليه من الجوانب غير الملائمة للتشابه جنباً إلى جنب مع النواحي المناسبة. فعلى سبيل المثال، إنّ استعارة التفرّع المتكرّر للأنواع في «شجرة التطوّر» قد تميل إلى التفكير ليس في التفرّع فحسب، بل في التقدّم التصاعدي أيضاً. يشير استخدام استعارة الشجرة من ناحية أخرى إلى أنّ تفرّع التطوّر يُنتِجُ تنوّعاً عظيماً في الاتجاهات كلّها، دون اتجاه مفضّل يشكّل تقدّماً. إذا كانت ثمة ظاهرة مختلفة تماماً عن تجربتنا

العادية، مثل الظواهر الكمومية على نطاق ذرّي، فقد لا يكون ثمة شيء واحد مألوف يمكننا تشبيهه به.

قد يكون الأنموذج المفاهيمي، مثل أيّ أنموذج آخر، محدوداً فقط بفائدته. فمن ناحية، قد يكون الأمر بسيطاً أكثر من اللازم. على سبيل المثال، من المفيد التفكير في جزيئات غاز ما بأنها كرات صغيرة مرنة تتحرّك على نحو لا نهاية له، تقفز واحدة تلو أخرى. غير أنه إذا أردنا إدراج ظواهر أخرى، فيجب تعديل مثل هذا الأنموذج إلى حدٍّ كبير ليشمل أجزاء متحركة داخل كل كرة. ومن ناحية أخرى، قد يكون الأنموذج أيضاً معقداً أكثر من اللازم للاستخدام العملي. إنّ دقة نماذج الأنظمة المعقدة مثل عدد سكان العالم والطقس وتوزيع الغذاء محدودة من خلال العدد الكبير للمتغيّرات المتفاعلة التي يجب التعامل معها في الوقت نفسه. أو قد يكون الأنموذج المجرّد مناسباً للملاحظات بصورة جيدة، ولكن ليس له معنى بديهي. في نمذجة سلوك الجزيئات، على سبيل المثال، علينا الاعتماد على وصف رياضي قد لا يثير أيّ صورة ذهنية مرتبطة به. وقد يكون لدى أيّ نموذج بعض المزايا غير ذات الصلة التي تتطفّل على استخدامنا لها. فعلى سبيل المثال، بسبب ظهور الرياضيين والمضيفين العالي ومكانتهم، قد يعتقدهم الأطفال قدوةً ليس في الجوانب التي يتفوّقون فيها فحسب، بل في جوانب غير ذات صلة أيضاً، وربما أقل من الجوانب المثالية المعروفة بوضوح.

النماذج الرياضية

الفكرة الأساسية للنمذجة الرياضية هي إيجاد العلاقة الرياضية التي تتصرّف بالطريقة نفسها التي يعمل بها نظام المصلحة أو الاهتمام. (يمكن

أن يكون النظام في هذه الحالة تجريدات أخرى، فضلاً عن الظواهر المادية أو البيولوجية). فعلى سبيل المثال، يمكن تمثيل السرعة المتزايدة لصخرة تسقط بالعلاقة الرمزية ($v = gt$)، إذ يكون لـ (g) قيمة ثابتة. يشير الأنموذج إلى أنّ سرعة السقوط (v) تزداد نسبة إلى وقت السقوط (t). يمكن لأنموذج رياضي أن يتنبأ بما قد تكون عليه الظواهر في المواقف خارج تلك التي لوحظت بالفعل، ولكن فقط تلك التي قد تكون مشابهة. وفي كثير من الأحيان، من السهل جداً أن نجد أنموذجاً رياضياً مناسباً لظاهرة على نطاق صغير من الظروف (مثل درجة الحرارة)، لكنها قد لا تتناسب جيداً مع نطاق أوسع. وعلى الرغم من أن ($v = gt$) تنطبق بدقة بالفعل على أشياء مثل الصخور المتساقطة (من مرحلة سكونها) أكثر من بضعة أمتار قليلة، لا تتناسب هذه المعادلة تماماً مع الظاهرة، إذا كان الشيء الذي يسقط هو عبارة عن ورقة شجر (فقد يَحُدُّ الهواء من سرعتها)، أو إذا كان السقوط لمسافة أكبر بكثير (يزداد السحب، وتتغيّر قوة الجاذبية).

قد تتضمّن النماذج الرياضية مجموعة من القواعد والتعليمات التي تحدّد بدقة سلسلة من الخطوات التي يجب اتخاذها، سواء كانت هذه الخطوات حسابية أم منطقية أم هندسية. في بعض الأحيان حتى قواعد وتعليمات بسيطة جداً يمكن أن يكون لها عواقب يصعب للغاية التنبؤ بها دون تنفيذ الخطوات فعلياً. ويمكن لأجهزة الحاسوب ذات السرعة العالية استكشاف النتائج المترتبة على تنفيذ طويل جداً أو تعليمات معقدة. فعلى سبيل المثال، يمكن أن تكون محطة الطاقة النووية مصمّمة لتحتوي على أجهزة كشف وأجهزة إنذار في جميع أجزاء نظام التحكّم، لكنّ توقّع ما سيحدث في ظلّ ظروف معقدة مختلفة يمكن أن يكون صعباً جداً. ويمكن

ربطُ النماذج الرياضية لجميع أجزاء نظام التحكّم بعضها مع بعضٍ لمحاكاة كيفية عمل النظام في ظلّ ظروف مختلفة من الإخفاق.

إنّ معرفة أيّ نوع من النماذج هو الأنسب أمرٌ يختلف باختلاف الموقف. وإذا فُهِمَت المبادئ الأساسية على نحو سيئ، أو إذا كانت رياضيات المبادئ المعروفة معقدة للغاية، فقد يكون الأنموذج المادي مفضّلاً، وهذه هي الحال، على سبيل المثال، مع التدفّق المضطرب للسوائل. إنّ السرعة الحوسبية المتزايدة لأجهزة الحاسوب تجعل النمذجة الرياضية والمحاكاة الرسومية الناتجة مناسبة لمزيد من أنواع المشكلات الأخرى.

الثبات والتغيير

الثبات

في مجال العلوم والرياضيات والهندسة ثمة اهتمام كبير بالطرق التي لا تتغيّر فيها الأنظمة. ولدى محاولتنا لفهم الأنظمة، فإننا نبحث عن تبسيط المبادئ؛ وجوانب الأنظمة التي لا تتغيّر هي بوضوح تبسيطية. ولدى تصميم الأنظمة، فإننا نريد في معظم الأحيان التأكد من بقاء بعض خصائصها كما هو متوقع.

الاستقرار والتوازن. المصير النهائي لمعظم الأنظمة المادية، حين تتبدد الطاقة المتاحة للعمل، هي أنها تستقرّ في حالة التوازن. فعلى سبيل المثال، قد تسقط صخرة وتستقرّ عند سفح جرف ما، أو قد يذوب كوب من الماء المثلّج ويدفأ لتصبح حرارته تعادل درجة حرارة الغرفة. في هذه الحالات، فإنّ كل القوى متوازنة، وتبدو كل عمليات التغيير أنها تتوقف، وستبقى

على هذا النحو حتى يُنجَز شيء جديد للنظام، وبعد ذلك سيستقر في النهاية في توازن جديد. إذا أُضيف مكعب ثلج جديد إلى كوب الماء، فإنّ حرارة البيئة ستنتقل إلى الكوب إلى أن يحتوي الكوب مرة أخرى على الماء في درجة حرارة الغرفة. وإذا تحسّن السعر الثابت لمنتج استهلاكي، فإنّ الطلب المتزايد عليه قد يتسبب في رفع سعره إلى أن تتسبب المصروفات في استقرار عدد المشترين عند قيمة توازن أعلى.

يمكن أيضاً تطبيق فكرة التوازن على الأنظمة التي يوجد فيها تغيير مستمر، ما دامت بعض التغييرات توازنُ بعضَها الآخر. فعلى سبيل المثال، يمكن التفكير في سوق العمل بأنه في حالة توازن إذا ظلّ العددُ الإجمالي للعاطلين عن العمل على حاله تقريباً، على الرغم من أنّ كثيراً من الأشخاص يفقدون وظائفهم في حين ثمة آخرون يُوظَّفون. أو قد يكون نظامٌ بيئي في حالة توازن إذا كان أعضاء كل الأنواع يموتون بالمعدّل نفسه الذي يتكاثرون به.

من وجهة نظر جزيئية، فإنّ كل حالات التوازن تتناقض مع نشاط الجزيئات المستمر. فعلى سبيل المثال، حين تُغلق زجاجة من الصودا، فإنّ جزيئات الماء وثاني أكسيد الكربون المتسربة من المحلول إلى الهواء فوقه تزداد في تركيزها إلى أن يتساوى معدّل العودة إلى السائل مع معدّل تبخّره. يستمرّ التبخّر والعودة بمعدل مرتفع، في حين أنّ التركيزات التي يمكن ملاحظتها والضغوط تبقى في حالة مستقرة إلى أجل غير مسمّى. وفي السائل نفسه، تتحد دائماً بعض جزيئات الماء وثاني أكسيد الكربون مع بعضها الآخر، في حين تنفصل جزيئات أخرى، ومن ثَمَّ تحافظ على تركيز توازن الحمض الخفيف الذي يعطي طعماً لاذعاً.

بَيْدَ أنَّ بعض العمليات لا يمكن عكسها بسهولة. إذا كانت منتجات تركيبة كيميائية لا تنفصل بسهولة مرة أخرى، أو إذا تبخّر غازٌ ما من محلول، فإنّ العملية ستستمر في اتجاه واحد إلى أن تنفد المواد المتفاعلة، تاركةً وراءها توازناً ثابتاً، وليس توازناً ديناميّاً. يمكن أن يكون نظام ما في حالة مستقرة بسبب اضطرابات صغيرة، ولكن ليس بسبب اضطرابات كبيرة. فعلى سبيل المثال، إذا استقرَّ حجرٌ بعد أن سقط من أعلى التلّة إلى منتصف الطريق، فإنه سيبقى هناك ما لم تزعجه قوى صغيرة، لكنّ ركلةً جيدة قد تحرره ليبدأ في انحداره مرة أخرى نحو حالة أكثر استقراراً في الأسفل.

تتضمّن أنظمةٌ كثيرة أنظمةً فرعية تُعنى بالتغذية الراجعة التي تعمل على الاحتفاظ بجانب ما من النظام الثابت، أو على الأقل ضمن الحدود المحددة للاختلاف. ترموستات مصمَّم لتنظيم نظام التدفئة أو التبريد هو مثال شائع، مثل مجموعة التفاعلات البيولوجية في الثدييات، التي تحافظ على درجات حرارة أجسامها ضمن نطاق ضيّق. غير أنّ مثل هذه الآليات قد تُخفق، إذا سارت الظروف بعيداً عن نطاق العمليات المعتاد (وهذا ما يحدث، على سبيل المثال، حين تغلق ضربة الشمس نظام تبريد الجسم عند الإنسان).

خاصية المحافظة: لدى بعض جوانب الأنظمة خاصية لافتة للنظر بأنها يُحافَظُ عليها دائماً. إذا قلّلنا الكمية في مكان واحد، فإنّ الزيادة المتساوية تماماً تظهر دائماً في مكان آخر. إذا أُغلِقَ نظامٌ ما على مثل هذه الكمية، مع عدم دخول أيّ منها أو ترك حدودها، فلن يتغيّر المبلغ الإجمالي داخلها، بغض النظر عن مدى تغيّر النظام بطرق أخرى. ومهما يحدث داخل النظام (أجزاءٌ تتحلّل أو تنفجر أو تتفسّخ أو تتغيّر في أيّ طريقة)، فإنّ

ثمة كميات إجمالية تبقى كما هي بالضبط. في انفجار شحنة الديناميت، على سبيل المثال، فإنّ الكتلة الكلية وطاقة جميع المنتجات (بما فيها الشظايا والغازات والحرارة والضوء) تبقى ثابتة.

التناظر: إلى جانب ثبات المجموع الكلّي، ثمة ثوابت في الشكل. تبدو كرة البينغ بونغ متشابهة إلى حدٍّ كبير مهما قلّبتها وحرّكتها. ومن ناحية أخرى، ستبدو البيضة باستمرار كما هي إذا استدارت حول محورها الطويل، ولكن ليس إذا تم تدويرها بأيّ طريقة أخرى. يبدو الوجه البشري مختلفاً تماماً إذا قُلب رأساً على عقب، ولكن لا يكون على هذا النحو إذا انعكس من اليسار إلى اليمين، كما في مرآة. ستبدو الخطوطُ العريضة لإشارة «توقف» مثمّنة الأضلاع، أو نجم البحر، كما هي بعد قلبها من زاوية معيّنة. يشير التناظرُ الطبيعي للشكل عادةً إلى تناظر عمليات النمو. الأوعية الفخارية، على سبيل المثال، متناظرة، لأنها كانت تدور باستمرار في أثناء تشكّلها بثبات اليدين. كل الحيوانات البرية تقريباً لديها قسمين متماثلين على اليمين واليسار، ويمكن إرجاع ذلك إلى التوزيع المتناظر للخلايا في الجنين المبكر.

لكن التناظر ليس مسألة هندسة فحسب، بل يمكن للعمليات التي نجريها على الأعداد والرموز أن تُظهِرَ ثباتاً. وقد يكون أبسطُها أنّ تبادل الشروط في مجموع (X + Y) يَنتُجُ عنه القيمة نفسها: (Y+X=X+Y)، لكن (X-Y) تُظهِرُ نوعاً مختلفاً من التناظر: (Y-X) هو القيمة السلبية من (X-Y). وفي الرياضيات الأعلى، يمكن أن يكون هناك بعض الأنواع الدقيقة من التناظر. ولأنّ الرياضيات مستخدمة على نطاق واسع لنمذجة كيف تتصرّف الأشياء في العالـم، فإنّ التناظرات في الأوصاف الرياضية يمكن أن تشير إلى تناظرات غير متوقعة تكمن وراء الظواهر المادية.

أنماط التغيير

تحظى أنماطُ التغيير بأهمية خاصة في العلوم: أوصاف التغيير مهمة للتنبؤ بما سيحدث، وتحليلُ التغيير ضروريٌ لفهم ما يجري أيضاً فضلاً عن التنبؤ بما سيحدث. والسيطرة على التغيير أمرٌ ضروري لتصميم الأنظمة التكنولوجية. يمكننا التمييز بين ثلاث فئات عامّة.

أولاً: التغييرات التي هي عبارة عن اتجاهات ثابتة.

ثانياً: التغييرات التي تحدث في الدورات.

ثالثاً: التغييرات غير المنتظمة. وقد يحتوي النظام على ثلاثة أنواع من التغيير التي تحدث معاً.

الاتجاهات أو الميول: توجد التغييرات الثابتة في ظواهر عدّة، بدءاً من زيادة سرعة سقوط صخرة، إلى طفرة الجينات في السكان، واضمحلال النوى المشعة. ليست كل هذه الاتجاهات ثابتة بالمعنى نفسه، ولكنها تتقدّم كلّها في اتجاه واحد، ولديها نزاهة أوصاف رياضية بسيطة. إنّ معدّل الانحلال الإشعاعي في عيّنة الصخور يتضاءل مع مرور الوقت، لكنها نسبة ثابتة من عدد النوى المتبقية غير المتحلّلة. التغييرات التدريجية التي تناسب شكلاً رياضياً قابلاً للتحديد يمكن أن يُستخدَم لتقدير استمرار المدة العملية. فعلى سبيل المثال، يشير النشاط الإشعاعي المتبقي للصخور إلى المدة التي تكوّنت فيها، وقد يشير الرقم الحالي من الاختلافات في الحمض النووي لنوعين إلى عدد الأجيال السابقة التي كان لها سلف مشترك.

الدورات: هي سلسلة من التغييرات التي تحدث مراراً وتكراراً، وهي تغيير دوري، مألوف أيضاً في ظواهر عدّة، مثل الدورات الموسمية للطقس،

واهتزاز وتر الغيتار، ودرجة حرارة الجسم في الثدييات، واكتساح شعاع الإلكترون عبر أنبوب التلفاز. تتميّز الدورات بمدى اتساع نطاق التباين من الحد الأقصى إلى الحد الأدنى، ومن خلال المدة التي تستغرقها الدورة، ومتى بالضبط تحدث ذروتها. وللدورة اليومية في درجة حرارة جسم الإنسان، على سبيل المثال، يكون الاختلاف حول درجة معيّنة. تتكرّر الدورة كل ٢٤ ساعة تقريباً، وتحدثُ الذُّرا عادةً في وقت متأخّر بعد الظهر. أما وتر الغيتار، فإنّ التباين في الحركة يحدث بمقدار ملليمتر تقريباً، وتستغرق كل دورة نحو جزء من الألف من الثانية. يمكن أن تكون الدورات بطول آلاف السنين بين العصور الجليدية، أو أقصر من جزء من المليار من الثانية في المذبذبات الكهربائية. يمكن أن يكون لظواهر كثيرة، كالزلازل والعصور الجليدية، أنماط من التغيير التي تستمر في الشكل، ولكنها غير منتظمة في مدتها، ونعلم أنّ من طبيعتها التكرار، لكن لا يمكن التنبؤ بدقة متى يحدث ذلك.

يمكن أن يكون مدى التباين في أثناء الدورة كبيراً إلى درجة أنه يعيق النظام، كما هي الحال حين تتحطّم المباني بسبب الاهتزازات في الزلازل، أو يمكن أن تكون صغيرة جداً بحيث يتعذّر اكتشافها، وتضيع على ما يبدو في النشاط العشوائي للنظام. غير أنّ ما هو عشوائي وما هو منتظم ليسا دائماً واضحين من مجرّد النظر إلى البيانات. فالبيانات التي تبدو غير منتظمة تماماً يمكن أن يُظهِرها التحليلُ الإحصائي بأنّ ثمة اتجاهات أو دورات أساسية. ومن ناحية أخرى، فإنّ الاتجاهات أو الدورات التي تظهر في البيانات يمكن أن يُظهِرها في بعض الأحيان التحليلُ الإحصائي بأنّ تفسيره ممكن بسهولة، وأنه يُعزى فقط إلى العشوائية أو المصادفة.

يحدث التغييرُ الدوري على نحو شائع حين تكون ثمة تأثيرات تغذية راجعة في نظام ما، كما يحدث، على سبيل المثال، حين يسبب تغييرٌ في أيّ اتجاه قوىً تعارضُ التغيير. إنّ نظاماً، بمثل هذه التغذية الراجعة التي تعمل ببطء، من المرجّح أن يتغيّر بمقدار كبير قبل دفعه إلى الخلف نحو الطبيعي، وحين يعود إلى طبيعته، فإنّ زخم التغيير يمكن أن يحمله مسافة ما في الاتجاه المعاكس، وما إلى ذلك، الأمر الذي يُنتِجُ دورةً منتظمة إلى حدٍّ ما. إنّ النظم البيولوجية التي تكون صغيرة صِغَر الخلايا المنفردة لها دورات كيميائية ناتجة عن التغذية الراجعة؛ لأنّ نواتج التفاعلات تؤثّر في المعدّلات التي تحدث فيها التفاعلات. وفي الكائنات الحيّة المعقدة، تُنتِجُ الآثارُ الراجعة لأنظمة السيطرة العصبية والهرمونية المكدّسة بعضها فوق بعضٍ إيقاعاتٍ مميّزة في وظائف الجسم المتعددة (على سبيل المثال، في تعداد خلايا الدم، وفي الحساسية للأدوية، وفي اليقظة، وحتى في المزاج). وعلى مستوى المجتمع البشري، من المحتمل أن يثير أيّ اتجاه في النهاية ردّات فعل معارضة، لذا، فإنّ ثمة كثيراً من الدورات الاجتماعية: تأرجحُ النواس واضح في كل شيء من الاقتصاد إلى الأزياء وفلسفة التربية والتعليم.

الفوضى: إنّ معرفة القواعد الدقيقة لكيفية تصرّف أجزاء من النظام لا تسمح لنا بالضرورة بالتنبؤ بكيفية تصرّف النظام بأكمله. حتى بعض العمليات البسيطة والمحددة بدقة لدى تكرارها مرّات عدّة، قد تكون معقدة للغاية، ويبدو أنها نتائج فوضوية. تتضمّن معظم الأنظمة فوق المستوى الجزيئي التفاعلات لأجزاء وقوى كثيرة، وهي حساسة جداً للاختلافات الصغيرة في الظروف إلى درجة أنه لا يمكن التنبؤ بسلوكها المفصّل.

وعلى الرغم من عدم القدرة على التنبؤ بالتفاصيل، قد يكون ملخّص السلوك لبعض الأنظمة الكبيرة متوقعاً إلى درجة كبيرة. إنّ التغييرات في ضغط الغاز ودرجة حرارته في حالة توازن يمكن تنبؤها بدقة كبيرة، على الرغم من الحركة الفوضوية لجزيئاتها وعدم قدرة العالِـم على التنبؤ بحركة أيّ منها. إنّ متوسط توزّع أوراق الشجر على الشجرة أو النسبة المئوية للرؤوس في سلسلة طويلة من رميات العملة مع بعض الموثوقية، التي يمكن التنبؤ بها من مناسبة إلى أخرى. وبالمثل، فإنّ التنبؤ بمتوسط سلوك مجموعة من الأفراد من المرجّح أن يكون موثوقاً أكثر من التنبؤ بسلوك أيّ فرد. ويمكن التنبؤ بالمناخ إلى حدٍّ ما، حتى لو لم يكن الطقس اليومي قابلاً للتنبؤ.

تُظهِرُ أنظمةٌ كثيرة استقراراً تقريبياً في السلوك الدوري، إذ تمرُّ بتسلسل الحالات نفسه إلى حدٍّ كبير مراراً وتكراراً، على الرغم من أنّ التفاصيل ليست نفسها تماماً مرتين: على سبيل المثال، دوران القمر حول الأرض، ودورات النوم البشرية واليقظة والتقلّبات الدورية في أعداد الحيوانات المفترسة والضحية. على الرغم من أنّ مثل هذه الأنظمة تنطوي على تفاعل للتأثيرات شديدة التعقيد، قد تستمرّ إلى أجل غير مسمّى في تقريب دورة واحدة بسيطة. وستؤدي الاضطرابات الصغيرة فقط إلى العودة إلى الدورة التقريبية نفسها، على الرغم من أنّ الاضطرابات الكبيرة قد تجعل النظام يتخذ سلوكاً مختلفاً تماماً، الذي قد يكون، مع ذلك، دورة بسيطة أخرى.

النشوء

الفكرة العامة للنشوء، التي تعود على الأقل إلى اليونان القديمة، هي أنّ الحاضر ينشأ من مواد الماضي وأشكاله، على نحو تدريجي إلى حدٍّ ما،

وبطرق قابلة للتفسير. هكذا نشأ النظامُ الشمسي، ووجه الأرض، وأشكال الحياة على الأرض من حالاتها الأولى والاستمرار في النشوء. تنطبق فكرة النشوء أيضاً، على الرغم من أنها فكرة مرنة جداً، على اللغة والأدب والموسيقا، والأحزاب السياسية والأمم والعلوم والرياضيات والتصميم التكنولوجي، فقد نما كلُّ نشوء جديد في هذه المساعي البشرية من الأشكال التي سبقتها، وكانت تلك الأشكال السابقة نفسها قد نشأت من الأشكال السابقة.

الاحتمالات: زعانفُ الحيتان، وأجنحةُ الخفافيش، وأيدي الناس، وأقدام القطط قد نشأت كلّها من مجموعة العِظام نفسها في أقدام أسلاف الزواحف القديمة. كانت التعليمات الجينية لمجموعة العِظام موجودة هناك، ونتجت الزعانف أو المخالب من الانتقاء الطبيعي للتغييرات في تلك التعليمات على مدى أجيال عدّة. لم تظهر عين مكتملة التكوين فجأةً، إذ لم يكن هناك عضو حساس للضوء من قبل، ولم تظهر سيّارة، إذ لم تكن هناك مركبة ذات أربع عجلات، ولم تنشأ نظرية الجاذبية إلا بعد أجيال من التفكير في القوى والمدارات.

يقتصرُ ما يمكن أن يحدث بعد ذلك إلى حدٍّ ما على ما حدث حتى الآن، لكن ما مدى محدودية ذلك؟ ثمة وجهة نظر متطرّفة وهي أنّ ما يحدث بعد ذلك يُـحَدَّد تماماً من خلال ما حدث حتى الآن، فلا يوجد إلا مستقبل واحد ممكن. ثمة نوعان مختلفان إلى حدٍّ ما من الأسباب للشك في هذا الرأي. السبب الأول هو فوضوية العمليات الكثيرة، وحتى الاختلافات الطفيفة في الظروف يمكن أن تُنتِج اختلافات كبيرة في النتائج. السبب الآخر هو أنّ ثمة عاملاً عشوائياً لا يمكن التنبؤ به في سلوك الذرّات،

الذي يعمل في قاعدة الأشياء. لذا، يبدو أنّ الحاضر يَـحُدُّ من احتمالات ما سيحدث بعد ذلك، لكنه لا يحدّده تماماً.

المعدّلات: يفكّر الناس عادةً في نشوء النظام وتطوّرها بأنها عملية مستمرة تدريجياً، مع سلسلة من الحالات الوسيطة بين القديم والجديد. وهذا لا يعني أنّ التغيير التطوّري بطيء بالضرورة. قد تحدث المراحل المتوسطة بسرعة كبيرة، وقد يكون من الصعب تحديدها. تنطوي الانفجارات، على سبيل المثال، على سلسلة من التغييرات التي تحدث بسرعة كبيرة جداً بحيث يتعذّر تتبعها، سواء كانت الانفجارات كهربائية كما هي الحال في البرق، أو كيميائية كما في محرّكات السيّارات، أو نووية كما في النجوم. على أيّ حال، يعتمد ما هو سريع للغاية على مدى دقة فصل البيانات في الوقت المناسب. خذ في الحسبان، على سبيل المثال، مجموعة الأحافير لكائنات نادرة إلى حدٍّ ما تُعرف بأنها كانت موجودة في فترة استمرّت لآلاف السنين. في هذه الحالة، من المستحيل أن نتتبع بدقة التغيرات التطوّرية التي حدثت في غضون ألف عام. يحدث التغيير التطوّري في قفزات. فعلى سبيل المثال، لا تنشأ التطوّرات البيولوجية الجديدة بإعادة ترتيب متعاقب من الجينات الموجودة فحسب، بل عن طريق الطفرة المفاجئة لجينة إلى صيغة جديدة. وعلى المستوى الذرّي، تتغيّر الإلكترونات من حالة طاقة واحدة إلى حالة أخرى مع عدم وجود حالات وسيطة محتملة. على أيّ حال، بالنسبة إلى كل من الجينة والإلكترون، الوضع الجديد محدود من خلال الوضع السابق، ويمكن تفسيره من خلاله أيضاً.

التفاعلات: لا يحدث النشوء بمعزل عن غيره. ففي حين أنّ أحد أشكال الحياة ينشأ ويتطوّر، تنشأ وتتطوّر الأشكال الأخرى حولها. وفي

حين يتطوّر خطٌّ سياسي من الفكر، تتطوّر معه الظروف السياسية المحيط به. وبوجه أعم، تتغيّر البيئة التي يجب أن تستجيب لها الأشياء والأفكار حتى مع تطوّرها، وربما تُعيق أو تُسهّل تغييرها في اتجاه معيّن. فعلى سبيل المثال، قد تقودنا التغيّرات المفاجئة في مناخ مطرد إلى انقراض الأنواع، التي أصبحت متكيّفة معها على نحو جيد. سهّلت المصاعب الاقتصادية في أوروبا بعد الحرب العالمية الأولى صعود الفاشيين الذين حرّضوا على الحرب العالمية الثانية. إنّ وفرة الأفكار الرياضية المطوّرة حديثاً المتعلّقة بالمساحات المنحنية مكّنت آينشتاين من وضع أفكاره عن النسبية في شكل كمّي مقنع. وعزّز تطوير الكهرباء انتشار الاتصالات السريعة بعيدة المدى.

المقياس

تُعَدُّ نطاقات المقادير في عالمنا الكوني، والأحجام، والمدد الزمنية، والسرعات، وما إلى ذلك، هائلةً. تكادُ الاكتشافات الفيزيائية للعلم أن تكون غير مفهومة بالنسبة إلينا؛ لأنها تنطوي على الظواهر على مستويات بعيدة كل البُعد عن التجربة البشرية. يمكننا قياس سرعة الضوء، على سبيل المثال، والمسافة إلى أقرب النجوم، وعدد النجوم في المجرّة، وعمر الشمس، لكنّ هذه المقادير أكبر بكثير مما يمكننا فهمه بصورة بديهية. وفي الاتجاه الآخر، يمكننا تحديد حجم الذرّات وأعدادها الضخمة ومدى سرعة حدوث التفاعلات فيما بينها، لكنّ هذه الأمور المتطرّفة تتجاوز أيضاً قوتنا في الفهم الحدسي. إنّ تصوّراتنا المحدودة وقدرات معالجة المعلومات ببساطة لا تستطيع التعامل مع النطاق بأكمله. ومع ذلك، يمكننا تمثيل هذه الأحجام بطرق رياضية مجرّدة (على سبيل المثال، مليارات المليارات)، وتسعى إلى علاقات منطقية بينها.

عادةً ما تكون التغييرات الكبيرة في الحجم مصحوبةً بتغييرات في نوع الظواهر التي تحدث. فعلى سبيل المثال، على نطاق بشري مألوف، يتبدّد نفثٌ صغير من الغاز المنبعث من قمر صناعي في مدار في الفضاء. وعلى المقياس الفلكي فإنّ سحابة الغاز في الفضاء المحمّلة بكتلة كافية تسحبها قوى الجاذبية المتبادلة في كرة ساخنة وتُشعِلُ الانصهار النووي فتصبح نجمةً. وعلى المستوى البشري، فإنّ المواد والطاقة قابلة للتجزئة إلى ما لا نهاية، وعلى المستوى الذرّي، لا يمكن للمادة أن تكون منقسمة ولا تزال تحتفظ بهويتها، ولا يمكن للطاقة أن تتغيّر إلا من خلال قفزات منفصلة. إنّ المسافة التي تستغرقها حشرةٌ صغيرة لتدور حول شجرة أكبرُ بكثير من المسافة نفسها بالنسبة إلى سنجاب، فاستناداً إلى مقياس حجم الحشرة ثمة تلالٌ وأودية عدّة لتجتازها، في حين لا يوجد شيء من هذا القبيل بالنسبة إلى السنجاب.

حتى في عوالم الزمان والمكان المألوفة على نحو مباشر بالنسبة إلينا، يؤدي المقياس دوراً مهماً. لا يمكن للمباني والحيوانات والمنظّمات الاجتماعية أن تصبح أكبر أو أصغر بصورة ملحوظة دون أن تخوض تغييرات جوهرية في هيكلها أو سلوكها. فعلى سبيل المثال، لا يمكن إنشاء مبنى مؤلَّف من أربعين طابقاً من التصميم الدقيق نفسه والمواد المستخدَمة على نحو شائع لمبنى مكوّن من أربعة طوابق، لأنه (فضلاً عن أمور أخرى) سينهار بسبب ثقله. حين يزدادُ حجمُ الأشياء، يزدادُ حجمها على نحو أسرع من منطقة سطحها. لذا، فإنّ الخصائص التي تعتمد على الحجم، كالسعة والوزن، تتغيّر على نحو لا يتناسب مع الخصائص التي تعتمد على المنطقة، مثل قوة الدعامات أو نشاط السطح. فعلى سبيل المثال، تذوبُ مادةٌ

حين تُطحَن لتصبح ناعمة بسرعة أكبر مما تكون في شكل كتلة؛ لأنّ نسبة مساحة السطح إلى الحجم أكبر بكثير في هذه الحالة. يمكن للكائنات الحيّة الدقيقة تبادل المواد مع بيئتها مباشرة من خلال سطحها، في حين يتطلّب الكائن الحي الأكبر أسطحاً متخصصة شديدة التشعّب (كما في الرئتين والأوعية الدموية والجذور).

تُظهِرُ الاتصالاتُ الداخلية أيضاً تأثيراً قوياً في المقياس. إنّ عدد الأزواج المحتملة للأشياء (على سبيل المثال، الصداقات أو اتصالات الهاتف) يزداد تقريباً بمقدار مربّع عدد الأشياء. ومن ثَمَّ، فإنّ المجتمع الأكبر بعشرة أضعاف سيكون لديه ما يقرب من مئة ضعف من عدد الاتصالات الهاتفية الممكنة بين السكان المقيمين. وبوجه أعم، ليست المدينة مجرّد قرية كبيرة، ذلك أنّ كل ما يميّز المدينة، كالخدمات وأنماط العمل وأساليب الحكم، تختلف بالضرورة عما يقابلها في القرية، وليس فقط أكبر منها. تتضمّن الأنظمة في بعض الأحيان كثيراً من المكوّنات المترابطة إلى درجة أنها تتحدّى الوصف الدقيق. وحالما يزدادُ مقياسُ التعقيد، يجب علينا في نهاية المطاف أن نلجأ إلى الخصائص الموجزة، مثل المتوسطات التي نطبّقها على عدد كبير جداً من الذرّات أو اللحظات من الزمن، أو أوصاف أمثلة نموذجية.

قد تُظهِرُ الأنظمةُ ذات التعقيد الكافي الخصائص التي لا يمكن التنبؤ بها من تفاعل مكوّناتها، حتى حين تكون هذه التفاعلات مفهومة جيداً. في مثل هذه الظروف، فإنّ المبادئ التي لا تشير مباشرةً إلى الآليات الأساسية، لكن التي لا تتعارض معها، قد تكون مطلوبة. فعلى سبيل المثال،

يمكن الإشارة إلى عملية التجلي بوساطة الأنهار الجليدية في الجيولوجيا دون الإشارة إلى الفيزياء الأساسية للقوى الكهربائية والبنية البلورية من المعادن في الصخور. يمكننا التفكير في القلب من حيث حجم الدم الذي ينقله، بغض النظر عن سلوك خلاياه، ويمكننا توقّع احتمال استجابة شخص ما لرسالة دون الرجوع إلى كيفية عمل خلايا الدماغ، أو يمكننا تحليل آثار مجموعات الضغط في السياسة دون الإشارة بالضرورة إلى أيّ شخص معيّن. يمكن فهم مثل هذه الظواهر على مستويات مختلفة من التعقيد، حتى لو كان التفسير الكامل لمثل هذه الأشياء يُخفَّض أو يُقلَّل في معظم الأحيان إلى نطاق يقع خارج تجربتنا المباشرة.

الفصل الثاني عشر

عاداتُ العقل

اهتمَّ الناسُ عبر التاريخ بنقل القيم والمواقف والمهارات المشتركة من جيل إلى آخر. دُرِّسَت هذه الأمور الثلاثة قبل مدة طويلة من اختراع نظام التعليم الرسمي. واليوم، من الواضح أنّ الأسرة والدين والنبلاء والكتب والأخبار ووسائل الإعلام الترفيهية والحياة العامّة والتجارب هي المؤثرات الرئيسة في تشكيل آراء الناس حول المعرفة والتعلُّم وجوانب أخرى من الحياة. يمكن أن تؤدي العلوم والرياضيات والتكنولوجيا، في سياق التعليم، دوراً رئيساً في العملية؛ لأنها مبنيةٌ على مجموعة مميزة من القيم. كما أنها تعكس قيم المجتمع بوجه عام وتستجيب لها، وهذه العلوم تؤثّر على نحو متزايد في تشكيل القيم الثقافية المشتركة. ولـمّا كان التعليم يهتم بالقيم والمواقف، وهي مسألة ذات حساسية كبيرة في مجتمع يقدّر التنوّع الثقافي والفردية ويَـحْذَرُ من الأيديولوجيا، يجب عليه أن يأخذ القيم والمواقف العلمية في الحسبان حين يُعِدُّ الشباب للحياة بعد المدرسة.

وبالمثل، ثمة مهارات التفكير المرتبطة بالعلوم، والرياضيات والتكنولوجيا، التي يحتاج إليها الشباب لتطويرها خلال سنوات الدراسة. وهذه في معظم الأحيان، ولكن ليس حصرياً، مهارات رياضية ومنطقية، وهي أدوات أساسية للتعلّم الرسمي وغير الرسمي وللمشاركة مدى الحياة في المجتمع ككل.

يمكن عَدُّ هذه القيم والمواقف والمهارات مجتمعةً عادات العقل، لأنها مرتبطة كلّها مباشرة بنظرة الشخص للمعرفة والتعلُّم وطرق التفكير والتصرُّف.

يقدّم هذا الفصل توصيات حول القيم والمواقف والمهارات في سياق تعليم العلم. ويركّز الجزء الأول من الفصل على أربعة جوانب محددة من القيم والمواقف: القيم المتأصّلة في العلم، والرياضيات والتكنولوجيا، والقيمة الاجتماعية للعلم والتكنولوجيا، وتعزيز القيم الاجتماعية العامة، ومواقف الناس نحو قدرتهم على فهم العلوم والرياضيات. ويركّز الجزء الثاني من الفصل على المهارات المتعلّقة بالحساب والتقدير والمعالجة والمراقبة والتواصل والاستجابة النقدية للحجج.

التوصيات

القيم والمواقف

يجب أن يسهم تعليم العلوم في معرفة الناس بالقيم المشتركة للعلماء وعلماء الرياضيات والمهندسين، وتعزيز قيم المجتمع العامة، وغرس المعتقدات المستنيرة والمتوازنة في الناس حول القيمة الاجتماعية للعلوم والرياضيات والتكنولوجيا، وتنمية المواقف الإيجابية لدى الشباب حول تعلُّم العلوم والرياضيات والتكنولوجيا.

تجسّد العلوم والرياضيات والتكنولوجيا قيماً معيّنة، بعضُها يختلف في النوع أو الكثافة عن تلك الموجودة في المؤسسات البشرية الأخرى، مثل الأعمال التجارية والقانون والفنون. ولفهم العلوم والرياضيات والتكنولوجيا،

من الضروري أن نكون على دراية ببعض القيم، التي تكمن وراءها، وتُضفي عليها طابعاً شخصياً، التي يشاركها الأشخاص الذين يعملون في المجالات الثلاثة. هذه القيم واضحة في التوصيات الواردة في الفصول الثلاثة من هذا التقرير عن طبيعة العلوم والرياضيات والتكنولوجيا، التي تأخذ في الحسبان أهمية البيانات الآتية، التي يمكن التحقق منها، الفرضيات القابلة للاختبار والقدرة على التنبؤ في العلوم، من الدليل الصارم والأناقة في الرياضيات، ومن التصميم الأمثل في التكنولوجيا.

تعزيز قيم المجتمع العامة

يمكن عَدُّ العلم من الناحية الثقافية بأنه ثوري ومتحفّظ. تجبرنا المعرفة التي يولّدها العلم في بعض الأحيان على تغيير المعتقدات (وحتى تجاهلها)، التي تمسّكنا بها منذ مدة طويلة حول أنفسنا وأهميتنا في مخطط الأشياء الكبير. إنّ الثورات التي نربطها بعلماء مثل «نيوتن» و«داروين» و«ليل» لها علاقة كبيرة بإحساسنا بالإنسانية مثلما ترتبط بمعرفتنا بالأرض وسكانها. علاوةً على ذلك، يمكن للمعرفة العلمية أن تفاجئنا وتزعجنا أيضاً، ولا سيّما حين نكتشف أنّ عالمنا ليس مثلما ندركه أو نريده أن يكون. إنّ اكتشاف أنّ الأرض عمرها بلايين السنين، بدلاً من آلاف السنين، قد يكون مثالاً على ذلك. يمكن أن تكون مثل هذه الاكتشافات محزنة للغاية إلى درجة أنها قد تستغرق سنوات، أو ربما تستغرق مجتمعاً بأكمله لأجيال عدّة، للتوصّل إلى تفاهم مع المعرفة الجديدة. جزءٌ من الثمن الذي ندفعه للحصول على المعرفة هو أنه قد يجعلنا غير مرتاحين، على الأقل في البداية.

وحتى نصبح على علم بتأثير التطورات العلمية والتكنولوجية على الإنسان يجب أن تكون المعتقدات والمشاعر جزءاً من تعليم العلوم للجميع.

من المهم أيضاً أن يدرك الناس أنّ العلم قائمٌ على القيم اليومية حتى حين يتساءل العلم عن فهمنا للعالَم ولأنفسنا. وفي الواقع، العلم في كثير من النواحي هو التطبيق المنهجي لبعض القيم الإنسانية المرموقة، كالنزاهة والاجتهاد والعدل والفضول والانفتاح على الأفكار الجديدة والنزعة الشكّية والخيال. لم يخترع العلماء أياً من هذه القيم، وهم ليسوا الناس وحدهم الذين يتمسّكون بها، لكن المجال الواسع للعلم يجسّد هذه القيم ويؤكّدها، ويوضّح إلى حدٍّ كبير مدى أهميتها لتعزيز المعرفة والرفاه للبشرية. لذا، إذا دُرِّسَ العلم بطريقة فعّالة، فستكون النتيجة هي تعزيز مثل هذه المواقف والقيم الإنسانية المرغوبة عموماً.

تعليم العلوم في وضع قوي بوجه خاص لتعزيز ثلاثة من هذه المواقف والقيم، كالفضول والانفتاح على الأفكار الجديدة والنزعة الشكّية المستنيرة.

الفضول: يزدهر العلماء بالفضول، وهكذا يحدث مع الأطفال. يدخل الأطفال المدرسة ملآنين بالحيوية ولديهم تساؤلات حول كل شيء يرونه، وهم يختلفون عن العلماء فقط في أنهم لم يتعلّموا بعد كيف يجدون الإجابات، وكيف يتحققون من مدى جودة هذه الإجابات. تعليم العلم الذي يعزّز الفضول ويعلّم الأطفال كيفية توجيه ذاك الفضول بطرق إنتاجية تخدم الطلاب والمجتمع بصورة جيدة.

الانفتاح على الأفكار الجديدة: تُعَدُّ الأفكارُ الجديدة ضروريةً لنمو العلم، وللأنشطة البشرية بوجه عام. يفتقدُ أصحابُ العقول المنغلقة متعةَ

الاكتشاف ورضا النمو الفكري طوال الحياة. ولأنّ الغرض من تعليم العلم، كما يوضّح هذا التقرير، لا يقتصر على إنتاج العلماء فحسب، يجب أن يساعد هذا التقرير كل الطلاب على فهم الأهمية الكبرى للأفكار التي فكّرنا فيها بعناية، التي تبدو في البداية مزعجة بالنسبة إليهم، أو تتعارض مع ما يؤمنون به بوجه عام. تُعَدُّ المنافسةُ بين الأفكار مصدراً رئيساً للتوترات داخل العلم، وبين العلم والمجتمع، وداخل المجتمع. يجب أن يوثّق تعليم العلوم طبيعة مثل هذه التوترات من تاريخ العلوم، ويجب أن يساعد الطلاب على رؤية القيمة في أنفسهم والمجتمع، حين يشاركون في دفع الأفكار المتضاربة وجذبها.

النزعة الشكية المستنيرة: يتميّز العلمُ بالقدر نفسه من الشك والانفتاح. وعلى الرغم من أنّ نظرية جديدة قد تلقى انتباهاً جدياً، قلّما تحظى بقبول واسع في العلم إلى أن يتمكّن المدافعون من إظهار أنها تبرز من خلال الدليل، وهي منطقية بما يتفق مع المبادئ الأخرى، التي ليست قيد السؤال، ويشرح أكثر من نظرياتها المنافسة، ولديها القدرة على أن تؤدي إلى معرفة جديدة. ولـمّا كان معظم العلماء يشككون في كل النظريات الجديدة، مثل هذا القبول هو عادةً عملية تُعنى بالتحقق والدحض، التي يمكن أن تستغرق سنواتٍ أو عقوداً لتأخذ مجراها. يمكن أن يساعد تعليم العلوم الطلاب في معرفة القيمة الاجتماعية للشك المنهجي وتطوير التوازن الصحي في أذهانهم بين الانفتاح والتشكيك.

القيمة الاجتماعية للعلوم والرياضيات والتكنولوجيا

ثمة معنى آخر تؤدي فيه القيم دوراً في التفكير حول نتائج عملية التعلُّم. وبصرف النظر عمّا قد يتبناه الطلاب من قيم علمية، ثمة قضية

ما يجب أن يعرفه الطلاب ويؤمنون به حول القيمة الاجتماعية العامة لتلك المساعي. هل من الضروري أن يقتنع كل خريج بالقيمة الكبيرة لمجتمع العلوم والرياضيات والتكنولوجيا؟

بوجه عام، طوّرت العلوم والرياضيات والتكنولوجيا جودة الوجود البشري، ويجب أن يصبح الطلاب من أنصارها المتعمّقين. غير أنه لـمّا كان العلم نفسه يبدو فكراً مستقلاً راقياً، يترتب على ذلك أنّ المعلمين لا ينبغي أن يحاولوا ببساطة تلقين الطلاب ليصبحوا داعمين غير منتقدين للعلم، بل يجب أن يأخذوا الموقف المتمثل في أنّ تحقيق الأهداف الموصى بها في هذا التقرير، سينتهي المطاف بالطلاب بآراء متوازنة لقيمة العلم والرياضيات والتكنولوجيا، وألا يكونوا إيجابيين أو عدائيين غير انتقاديين.

المواقف نحو تعلُّم العلوم والرياضيات والتكنولوجيا

لدى الطلاب في المدرسة الابتدائية اهتمام تلقائي بالطبيعة والأعداد. ومع ذلك، يخرج كثيرٌ من الطلاب من المدرسة وهم يخافون الرياضيات ويزدرون العلم؛ لأنّ العلم مملٌّ للغاية وصعب التعلُّم. كما يرون العلم فقط بأنه نشاط أكاديمي، وليس طريقةً لفهم العالَـم الذي يعيشون فيه. إنّ عواقب هذا النفور وخيمة، لأنّ الأمر يعني أنّ حياة كثير من الطلاب محدودة، والمجموعة الشاملة من المواهب في البلاد التي ينطلق منها العلماء وعلماء الرياضيات والمهندسين أصغر مما ينبغي أن تكون.

قد لا تتمكّن المدارس من تغيير هذا الوضع بنفسها، لكنها ضرورية لأيّ أمل واقعي لفعل ذلك، فالأمر يقع ضمن قدرة المعلّمين على تعزيز المواقف الإيجابية بين طلابهم. إذا اختار المعلّمون موضوعات مهمة يمكن

الوصول إليها، ومعلومات مثيرة في العلوم والرياضيات، وإذا سعوا إلى تعزيز العمل الجماعي فضلاً عن المنافسة بين الطلاب، وإذا ركّزوا على الاستكشاف والفهم أكثر من حفظ المصطلحات عن ظهر قلب، وإذا تأكدوا أنّ طلابهم كلّهم يعرفون أنّ من المتوقع منهم أن يستكشفوا ويتعلّموا ويحققوا الاعتراف بإنجازاتهم، فإنّ هؤلاء الطلاب كلّهم تقريباً سيتعلّمون حقاً. وحين يتعلّم الطلاب بنجاح، فإنهم سيتعلّمون أهم درس في الحياة كلّها: ألا وهو أنهم قادرون على فعل ذلك.

الحساب والتقدير

كانت التوصيات الواردة في الفصول السابقة في معظمها عن المعرفة، غير أنها تشير أيضاً إلى تلك المعرفة التي يجب فهمها بطرق تمكّننا من استخدامها في حلّ المشكلات. ومن هذا المنطلق، فإنّ كل التوصيات السابقة تتمحور حول مهارات التفكير. وإذا نظرنا إلى الأمر من زاوية أخرى، فمن المرجّح أن يتعلّم الطلاب مهارات التفكير فقط في عملية فهمهم لشيء جوهري عن العالـم، ولمواجهة هذه المهارات في سياقات كثيرة ومواقف مختلفة، ولاستخدامها على نحو متكرر.

الحساب

ستعزز أيضاً التجربة المتكررة مع الحسابات في سياقات ذات مغزى مهارةَ المستوى الأعلى في الحكم حين تُنجَز الحسابات على نحو أنسب في رأس المرء أو على الورق، أو بمساعدة آلة حاسبة أو حاسوب. لدى كل أسلوب من هذه الأساليب دور شرعي في حلّ المشكلات، على الرغم من أنّ أدوارها قد تكون مختلفة إذا وُضِعَت في ظروف مختلفة.

مهارات الأعداد الأساسية: يجب أن يكون المرء في الحياة اليومية قادراً على إجراء حسابات بسيطة في عقله، غير أنّ المقدار الفعلي للعمليات الحسابية الذهنية المطلوبة محدودة للغاية، وتقع ضمن حدود قدرة الأفراد الطبيعيين كلّهم للتعلّم. تتطلّب هذه المهارة في المقام الأوّل أن يكون الفرد قادراً على الحفظ وتذكّر حقائق رقمية معيّنة على الفور:

- المجموع والاختلافات والمنتجات الخاصة بأرقام كاملة من ١ إلى ١٠.
- المعادلات العشرية للكسور الرئيسة، كالأنصاف، والأثلاث، والثلثين وأربعة أثلاث وثلاثة أرباع والأخماس والأعشار والمئات (لكن ليس الأسداس والأسباع والأتساع والكسور الأخرى، التي نادراً ما يواجهها معظم الناس).
- العلاقة بين الكسور العشرية والنسب المئوية (مثل ما يعادل ٠.٢٣ و ٢٣ في المئة).
- العلاقات بين ١٠، و١٠٠و ١٠٠٠ ومليون ومليار (على سبيل المثال، مع العلم أنّ المليون هو ألفُ ألف). وإذا عبّرنا عن هذه العلاقات بأنها قوى لـ ١٠، على التوالي، فإنّ هذه العلاقات هي ١٠١، ١٠٢ ،١٠٣ ، ١٠٦، ١٠٩.
- ثمة نوعان من الحسابات الذهنية التي يجب على كل فرد أن يكون قادراً على إنجازها:
- جمع أيّ رقمين يحتوي كلٌّ منهما على رقمين.
- ضرب وقسمة أيّ عدد على ٢، و١٠، و ١٠٠، إلى رقم أو رقمين مُهمّين.

مهارات الآلة الحاسبة: يواجهُ كلُّ فرد تقريباً في الحياة اليومية، ولا سيّما في مكان العمل، الحاجة إلى إجراء الحسابات. وفي الآونة الأخيرة، كان الورق والقلم الرصاص أكثر الوسائل شيوعاً في حلّ المشكلات، التي لا يستطيع الناس حلّها عن طريق الحساب الذهني. وبالنسبة إلى معظم الطلاب، قد تعني الرياضيات المدرسية إجراء العمليات الحسابية على الورق. ويأخذ هذا الأمر عادةً شكل تعلُّم كيفية إجراء القسمة الطويلة، وإيجاد النسب المئوية، أو حساب النسب، ولكن ليس معرفة سبب عمل تلك الخوارزميات، ومتى نستخدمها، أو كيف نفهم الإجابات.

إنّ ظهور آلة حاسبة إلكترونية صغيرة وغير مكلفة جعل من الممكن تغيير هذا الوضع بصورة جذرية. ولأنّ الآلات الحاسبة سريعة جداً، يمكنها توفير وقت تعليمي في المدرسة لإجراء وتعلُّم الرياضيات الحقيقية. يمكن للطلاب تعلُّم كيفية فهم الخطوات لحلّ مشكلات الأعداد العادية، وأيّ عمليات يجب استخدامها، وكيفية التحقق من معقولية إجاباتها. يغدو الحسابُ العالمي احتمالاً حقيقياً.

ليست فائدة الآلة الحاسبة تربوية فحسب. تُعَدُّ الحسابات الورقية بالقلم الرصاص بطيئةً وعُرضة للخطأ وغامضة من الناحية المفاهيمية لمعظم المستخدمين مثلما تكون الأدوات الإلكترونية. وحين تكون الدقةُ مرغوباً فيها، وحين تحتوي الأعداد التي نتعامل معها على أرقام متعددة، أو حين يكون للحساب خطوات عدّة، فإنّ الآلة الحاسبة تقدّم مزايا عملية عدّة تتفوّق على الورق والقلم الرصاص. غير أنّ تلك المزايا لا يمكن تحقيقها ما لم يتعلّم الناس كيفية استخدام الآلات الحاسبة بذكاء. يتطلّب

استخدامُ الآلة الحاسبة مهارةً، ولا يعوّض عن الأخطاء البشرية في التفكير المنطقي، كما يقدّم إجابات أكثر دقة في معظم الأحيان مما تسمح به البيانات، ويمكن أن يقوّضها خطأ المشغّل. الحل هو أن يبدأ الطلاب في استخدام الآلات الحاسبة في وقت مبكر، واستخدامها طوال سنوات الدراسة في أكبر عدد ممكن من المواد المختلفة.

يجب أن يكون كلُّ شخص قادراً على استخدام الآلة الحاسبة لفعل الآتي:

- جمعُ أيّ عددين صحيحين أو عُشريين وطرحهما وضربهما وقسمتهما (لكن ليس القوى أو الجذور أو الدوال المثلثية).
- إيجاد المكافئ العشري لأيّ كسر.
- حسابُ النسبة المئوية لرقم آخر وأخذ نسبة مئوية من أيّ رقم (على سبيل المثال، خصم ١٠ في المئة، وربح بنسبة ٦٠ في المئة).
- البحث عن مقلوب أي رقم.
- تحديد المعدّلات من المقادير (على سبيل المثال، السرعة من حساب الزمن والمسافة) والمقادير من المعدّلات (على سبيل المثال، مبلغ الفائدة البسيطة الذي يجب دفعه على أساس معرفة سعر الفائدة والمبلغ الأساسي، ولكن ليس العمليات الحسابية، التي تستخدم الفائدة المركّبة).
- حساب محيط ومساحة المستطيل والمثلث والدائرة وحجم المواد الصلبة المستطيلة.
- البحث عن متوسط مجموعة من البيانات.

- تحديد الاستبدال العددي لعبارات قيمة الجبر البسيطة. على سبيل المثال، عبارات aX+bY, a(A+B)، و(A-B)/(C+D).
- تحويل الوحدات المركّبة (مثل ين مقابل الدولار، والعكس، والأميال في الساعة إلى أقدام في الثانية).

وللاستفادة الكاملة والفعّالة من الآلات الحاسبة، يجب على كلِّ فردٍ أيضاً أن يكون قادراً على إجراء الآتي:

- قراءة واتباع التعليمات خطوة بخطوة الواردة في كتيّبات الآلة الحاسبة حين نتعلّم إجراءات جديدة.
- تأليف خوارزميات بسيطة وكتابتها لحلّ المشكلات التي تتطلّب خطوات عدّة.
- معرفة وحدة الإجابة (مثل الثانية أو الإنش المربّع أو الدولار لكل خزّان) وما ستكون من المدخلات إلى الحساب. معظم حسابات العالم الحقيقي لها علاقة بالمقادير (الأعداد المرتبطة بالوحدات)، لكنّ الآلات الحاسبة العادية لا تستجيب إلا بأعداد. يجب أن يكون المستخدِم قادراً على ترجمة الرقم "٥٧" على الآلة الحاسبة، على سبيل المثال، إلى "٥٧ ميلاً في الساعة".
- تقريب الرقم الظاهر في الآلة الحاسبة إلى أقرب عدد من الأرقام المهمّة، التي تسوِّغها أرقام هذه المدخلات على نحو معقول. فعلى سبيل المثال، لسرعة سيّارة تصل إلى ٢٠٠ كيلومتر (مع زيادة أو نقصان كيلومتر أو اثنين) في ٣ ساعات (مع زيادة أو نقصان دقيقة أو دقيقتين)، فإنّ ٦٧

كيلومتراً في الساعة من المحتمل أن يكون دقيقاً تماماً، ومن الواضح أن ٦٦,٦٧ كيلومتراً في الساعة هي إجابة بعيدة جداً، و٦٦,٦٦٦٦٦٧ كيلومتراً في الساعة إجابة سخيفة.

- الحكم على ما إذا كانت الإجابة معقولة من خلال مقارنتها بالإجابة التقديرية. إذا كانت النتيجة هي ٦.٧ كيلومتر في الساعة، فينبغي رفضها إذا كانت ٦٦٧ كيلومتر في الساعة وكنا نتحدث عن سرعة سيّارة على الطريق السريع، على سبيل المثال.

التقدير

ثمة ظروف كثيرة تكون فيها الإجابة التقريبية مفيدة بقدر ما تكون الإجابة الدقيقة. وفي الواقع، قد تكون هذه هي القاعدة وليس الاستثناء. إنّ تقدير الإجابات التقريبية يمكن في معظم الأحيان أن تأخذ محل إجراء قياس دقيق أو حساب دقيق، ولكن في معظم الحالات ستكون بمثابة فحص للحسابات التي أُجريت باستخدام الآلات الحاسبة الإلكترونية أو الورقة والقلم. تعتمد المهارة في التقدير على الإحساس بالدرجة الكافية من الدقة في حالة معيّنة، التي بدورها تعتمد على فهم سياق المشكلة والغرض من الحساب. ومن مهارات التقدير الخاصة أنّ على المرء أن يكون قادراً على تقدير الآتي:

- الأطوال والأوزان والمدد الزمنية المألوفة.
- قراءة المسافات وأوقات السفر من الخرائط.
- الأحجام الفعلية للأشياء، بناءً على استخدام رسومات المقياس.

- احتمالات النتائج الخاصة بالمواقف المألوفة، إما على أساس التاريخ (مثل حقيقة أنّ فريق كرة قدم معين قد فاز به المباراة الافتتاحية ثماني مرات في آخر ١٠ سنوات) أو على أساس عدد النتائج المحتملة (على سبيل المثال، ثمة ستة جوانب على حجر النرد).

يحدث في معظم الأحيان أن تكون الإجابة المعروضة على الآلة الحاسبة خاطئة، لأنّ المعلومات التي أُدخلت كانت خاطئة، أو أُدخلت المعلومات بطريقة غير صحيحة، أو استُخدِمَ التسلسل الخطأ للعمليات. وفي المواقف التي لا يوجد فيها أساس للحكم على مدى ملاءمة الإجابة، التي تم التوصل إليها عن طريق الحساب، يجب أن يكون كل شخص قادراً على معرفة تقدير تقريبي لما يجب أن تكون عليه الإجابة قبل قبولها. وهذا يتضمّن القدرة على فعل ثلاثة أشياء:

- إجراء تقديرات تقريبية للمبالغ، والاختلافات، والمزايا، وحاصل القسمة والكسور والنسب المئوية.
- تتبّع مصدر أيّ تفاوت كبير بين الإجابة المقدَّرة والمحسوبة.
- تقريب مقدار ما إلى أقرب قوة للعدد ١٠. وهكذا، فإنّ عدد سكان العالم ١٠٩ (مليار) أو ١٠١٠ (أي عشرة مليارات). وهو شيء حُسِّنَ من خلال تغيّرات "ترتيب المقدار" بمعامل يبلغ نحو ١٠ - أي شيء من ٤ أو ٥ أضعاف إلى ٢٠ أو ٣٠ ضعف أكبر (أو أصغر)، وعامل من ٤٠ أو بضع مئات، على سبيل المثال، سيكون أشبه بضعفي الحجم.

يجب أن يكتسب الجميع القدرة على التعامل مع المواد الشائعة والأدوات الخاصة بالتعامل مع التقنيات المنزلية وغيرها من التقنيات اليومية، لإجراء ملاحظات دقيقة وللتعامل مع المعلومات. تشمل هذه التقنيات القدرة على فعل الآتي:

- الاحتفاظ بدفتر ملحوظات يصف بدقة الملحوظات التي أُجريت، ويميّز بعناية الملحوظات الفعلية من الأفكار والتكهنات حول ما لوحظ، وهذا أمر مفهوم بعد أسابيع أو أشهر.
- تخزين معلومات الحاسوب واستردادها باستخدام الملفات حسب الموضوع والأبجدية والرقم، وملفات الكلمات المفتاحية، واستخدام ملفات بسيطة من ابتكار الفرد.
- إدخال المعلومات واستردادها على جهاز حاسوب باستخدام برنامج معياري.
- استخدام الأدوات المناسبة لإجراء قياسات مباشرة للطول والحجم والوزن والفاصل الزمني ودرجة الحرارة. وإلى جانب اختيار الأداة المناسبة، تستلزم هذه المهارة استخدام الدقة ذات الصلة بالموقف (على سبيل المثال، القياس إلى أقرب ربع بوصة ليس جيداً بما يكفي لصنع خزانة، لكنه أفضل مما هو مطلوب لبناء سياج طويل).
- أخذ قراءات من شاشات العدادات القياسية، التناظرية والرقمية، وإجراء الإعدادات المحددة على الأقراص والعدادات والمفاتيح.

- عمل توصيلات كهربائية بمقابس ومآخذ مختلفة ومرابط التوصيل، وممارسة السلامة المعقولة.
- تشكيل المواد الشائعة وربطها وفكها (مثل الخشب والطين والورق والبلاستيك والمعادن) باستخدام اليد العادية وقوة الأدوات، وممارسة السلامة المعقولة.
- تخفيف ومزج المواد الجافة والسائلة (في المطبخ، أو المرآب، أو المختبر) بنسب محددة، مع ممارسة السلامة المعقولة.
- إجراء عمليات استكشاف الأخطاء البسيطة وإصلاحها في الأجهزة الميكانيكية والكهربائية الشائعة، وتحديد بعض الأسباب المحتملة للعطل وإزالتها (مثل لمبة محترقة مقابل سلك غير موصول ومقابل سلك أو مفتاح معطوب في منزل أو خزان غاز فارغ مقابل بطارية متهالكة مقابل المكربن (أو الكرابيرتور) المغمور في السيارة).
- المقارنة بين المنتجات الاستهلاكية على أساس الميزات الأساسية، والأداء والمتانة والتكلفة، الأمر الذي يتيح الدعم للمقايضات الشخصية.
- البحث عن الآثار المترتبة على التغييرات في جزء من نظام ما: المدخلات أو المخرجات أو التوصيلات، لتشغيل الأجزاء الأخرى.

التواصل

يتطلّب الخطابُ في العلوم والرياضيات والتكنولوجيا القدرة على إيصال الأفكار ومشاركة المعلومات بأمانة ووضوح، والقراءة والاستماع

بفهم. بعض المهارات المعنية محددة للعلوم والرياضيات والتكنولوجيا، وغيرها من الأمور العامّة، على الرغم من أنّ هذه مستقلة عن المحتوى:

يجب أن يمتلك الجميع المهارات التي ستمكّنه أو تمكّنها من فعل الآتي:

- التعبير الشفهي والكتابي عن الأفكار الأساسية، التي تناولتها التوصيات الواردة في هذا التقرير، وهذا يتطلّب قبل كل شيء الآتي:
- يكتسبُ الطلابُ بعضَ الفهم لهذه الأفكار ويبنونها في البنى المفاهيمية الخاصة بهم، وتكون قادرة على التوضيح لهم بالأمثلة والحجج المنطقية.
- أن يكون مريحاً ومألوفاً مع المفردات القياسية، التي تتناسب مع الأفكار الرئيسة في العلوم والرياضيات والتكنولوجيا، على النحو المستخدم في هذا التقرير. وفي كثير من المدارس، يُدرَّس العلمُ من خلال المفردات فقط، وهذا إلى حدٍّ كبير ما يُـختبَر. هذا النهج كارثي وليس ما نستدعيه هنا، وهو مستوى من فهم العلم يَنتُجُ عنه مفردات مفيدة.
- وضع تفسيرات صحيحة على الشروط: "إذا ...، إذن... " "و"، "كل"، "لا"، "يرتبط بـ"و" الأسباب".
- تنظيم المعلومات في جداول بسيطة.
- تصوّر المعلومات والعلاقات من خلال رسم الرسوم البيانية اليدوية لإظهار الاتجاهات (ثابت، متسارع، تناقص العائد، دوري).

- قراءة القيم من المخططات الدائرية والرسومات البيانية الشريطية والخطية البسيطة، وخرائط الألوان الزائفة، وجداول البيانات ثنائية الاتجاه، مع ملاحظة الاتجاهات والقيم المتطرفة وتعرُّف مدى حساسية الرسالة في الرسم البياني المقياس المختار.
- التحقق من المراسلات بين أوصاف البيانات للجداول والرسوم البيانية واللفظية.
- اكتب واتّبع الإجراءات في شكل إرشادات ووصفات وصيغ ومخططات انسيابية ورسومات خطوة بخطوة.
- فهم العلاقات الهندسية الأساسية، بما فيها العمودية، والمتوازية، والمتشابهة، والمتطابقة، الظل، والدوران، والتناظر.
- البحث عن المواقع ووصفها على الخرائط، باستخدام المستطيل والإحداثيات القطبية.
- المشاركة في مناقشات جماعية حول الموضوعات العلمية من خلال القدرة على إعادة صياغة أو تلخيص ما قاله الآخرون، وطلب التوضيح أو التفصيل، واتخاذ وجهات نظر بديلة.

مهارات الاستجابة النقدية

في أشكال مختلفة، تفيض وسائل الإعلام والمعلّمين والأقران على الطلاب بالتأكيدات والحجج، بعضها في مجال العلوم والرياضيات والتكنولوجيا. يجب أن يُعِدّ التعليم الناس لقراءة مثل هذه التأكيدات أو الاستماع إليها بصورة نقدية، وتحديد الدليل الذي يجب الانتباه له وما يجب رفضه، وتمييز الحجج الحذرة من

الحجج الرديئة. وعلاوةً على ذلك، يجب أن يكون الناس قادرين على تطبيق المهارات النقدية نفسها على ملحوظاتهم وحججهم واستنتاجاتهم، ومن ثَمَّ تصبح أقل تقيّداً بأحكامهم المسبقة وتسويغاتهم.

على الرغم من أنه لا يمكن توقع أن يصبح معظم الناس خبراء في المجالات التقنية، يمكن للجميع أن يتعلّموا اكتشاف الأعراض التأكيدات والحجج المشكوك فيها. ولهذه الأمور علاقة بالطرق التي يتم بها الإبلاغ عن النتائج المزعومة. يجب أن يتعلّم الطلاب أن يلحظوا وأن يكونوا على أهبة الاستعداد من خلال العلامات الآتية للحجج الضعيفة:

- لم توضَّح مقدّمات الحجة.
- لا تتبع الاستنتاجات منطقياً من الأدلة المقدّمة (على سبيل المثال، حقيقة أنّ: "معظم الأغنياء يصوّتون للجمهوريين"، ولا تثبت صحة العكس: "معظمُ الناس الذين يصوّتون للجمهوريين هم أغنياء").
- تستند الحجةُ إلى التماثل أو التشابه، لكنّ المقارنة ليست مناسبة.
- تتداخلُ الحقيقة والرأي، والآراء معروضة على أنها حقائق، أو ليس التمييز بينهما واضحاً.
- تستخدم المشاهير على أنها سلطة ("يؤيد نجمُ الفيلم حميةً جديدة").
- تُستخدَم الصفات الغامضة بدلاً من مراجع محددة (على سبيل المثال، هذه الصفات الشائعة مثل: ("يقول كبار الأطباء ... "، "لقد أظهر العلم أنّ ..."، "وبالمقارنة مع بعض الدول الأخرى ..." و "يوصي المجتمع العلمي أنّ ...").

- لم يرد ذكر التدابير، سواء في الآراء المبلّغ عنها ذاتياً أم في المعلومات، التي يجب اتخاذها للوقاية من التشويه المتعمِّد أو غير الواعي.
- لم يرد ذكر المجموعات المسيطرة، في الأدلة التي قيل إنها تأتي من تجربة، التي تشبه إلى حدٍّ كبير المجموعة التجريبية.
- استُخدِمَت الرسومُ البيانية عن طريق قطع جزء من المقياس، باستخدام وحدات القياس غير العادية، أو عن طريق عدم استخدام مقياس على الإطلاق، التي تشوّه ظهور النتائج.
- من المفهوم ضمنياً أنّ جميع أعضاء المجموعة، مثل "المراهقين" أو "المستهلكين" أو "المهاجرين" أو "المرضى"، لديهم خصائص متطابقة تقريباً لا تتداخل مع تلك الخصائص الخاصة بالمجموعات الأخرى.
- يُبلَّغ عن متوسط النتائج، ولكن ليس عن مقدار التباين حول المتوسط.
- تُعطى نسبة مئوية أو جزء، ولكن ليس الحجم الإجمالي للعِيْنَة (مثل في "يوصي ٩ أطباء أسنان من أصل ١٠ ...").
- الكميات المطلقة والمتناسبة مختلطة (كما في المثال الآتي: "كان هناك أكثر من ٣٤٠٠ عمليات سطو في مدينتنا العام الماضي، في حين شهدت مدنٌ أخرى زيادة لا تقلّ عن ١ في المئة").
- يُبلَّغ عن النتائج بدقة مضلّلة (على سبيل المثال، تمثيل ١٣ من أصل ١٩ طالباً بنسبة ٦٨,٤٢ في المئة).
- تُمثَّل التفسيرات أو الاستنتاجات على أنها الوحيدة التي تستحق الدراسة دون ذكر الاحتمالات الأخرى.

الفصل الثالث عشر

التعلّم والتدريس الفعّال

على الرغم من أنّ كتاب «العلم للجميع» يؤكّد ما يجب أن يتعلّمه الطلاب، يدرك الكتاب أيضاً أنّ كيفية تدريس العلم أمرٌ مهم بالقدر نفسه. وفي التعليمات المتعلّقة بالتخطيط، يعتمد المعلّمون الفعّالون على مجموعة متزايدة من المعرفة البحثية المتعلّقة بطبيعة التعلّم، وعلى المعرفة الحِرفية المتعلّقة بالتدريس، التي صمدت أمام الزمن. كما أنهم يأخذون في الحسبان عادةً تعلُّم الخصائص المميزة للمادة، وخلفية طلابهم، والظروف المحيطة بالتدريس والتعلُّم.

يقدّم هذا الفصل، بطريقة غير منهجية ودون ادّعاء الشمولية، بعضَ مبادئ التعلُّم والتدريس، التي تحدد خصائص النهج الخاص بمثل هؤلاء المعلّمين. وينطبق كثيرٌ من هذه المبادئ على التعلُّم والتدريس عموماً، لكن من الواضح أنّ بعضَها مهمٌ، ولا سيّما في تعليم العلوم والرياضيات والتكنولوجيا. ولأسباب تتعلّق بالسهولة، عُرِضَ التعلُّم والتدريس هنا في قسمين منفصلين، على الرغم من أنهما متداخلان على نحو وثيق.

مبادئ التعلُّم

ليس التعلُّم بالضرورة نتيجةً من نتائج التدريس

يكشفُ البحثُ المعرفي أنه حتى مع وجود ما يُعَدُّ تعليماً جيداً، يفهم كثيرٌ من الطلاب، بما في ذلك الموهوبون أكاديمياً، أقل مما نعتقد أنهم يفهمون.

ومع وجود الإصرار، عادةً ما يكون الطلاب الذين يقدّمون امتحاناً قادرين على إدراك ما قيل لهم أو ما قرؤوه. غير أنّ الاستقصاء الدقيق يُظهِرُ في معظم الأحيان أنّ فهمهم محدودٌ أو مشوّه، إنْ لم يكن مخطئاً كلياً. تشير هذه النتيجة إلى أهمية التقتير في تحديد الأهداف التعليمية: يجب على المدارس أن تختار المفاهيم والمهارات الأهم، التي يجب تأكيدها، كي تتمكّن من التركيز على جودة الفهم وليس على كمية المعلومات المقدَّمة.

يتأثّر ما يتعلّمه الطلاب بأفكارهم الحالية

يجب على الناس بناء المعنى الخاص بهم بغض النظر عن مدى الوضوح الذي يخبره به المعلّمون أو الكتب. ويؤدي الشخص ذلك في معظم الأحيان عن طريق ربط المعلومات والمفاهيم الجديدة مع ما يؤمن به مُسبقاً. إنّ المفاهيم، أو الوحدات الجوهرية للفكر البشري، التي ليس لها صلات عدّة بالطريقة التي لا يفكّر فيها الطالب في العالـم من غير المرجّح أن يتذكرها أو أن تكون مفيدة. أو، إذا بقيت في الذاكرة، ستوضع بعيداً في درج مكتوب عليه، على سبيل المثال، "مقرّر علم الأحياء عام ١٩٩٥"، ولن تكون متاحة لتؤثّر في الأفكار المتعلّقة بأيّ جانب آخر من العالَـم. يتعلّم الطالب المفاهيم على النحو الأفضل حين يصادفها في مجموعة متنوعة من السياقات، ويُعبَّر عنها بطرق متنوعة، لأنّ ذلك يضمن أنّ ثمة مزيداً من الفرص بالنسبة إليها كي تصبح جزءاً لا يتجزأ من نظام المعرفة الخاص بالطالب.

بَيْدَ أنَّ التعلُّم الفعّال يتطلّب في معظم الأحيان أكثر من مجرّد إنشاء روابط متعددة بين الأفكار الجديدة والقديمة، ويتطلّب الأمر في بعض الأحيان أن يقوم الناس بإعادة هيكلة تفكيرهم جذرياً. بمعنى آخر؛ يجب

على المتعلّمين، إذا أرادوا إدراج بعض الأفكار الجديدة، تغيير الروابط بين الأشياء التي يعرفونها مُسبقاً، أو حتى تجاهل بعض المعتقدات القديمة حول العالَـم. وتتمثّل بدائل إعادة الهيكلة الضرورية في تشويه المعلومات الجديدة كي تتناسب مع أفكارهم القديمة أو من أجل رفض المعلومات الجديدة كلياً. يأتي الطلابُ إلى المدرسة حاملين أفكارهم الخاصة بهم، التي يكون بعضُها صحيحاً وبعضها الآخر خطأً، المتعلّقة تقريباً بكلّ موضوع من المرجّح أن يواجهوه. إذا تجاهلنا حدسهم ومفاهيمهم الخاطئة أو نبذناها على نحو تعسّفي، فمن المرجّح أن تنتصر معتقداتهم الأصلية على المدى الطويل، على الرغم من أنّهم قد يقدّمون إجابات الاختبار التي يريدها معلّموهم. ليس الاختلاف المحض كافياً. يجب تشجيع الطلاب على تطوير وجهات نظر جديدة من خلال رؤية الكيفية، التي تساعدهم فيها مثل هذه الآراء في فهم العالَـم على نحو أفضل.

يبدأ التقدُّم في التعلُّم عادةً من الملموس إلى المجرّد

يستطيع اليافعون أن يتعلّموا بسهولة أكبر الأشياء الملموسة، التي يمكن الوصول إليها مباشرة عن طريق الحواس كالبصر والسمع واللمس والحركة. وبوجود الخبرة، تنمو قدرتهم على فهم المفاهيم المجرّدة، والتلاعب بالرموز، والتفكير المنطقي، والتعميم. وعلى الرغم من ذلك، تتطوّر هذه المهارات ببطء، ويستمر اعتماد معظم الناس على الأمثلة الملموسة للأفكار الجديدة مدى الحياة. تُعَدُّ التجارب الملموسة الأكثر فعالية في التعلُّم حين تحدث في سياق بعض البنى المفاهيمية ذات الصلة. والصعوبة التي يواجهها كثيرٌ من الطلاب في فهم الأفكار المجرّدة تغدو محجوبة في

معظم الأحيان من خلال قدرتهم على تذكّر وسرد المصطلحات التقنية التي لا يفهمونها. ونتيجة لذلك، يبالغ المعلّمون في بعض الأحيان، من روضة الأطفال إلى الكلية، في تقدير قدرة طلابهم على التعامل مع الأفكار المجرّدة، ويَعُدُّون استخدام الطلاب للكلمات الصحيحة دليلاً على فهمهم لها.

يتعلّم الناس أن يفعلوا على نحو جيد ما يمارسونه فقط

إذا كان من المتوقع أن يقوم الطلاب بتطبيق الأفكار في المواقف الجديدة، فيجب أن يمارسوا تطبيقها في المواقف الجديدة. إذا كانوا يمارسون فقط حساب الإجابات للتمارين التي يمكن التنبؤ بها أو «مشكلات الكلمات» غير الواقعية، فإنّ هذا هو كلّ ما يُحتمل أن يتعلّموه. وعلى نحو مشابه، لا يستطيع الطلاب تعلُّم التفكير النقدي، وتحليل المعلومات، وإيصال الأفكار العلمية، وتقديم الحجج المنطقية، والعمل في فريق، واكتساب مهارات أخرى مرغوبة ما لم يُشجَّعوا ويُسمَح لهم بفعل هذه الأشياء مرّات عدّة في سياقات متعددة.

يحتاج تعلُّم الطلاب الفعّال إلى تغذية راجعة

من غير المرجّح أن تؤدي المهام، سواء كانت يدوية أم فكرية، التي ينجرها الطلاب إلى تحسين المهارات أو الرؤى الثاقبة. يحدث التعلُّم على النحو الأفضل حين يكون لدى الطلاب فرص للتعبير عن الأفكار والحصول على تغذية راجعة من أقرانهم، ولكن لكي تكون التغذية الراجعة مفيدة جداً للمتعلّمين، يجب أن تتألّف من أكثر من مجرّد تقديم الإجابات الصحيحة. يجب أن تكون التغذية الراجعة تحليلية وإيحائية وأن تأتي في وقت

يكون فيه الطلاب مهتمين بها. وبعد ذلك يكون قد حان الوقت بالنسبة إلى الطلاب للتفكير في التغذية الراجعة التي حصلوا عليها، وإجراء التعديلات والمحاولة مرة ثانية، وهو شرط تتجاهله، كما تجدر الملاحظة، معظم الامتحانات، ولا سيّما الامتحانات النهائية.

تؤثّر التوقعات في الأداء

يستجيب الطلاب لتوقعاتهم حول ما يمكنهم وما لا يمكنهم تعلّمه. وإذا كانوا يعتقدون أنهم قادرون على تعلّم شيء ما، سواء في حلّ المعادلات أم في ركوب الدراجة، فإنّهم يحرزون عادةً تقدّماً، لكن حين يفتقرون إلى الثقة بالنفس، يصعب التعلّم لديهم. تتشكّل ثقة الطلاب بأنفسهم حين يختبرون النجاح في التعلّم، تماماً مثلما يخسرون ثقتهم بأنفسهم حين يواجهون الفشل المتكرر. لذا، يحتاج المعلّمون إلى تزويد الطلاب بمهام صعبة، ولكن يمكن تحقيقها، ومساعدتهم على النجاح.

علاوةً على ذلك، إنّ الطلاب سريعون في التقاط توقعات النجاح أو الفشل، التي يطرحها لهم الآخرون. تؤثّر التوقعات الإيجابية والسلبية التي يُظهرها الآباء والاستشاريون ومديرو المدارس والأقران، وبوجه أعم وسائل الإعلام في الطلاب، ومن ثَمَّ تؤثّر في سلوكهم التعليمي. فعلى سبيل المثال، حين يشير المعلّم إلى عدم ثقته في قدرة الطلاب على فهم مواد دراسية محددة، قد يفقد الطلاب الثقة في قدراتهم، وقد يكون أداؤهم أضعف مما سيكون عليه الأمر لولا الإشارة إلى ذلك. إذا عزّز هذا الفشل الواضح الحكم الأصلي الذي أطلقه المعلّم، سينتج عن ذلك دوّامة مُحبطة من الأداء والثقة بالنفس المنخفضين.

يجب أن يكون التدريس منسجماً مع طبيعة البحث العلمي

تُعرَّف العلوم والرياضيات والتكنولوجيا من خلال ما تفعله وكيف تفعله بقدر ما تُعرَّف من خلال النتائج التي تحققها. ولنفهمها بوصفها طرقاً للتفكير والعمل، وبوصفها مجموعة من المعارف، يجب أن يكون لدى الطلاب بعض الخبرة المتعلّقة بأنواع الفكر والعمل، التي تكون نموذجية لهذه المجالات. لذا، يجب أن يقوم المعلّمون بالآتي:

البدء بأسئلة عن الطبيعة. يبدأ التدريس السليم عادةً بالأسئلة والظواهر المثيرة للاهتمام والمألوفة بالنسبة إلى الطلاب، وليس بالأفكار المجرّدة أو الظواهر التي تكمن خارج نطاق الإدراك أو الفهم أو المعرفة. ويحتاج الطلاب إلى الدراية بالأشياء من حولهم، بما في ذلك الأجهزة، والكائنات الحيّة، والمواد، والأشكال، والأرقام، ومراقبتها، وجمعها، والتعامل معها، ووصفها، والشعور بالحيرة بشأنها، وطرح أسئلة حولها، ومناقشتها، ثم محاولة إيجاد إجابات عن أسئلتهم.

إشراك الطلاب بفعالية: يحتاج الطلاب إلى أن يحظوا بفرص عدّة ومتنوعة من أجل الجمع والفرز والتصنيف، والمراقبة وتدوين الملحوظات ووضع المسودات، وإجراء المقابلات والاقتراع والاستقصاء، واستخدام العدسات اليدوية والمجاهر ومقاييس الحرارة والكاميرات، وغيرها من الأدوات الأخرى الشائعة. يجب عليهم إجراء التشريح والقياس والعد والرسم والحساب، واستكشاف الخصائص الكيميائية للمواد الشائعة، والصقل والرعاية، ومراقبة السلوك الاجتماعي للبشر والحيوانات الأخرى

بطريقة منهجية. ومن كلّ هذه الأنشطة، ليس ثمة ما هو أكثر أهمية من القياس، إذ إنَّ معرفة ما يجب قياسه، وطبيعة الأدوات التي يجب استخدامها، وكيفية التحقق من صحة القياسات، وكيفية صياغة النتائج وتفسيرها تكمن في صميم معظم العلوم والهندسة.

التركيز على جمع الأدلة واستخدامها: يجب إعطاء الطلاب مشكلات، في مستويات تناسب نضجهم، تتطلّب منهم أن يقرّروا ما الأدلة ذات الصلة، وأن يقدّموا تفسيراتهم لما تعنيه هذه الأدلة. يضع هذا الأمر، كما يفعل العلم تماماً، أهميةً كبيرة على الملاحظة الدقيقة والتحليل المدروس. يحتاج الطلاب إلى التوجيه والتشجيع والممارسة في تجميع الأدلة وفرزها وتحليلها، وفي بناء الحجج المبنية على هذه الأدلة. وعلى أيّ حال، إذا لم تكن مثل هذه الأنشطة مملة على نحو مدمّر، فيجب أن تؤدي إلى بعض المردود المُرضي فكرياً، الذي يهتم به الطلاب.

تقديم وجهات نظر تاريخية: خلال سنوات دراستهم، ينبغي للطلاب أن يواجهوا أفكاراً علمية كثيرة مقدَّمة في سيّاق تاريخي. لا يهم كثيراً ما الأحداث المحددة التي يختارها المعلّمون (فضلاً عن عدد قليل من الأحداث الرئيسة التي يقدّمها الفصل العاشر) بقدر ما يهم أن يُمثِّل الاختيارُ نطاقَ المشروع العلمي وتنوّعه. يستطيع الطلابُ أن يطوّروا حسّاً بالطريقة التي يحدث فيها العلم من خلال تعلُّم شيء ما من نمو الأفكار العلمية والتقلّبات والمنعطفات في طريقنا إلى فهمنا الحالي لمثل هذه الأفكار، والأدوار التي يؤديها مختلف الباحثون والمعلّقون، والتفاعل بين الدليل والنظرية على مرّ الزمن.

يُعَدُّ التاريخُ مهماً أيضاً بالنسبة إلى التدريس الفعّال للعلوم والرياضيات والتكنولوجيا، لأنه يمكن أن يُفضي أيضاً إلى وجهات نظر اجتماعية، أي تأثير المجتمع في تطوّر العلم والتكنولوجيا، وتأثير العلم والتكنولوجيا في المجتمع. فعلى سبيل المثال، من المهم بالنسبة إلى الطلاب أن يدركوا أنّ النساء والأقليات قد قدّمن إسهامات كبيرة على الرغم من العوائق التي وضعها المجتمعُ في طريقهنّ، وأنّ جذور العلوم والرياضيات والتكنولوجيا تعود إلى الثقافات المصرية واليونانية والعربية والصينية القديمة، وأنّ العلماء يجلبون إلى أعمالهم القيم والأحكام المسبقة الخاصة بالثقافات التي يعيشون فيها.

الإصرار على التعبير الواضح: إنّ التواصل الشفوي والكتابي الفعّال مهم جداً في كلّ جانب من جوانب الحياة إلى درجة أنه يجب على مدرّس كل مادة وعلى المستويات كلّها أن يضعوه في قمة أولوياتهم من أجل الطلاب جميعهم. كما ينبغي لمدرّسي العلوم أن يركّزوا على التعبير الواضح؛ لأنّ دور الدليل والتكرار الواضح للدليل لا يمكن فهمهما دون أن يكافح الشخص في التعبير عن إجراءاته ونتائجه وأفكاره بدقة، وحلّ شيفرة التقارير الخاصة بالآخرين.

استخدام نهج الفريق: يجب تعزيز الطبيعة التعاونية للعمل العلمي والتكنولوجي بقوة من خلال نشاطات الطلاب المتكررة في الصف الدراسي. يعمل العلماء والمهندسون في معظم الأحيان في مجموعات، وقلّما يعمل كلُّ واحد منهم منفرداً. ويجب بالمثل أن يكتسب الطلابُ خبرة تقاسم مسؤولية التعلُّم بين بعضهم بعضاً. وفي عملية البحث عن تفاهمات مشتركة، يجب على الطلاب في مجموعة ما أن يخبروا بعضهم في كثير من

الأحيان بالإجراءات والمعاني، وأن يناقشوا النتائج ويقيّموا كيفية تقدّم المهمة. وفي سياق مسؤولية الفريق، يغدو التواصل والتغذية الراجعة أكثر واقعية، ويتمتعان بطابع مختلف تماماً عن نهج السرد الفردي للكتب المدرسية والواجبات المنزلية.

عدم فصل المعرفة عن الاستكشاف: تقترنُ في العلم الاستنتاجات مع الأساليب التي تؤدي إليها على نحو وثيق. وتعتمد طبيعةُ البحث على طبيعة الشيء الذي يتمّ البحث فيه، وتعتمد طبيعة ما يتعلّمه الطلاب على الأساليب المستخدَمة. يؤدي التدريس العلمي الذي يحاول فقط منح الطلاب المعرفة المتراكمة الخاصة بمجال ما إلى القليل من الفهم، كما أنه لا يؤدي بالتأكيد إلى تطوّر الاستقلال الفكري والمهارة، لكن عندئذٍ يكون تدريس التفكير المنطقي العلمي بوصفه مجموعة من الإجراءات المنفصلة عن أيّ جوهر معين، أو «الطريقة العلمية»، على سبيل المثال، لا طائلَ منه. يجب على مدرّسي المواد العلمية مساعدة الطلاب على اكتساب المعرفة العلمية الخاصة بالعالَم والعادات العلمية للذهن في الوقت نفسه.

التقليل من أهمية حفظ المفردات التقنية عن ظهر قلب: يجب أن يكون الفهم هو الغرض الرئيس من التدريس العلمي بدلاً من حفظ المفردات، غير أنّ المصطلحات الواضحة مهمة أيضاً في التواصل العلمي، ومهمة أيضاً، في نهاية المطاف، من أجل الفهم. لذا، فإنّ المصطلحات التقنية مفيدة للجميع، ولكن عدد المصطلحات الأساسية قليلٌ نسبياً. إذا قدّم المدرّسون المصطلحات التقنية على أنها مهمة لتوضيح التفكير وتعزيز التواصل الفعّال، فإنّ الطلاب سيبنون تدريجياً مفردات وظيفية من شأنها أن تبقى

معهم إلى ما بعد الاختبار التالي. غير أنّ تركيز المدرّسين على المفردات يعني الانتقاص من العلم بوصفه عمليةً، ووضع التعلُّم من أجل الفهم في خطر، والمخاطرة بأن يُضلَّل الطلاب بما تعلّموه.

يجب على التدريس العلمي أن يعكس القيم العلمية

إنّ العلم هو أكثر من مجرّد مجموعة من المعارف وطريقة لتكديس تلك المعارف والتحقق من صحتها. إنه أيضاً نشاط اجتماعي يتضمّن قيماً إنسانية محددة. إنّ إيلاء الفضول والإبداع والخيال والجمال تقديراً عالياً هو ليس أمراً محصوراً بالعلوم والرياضيات والهندسة، مثل الشك والنفور اللذين لا يكونان حكراً على الدوغماتية. على أيّ حال، إنّها كلّها سمات مميزة للمسعى العلمي. يجب أن يواجه الطلاب، لدى تعلُّم المواد العلمية، هذه القيم بوصفها جزءاً من تجربتهم، وليس بوصفها ادّعاءات فارغة. يشير هذا الأمر إلى المدرّسين الذين يجب عليهم السعي لفعل الآتي:

تشجيع الفضول: لا تخلق العلوم والرياضيات والتكنولوجيا فضولاً، بل إنها تتقبّله وتعزّزه وتدمجه وتكافئ عليه وتهذّبه، وكذا يفعل التدريس العلمي. لذا، يجب على مدرّسي المواد العلمية أن يشجعوا الطلاب على طرح أسئلة حول المادة التي يدرسونها، وأن يساعدوهم على تعلُّم صياغة أسئلتهم بوضوح بما يكفي للبدء في البحث عن إجابات، وأن يقترحوا عليهم طرائق مثمرة للبحث عن إجابات، وأن يكافئوا أولئك الطلاب الذين يطرحون أسئلة غير عادية لكنها ذات صلة بالموضوع. وفي الصفوف الدراسية التي تدرّس العلوم، يجب أن يحظى التساؤل بالقدر نفسه من الأهمية التي تحظى بها المعرفة.

مكافأة الإبداع: يقدّر العلماء وعلماء الرياضيات والمهندسون الاستخدام المبدع للخيال. يجب أن يكون الصف الدراسي الخاص بالعلوم مكاناً نعترف فيه بالإبداع والاختراع ونشجعهما بوصفهما سمتين مختلفتين عن التميز الأكاديمي. يستطيع المدرّسون في الواقع التعبير عن إبداعهم من خلال ابتكار الأنشطة، التي سيثمر فيها إبداعُ الطلاب وخيالهم.

تشجيع روح التساؤل الصحية: تزدهر العلوم والرياضيات والهندسة بسبب الشك ذي الطابع المؤسساتي الخاص بممارسيها. يكمن مبدؤهم الأساسي في أنّ دليل المرء ومنطقه وادّعاءاته ستصبح موضع شك، وأنّ تجاربه ستخضع للتكرار. وفي الصفوف الدراسية التي تدرّس العلوم، ينبغي لممارسة المدرّسين الطبيعية أن تطرح أسئلة مثل: كيف نتوصّل إلى المعرفة؟ ما الدليل؟ ما الحجة التي تفسّر هذا الدليل؟ هل ثمة تفسيرات بديلة أو طرق أخرى لحلّ المشكلة يمكن أن تكون أفضل؟ ينبغي أن يكون الهدف جعل الطلاب يعتادون طرحَ أسئلة كهذه وصياغة إجابات عنها.

تجنّب الدوغماتية: ينبغي أن يختبر الطلابُ العلمَ بوصفه عمليةً تهدف إلى توسيع الفهم، لا بوصفه حقيقةً لا تقبل التغيير. وهذا يعني أنه يجب على المدرّسين أن يحرصوا على عدم نقل الانطباع الذي مفاده أنّ الكتب المدرسية، أو هم أنفسهم، يمثّلون السلطة المطلقة، التي تكون استنتاجاتها على صواب دائماً. ومن خلال التعامل مع مصداقية الادعاءات العلمية، ونقض المعتقدات العلمية المقبولة، وما يمكن استخلاصه من الخلافات بين العلماء، يستطيع مدرّسو العلوم مساعدة الطلاب في تحقيق التوازن بين ضرورة قبول قدر كبير من العلم بناءً على الإيمان، وأهمية الحفاظ على ذهن منفتح.

تعزيز الاستجابات الجمالية: ينظر كثيرٌ من الناس إلى العلم على أنه باردٌ ورتيب، غير أنّ الفهم العلمي لتشكّل النجوم، على سبيل المثال، أو زرقة السماء، أو بنية قلب الإنسان لا يحتاج إلى إزاحة المعاني الرومنتيكية والروحية لمثل هذه الظواهر. وعلاوةً على ذلك، تجعل المعرفةُ العلمية الاستجابات الجمالية الإضافية ممكنة، كالاستجابة للنمط المتعرّج من أضواء الشوارع، الذي يمكن رؤيته عبر ستارة، ونبض الحياة في كائن حي مجهري، والامتداد الناتئ لجسر ما، والكفاءة الخاصة بعملية الاحتراق داخل الخلايا الحيّة، والتاريخ الخاص بصخرة أو شجرة، وبرهان رياضي أنيق. يجب على مدرّسي العلوم والرياضيات والتكنولوجيا إنشاء بيئة تعليمية يكون فيها الطلاب قادرين على توسيع وتعميق استجابتهم لجمال الأفكار والأساليب والأدوات والبنى والأشياء والكائنات الحيّة.

ينبغي للتدريس العلمي أن يهدف إلى مواجهة مخاوف التعلُّم

يجب أن يدرك المعلّمون أنه بالنسبة إلى كثير من الطلاب ينطوي تعلُّم الرياضيات والعلوم على مشاعر القلق الشديد والخوف من الفشل. لا شكَّ أنَّ هذا يَنتُجُ إلى حدٍّ ما مما يُدرَّس ومن الطريقة التي يُدرَّس فيها، ويَنتُجُ إلى حدٍّ ما أيضاً من المواقف، التي التُقِطَت مصادفةً في وقت مبكر جداً من الالتحاق بالمدرسة من الآباء والمعلّمين، الذين لا يشعرون أنفسهم بالراحة نحو العلوم والرياضيات. ومع ذلك، بدلاً من رفض الخوف من الرياضيات والعلوم كونهما خوفاً لا مبرّر له، ينبغي للمدرّسين أن يؤكدوا للطلاب أنّهم يفهمون المشكلة وسيساعدونهم على التغلّب عليها. يمكن للمدرّسين اتخاذ تدابير على النحو الآتي:

البناء على النجاح: ينبغي للمدرّسين أن يحرصوا على أنّ يكون للطلاب إحساس بالنجاح في تعلُّم العلوم والرياضيات، وينبغي لهم تقليل التركيز على الحصول على كل الإجابات الصحيحة كونها المعيار الرئيس للنجاح. في نهاية المطاف، ليس العلم في حدّ ذاته صحيحاً تماماً أبداً، كما قال «ألفريد نورث وايتهيد» (Alfred North Whitehead). لا يكون فهم أيّ شيء مطلقاً أبداً، كما أنه يتخذ أشكالاً عدّة. وفقاً لذلك، يجب على المعلّمين السعي لجعل الطلاب كلّهم، ولا سيّما الأقل ثقة بأنفسهم، يدركون تقدّمهم، ويجب تشجيعهم على مواصلة الدراسة.

تقديم خبرة وفيرة في استخدام الأدوات: طلابٌ كثيرون يخافون استخدام أدوات المختبر والأدوات الأخرى. وقد يكون هذا الخوف ناجماً في المقام الأول عن الافتقار للفرص التي يجب على كثير منهم أن يحظوا بها كي يتعرّفوا الأدوات في ظروف آمنة. تعاني الفتياتُ بوجه خاص الفكرةَ الخاطئة التي مفادها أنّ الفتيان بصورة طبيعية أكثر مهارة في استخدام الأدوات. ينبغي للطلاب جميعهم، بدءاً من الصفوف الأولى، أن يكتسبوا تدريجياً الإلمام بالأدوات والاستخدام المناسب لها. وبحلول الوقت الذي ينتهون فيه من المدرسة، يجب أن يكون قد حظي الطلاب كلّهم بخبرة خاضعة للإشراف تتعلّق باستخدام الأدوات اليدوية الشائعة، ولحام الحديد، والعدادات الكهربائية، وأدوات الصياغة، والمعدات البصرية والصوتية، والآلات الحاسبة، وأجهزة الحاسوب.

دعم دور النساء والأقليات في العلم: لأنّ المهن العلمية والهندسية كان يغلب عليها طابع الذكور والبشرة البيضاء، كان من السهل بالنسبة إلى

الأقليات والإناث أن يأخذن انطباعاً بأنّ هذه المجالات تقع خارج نطاقهنّ أو غير مناسبة لهن. سيستمرّ هذا التصوّر الواهن، الذي تعزّزه في معظم الأحيان البيئة خارج المدرسة ما لـم يعمل المعلّمون بنشاط من أجل تصحيحه. يجب على المدرّسين أن يختاروا المواد التعليمية التي توضّح إسهامات النساء والأقليات، وأن يذكروا النماذج التي يُحتذى بها، وأن يوضّحوا للطالبات والأقليات أنه يُتوقَّع منهنّ أيضاً أن يدرسن المواد نفسها على المستوى نفسه مثل أيّ شخص آخر، وأن يؤدين عملهن أيضاً.

تأكيدُ التعلُّمِ ضمن مجموعات: يمتلك نهج مجموعة ما قيمة تحفيزية بعيداً عن الحاجة إلى استخدام التعلُّم الجماعي **(كما ذُكر سابقاً)** من أجل تعزيز فهم كيفية عمل العلوم والهندسة. إنّ الإفراط في التركيز على التنافس بين الطلاب من أجل الحصول على درجات عالية يشوّه ما يجب أن يكون الدافع الرئيس لدراسة المواد العلمية، ألا وهو اكتشاف الأشياء. قد تؤدي المنافسة أيضاً بين الطلاب في صفوف العلوم إلى شعور كثير منهم بالنفور من العلم وفقدانهم للثقة في قدرتهم على تعلُّم تلك العلوم. تمتلك النُّهج التي تتبعها المجموعة، وهي القاعدة السائدة في العلم، كثيراً من المزايا في مجال التعليم. فعلى سبيل المثال، إنها تساعد الشباب على رؤية أنّ كل الأشخاص يستطيعون الإسهام في تحقيق الأهداف المشتركة، وأنّ هذا التقدّم لا يعتمد على امتلاك كل شخص للقدرات نفسها.

يجب أن يمتد التدريس العلمي إلى أبعد من المدرسة

يتعلّم الأطفال من والديهم وإخوتهم وأقاربهم الآخرين وأقرانهم ورموز السلطة البالغين، ومن المعلّمين أيضاً. كما يتعلّمون من الأفلام

والتلفاز والمذياع والسجلات والكتب والمجلات، وأجهزة الحاسوب المنزلية، ومن الذهاب إلى المتاحف وحدائق الحيوان والحفلات واجتماعات النوادي وحفلات موسيقا الروك، والمناسبات الرياضية، وأيضاً من الكتب المدرسية والبيئة المدرسية عموماً. ويجب على معلّمي العلوم استغلال الموارد الثرية للمجتمع الأكبر، وإشراك الآباء وغيرهم من البالغين المعنيين بطرق مفيدة. ومن المهم أيضاً بالنسبة إلى المعلّمين أن يدركوا أنّ بعضَ ما يتعلّمه طلابهم على نحو غير رسمي هو خطأ أو غير مكتمل أو مُبهم أو يُساء فهمه، وأنّ التعليم الرسمي يمكن أن يساعد الطلاب على إعادة هيكلة تلك المعرفة واكتساب معرفة جديدة.

يجب أن يأخذ التدريس وقته

يحتاج الطلاب، لدى تعلُّم العلوم، إلى وقت من أجل الاستكشاف وتدوين الملحوظات والمضي في منعطفات خاطئة، واختبار الأفكار، وفعل الأشياء مرة أخرى. كما يحتاجون إلى الوقت من أجل بناء الأشياء، ومعايرة الأدوات، وجمع الأشياء، وبناء النماذج الفيزيائية والرياضية من أجل اختبار الأفكار. ويحتاجون إلى وقت من أجل تعلُّم أياً كانت الرياضيات والتكنولوجيا والعلوم التي يحتاجون إليها من أجل التعامل مع الأسئلة المطروحة. ويحتاجون إلى وقت من أجل طرح الأسئلة والقراءة والمناقشة. ويحتاجون إلى وقت للخوض في الأفكار غير المألوفة وغير البديهية ولرؤية المزايا الموجودة في التفكير بطريقة مختلفة. علاوةً على ذلك، من غير المرجّح لأيّ موضوع في العلوم أو الرياضيات أو التكنولوجيا، يُدرَّس فقط في درس واحد أو وحدة واحدة، أن يترك أثراً في نهاية التعليم المدرسي. ولكي تترسخ المفاهيم وتنضج، يجب ألا تُقدَّم هذه المفاهيم إلى الطلاب من وقت لآخر فقط، بل يجب تقديمها لهم دورياً في سياقات مختلفة وعلى مستويات متزايدة من الدقة.

الفصل الرابع عشر

إصلاح التعليم

يهتم المشروع ٢٠٦١ بالإصلاح الدائم لقطاع التعليم أكثر من اهتمامه بالتحسين المباشر للمدارس، على الرغم من أنّ مثل هذا التحسين مطلوبٌ بالتأكيد وممكن وقيد التنفيذ في أجزاء كثيرة من الولايات المتحدة الأمريكية، غير أنّ الأمة اكتشفت بعد إطلاق قمر سبوتنيك منذ أكثر من ثلاثة عقود أنّ الاستمرار في الإصلاح التعليمي لا يمكن تحقيقه بسهولة.

تعتمد إمكانية إعادة هيكلة التعليم العلمي بأسره ونجاحها على وجود مطلب عام يتعلّق بإصلاح التعليم العلمي وعلى ما نعتقد، بوصفنا أمةً، أنه مطلوبٌ لتحقيق الإصلاح. يبدأ هذا الفصل بإظهار أنّ ثمة إجماعاً في الواقع على الحاجة إلى الإصلاح في قطاع التعليم المتعلّق بالعلوم والرياضيات والتكنولوجيا، ثم يعرض الأسس التي يقوم عليها نهج المشروع ٢٠٦١ لتحقيق الإصلاح.

الحاجة إلى الإصلاح

لقد اعترف الباحثون على نطاق واسع بضرورة تعزيز التعليم العلمي في الولايات المتحدة الأمريكية في كثير من الدراسات التربوية التي أُجريت في الثمانينيات من القرن العشرين. (أُدرِجَت مجموعة نموذجية من التقارير

في المراجع المختارة في نهاية هذا الكتاب). وعلى الرغم من أنّ الحجة الأقوى التي نادت بتحسين التعليم العلمي للطلاب كلّهم هي دور هذا التعليم في تحرير العقل البشري، ركّزت المناقشات العامة على المسوّغات الواقعية والنفعية المباشرة أكثر من غيرها.

كانت معظم تقارير التعليم في الثمانينيات من القرن العشرين مدفوعةً بالتقاء شاغلين من الشواغل المتزايدة لعامّة الناس. كان الشاغلُ الأول التراجعَ الاقتصادي الواضح لأمريكا، إذ كان ثراؤنا المحلي وقوتنا الدولية (اللذان يعتمدان إلى حدٍّ كبير على تفوّقنا العلمي والتكنولوجي) يضعفان مقارنةً بالبلدان الأخرى، ولا سيّما اليابان. أما الشاغل الآخر فكان عبارة عن نزعات محددة في التعليم العام في الولايات المتحدة الأمريكية: درجات اختبار منخفضة، تجنّب الطلاب للعلوم والرياضيات، وأعضاء هيئة تدريسية يعانون الضعف والعزيمة الواهنة في مدارس كثيرة، وتوقعات تعلُّم منخفضة مقارنةً بالدول الأخرى المتقدّمة تكنولوجياً، والتصنيف المتدني في الدراسات الدولية لمعرفة الطلاب بالعلوم والرياضيات. سلّطت كل التقارير والتغطية الإعلامية لها الضوءَ على أوجه القصور التربوية، فأدركت الأمةُ أخيراً أنّ ثمة أزمةً بالفعل في التعليم الأمريكي.

حتى حين أعرب المسؤولون عن قطاع التعليم عن أسفهم بسبب الأخطاء التربوية، أصبحوا ينظرون كلّهم إلى الأخطاء التربوية في الولايات المتحدة الأمريكية على أنها المسهم الرئيس في الفشل الاقتصادي. وهذا الرأي، سواء كان مُسوَّغاً كلياً أم لا، متضمّنٌ في معظم التقارير، وصريحٌ في تقارير أخرى. وعلى الرغم من أنّ كل واحد من التقارير المختلفة قد تناول

القضايا من منظور مختلف إلى حدٍّ ما، شحنتها كلُّها مجموعة النزعات الاقتصادية والتعليمية نفسها المثيرة للقلق.

في ضوء هذه الخلفية، يمكن أن نفهم أنّ التقارير تؤكد بطريقة أو بأخرى الحاجة إلى تحسين التعليم العلمي والتكنولوجي للطلاب كلّهم، فضلاً عن الحاجة إلى مختلف الإصلاحات التعليمية ذات الطبيعة العامة أكثر. تسهم التقارير في مجملها في تأكيد وجود ارتباط قوي في مجتمعنا ما بعد الصناعي بين مدى جودة أداء أمّة ما ووجود تعليم عالي الجودة موزَّع على نطاق واسع. يوجد الآن إجماعٌ وطني واضح في الولايات المتحدة الأمريكية على أنّ كل طلاب المدارس الابتدائية والثانوية يحتاجون إلى تعليم أفضل في مجالات العلوم والرياضيات والتكنولوجيا.

فرضيات الإصلاح

يستغرق الإصلاح بالضرورة وقتاً طويلاً

تفشل الإصلاحات السريعة دائماً في التعليم، وذلك لأسباب يمكن فهمها بسهولة. ربما أكثرها وضوحاً هو حجم المشروع. يُعَدُّ التعليم في الولايات المتحدة الأمريكية عملاً تجارياً ضخماً، إذ يوظّفُ أكثر من ٣ ملايين شخص، وينفقُ ما يقرب من ٢٠٠ مليار دولار سنوياً، ويمتلك أصولاً رأسمالية جماعية تزيد على تريليون دولار. فمن الوهم أن نعتقد أنّ التعليم الابتدائي والثانوي في أمريكا، الذي يخدم ما يقرب من ٥٠ مليون طالب في أكثر من ٨٠٠٠٠ مدرسة و٥٠ ولاية، يمكن تغييره بسهولة أو بسرعة. وحتى مع وجود الأفكار المبدعة وأفضل النوايا، واستثمار الموارد

على نطاق مناسب للعمل، وكثير من العمل الشاق، فإنّ أيّ تغيير شامل في النظام التعليمي على الصعيد الوطني لا بدّ أن يستغرق عقداً أو أكثر.

غير أنّ المشكلة هي أكثر من مجرّد مشكلة حجم. وخلافاً للوضع في معظم البلدان الأخرى، فإنّ نظام التعليم في الولايات المتحدة الأمريكية تحكمه سلطات عدّة سياسية واقتصادية. تُتخذ حرفياً آلاف الهيئات المختلفة القرارات بشأن السياسة التعليمية واستخدام الموارد من أجل التعليم، التي تتضمّن ١٦٠٠٠ منطقة مدرسية مستقلة، و ٣٣٠٠ كليّة وجامعة، و ٥٠ ولاية، وبضع وكالات تابعة للحكومة الاتحادية، ومحاكم على المستويات كلّها. وقد يكون لهذا الوضع مزاياه الخاصة، لكنّ القدرة على التغيير السريع ليست واحدة من هذه المزايا. يستغرق الأمر، قبل كل شيء، وقتاً لبناء إجماع قوي بين المعلّمين والناس بأنّ ثمة حاجة إلى تغيير جذري، وثمة حاجة إلى مزيد من الوقت للتوصّل إلى ملتقى وطني للعقول يتناول طبيعة المكوّنات الرئيسة للإصلاح. وستكون ثمة حاجة أيضاً إلى مزيد من الوقت من أجل وضع خطط العمل، ودراسة الأفكار، والبدء في العمل في عشرات الآلاف من المؤسسات المختلفة.

يتناول الإصلاح، في نهاية الأمر، الناس أكثر من السياسات والمؤسسات والعمليات. يميل معظم الناس (وليس المعلّمين فحسب) إلى التغيير ببطء حين يتعلّق الأمر بالمواقف والمعتقدات وطرق فعل الأشياء. ويجلب المعلّمون والإداريون إلى وظائفهم مجموعة كاملة من وجهات النظر المتعلّقة بأغراض التعليم، وطبيعة اليافعين، وأفضل السبل لتعزيز التعلُّم. وقد استمدوا وجهات نظرهم هذه من سنوات الخبرة الطويلة التي عزّزتها، فقد كانوا طلاباً، وأصبحوا معلّمين ووالدين فيما بعد. لا يستبدل المحترفون

العقلاء آراءهم وأنماط سلوكهم التي يتشبّثون بها حين يستجيبون لأوامر رسمية أو لآخر صيحات الموضة، بل يستجيبون لتطوير الأحاسيس بين الزملاء المحترمين، وللحوافز التي تكافئ الجهود الجادة لاستكشاف الاحتمالات الجديدة، ولردّات الفعل الإيجابية الناتجة عن تجربة أفكار جديدة من وقت لآخر، ويمكن أن تستغرق كل هذه الأمور سنوات.

قد تتغيّر المهن في معظم الأحيان استجابةً لتبديل الموظفين. فعلى سبيل المثال، يحمل الأطباءُ والمهندسون الشبّان معرفةً وتقنيات ومواقف جديدة إلى هذه المهن. ويمكن للأجيال المتعاقبة من المدرّسين ومديري المدارس أن يخدمون بالطريقة نفسها، ولكن فقط إذا جلبوا مواقف ومعارف ومهارات مختلفة. لذا، فإنّ إصلاح تعليم المعلّمين شرطٌ أساسي لإصلاح المدرسة، لكنّ هذه العملية يجب أن تكون بطيئة بالضرورة حتى نشعر بتأثيرها.

ضرورة التعاون

إنّ النُهج المتجانسة للإصلاح التعليمي ليست من عادة الأمريكيين، وذلك لسبب وجيه: لا توجد مجموعة أو قطاع يمتلك بمفرده الحكمة والإبداع والموارد والسلطة، وبعض المشكلات التربوية المترتبة على ذلك لها حلٌّ واحد ممكن فقط. غير أنّ تنوّع الجهود يمكن أن يؤدي إلى تأثير ضئيل على النطاق الوطني، في حال كان أولئك الذين يسعون إلى تغيير الأمور يسيرون كلّهم في اتجاهات مختلفة دون أن يراعي بعضُهم بعضاً. إنّ الخطوات المتزامنة في التعليم غير ممكنة وغير مرغوب فيها حتى، ولكنّ الالتزام بالتعاون أمرٌ ممكن ومرغوب فيه. فمن الناحية العملية، يعني هذا

الالتزام مشاركة الأفكار والمعلومات مع الأشخاص الآخرين الذين يعالجون المشكلات نفسها أو ذات الصلة. وفي سياق إصلاح التعليم العلمي، تنطبق هذه الملحوظة على المجتمع العلمي في حدِّ ذاته إلى درجة أنه يرغب في تقديم إسهامات كبيرة في عملية إصلاح التعليم.

يشكّل المشروع ٢٠٦١ بطبيعة الحال واحداً فقط من جهود مبذولة كثيرة لرسم اتجاهات جديدة في تعليم العلوم والرياضيات والتكنولوجيا، ولإحداث تحسينات مهمة في النظام الحالي. يسعى المدرّسون والمدارس هنا وهناك وفي جميع أنحاء البلاد كلّها، على الرغم من الصعوبات الكبيرة في كثير من الأحيان، إلى تغيير الأمور، وقد أصبح الإصلاح الحثيث في بعض المقاطعات المدرسية والولايات النظامَ السائد في يومنا هذا. علاوةً على ذلك، يوجد على الصعيد الوطني مشاريعَ (بعضُها مُموَّل من المؤسسات والهيئات الحكومية ومركّزة في الرابطات المهنية والجامعات والمنظّمات المستقلة) تركّزُ على جوانب الإصلاح المتنوعة. ثمة حاجة إلى جهود الإصلاح المتنوعة هذه من أجل تحقيق الانسجام في الحركة.

المعلّمون أساسيون

على الرغم من أنّ الأفكار الإبداعية لإصلاح التعليم تأتي من مصادر كثيرة، لا يستطيع المعلّمون وحدهم تقديم الرؤى التي تنبثق من الخبرة المكثفة والمباشرة في الصف الدراسي في حدِّ ذاته. كما أنهم يجلبون إلى مهمة الإصلاح الدراية بالطلاب والمهنة وثقافة المدرسة، التي لا يستطيع الآخرون جلبها. علاوةً على ذلك، لا يمكن فرض الإصلاح على المعلّمين

من القمة إلى القاعدة أو من الخارج إلى الداخل. إذا لم يقتنع المعلّمون بجدارة التغييرات المقترحة، فمن غير المرجّح أن تُنفَّذ بحماس. إذا لم يفهم المعلّمون تماماً ما هو المطلوب، أو لم يكونوا مستعدين جيداً بما فيه الكفاية لتقديم محتوى جديد وطرق تدريس جديدة، فإنّ تدابير الإصلاح ستنهار. في كلتا الحالتين، كلّما شارك المعلّمون في صياغة تدابير الإصلاح، وكلّما ازدادت مساعدتهم في تنفيذ التغييرات المتفق عليها، ازدادت احتمالية أن يكونوا قادرين على إبقاء هذه التحسينات ثابتة.

على الرغم من أهمية المعلّمين في الإصلاح، لا يمكن أن نحمّلهم وحدهم مسؤولية تحقيقه. إنهم بحاجة إلى حلفاء. لا يستطيع المعلّمون وحدهم تغيير الكتب المدرسية، ووضع سياسات اختبار منطقية أكثر مما هي عليه الآن، وإنشاء أنظمة دعم إداري، وجعل عامّة الناس يفهمون إلى أين يتجه الإصلاح ولماذا يستغرق الأمر وقتاً للوصول إليه، وجمع التمويل اللازم لدفع تكاليف الإصلاح. وهكذا، يحتاج المعلّمون إلى الحصول على الدعم من مديري المدارس وواضعي السياسات التعليمية. يحتاج المعلّمون أيضاً إلى زملاء أكاديميين، أو إلى باحثين خبراء في الموضوعات ذات الصلة، وتنمية الطفل والتعلّم والإمكانات التعليمية للتقنيات الحديثة. وهم في حاجة للحصول على المساعدة والدعم من قادة المجتمع، وقادة قطاعي الأعمال والعمال، وأولياء الأمور؛ لأنّ الإصلاح التربوي، في نهاية المطاف، مسؤولية مشتركة. حان الوقت بالنسبة إلى المعلّمين كي يتحمّلوا مزيداً من المسؤولية في مسألة إصلاح التعليم، لكن ذلك لا يقلّل، بأيّ شكل من الأشكال، من المسؤولية التي يجب أن يتحمّلها الآخرون بدورهم أيضاً.

ثمة حاجة إلى نُهج شاملة

يَنتُجُ عن تدابير الإصلاح الجزئية آثارٌ جزئيةٌ، هذا إنْ وجدت. وعلى مستوى المنطقة التعليمية، يجب أن تكون جهود الإصلاح شاملة: كل الصفوف الدراسية، وكل المجالات والموضوعات، وكل التيارات. فعلى سبيل المثال، من السهل التركيز على تحسين مستوى القراءة لدى طلاب الصف الثالث، والدراسات الاجتماعية للمدرسة الإعدادية، وعلم الأحياء لطلاب التدريب المهني، لكن من غير المحتمل أن يَنتُج عن هذه التغييرات غير المتصلة بعضها ببعضٍ مناهج دراسية أكثر تكاملاً واتساقاً وفعاليةً من تلك المجزّأة والمثقلة بالأعباء الموجودة الآن. ودون وجود نُهج أشمل، سيكون التغيير مقيّداً بالحاجة إلى التناسب مع حدود الساعات الدراسية، والمواد الدراسية، والتسلسلات، والمسارات التي قد تكون جزءاً كبيراً من المشكلة.

يجب أن يكون الإصلاح شاملاً، على الصعيد الوطني، من حيث معالجة جوانب النظام كلّها. يعتمد الإصلاح في التعليم العلمي على تغيير المناهج الحالية من رياض الأطفال وصولاً إلى المدرسة الثانوية، ولكن إذا أردنا أن نجعل المناهج الجديدة فعّالة، يجب أن تحدث تغييرات أيضاً في إعداد المدرّسين، ومحتوى الكتب المدرسية والمواد التعلمية الأخرى، واستخدام التقنيات، وطبيعة الاختبارات، وتنظيم المدارس. علاوةً على ذلك، يجب أن تكون التغييرات متوافقة وإلا فسيلغي بعضُ التغييرات بعضَها الآخر.

لا يعني الإصلاح الشامل الانطلاق في الاتجاهات كلّها في الوقت نفسه. في الواقع، يتطلّب الإصلاحُ حدوثَ بعض الخطوات قبل غيرها، وأن تكون ثمة أولوية لبعض المشكلات، وأن يجري توزيع الموارد على نحو إستراتيجي. يجب أن يكون الفعل مسبوقاً بالتخطيط الدقيق على نطاق المنظومة، وليس ثمة

جانب من جوانب التخطيط أهم من تحديد الأولويات. يمكن أن يؤدي عدم تحديد الأولويات إلى تغيير بسيط فحسب؛ وتحديد الأولويات الخاطئة قد يجعل الطلاب في وضع أسوأ مما كانوا عليه قبل إجراء الإصلاح.

يجب أن يركّز الإصلاح على احتياجات التعليم العلمي الخاصة بالأطفال كلّهم

حين نأخذ الحقائق الديموغرافية، والاحتياجات الوطنية، والقيم الديمقراطية في الحسبان، يصبح من الواضح أنّ الأمة لا تستطيع أن تتجاهل بعد الآن التعليم العلمي لأيّ طالب. لا يجب السماح بعد الآن للعِرق واللغة والجنس والظروف الاقتصادية أن تكون عوامل تحدِّد مَنِ الذي يجب أن يتلقى تعليماً جيداً في العلوم والرياضيات والتكنولوجيا، ومَنِ الذي لا يجب أن يتلقاه. إنّ إهمال التعليم العلمي لأيّ شخص (كما حدث في كثير من الأحيان للفتيات وطلاب الأقليات) يعني حرمان الطالب من تعليم أساسي، وإعاقته مدى الحياة، وحرمان الأمة من العمال الموهوبين والمواطنين المثقفين، وخسارة لا يمكن للأمة تحمّلها.

إنّ الوصول إلى كلِّ الطلاب يعني إصلاح التعليم الخاص بكلّ جزء من كيان الطلاب (الإعداد المهني والعام والجامعي. لـم يَعُد التركيز الضيّق على المهارات التجارية مفيداً بالنسبة إلى الطلاب الذين يتوقعون الذهاب مباشرة إلى العمل بعد المدرسة الثانوية؛ يحتاج الطلاب إلى الحصول على قاعدة قوية من المعرفة العلمية والتفكير المنطقي والتواصل ومهارات التعلُّم. يحتاج كل الطلاب الذين ينوون دخول الجامعة، بغض النظر عن التخصص الذي يعتقدون بأنهم سيدرسونه، إلى دخول الكليّة وهم يحملون فهماً للعلوم

والرياضيات والتكنولوجيا يكون بمنزلة نقطة بداية، ويجعلهم قادرين على اختيار ميدان تقني. يحتاج الطلاب الذين لم يقرّروا تخصصاتهم إلى المعرفة والمهارات والمواقف كي تمكّنهم من التحرّك في أيّ اتجاه. لذا، فإنّ التوصيات الموجودة في هذا الفصل تنطبق بصورة متساوية على الطلاب كلّهم.

تتطلّب تلبية احتياجات تعليم العلم للأطفال كلّهم أن يدرك المجتمع ككل أنّ التعلُّم، بطريقة ما، هو المهنة الرئيسة للطفولة. يُعَدُّ اللعبُ مهماً؛ لأنه يؤدي في معظم الأحيان إلى التعلُّم، ويمكن أن يكون العمل مقابل المال تعليمياً للأطفال، ولكن لا يمكن للعب ولا حتى العمل أن يحلّا محل الدراسة المنهجية. لذا، يجب على الآباء والمواطنين عموماً أن يفهموا أنه يجب تكريس جزء كبير من طاقات الطفولة لمهمة التعلُّم.

يجب تأسيس الظروف الإيجابية للإصلاح

يتطلّب الإصلاح خلق الظروف اللازمة للتغيير، فليس من المعقول أن نحثّ المعلّمين على تغيير ما يفعلونه وأن نتجاهل بعد ذلك العقبات الموجودة في طريقهم. وليس من المستغرب أن يكون أحد العوائق الرئيسة للإصلاح هو العائق نفسه الذي يقف في طريق التعليم الجيد عموماً: ظروف عمل المعلّمين والإداريين.

في مدارس كثيرة جداً، تحول الظروف المادية والإدارية والنفسية دون تحقيق جهود إصلاح المناهج الدراسية الأساسية. ويفتقر المعلّمون عادةً إلى الوقت اللازم للتفكير، والدراسة وتنظيم المواد، والتشاور مع الزملاء، وتقديم المشورة الفردية للطلاب، وحضور الاجتماعات المهنية. علاوةً على ذلك، ليس لديهم مكاتب خاصة، وأجهزة حاسوب لمعالجة النصوص

وحفظ السجلات، وليس لديهم مساعدون في المختبرات، وإمكانية الوصول إلى الاستشاريين الخبراء، أو أنواع الدعم الأخرى، التي يتوقع المحترفون في المجالات الأخرى أن يحصلوا عليها. وقلّما يكون المديرون من أصحاب الحال الميسورة. إنّ الحاجة الملحّة الناتجة عن المسائل المرهقة مثل العلاقات العامة، وإدارة شؤون الموظفين، والميزانيات، وحضور الطلبة، والسلامة لا يترك للمديرين وقتاً أو طاقة أو رغبة كافية للانخراط في المسائل المتعلّقة بالبرنامج على الإطلاق، ناهيك عن الأنشطة الرئيسة الخاصة بالإصلاح.

وفي الوقت نفسه الذي تُزال فيه العوائق التي تحول دون الإصلاح، يجب إنشاء الظروف الإيجابية اللازمة للتغيير. إنها تحتاج إلى تأكيد خلق بيئة من شأنها أن تشجّع المعلّمين والإداريين على التجريب، والتركيز على المكاسب طويلة الأمد بدلاً من التركيز على الأهداف المباشرة مثل رفع درجات الاختبار، والإقرار بالابتكار والمكافأة عليه.

إنّ الحاجة إلى ظروف إيجابية للإصلاح تتجاوز المدارس إلى حدٍّ كبير. وما تستطيع المدارس تحقيقه لكثير من الأطفال سيكون محدوداً للغاية ما دام ربع الطلاب قد نشؤوا في حالة فقر، وما دام تعاطي المخدرات والعنف مستمرّين بلا هوادة، وما دامت العنصرية مستمرة، وما دام التلفاز التجاري تافهاً أو سيئاً، في حين يعاني التلفاز التعليمي التحديث والتطوير إلى حدٍّ كبير. ثمة مفهوم رائع وهو أنّ التعليم الأفضل ضروري ويمكن أن يجعل أمريكا أفضل حالاً، لكن المدارس لن تكون قادرة على اتخاذ خطوات الإصلاح الشامل، الذي سيمكّنها من تحقيق آثار إيجابية في المجتمع ما لم

تُحسَّن أسوأ المشكلات الاجتماعية الموجودة في يومنا هذا. إنّ إصلاح التعليم وإصلاح المجتمع يجب أن يسيرا جنباً إلى جنب.

للمساعدة في ضمان حدوث الإصلاح، من الضروري أن يواصل المجتمع دعم التعليم، فليس من السهل الحفاظ على هذا الدعم في وجه التغييرات الديموغرافية والأولويات الاجتماعية المتغيّرة. لذا، فإنّ القيادة السياسية الواعية والحازمة على المستويات كلّها وفي كل قطاع (الحكومة، والأعمال التجارية، والعمل، والتعليم) مهمة للغاية من أجل تحقيق الإصلاح. ودون وجود قيادة كهذه، سيتلاشى دعم المجتمع للإصلاح التعليمي قبل وقت طويل من تحقيق نتائج مُستدامة.

الفصل الخامس عشر
الخطوات القادمة

ليس لدى كتاب «العلم للجميع» الكثير ليقوله حول ما يؤرِّق نظام تعليمي ما، ولا يشير إصبع اللوم نحو أيّ شيء، ولا يصف أيّ علاجات محددة، بل يحاول الإسهام إلى حدٍّ كبير في الإصلاح التربوي من خلال العمل على أنه نقطة انطلاق لمجموعتين من الأعمال الحاسمة الموجّهة نحو الإصلاح.

تعتمد المجموعة الأولى على استخدام التقرير بوصفه خطوةً أولى في مراحل عدّة، وعملية تنموية طويلة الأمد. ويجب استخدام هذا الكتاب على أنه الأساس المفاهيمي للتوصيات من أجل التغيير في أجزاء النظام التعليمي كلّها.

تستند مجموعة الأعمال الأخرى إلى حقيقة أنّ التقرير يقدّم فرصةً جديدة وموضوعية على نحو استثنائي لكل من له مصلحة في الإصلاح التعليمي لإعادة تقييم التقدّم الذي أحرزناه حتى الآن، وإعادة توجيه الجهود حسب الحاجة، وإعادة الالتزام بأهداف الإصلاح الأساسية.

يبدأ هذا الفصل الأخير من كتاب «العلم للجميع» بإيجاز الخطوط العريضة للخطوات التالية نحو الإصلاح الذي سيتخذه مشروع ٢٠٦١، ثم يستكشف بعض الطرق التي يمكن للمعلّمين وواضعي السياسات وعامّة الناس المهتمين أن يضعوا من خلالها التقرير قيد التنفيذ.

مشروع ٢٠٦١

استجابةً لتحدي إصلاح تعليم العلوم والرياضيات والتكنولوجيا، بدأت الرابطة الأمريكية التي تُعنى بتقدّم العلوم مشروعَ ٢٠٦١ ذا المدى البعيد، والجهد متعدد المراحل المصمَّم لمساعدة الأمة في تحقيق معرفة القراءة والكتابة الدقيقة. بدأ المشروع في عام ١٩٨٥، وهو العام الذي صادف أن يكون فيه المذنّب هالي في جوار الأرض. تلك المصادفة هي التي ألهمت اسم المشروع، فقد أدرك الناس أنّ الأطفال الذين سيعيشون لرؤية عودة المذنّب في عام ٢٠٦١ سرعان ما سيبدؤون سنوات دراستهم.

يعتمد مشروع ٢٠٦١ على القناعات الآتية:

- يحتاج الأطفال كلّهم إلى تعليم أساسي يستحقونه في العلوم والرياضيات والتكنولوجيا، التي تجهزهم للعيش حياةً ممتعة ومثمرة.
- تغيّرت المعايير العالمية جذرياً لما يشكّل التعليم الأساسي في الاستجابة للنمو السريع للمعرفة العلمية والقوة التكنولوجية.
- يجب على المدارس الأمريكية العمل على نحو حاسم بما يكفي على إعداد الشبّان (ولا سيّما أطفال الأقليات، الذين سيعتمد عليهم مستقبل الأمريكيين) من أجل عالم شكّله العلم والتكنولوجيا.
- يجب إجراء التغييرات الجذرية في النظام التعليمي بأكمله من روضة الأطفال إلى الصف الثاني عشر، إذا أردنا أن تصبح الولايات المتحدة أمةً متعلّمة علمياً.

- الخطوة الضرورية الأولى في تحقيق الإصلاح المنهجي في تعليم العلوم والرياضيات والتكنولوجيا تصل إلى درجة واضحة من فهم ما يشكّل المعرفة العلمية.

ولـمّا كان من المتوقع أن يمتد عمل المشروع ٢٠٦١ لعقد أو أكثر، ميّز القائمون عليه ثلاث مراحل.

حاولت المرحلة الأولى من المشروع إنشاء قاعدة مفاهيمية للإصلاح من خلال تحديد المعرفة والمهارات والمواقف التي يجب على كل الطلاب أن يكتسبوها نتيجة لخبرتهم المدرسية الإجمالية بدءاً من روضة الأطفال إلى المدرسة الثانوية. وبالاعتماد على الأفكار التي اقترحتها مجموعة من العلماء والرياضيين والمهندسين المرموقين، هذا الكتاب هو تتويج لهذا الجهد.

خلال المرحلة الثانية من المشروع ٢٠٦١، وهي المرحلة الجارية الآن، تعمل فِرقٌ من المربّين والعلماء على تحويل هذا التقرير إلى مخططات للإصلاح. والغرض الرئيس من المرحلة الثانية من المشروع هي إنتاج مجموعة متنوعة من نماذج المناهج، التي يمكن للمناطق التعليمية والولايات استخدامها لإصلاح تدريس العلوم والرياضيات والتكنولوجيا. وستحدّد المرحلة الثانية أيضاً خصائص الإصلاحات الأخرى اللازمة لتمكين المناهج الجديدة من العمل: تعليم المعلّمين، واختبار السياسات والممارسات، والمواد الجديدة والتقنيات الحديثة، وتنظيم التعليم، والسياسات والبحوث المحلية وعلى مستوى الولاية.

أما في المرحلة الثالثة التي تتداخل مع المرحلة الثانية، سيتعاون المشروع مع المجتمعات العلمية والمنظّمات والمؤسسات التعليمية وغيرها من المجموعات المشاركة في إصلاح تعليم العلوم والرياضيات والتكنولوجيا في جهد وطني لتحويل مخططات المرحلة الثانية إلى ممارسة تعليمية.

نماذج المناهج

يتمثّل النشاط الإبداعي الرئيس للمرحلة الثانية من مشروع ٢٠٦١ في تطوير بديل لنماذج المناهج (K-12) للتعليم في العلوم والرياضيات والتكنولوجيا، بمساعدة ست مناطق تعليمية متنوعة في جميع أنحاء البلاد. وستعمل فِرق التطوير على إدراج معلّمين من الصفوف كلّها ومن العلوم الفيزيائية والبيولوجية والاجتماعية ومن الرياضيات والتكنولوجيا. وستهدف نماذج المناهج الجديدة كلّها إلى تحقيق توصيات هذا التقرير، لكن سيختلف بعضُها عن بعضٍ بطرق أخرى. من المتوقع أن تختلف في التركيز والأسلوب والدرجة، التي تختلف فيها عن النماذج الحالية.

وفي أثناء إنشاء النماذج، سيُطوَّر التنسيق القياسي لوصف مناهج (K-12) في العلوم والرياضيات والتكنولوجيا. وإذا نجحت هذه المهمة، فهذا سيمكّننا، كما هي الحال الآن، من توصيف ومقارنة مناهج المناطق التعليمية المختلفة حسب تسليط الضوء على مزاياها الرئيسة.

مخططات من أجل العمل

لا يمكن لنماذج المناهج الجديدة في حدِّ ذاتها تحقيق مزيد من الإصلاح الفعلي مثلما لا يمكن لإجماع ما أن يحقق إصلاحاً في أهداف التعلُّم، فكلاهما ضروري، لكنه غير كافٍ. وهكذا، في المرحلة الثانية، سيعمل المشروع مع الآخرين على إنشاء مخططات لتحقيق الإصلاح الوطني في تعليم العلوم والرياضيات والتكنولوجيا، وسيقدِّمون، في سلسلة من التقارير، توصيات بشأن تعليم المعلّمين والسياسات والأدوات المستخدمة في الاختبار، والمواد والتكنولوجيات التعليمية وبنية التعليم وتنظيم التعليم وسياسة التعليم والبحث التربوي وتنفيذ الإستراتيجيات.

خبراء إصلاح المناهج

يتطلّب تغيير الأنظمة وجود الناس، فتغيير المناهج في الواقع في العلوم والرياضيات والتكنولوجيا لتعكس أهداف هذا التقرير لن يحدث بصورة تلقائية، بغض النظر عن مدى جاذبية المرحلة الثانية الجديدة التي تُعنى بنماذج المناهج. سيعتمد التنفيذ الناجح، في المرحلة الثالثة، على وجود كادر من القادة الملتزمين والمطّلعين وذوي الخبرة. وتبعاً لذلك، فإنّ أحد أهداف المرحلة الثانية هي إنشاء مجموعة من المعلّمين والعلماء الملمّين على نطاق واسع بمضمون توصيات المجلس الوطني، ولديهم المهارة أيضاً في ترجمة هذه المواد إلى مناهج فعلية.

تعزيز الإصلاح

خلال المرحلة الثانية، ستُتخَذ خطوات مختلفة لتعزيز النقاش حول الحاجة إلى الإصلاح في تعليم العلوم والرياضيات والتكنولوجيا وما يجب فعله لتحقيق ذلك. وستشمل هذه الخطوات نشر كتاب «العلم للجميع» على نطاق واسع، ومقالات في مجلات مهنية وشعبية، وورش العمل والندوات في الاجتماعات المهنية، ونشر تقارير مخطط العمل للمعلّمين والعلماء ووسائل الإعلام، وإعداد سلسلة من الأوراق الموجّهة إلى انتباه جمهور معين، مثل معلّمي التعليم الأساسي، ومديري المدارس المتوسطة، والمعلّمين في الدراسات الاجتماعية بالمدارس الثانوية، أو أعضاء مجلس إدارة المدرسة.

جدول الأعمال الخاص بالعمل

تهدف التعليقات الآتية إلى إثارة العمل والنقاش. كلّما زاد عدد الأفراد والمؤسسات والمنظّمات التي تنخرط في مناقشة ما يمكنهم فعله

للإسهام في إصلاح تعليم العلوم، ومن ثَمَّ متابعة خططهم في العمل، ازدادت سرعة الأمة في إحراز التقدّم.

دعم عامّة الناس

إنّ الإصلاح الجوهري الصادق في تعليم العلوم والرياضيات والتكنولوجيا ممكنٌ فقط إذا كان لدينا جمهور واسع النطاق يدعم ذلك. يمكن استخدام هذا التقرير للمساعدة في تأمين هذا الدعم ووضعه في سياق الأهداف المرجوة بدلاً من آليات معينة. وتحقيقاً لهذه الغاية، يوصي المشروع ٢٠٦١ بالآتي:

- أن يستخدم رئيس الولايات المتحدة هذا التقرير، إلى جانب تقارير أخرى، ليكون أساساً للتحدّث بقوة إلى الشعب الأمريكي عن الحاجة إلى المعرفة العلمية، وتأسيس المعرفة العلمية بوصفها هدفاً وطنياً، وتعزيز أولوية الهدف على نحو دوري.
- يدعم ويوضّح وزير التعليم الأمريكي علناً موضوع المعرفة العلمية، ويشجع تطوير تقنيات أخذ العِيْنَات وقياس التعلُّم الهادف، الذي سيسمح بمراقبة التقدّم نحو المعرفة العلمية، ويعلن أنّ التقدّم نحو المعرفة العلمية سيصبح جزءاً من «بطاقة التقرير» السنوية للدولة.
- يُصدر الكونغرس قراراً مشتركاً يعبّر للناس فيه عن قلقه بشأن الوضع الضعيف لتعليم العلوم والرياضيات والتكنولوجيا في هذا البلد، ويعقد جلسات استماع لتحديد الخطوات التي قد يتخذها لمساعدة الأمة في الوصول إلى أهداف هذا التقرير.

- يُصدر حاكمو الولايات كلّها تصريحات عامّة حول ترسيخ المعرفة العلمية على أنها أولوية، والإشارة إلى نيّتهم في الضغط من أجل الإصلاحات اللازمة، واستخدام رابطة الحكام الوطنية ولجنة التعليم في الولايات لوضع هذا التقرير على جداول أعمالها للمناقشة.
- يتحدّث قادة الأعمال والعمال في الأمة بصورة فردية، ومن خلال منظّماتهم، عن الحاجة الماسة لجميع الأمريكيين لامتلاك المعرفة والمهارات المنصوص عليها في هذا التقرير، ويتعهدون بدعم جهود إصلاح تعليم العلوم.
- تقدّم وسائل الإعلام توصيات هذا التقرير إلى انتباه الجمهور وعامّة الناس من خلال وجود علماء ومعلّمين بارزين، ورجال الأعمال والعمال التنفيذيين والضباط العسكريين والمسؤولين المنتخبين، ويناقشها المعلّقون الاجتماعيون عبر المذياع والتلفاز والصحف والمجلات الشعبية.

البعثة التعليمية

يعتمد الإصلاح أيضاً على استعداد المعلّمين والإداريين في المدرسة، وواضعي السياسات التعليمية لدعمها وتقديم القيادة لها. وسيفعلون ذلك فقط إذا أصبحوا مقتنعين بأنّ المعرفة العلمية يجب أن تكون مطلباً أساسياً للأطفال كلّهم، وأنّ الأهداف التي تحدّد المعرفة العلمية منطقية من الناحية التعليمية. هذا التقرير مناسب تماماً ليكون بمنزلة وسيلة لجذب المعلّمين وراء الجهد الوطني المبذول لإصلاح تعليم العلوم والرياضيات والتكنولوجيا. ووفقاً لذلك، يوصي مشروع ٢٠٦١ بالآتي:

- يشجع وزير التربية والتعليم وكالات التعليم كلّها على المستوى المحلي وعلى مستوى الولاية لإعطاء أولوية عالية لتحقيق المعرفة العلمية العالمية، ويطلب إلى الأمناء المساعدين المناسبين في وزارة التربية والتعليم إيجاد السبل التي يمكن من خلالها أن تسهم البرامج في تحقيق هذا الهدف، والبدء بآليات لمساعدة الولايات ومناطق المدينة الداخلية في تطوير وتنفيذ خطط جلب الأقليات وغيرهم من الشبّان المحرومين تعليمياً للمعايير الموصى بها في هذا التقرير. يُعِدُّ كلُّ مجلس تعليمي في الولاية لجنة رفيعة المستوى لدراسة كتاب «العلم للجميع»، وتقديم تقرير عن مضمونه التعليمي إلى كبير مسؤولي المدارس الحكومية، والمجلس التشريعي للولاية، ومجالس المدارس المحلية، ومديري مدارس الولاية، والمديرين والمعلّمين.

- تقدّم جمعيات التعليم الوطنية كلّها، بما فيها جمعيات المعلّمين ومديري المدارس ومجالس المدارس وأولياء الأمور، تقاريرهم إلى الأعضاء بناءً على توصيات هذا التقرير، ويعزّزون النقاش حولها، ويضعون آليات لتعزيز التوصيات التي يدعمونها.

- تأخذ الرابطة الوطنية لمعلّمي العلوم، والمجلس الوطني لمعلّمي الرياضيات، والمجلس القومي للدراسات الاجتماعية، والرابطة الدولية لتعليم التكنولوجيا، والجمعيات التعليمية المتحالفة زمامَ المبادرة في تعزيز أهداف الأمريكيين كلّهم بين المعلّمين من جميع المواد والمستويات، والإداريين وصانعي السياسات التعليمية.

التعاون

يجب أن يكون الإصلاح التربوي تعاونياً كي ينجح. وفي مسألة تعليم العلوم والرياضيات والتكنولوجيا، يجب أن يدخل المجتمع في شراكة مع مجتمع التعليم. وعلى الرغم من مشاركة بضع مئات من العلماء والمهندسين وعلماء الرياضيات في صياغة توصيات هذا التقرير، سيتطلّب الأمر مشاركة أناس كثيرين مع اكتساب حركة الإصلاح قوة نحو الأمام. وتحقيقاً لهذه الغاية، يوصي مشروع ٢٠٦١ بالآتي:

- يعمل رؤساء المؤسسة الوطنية للعلوم الوطنية، ومعاهد الصحة، والمكتب الوطني للمعايير، والإدارة الوطنية للملاحة الجوية والفضاء، وقسم الطاقة، وقسم الزراعة، والوكالات والإدارات الفيدرالية الأخرى ذات الصلة بالعلوم على الفرض على مؤسسات الدولة الحاجة إلى مساعدة المعلّمين في تحسين التعليم في العلوم والرياضيات والتكنولوجيا، وتطلب من موظفيها تطوير الطرق المناسبة التي يمكن لوكالاتهم الإسهام في هذا الجهد.

- تستخدم جميع المجتمعات الوطنية والعلمية والهندسية والرياضية والطبية وأكاديميات العلوم الحكومية هذا التقرير لتحفيز النقاش بين أعضائها حول ما يؤلِّف المعرفة العلمية، وتطلب من أعضائها العمل مع المعلّمين لتحقيق أهداف مشتركة، وأن تستخدم هذا التقرير في صياغة خطط لمساعدة المعلّمين.

- يعمل التحالف الثلاثي، والتحالف من أجل تعليم العلوم، وتحالفات الدولة من أجل العلم، ومجموعات أخرى، التي تجمع بالفعل قادة

من العلم والتعليم ومجتمعات الأعمال على تحديد الطرق التي يمكن لهذا التقرير أن يُستخدَم فيها لتعزيز مشاركة العلماء في جهودهم الموجّهة نحو الإصلاح.

- تعمل الرابطةُ الوطنية لمعلّمي العلوم، والمجلس الوطني للدراسات الاجتماعية، والمجلس الوطني لمعلّمي الرياضيات والتعليم التكنولوجي الدولي على تشكيل لجنة مشتركة للنظر في الإجراءات التعاونية التي قد يتخذها مدرسو تلك المواد لدعم توصيات هذا التقرير التي تتقاطع مع مجالات أخرى.

المدرّسون المؤهلون

لا يمكن الوصول إلى أهداف هذا التقرير في المعرفة العلمية إلا إذا كان للطلاب في المدارس الابتدائية والثانوية مدرّسون مؤهلون كلياً للتدريس. ومن المحزن أن نقول إنّ هذه ليست هي الحال الآن في كثير من الأحيان، وهذا مؤسف أكثر في ضوء اتساع فهم العلوم والرياضيات والتكنولوجيا وعمقه المطلوب هنا. وهكذا، يوصي مشروع ٢٠٦١ بالآتي:

- يقف المدرّسون بقوة وراء الجهود، مثل جهود المجلس الوطني لمعايير التدريس المهنية، وبرنامج شهادة المعلّم الوطني، ومجموعة هولمز، لرفع معايير التدريس في شتى المجالات، والاستشهاد بتلك المجموعات لاستخدام توصيات هذا التقرير في وضع معايير لمعلّمي العلوم والرياضيات.
- تعمل المؤسسةُ الوطنية للعلوم، ورابطة معلّمي العلوم الوطنيين، والمجلس الوطني لمعلّمي الرياضيات على مراجعة معايير اختيار

المستفيدين من الجوائز الرئاسية الخاصة بالتميّز في تدريس العلوم والرياضيات في ضوء توصيات هذا التقرير.

- تقف جمعيات تدريس العلوم والرياضيات والتكنولوجيا وراء جهود مثل مشروع تقييم ستانفورد للمعلّمين لتطوير طرق موثوقة للحكم على قدرة الأفراد على تعليم المحتوى الموضّح في هذا التقرير على نحو فعّال.

- تسعى المؤسسة الوطنية للعلوم وقسم التعليم إلى دعم الميزانية لتمكينهم من تسريع عملية رفع الجودة الخاصة بمعلّمي العلوم في البلاد، والرياضيات والتكنولوجيا إلى مستوى الفهم في هذا التقرير.

- يؤسس رؤساء كل الكليات والجامعات المعرفة العلمية بوصفها أولوية على مستوى المؤسسة، ويوجّهون المؤسسات لإعادة تشكيل متطلبات الدراسات الجامعية الدنيا حسب الضرورة للتأكد من أنّ كل الخريجين (الذين سيصبحون، بعد كل شيء، معلّمي الغد) سيغادرون بفهم العلوم والرياضيات والتكنولوجيا، الذي يفوق ما يوصيه هذا التقرير لجميع خريجي المدارس الثانوية.

- تَستخدِمُ أقسامُ العلوم والرياضيات في الكليّة هذا التقرير على أنه دليل في تصميم الدورات لمعلّمي المدارس الابتدائية في المستقبل ومعلّمي العلوم في المدارس الثانوية الذين يتخطّونها، ولكنهم يبقون ضمن روح توصيات هذا التقرير، ويخلقون ويسعون إلى تمويل ورش العمل والمعاهد التي تناسب احتياجات المعلّمين، الذين يرغبون في بلوغ مستوى التميّز الضمني في التوصيات المقدّمة في هذا التقرير.

- تُراجع كليات التربية المحتوى والمعايير التربوية لإعداد معلّمي العلوم في المدارس الابتدائية والثانوية في ضوء هذا التقرير، والعمل مع زملائهم في الإدارات الأخرى لإجراء تغييرات في الطريقة التي يستعد بها معلّمو المستقبل.

المواد التعليمية

ليتمكّن المعلّمون أن يكونوا قادرين على جلب الطلاب كلّهم إلى مستوى الفهم والمهارة المقترحة في هذا التقرير، فإنهم سيحتاجون إلى تأليف الكتب والأدوات التعليمية الأخرى. وكما هي الحال في تعهدات معقدة أخرى، يتطلّب الوصول إلى أهداف متطلّبة في التعليم وجود الوصول إلى التقنيات المناسبة. لا ترقى الكتبُ المدرسية وغيرها من طرائق تدريس المواد المستخدمة حالياً، إذا أردنا صياغتها على نحو صارخ، إلى مستوى الوظيفة. ويجب أن تتحقق إمكانات أجهزة الحاسوب والتقنيات الحديثة الأخرى. ولـمّا كان هذا التقرير يهدف إلى إضافة أبعاد جديدة لما من المفترض أن يحقق التدريس، ومن ثَمَّ إلى أيّ نوع من المواد سنكون في حاجة إليها، يوصي المشروع ٢٠٦١ بالآتي:

- يعقد ناشرو الكتبُ المدرسية اجتماعاً وطنياً لكبار معلّمي العلوم والرياضيات والتكنولوجيا لاستكشاف مضمون هذا التقرير ومناقشة آثاره على مستقبل صناعة العلم، والنظر بصورة فردية في توصيات التقرير، ومراقبة تطوير نماذج مناهج المرحلة الثانية حين يخططون للطبعات المستقبلية من الكتب الحالية، ويحددون الكتب الجديدة التي يجب أن يبدؤوا في تطويرها.

- تستخدم الشركات العاملة في إنتاج المواد التعليمية السمعبصرية وبيعها للمدرسة والمنزل والمكتبة هذا التقرير على أنه دليل لتطوير منتجات جديدة.
- تأخذ المؤسسة الوطنية للعلوم زمام المبادرة مرة أخرى لدعم البحث والتطوير على استخدام أجهزة الحاسوب وأنظمة تفاعلية متقدّمة للتعليم والتعلّم، وزيادة ميزانيتها لهذا الغرض إلى حدٍّ كبير.
- تعمل الرابطة الوطنية لمدرّسي العلوم، والمجلس الوطني لمعلّمي الرياضيات، والمجلس القومي للدراسات الاجتماعية والرابطة الدولية لتعليم التكنولوجيا على التعاون في المناقشة مع مطوّري برامج الحاسوب حول أنواع معلّمي البرامج الذين سيحتاجون إليهم لتدريس الأفكار والمهارات الموصى بها في هذا التقرير.
- يراجع منتجو اختبارات التحصيل العلمي هذا التقرير مع إلقاء نظرة على كيفية محتوى وأسلوب أدواتهم التي قد يحتاجون إليها ليُصار إلى تعديلها لكي تصبح حوافز للتعلّم الهادف من النوع المعروض هنا، والاستثمار إلى حدٍّ أكبر مما كان عليه في الماضي في تطوير أنواع جديدة من الاختبارات لتوفير بدائل عملية للاختبارات التي تكافئ فقط حفظ أجزاء من المعلومات.

البحث

أخيراً، لا بُدَّ أن نفهم أننا لا نعرف كثيراً كيف يتعلّم الأطفال على اختلافهم وكيف ننظّم التعليمات للفعالية المثلى لأيّ شخص ليكون قادراً على وصف أفضل السبل لتحقيق الأهداف الواردة في هذا التقرير. ولهذا السبب، يوصى بالآتي:

- يزيد قسم التربية ومؤسسة العلوم الوطنية إلى حدٍّ كبير من دعمه للبحوث ذات الصلة لتعلُّم العلوم والرياضيات والتكنولوجيا وتدريسها، وأن يزيدا نسبة التمويل المخصص للبحوث بدعم من فِرق البحث الطبيعية المتميزة وعلماء الاجتماع وعلماء الرياضيات والمهندسين والمعرفة وعلماء النفس التنمويين والمعلّمين لتمكينهم من متابعة خطوط التحقيق المثمرة على مدى زمني طويل، وبناء جداول أعمالهم البحثية إلى حدٍّ ما على رؤية المعرفة العلمية الواردة في هذا التقرير.
- تمكّن وزارة التربية والتعليم عدداً قليلاً من المدن الرئيسة التي يعيش فيها عددٌ كبير من الشبّان المحرومين لإعادة تصميم وتنظيم أنظمتهم المدرسية على نحو جذري وكامل وبسرعة على نطاق واسع، ومراقبة التجربة الوطنية من كثب لتحديد ما هو ممكن حين تتعامل الأمة مع الإصلاح المدرسي بالحدة نفسها والإلحاح وتطبيق الموارد التي تطبّقها على المشكلات الوطنية الأخرى ذات العواقب الوخيمة.

المستقبل

ماذا سيضيف كل هذا؟ أين ستكون الأمة بعد سنوات قليلة، حين تنتهي المرحلة الثانية؟ بالتأكيد لن تكون أيّ مشكلة من مشكلاتنا التعليمية الأساسية قد حُلّت بالكامل. ولن يكون معظم الطلاب الذين تخرّجوا في مدارسنا قد حصلوا على تعليم جيد في العلوم والرياضيات والتكنولوجيا.

ولن تكون مناهج الأمة مختلفة كثيرة عمّا هم عليه الآن، ولن تكون الكتب المدرسية والاختبارات وباقي مكوّنات التعليم قد تغيّرت جذرياً. ومع ذلك، فإنّ الحاجة إلى مواطنين متعلّمين علمياً ستكون بالتأكيد أكبر من أيّ وقت مضى بحلول ذلك الوقت.

ولكن سنكون قد أحرزنا تقدّماً في غضون سنوات قليلة:

- لا تزال الأمة تولي اهتماماً لإصلاح التعليم في مجال العلوم والرياضيات والتكنولوجيا.
- يتحدث قادتنا الوطنيون بانتظام وبقوة عن حاجة كل فرد لمواصلة العمل معاً في السعي وراء المعرفة العلمية.
- لقد اتخذنا قراراتنا بشأن ما نريد تحقيقه حول تعليم العلوم والرياضيات والتكنولوجيا، وهي غاية يهدف هذا التقرير إلى الإسهام فيها.
- بدأ المربّون وصنّاع سياسات التعليم في تطوير إجماع قوي على ما يتطلّبه الأمر لإعادة هيكلة المدرسة ليتمكّن الطلاب كلّهم، بما فيهم الطلاب الذين أخفقوا على وجه الخصوص في الماضي، من التخرّج على أنهم متعلّمون جيداً في العلوم والرياضيات والتكنولوجيا.
- نجدُ عدداً كبيراً من المعلّمين والعلماء يتعاونون بالفعل في أنشطة الإصلاح في الأنظمة المدرسية عبر الأرض، وأنّ أعدادهم تتزايد بسرعة.

- أولى العلماءُ والمربّون والآباء والمواطنون انتباهاً كافياً لهذا التقرير لتحديد أوجه القصور فيه وعناء تقديم المشورة للمشروع ٢٠٦١ والمستخدمين الآخرين بشأن كيفية التغلّب عليها في أثناء العمل معاً لتحسين تعليم العلوم والرياضيات والتكنولوجيا لجميع الأمريكيين.
- لا توجد أسباب وجيهة، فكرية أو اجتماعية أو اقتصادية، حول عدم قدرة الولايات المتحدة على تحويل مدارسها لتجعل المعرفة العلمية ممكنة للطلاب كلّهم. والمطلوب هو الالتزام الوطني، والتصميم والاستعداد للعمل معاً من أجل توحيد الأهداف. نأمل أن يوضّح كتاب «العلم للجميع» هذه الأهداف.

BIOLOGICAL AND HEALTH SCIENCES

Helen M. Ranney *(Panel Chair) Professor of Medicine,* University of California, San Diego; *Distinguished Physician,* VA Medical Center (La Jolla, California).

Mary Clark *Professor of Biology,* San Diego State University.

Maxwell Cowan *Vice President and Chief Scientific Officer,* Howard Hughes Medical Institute.

Tony Hunter *Professor, Molecular Biology and Virology Laboratory,* The Salk Institute John Moore *Professor of Biology,* University of California, Riverside George Somero *Professor of Marine Biology,* Scripps Institution of Oceanography Nicholas Spitzer *Professor of Biology,* University of California, San Diego Herbert Stern *Professor of Biology,* University of California, San Diego.

Audrey Terras *Professor of Mathematics,* University of California, San Diego. *Panel Staff:* Jan Yaffe, *Psychotherapist* (San Diego).

MATHEMATICS

David Blackwell (Panel Cochair) Professor of Statistics and Professor of Mathematics, University of California, Berkeley.

Leon Henkin *(Panel Cochair) Professor of Mathematics,* University of California, Berkeley Lenore Blum *Professor of Mathematics, Mills College; Research Scientist, International Computer* Science Institute.

Paul Garabedian *(Physical and Information Sciences and Engineering Panel Liaison Member) Professor of Mathematics,* Courant Institute of Mathematical Sciences, New York University.

Paul Halmos *Professor of Mathematics,* University of Santa Clara Harvey Keynes *(Technology Panel Liaison Member) Professor of Mathematics,* University of Minnesota at Minneapolis.

R. Duncan Luce *(Social and Behavioral Sciences Panel Liaison Member) Distinguished Professor of Cognitive Science and Director of the Irvine Research Unit in Mathematical Behavioral Science,* University of California, Irvine.

Ingram Olkin *Professor of Statistics and Professor of Education,* StanfordUniversity

James Sethian *Associate Professor of Mathematics,* University of California, Berkeley.

Audrey Terras *(Biological and Health Sciences Panel Liaison Member) Professor of Mathematics,* University of California, San Diego.

P. Emery Thomas *Professor of Mathematics,* University of Cali fornia, Berkeley.

Panel Production Staff: Sara Wong, University of California, Berkeley.

PHYSICAL AND INFORMATION SCIENCES ANDENGINEERING

George Bugliarello *(Panel Chair) President,* Polytechnic University.

JamesJ. Conti *Vice Presidentfor EducationalDevelopment,* Polytechnic University.

David H. Copp *Member of the Technology Staff,* Bell Communications Research.

Kathleen Crane *Associate Professor of Geology,* Hunter College, City University of New York.

Samuel Devons *Professor Emeritus of Physics,* Nevis Laboratories, Columbia University.

Paul Garabedian *Professor of Mathematics,* Courant Institute of Mathematical Sciences, New York University.

William Starnes *Professor of Chemistry,* Polytechnic University.

Alan Strahler *Professor of Geography,* Boston University.

Spencer Weart *Director,*Center for History of Physics, American Institute of Physics.

Panel Staff: **Margaret Mastrianni,** Polytechnic University

SOCIAL AND BEHAVIORAL SCIENCES

Mortimer H. Appley *(Panel Chair)* Visiting Scholar in Psychology, Harvard University; President Emeritus, Clark University.

Jill K. Conway *Visiting Scholar,* Science, Technology, and Society, Massachusetts Institute of Technology; *President Emeritus,* Smith College.

John T. Dunlop *Professor of Economics and Lament University Professor Emeritus,* Harvard University.

AnnF. Friedlaender *Dean of Humanities,* Massachusetts Institute of Technology.

Jerome Kagan *Professor of Developmental Psychology,* Harvard University.

R. Duncan Luce *Distinguished Professor of Cognitive Science and Director of the Irvine Research Unit in Mathematical Behavioral Science,* University of California, Irvine.

Rosemarie Rogers *Professor of International Politics,* The Fletcher School of Law and Diplomacy, Tufts University.

Nur O. Yalman *Professor of SocialAnthropology,* Harvard University; Curator, Middle Eastern Ethnology, The Peabody Museum.

***Panel Staff: Winifred* B. Maher,** *Lecturer,*Harvard University Extension School.

T E C H N O L O G Y

James R.Johnson *(Panel Chair) Former Executive Scientist,* 3M Company.

Sister Marquita Barnard *Former Professor of Chemistry,* The College of St. Catherine.

Don Boyd *Director of Systems Technology and Engineering,* Honeywell, Inc.

William Hamer *Vice President of Engineering,* ADC Telecommunications

Robert T. Holt *Dean of the Graduate School,* University of Minnesota at Minneapolis.

Harvey Keynes *Professor of Mathematics,* University of Minnesota at Minneapolis.

John W. Pearson *Former Vice President of Development,* 3M Company.

Phillip Regal *Professor of Ecology,* University of Minnesota at Minneapolis.

Matthew Tirrell *Professor of Chemical Engineering and Materials Science,* University of Minnesota at Minneapolis.

***Panel Staff:* Karen Olson,** *Science Education Consultant* (St. Paul, Minnesota).

CONSULTANTS TO THE PANELS

BIOLOGICAL AND HEALTH SCIENCES

Michael Criqui, M.D. *Professor of Community and Family Medicine and Medicine,* University of California, San Diego.

Jared Diamond *Professor of Physiology,* University of California School of Medicine (LosAngeles).

Jean Lindsley *Science Teacher, The Bishop's School* (Lajolla, California).

D. William Rains *Chairman, Department of Agronomy and Range Science,* College of Agricultural and Environmental Sciences, University of California, Davis.

Phoebe Roeder *Lecturer,Department of Natural Sciences,* San Diego State University.

M A T H E M A T i c s

Zvonko Fazarinc *Consulting Professor of Electrical Engineering,* Stanford University; Director, University Relations, Hewlett-Packard Company.

Lyle Fisher *Codirector, Bay Area Mathematics Project,* University of California School of Education (Berkeley).

William Kahan *Professor of Computer Science,* University of California, Berkeley.

David Logothetti *Associate Professor of Mathematics,* Santa Clara University.

Joel Schneider Content Director, Children's Television Workshop (New York City).

Alan Schoenfeld *Chairman,* Division of Education in Mathematics, Science and Technology, Graduate School of Education, University of California, Berkeley.

Elizabeth Stage *Director of Mathematics Education,* Lawrence Hall of Science, University of California, Berkeley.

P H Y S I C A L A N D I N F O R M A T I O N S C I E N C E S A N D E N G I N E E R I N G

Frank Aikman *Associate Research Scientist,* Lamont-Doherty Geological Observatory.

Enrico Bonatti *Senior Research Scientist,* Lamont-Doherty Geological Observatory.

Marvin P. Epstein *Retired Associate,* AT&T Bell Laboratories.

Kenneth Ford *Chief Executive Officer,* American Institute of Physics.

Cindy Lee *Associate Professor of Marine Environmental Studies,* State University of New York at Stony Brook.

David Mog *SeniorProgram Officer,* Office of International Affairs, National Research Council.

John Sanders *Professor of Geology,* Barnard College.

John G. Truxal *Distinguished Teaching Professor of Technology and Society,* State University of New York at Stony Brook.

Edward Wolf *Professor and Head of Physics Department,* Polytechnic University.

SOCIAL AND BEHAVIORAL SCIENCES

Herbert P. Baker *Social Studies Teacher,* Belmont High School (Belmont, Massachusetts).

Roger Brown *Chaired Professor of Psychology,* Harvard University.

Paul W. Carey *Head of Social Studies Department,* Belmont High School (Belmont, Massachusetts).

Lily Gardner *Feldman Associate Professor of Political Science,* Tufts University.

Richard Herrnstein *Edgar Pierce Professor of Psychology,* Harvard University.

Jacob Irgang *Social Studies Teacher,* Stuyvesant High School (New York City).

Brendan A. Maher *Chaired Professor of Psychology,* Harvard University.

Joseph S. Nye, Jr. *Professor of International Security,* John F. Kennedy School of Government, Harvard University.

Orlando Patterson *Professor of Sociology,* Harvard University.

David Riesman *Professor Emeritus of Sociology,* Harvard University.

Edward E. Smith *Professor of Psychology,* University of Michigan.

Robert M. Solow *Institute Professor of Economics,* Massachusetts Institute of Technology.

Janet Spence *Professor of Psychology,* University of Texas at Austin.

James Stellar *Professor of Psychology,* Northeastern University.

Sidney Verba *Professor of Political Science,* Harvard University.

Ezra F. Vogel *Chaired Professor of Sociology,* Harvard University.

Myron Weiner *Professor of Political Science,* Massachusetts Institute of Technology.

T E C H N O L O G Y

Laszlo A. Belady *Vice President and Program Director, Software Technology Program,* Microelectronics and Computer Technology Corporation (Austin, Texas).

M. James Bensen *Dean, School of Industry and Technology,* University of Wisconsin-Stout.

Mario Bognanno *Professor of Industrial Relations,* University of Minnesota at Minneapolis.

John Borchert *Regents Professor of Geography,* University of Minnesota at Minneapolis.

Alfred B. Bortz *AssistantDirector, Magnetics Technology Center,* Carnegie Mellon University.

Kris K. Burhardt *Vice President of Research and Developmentfor the Information and Imaging Technologies Center,* 3M Company.

Elof Carlson *Distinguished Teaching Professor of 'Biochemistry,* State University of New York at Stony Brook.

John Entorf *Associate Dean of the School of Industry and Technology,* University of Wisconsin-Stout.

Robert M. Hexter *Professor of Chemistry,* University of Minnesota at Minneapolis William F. Kaemmerer *Fellow,* Honeywell, Inc.

Jack Kilby *Retired Senior Engineer,*Texas Instruments.

Robert Kudrle *Professor of Public Relations,* University of Minnesota at Minneapolis.

Edwin Layton *Professor of History of Science and Technology,* University of Minnesota at Minneapolis.

Douglas McCormick *Editor in Chief,* Bio/Technology.

Mylon Eugene Merchant *Directorof Advanced Manufacturing Research,* Metcut Research Associates, Inc. (Cincinnati, Ohio).

Jay Morgan *Directorof Research and Development,* Pillsbury Company.

Vernon W. Ruttan *Regents Professor of Agricultural and Applied Economics,* University of Minnesota at St. Paul.

John Sadowski *Assistant Professor of Electrical Engineering,* Purdue University.

Roger Staehle *Consultant and Adjunct Professor of Chemical Engineering and Materials Science,* University of Minnesota at Minneapolis.

Sister Mary Thompson *Chairperson of the Chemistry Department,* College of St. Catherine.

Paul Weiblen *Professor of Geology,* University of Minnesota at Minneapolis.

Wendell Williams *Professor and Chairman,* Materials Science and Engineering Department, Case Western Reserve University.

P R O J E C T 2061 STAFF (A A A S)

F.James Rutherford *Project Director; Chief Education Officer,* American Association for the Advancement of Science.

AndrewAhlgren *Associate Project Director;* Professor of Education, University of Minnesota at Minneapolis.

Patricia Warren *Project Manager.*

Carol Holmes *Secretary.*

Gwen McCutcheon *Secretary.*

A D V I S O R S T O P R O J E C T 2061 STAFF

J. Myron Atkin *Professor of Education,* Center for Educational Research at Stanford, Stanford University.

Michael Baker *Account Supervisor, The Gallagher Widmeyer Group, Inc.* (Washington, DC).

TedBartell *U.S. Department of Education.*

James R. Beniger *Associate Professor of Communications and Sociology,* University of Southern California.

Alfred Brown *FormerPresident,* Celanese Corporation.

Charles Brownstein *Executive Officer,* Directorate on Computer and Information Science and Engineering, National Science Foundation.

Linda Campbell *Consultant to National EducationAssociation Mastery in Learning Project,* Seattle Public Schools.

William D. Carey *FormerExecutive Officer,* American Association for the Advancement of Science.

Peggy Carnahan *Secondary Science Supervisor,* Northside Independent School District (San Antonio, Texas).

Donald L. Chambers *Supervisor, Mathematics Education,*Wisconsin Department of Public Instruction.

Audrey B. Champagne *Senior Program Director,* American Association for the Advancement of Science.

Bernard L. Charles *Program Officer,* Carnegie Corporation of New York.

K. C. Cole *Writer* (New York City).

David Crandall *Executive Director,* The Network (Andover, Mas sachusetts).

Alden Dunham *Program Chair,* Carnegie Corporation of New York.

Karin D. Egan *Program Associate,* Carnegie Corporation of New York.

Paul M. Elliott *Wordsworth Communications* (Alexandria, Virginia).

Joseph D. Exline *Associate Director of Science,* Virginia Department of Education.

Stuart I. Feldman *Division Manager,* Bell Communications Research.

Michael G. Fullan *Dean, Faculty of Education,* University of Toronto.

Stephen Gilbert *Vice President, New Programs,* EDUCOM.

Ronald L. Graham *Adjunct Director,* AT&T BellLaboratories.

David A. Hamburg *President,* Carnegie Corporation of New York.

Johnnie Hamilton *Science Coordinator,* Fairfax County Public Schools (Virginia).

David Hawkins *Professor Emeritus of Philosophy,* University of Colorado, Boulder.

Frances Hawkins *Cofounder, Mountain View Center,* University of Colorado, Boulder.

Patricia Heller *Assistant Professor of Curriculum and Instruction,* University of Minnesota at Minneapolis.

Elam Hertzler *Assistant Superintendent for Information Systems,* Illinois State Board of Education.

Shirley Hill *Professor of Education and Mathematics,* University of Missouri at Kansas City.

Cary C. Hoagland *Editorial Consultant,* CCH Language Services (Takoma Park, Maryland).

Gerald Holton *Mallinckrodt Professor of Physics and Professor of History of Science,* Harvard University.

Lynn David *Hubsch Orion Studios* (Washington, D.C.).

Susanne M. Humphrey *Information Scientist,* National Library of Medicine.

Paul DeHart Hurd *Professor Emeritus of Science Education,* Stanford University.

ArleneM. Kahn *Independent Educational Consultant,* Arlene Kahn 8c Associates (New York City).

Mary L. Kiely *Program Associate,* Carnegie Corporation of New York.

Michael Kirst *Professor of Education,* Stanford University.

Manfred Kochen *Professor of Information Science,* School of Medicine, University of Michigan.

Laura Krich *Science Teacher, Diamond Middle School,* Lexington, Massachusetts.

Gerald Kulm *Project Director,* American Association for the Advancement of Science.

Douglas M. Lapp *Executive Director,* National Science Resources Center, National Academy of Sciences/Smithsonian Institution.

Charles LaRue *Coordinator of Elementary Science,* Montgomery County Public Schools (Maryland).

Marvin Lazerson *Dean, School of Education,* University of Pennsylvania.

LeRoy Lee *Executive Director,* Wisconsin Academy of Sciences, Arts and Letters.

Michael E. Lesk *Manager, Computer Science Research Division,* Bell Communications Research.

Karen B. Levitan *President,* The KBL Group, Inc. (Silver Spring, Maryland)

Shirley M. Malcom *Program Head,* Office of Opportunities in Science, American Association for the Advancement of Science.

Sheilah Mann *Directorof Education,* American Political Scie nceAssociation.

Robert M. McClure *Director, Mastery in Learning Project,* National Education Association.

Marge McClurg *Coordinator of Mathematics,* Fairfax County Public Schools (Virginia).

FayMetcalf *Executive Director,* National Commission on Social Studies in the Schools.

Wayne Moyer *Coordinator of Secondary Science,* Montgomery County Public Schools (Maryland).

Robert F. Murray *Chief, Division of Medical Genetics,* Department of Pediatrics, Howard University College of Medicine.

Jimmy E. Nations *First-Grade Teacher,* Westwood Primary Schools, (Dalton, Georgia).

Fred Newmann *National Center on Effective Secondary Schools,* University of Wisconsin Madison.

Eleana Nightingale *Special Advisor to the President,* Carnegie Corporation of New York.

Michael O'Keefe *President,* Consortium for the Advancement of Private Higher Education.

Susie Oliphant *Assistant Director of Science,* District of Columbia Public Schools.

Lester G. Paldy *Director,* Center for Science, Mathematics, and Technology Education, State University of New York at Stony Brook.

Joan Palmer *Associate Superintendent for Curriculum and Supervision,* Howard County Public Schools (Maryland).

Julie Phillips *Indexer* (Vienna,Virginia).

Harold Pratt *Executive Director,* Science and Technology Management, Jefferson County Public Schools (Colorado.

Diane Ravitch *Adjunct Professor of History and Education,* Teachers College, Columbia University.

David Z. Robinson *Executive Director,* Carnegie Commission on Science, Technology, and Government.

Bella Rosenberg *Assistant to the President,* American Federation of Teachers.

Kenneth Russell Roy *National Director,* National Science Supervisors Association.

Thomas Sachse *Manager, Mathematics and Science Education Unit,* California Department of Education.

Dan Saltrick *Director of Instruction,* Prince George's County Public Schools (Maryland).

Ethel L. Schultz *Program Director,* National Science Foundation.

Cecily C. Selby *Professor of Science Education,*New York University.

Elliot R. Siegel *Assistant Directorfor Planning and Evaluation,* National Library of Medicine.

Elizabeth Stage *Director of Mathematics Education,*Lawrence Hall of Science, University of California, Berkeley.

Dorothy Stephens *Director of Instructional Services,* District of Columbia Public Schools.

James Strandquist *Director of Science,* Prince George's County Public Schools (Maryland).

Lee Summerfield *ExecutiveSupervisor of Science,* Howard County Public Schools (Maryland).

Marcia Sward *Executive Director,* Mathematical Sciences Education Board, National Academy of Sciences.

Constance Tate *Science Education Consultant*(Washington, D.C.).

Chad A. Tolman *Research Leader,* Central Research and Dev elo pment Department, E.I. duPont de Nemours and Company.

Jerry Valadez *Science Teacher,* Kings Kenyon Middle School (Fresno, California).

Decker Walker *Professor of Education,* Stanford University.

Fletcher G. Watson *Professor Emeritus of Science Educ atio n,* Harvard University.

Jeannette Wedel *Development Officer,* American Association of the Advancement of Science.

Wayne Welch *Professor of Educational Psychology,* University of Minnesota at Minneapolis.

Scott Widmeyer *Chairman,*The Gallagher Widmeyer Group, Inc. (Washington, D.C.).

Marshall C. Yovits *Professor of Computer and Information Science,* Indiana UniversityPurdue University at Indianapolis.

فهرس

الصفحة

تمهيد ٧

مقدّمة ٩

مقدمة الطبعة الأولى من كتاب «العلم للجميع» ٢٧

شكر وتقدير..... ٣١

القسم الأول

توصيات من أجل المعرفة العلمية.... ٣٣

الفصل الأول: طبيعة العلم..... ٣٥

وجهة نظر العالم العلمية ٣٦

الاستفسار العلمي ٣٩

المشروع العلمي..... ٤٥

الفصل الثاني: طبيعة الرياضيات..... ٥٣

الأنماط والعلاقات..... ٥٤

الرياضيات والعلوم والتكنولوجيا ٥٦

الاستفسار الرياضي..... ٥٨

الصفحة

الفصل الثالث: طبيعة التكنولوجيا..... ٦٣

التكنولوجيا والعلم..... ٦٤

التصميم والأنظمة ٦٧

قضايا في التكنولوجيا..... ٧٤

الفصل الرابع: البيئة المادية..... ٨٣

الكون..... ٨٤

كوكب الأرض..... ٨٧

العمليات التي تشكّل الأرض ٩١

بنية المادة ٩٤

تحوّلات الطاقة ٩٩

الحركة ١٠٣

قوى الطبيعة ١٠٧

الفصل الخامس: البيئة الحيّة ١١١

تنوّع الحياة ١١٢

الوراثة ١١٤

الخلايا ١١٦

ترابط الحياة ١١٩

الصفحة

تدفق المادة والطاقة ١٢١

تطور الحياة..... ١٢٤

الفصل السادس: الكائن البشري ١٢٩

الهوية البشرية ١٣٠

التطور البشري..... ١٣٢

الوظائف الأساسية ١٣٧

التعلُّم ١٣٩

الصحة الجسدية..... ١٤٢

الصحة العقلية ١٤٦

الفصل السابع: المجتمع البشري ١٤٩

التأثيرات الثقافية في السلوك ١٥٠

سلوك المجموعة ١٥٥

التغير الاجتماعي ١٥٧

المقايضات الاجتماعية ١٦١

الأنظمة السياسية والاقتصادية ١٦٤

الصراع الاجتماعي ١٦٨

الترابط العالمي ١٧٢

الصفحة

الفصل الثامن: العالم المصمَّم ١٧٧

الزراعة..... ١٧٨

المواد وتصنيعها ١٨٢

مصادر الطاقة واستخدامها ١٨٧

التواصل ١٩٣

معالجة المعلومات ١٩٦

تكنولوجيا الصحة.....٢٠١

الفصل التاسع: العالم الرياضي ٢٠٧

الأعداد ٢٠٧

العلاقات الرمزية ٢١١

الأشكال.....٢١٣

عدم اليقين ٢١٦

التفكير المنطقي.....٢٢٣

الفصل العاشر: وجهات نظر تاريخية ٢٢٩

إزاحة كوكب الأرض من مركز الكون.....٢٣٠

توحيد السماء مع الأرض ٢٣٤

ربط المادة والطاقة بالزمان والمكان ٢٣٦

الصفحة

تمديد الزمن ٢٣٧

تحريك القارات ٢٣٨

فهم النار ٢٤٠

تقسيم الذرّة..... ٢٤٣

تفسير تنوع الحياة ٢٤٥

اكتشاف الجراثيم ٢٤٨

استخدام الطاقة ٢٥٠

الفصل الحادي عشر : موضوعات عامة ٢٥٥

الأنظمة..... ٢٥٥

النماذج..... ٢٥٨

الثبات والتغيير ٢٦٤

المقياس ٢٧٤

الفصل الثاني عشر : عادات العقل ٢٧٩

القيم والمواقف ٢٨٠

الحساب والتقدير..... ٢٨٥

التلاعب والمراقبة..... ٢٩٢

التواصل ٢٩٣

مهارات الاستجابة النقدية..... ٢٩٥

الصفحة

الفصل الثالث عشر : التعلّم والتدريس الفعّال ٢٩٩

مبادئ التعلّم ٢٩٩

تدريس العلوم والرياضيات والتكنولوجيا ٣٠٤

الفصل الرابع عشر : إصلاح التعليم ٣١٥

الحاجة إلى الإصلاح ٣١٥

فرضيات الإصلاح ٣١٧

الفصل الخامس عشر : الخطوات القادمة.....٣٢٧

مشروع ٢٠١٦ .....٣٢٨

جدول الأعمال الخاص بالعمل ٣٣١

المستقبل.....٣٤٠

مراجع مختارة.....٣٤٣

الفهرس.....٣٦١

جيمس رذرفورد

- أستاذ العلوم في أمريكا. ولد عام ١٩٢٤، وهو مؤسس المشروع ٢٠٦١ التابع للجميعة الأمريكية لتقدُّم العلوم.

أندرو ألغرين

- كاتب أمريكي وعالم، وهو المؤلف المشارك لكتاب «العلم للجميع».

د. باسل المسالمة

- أستاذ جامعي في كلية الآداب والعلوم الإنسانية بجامعة دمشق.
- مدير الترجمة في الهيئة العامة السورية للكتاب.
- من أعماله المترجمة الصادرة عن الهيئة العامة السورية للكتاب:

* ما بعد النظرية - تيري إيغلتون - ٢٠١٥.
* الثقافة والواقع - كاثرين بيلسي - ٢٠١٧.
* صديق عابر - نادين غورديمر - ٢٠١٨.
* الجمال والتسامي – باتريك هولم هوغان - ٢٠١٢.

٢٠٢٢م