رؤيتنا 2050

خارطة طريق نحو
استدامة الأرض

هيروشي كوميياما

حاصل على جائزة محمد بن راشد آل مكتوم للمعرفة 2017

ستيفن كرينز

رؤيتنا 2050

خارطة طريق نحو استدامة الأرض

Qindeel | قنديل

Vision 2050 Roadmap for a Sustainable Earth
By: **Hiroshi Komiyama,** Steven Kraines
©Published by Springer 2010

رؤيتنا 2050 خارطة طريق نحو استدامة الأرض
تأليف: **هيروشي كوميامـا**، ستيفن كرينز

©2018 Qindeel printing, publishing & distribution

لا يجوز نشر أي جزء من هذا الكتاب، أو نقله على أي نحو، و بأي طريقة سواء أكانت إلكترونية، أم ميكانيكية، أم بالتصوير، أم بالتسجيل، أم خلاف ذلك. إلا بموافقة الناشر على ذلك كتابة مقدماً.

الآراء الواردة في هذا الكتاب لا تعبّر بالضرورة عن رأي الناشر.

ترجمة: Diwan Arabia

موافقة «**المجلس الوطني للإعلام**» في دولة الإمارات العربية المتحدة
رقم: 712785 تاريخ 2018/9/23

ISBN: 978 - 9948 - 39 - 816 - 5

قنديل | Qindeel
للطباعة والنشر والتوزيع
Printing, publishing & Distribution
ص.ب: 47417 شارع الشيخ زايد
دبي – دولة الإمارات العربية المتحدة
البريد الإلكتروني: info@qindeel.ae
الموقع الإلكتروني: www.qindeel.ae

© جميع الحقوق محفوظة للناشر 2018

الطبعة الأولى: تشرين الأول / أكتوبر 2018 م – 1440هـ

تمهيد

هل يمكننا نحن بني البشر أن نظل نعيش ونعمل كما فعلنا من قبل حتى وقتنا هذا في حدود موارد كوكب الأرض؟ وكيف لنا أن نحافظ على استدامة الموارد الثرية التي يتمتع بها كوكبنا ـ بما في ذلك توفير بيئة صحية ونظيفة ـ للأجيال القادمة؟ في الفترة الأخيرة دقت نواقيس الخطر منذرة بمستقبل مُفجِع ينتظر بيئة كوكبنا وما به من موارد، وساور القلقُ أكثرَ الناس إلمامًا بخصوص الأخطار التي تنتظرنا. ولكن قلة من هؤلاء هم من طرحوا خططًا مقنعة تبين سُبل اجتياز تلك الأخطار الوشيكة. ومن ثم وضعنا هذا الكتاب آملين أن نخرج برؤية واقعية لطريق توصلنا إلى مستقبل مستدام للبشرية ولكوكب الأرض. ونعني بعبارة «استدامة كوكب الأرض» أن نحيا ونمارس أعمالنا على اختلافها وتنوعها التي تيسر لنا سبل عيشنا في إطار حدود كوكب الأرض بطريقة نحافظ بها على عدم تخطي تلك الحدود فلا نستنفد المواد غير المتجددة، ولا نحمِّل كوكب الأرض ما لا يطيق، لا سيما غلافه الحيوي. وكما سنرى في كتابنا هذا، فإن استدامة الأرض منظومة نشطة من عمليات التدوير في أنظمة معقدة وواسعة النطاق. ومن ذلك المجتمع البشري، ولكي يحظى وجودنا على ظهر هذا الكوكب بالاستدامة، فعلينا أن نفكر في وسيلة نوجِد بها بنية اجتماعية تحافظ على عمليات التدوير هذه تضارع تلك التي تخص كوكب الأرض.

وسنرى في هذا الكتاب كيف يمكننا ـ باستخدام العلم والتكنولوجيا ـ أن

نوجِد بنية تحتية لترشيد الطاقة وإعادة التدوير بحلول عام 2050م. وعلاوة على هذا، فسنرى في هذا الكتاب كيف أن تلك البنية التحتية ستضعنا على طريق الجمع بين الحياة الرغيدة والحفاظ على موارد الأرض وعدم المساس بالبيئة. فإذا نجحنا في إيجاد تلك البنية التحتية، فسنوجِد علاقة طيبة بين المجتمع والتكنولوجيا. وهذه العلاقة يجب أن ترتكز على تواصل قائم على الشفافية والمصارحة بين الباحثين في مجال التكنولوجيا والأطراف المعنية في المجتمع.

منذ فجر التاريخ ابتكر الإنسان تقنيات ثم طورها: مِن صنعٍ للأدوات، وتحكمٍ في النار، وتعلمٍ لكيفية حراثة الأرض. ففي مجال صنع الآلات كان الإنسان يصنع في أول أمره آلاته من الصخر، ثم اهتدى إلى الخزف، ثم إلى البرونز، ثم إلى الحديد، إلى أن صار يصنعها من أصناف الألياف الصناعية وألوان السيراميك عالي التقنية. وفي مجال تسخير مصادر الطاقة كان الإنسان في أول أمره يحرق الخشب، ثم اهتدى إلى الفحم، ثم إلى النفط، ثم إلى الغاز الطبيعي، ثم إلى الطاقة النووية. ولتحسين الغلة الزراعية كان الإنسان في أول أمره يترك الأرض كما هي دون تدخل منه، ثم اهتدى إلى استخدام أنواع السماد، إلى أن وصل إلى تصنيع الأسمدة الكيماوية. وبفضل تلك التقنيات ازدهرت حياة البشر وازداد عدد سكان كوكب الأرض. وبالرغم من أن الفقر لا يزال يمثل مشكلة عالمية خطيرة، نجد أن معظم الناس اليوم، حتى في العالم النامي، يعيشون حياة مترفة يرفلون فيها في نعيم ودعة ما كانا ليخطرا يومًا ببال مَن سبقونا. وما يعكر صفو هذا أن استنفاد الموارد وتدهور البيئة شَرَعا يهددان الحضارة التي بنيناها. فالسماء التي تبدو بلا حدود والمحيطات الشاسعة ـ التي كنا في يوم من الأيام نظنها قادرة على استيعاب كل ما نلقيه فيها من نفايات ـ تمر الآن بتغير هائل نتيجة لأفعالنا نحن.

وقد اتضح لنا الآن أن الأرض ما هي إلا كوكب صغير الحجم ذو موارد محدودة.

وهناك بالفعل مؤشرات واضحة على المشكلات الخطيرة التي يسببها

استنزاف موارد الطاقة والاحتباس الحراري والكم الهائل من النفايات التي نخلفها وراءنـا. فـإذا لم نغير من طريقة استخدامنا لموارد الأرض وإعـادة استخدامها بحلول منتصف القرن الحادي والعشرين، فإن هذه المشكلات تهدد بإغراق سفينة الحضارة الإنسانية.

ولا يمر يوم إلا وتتضح لنا أكثر الآثار الجانبية السلبية لما نعيشه من حضارة مادية، وقد دفع هذا الكثيرين إلى انتقاد أسلوب حياتنا المعاصرة. فقد ظهرت أمامهم فجأة مشكلة القمامة أو مشكلة الاحتباس الحراري أو بعض الأمور الأخرى التي تهدد حضارتنا الإنسانية، ومن ثم شعروا بأن عليهم أن يتحركوا ويفعلوا شيئًا حيال ذلك. ولو كان الأمر يتطلب فصل القمامة فستجد الكثيرين مستعدين للقيام بهذا. ولو كانت الطاقة الشمسية هي الحل، فستجد الكثيرين ممن يستطيعون تحمل تكاليفها على استعداد لتركيب ألـواح خلايا شمسية كهربائية على أسطح منازلهم. ولكن من أسباب تقاعس هؤلاء وأولئك عن وضع هذه النوايا الحسنة موضع التنفيذ، أنهم يساورهم الشك في تأثير جهودهم هذه على ما يعانيه عالمنا. بل إن كثيرين منهم لا يدرون هل سيكون لجهودهم الفردية هذه أي تأثير على الإطلاق أم لا. ومن ثم فإن الكثيرين ممن يهتمون بأمر البيئة والحفاظ عليها ويريدون أن يفعلوا شيئًا حيالها تجدهم يترددون، ثم ينتهي بهم الأمر إلى ألا يحركوا ساكنًا.

نعم قد شرعنا في اتخاذ طائفة من الإجـراءات التي تهدف إلى تحقيق استدامة كوكبنا. ومن ذلك إعادة التدوير. ولكن ما زلنا نجد بعض الخبراء يرون أن تكلفة إعادة التدوير تجعل منها حلًا يفتقر إلى الواقعية، بل إن إعادة تدوير بعض المنتجات تضر بالبيئة أكثر من تركها دون إعادة تدوير. يقول بعض الخبراء إن الخلايا الشمسية هي الورقة الرابحة للطاقة في القرن الحادي والعشرين، ويردُّ عليهم آخرون بقولهم إن مثل هذه التقنيات باهظة الثمن، بل إن إسهامها في التخفيف من أزمة الطاقة المحتملة لا يكاد يُذكَر. ولنتخذ الخطوات الأولى نحو استدامة الأرض نحتاج إلى فض الاشتباك بين هذين الرأيين المتضادين. والأهم

من ذلك أننا نحتاج إلى رؤية شاملة نستطيع جميعًا أن نتشاطرها حول ما يجب أن تبدو عليه الحضارة الإنسانية في وقت ما في المستقبل من أجل ضمان استدامة الأرض.

وفي ظل هذه الرؤية المشتركة يمكننا أن نقيِّم بوضوح الدور الذي يجب أن تؤديه التقنيات، ومنها الخلايا الشمسية والمبادرات ومنها إعادة التدوير.

والهدف من هذا الكتاب هو وضع رؤية شاملة لكيفية تعاوننا معًا لنضع مجتمعنا على الطريق نحو الحفاظ على رغد عيشنا على ظهر كوكبٍ محدودِ الموارد، ولاتخاذ الخطوات الملموسة اللازمة للوصول إلى ذلك. إن القرن الحادي والعشرين هو مفترق طرق تقف عنده البشرية لتقرر أي طريق ستسلك: طريق المجتمع المستدام، أم طريق التدهور البيئي واستنزاف الموارد. وإذ نضع هذا القرار المصيري نصب أعيننا نطرح عن طريق كتابنا هذا «رؤيتنا للعالم عام 2050»، وهي رؤية شاملة تهدف إلى السباحة ضد تيار استنفاد الموارد وتدهور البيئة بحلول عام 2050م. «العالم عام 2050» خطة واقعية لمجتمع يعتمد على إعادة تدوير المواد والطاقة المتجددة وترشيد الطاقة يمكن تحقيقها بحلول منتصف القرن الحادي والعشرين، ومن شأنها أن تضعنا على طريق استدامة الأرض بحلول القرن الثاني والعشرين. ولو نجحنا في تحقيق هذه الرؤية المستقبلية فسننجو من ويلات معضلة استنفاد موارد النفط والاحتباس الحراري والكم الهائل من النفايات الذي نخلفه وراءنا، ونُرسي قاعدة اجتماعية لدعم التنمية المستدامة للبشرية.

لجعل كوكبنا أساسًا مستدامًا لحياتنا علينا أن نخفف العبء الذي نضعه على كاهله. وقد صارت إعادة النظر في تقييم أسلوب حياتنا المادية الحديثة أمرًا لا مناص منه. ولكن هل سيكون هذا كافيًا؟ يبلغ عدد سكان الأرض الآن 6.6 مليار نسمة[1]، ومن المتوقع أن يصل إلى 9 مليارات بحلول منتصف القرن

(1) هذه الترجمة لطبعة عام 2008م من النسخة الإنجليزية، ومن ثم على القارئ الكريم أن ينتبه إلى قِدم بعض الأرقام والإحصائيات التي ترد في ثنايا الكتاب (المترجِم)

الحادي والعشرين، وهذا يعني حتمًا أن يشهد الاستهلاك المادي في العالم النامي زيادة كبيرة.

ولأن هذا الانفجار السكاني سيضع عبئًا كبيرًا ومتزايدًا على موارد الأرض فلا شك أن مجرد تغيير أنماط الحياة لن يكفي لتحقيق استدامة الأرض. يجب علينا أن ننظر في طريقة نزيد بها من تخفيف عبء البشرية على كوكب الأرض. ومن سبل ذلك وضع تقنيات للحد من مقدار الموارد الطبيعية التي نستهلكها ومقدار النفايات الناتجة لكل نشاط إنساني نقوم به. وكما سنرى في هذا الكتاب، فإن تأثير مثل هذه التقنيات قد يكون هائلًا.

رؤيتنا للعالم عام 2050م هو مقترح واقعي لكيفية حل مشكلات بيئةٍ معرضة للخطر وموارِدَ في تقلص مستمر مع إتاحة الفرصة أمام جميع شعوب الأرض لتحقيق مستويات المعيشة التي تتمتع بها شعوب البلدان المتقدمة اليوم.

وترتكز هذه الرؤية على ثلاثة شروط أساسية: 1) زيادة ترشيد الطاقة، و2) زيادة إعادة تدوير المواد الداخلة في السلع المصنعة والبنية التحتية (ما سنطلق عليه في كتابنا هذا «مُصَنَّعات البشر») و3) إيجاد مصادر متجددة للطاقة. ويمكننا تحقيق هذه الشروط إذا أوجدنا مجتمعًا ناجحًا في مجال إعادة التدوير. ومفتاح تحقيق هذا النوع من البنية التحتية الاجتماعية هو إنشاء نظام تدوير من مواد النفايات إلى مواد خام يزيح بعض العبء الذي نضعه حاليًا على كاهل المحيط الحيوي للأرض.

وسنبين في هذا الكتاب أن هدف إنشاء مجتمع مرشِّد للطاقة ومتبع لسياسة إعادة التدوير أمر يمكن تحقيقه؛ لأن ليس كل ما ورثناه من القرن العشرين سلبيًا.

من المؤكد أن القرن العشرين قد مضى وخلف وراءه العديد من المشكلات التي علينا مواجهتها مثل تلوث الأرض والهواء والبحار. ويجب علينا في القرن الحادي والعشرين التخلص من جميع البنى التحتية والسلع المصنَّعة من حولنا ـ من مبان وسككٍ حديدية وطرقٍ سريعة وسياراتٍ وأجهزة منزلية ـ إلا قليلًا، ما من شأنه أن يضع عبئًا هائلًا على كاهل كوكبنا. ومع ذلك، في ظل

ظروف معينة، يمكننا النظر إلى مصنَّعات البشر هذه باعتبارها إرثًا إيجابيًّا حتى بعد أن وصلت إلى نهاية عمرها الافتراضي. في معظم أنحاء العالم، ستقترب مصنَّعات البشر ـ التي هي كل ما نصنعه ـ من مرحلة «التشبع» بحلول منتصف القرن الحادي والعشرين. وسنبين في هذا الكتاب أنه ليس بوسعنا فحسب استخدام التكنولوجيا لتطوير مصادر الطاقة المتجددة على نطاق واسع وإحداث ثورة في حسن استخدامنا للطاقة، بل ولإعادة تدوير جميع المواد الداخلة في صناعة منتجات النفايات التي خلفها لنا القرن الماضي، ومن ثم تقليل استخدام الموارد الطبيعية لتصنيع منتجات جديدة بحيث يكاد ينعدم.

ولا يمكن لأحد أن ينكر أن التقدم الهائل في العلم والتكنولوجيا قد سلَّح الإنسان بما عساه أن يودي به. ولكن لو أحسنَّا استخدام العلم والتكنولوجيا فيمكننا تسخيرهما لإيجاد بيئة مستدامة تتيح أن يكون هناك أسلوب حياة مريح في كوكب نظيف وجميل يمكن للبشرية أن تستمتع به لأجيال قادمة. ومن ثم فإننا بحاجة إلى تبني الخيارات الصحيحة فيما يتعلق بتوجيه التكنولوجيا، وما من سبيل إلى ذلك ووضعه موضع التنفيذ إلا إذا اجتمعت على ذلك كلمة المجتمع كله. ولم يكن في أي وقت مضى التصالح بين المجتمع والتكنولوجيا أكثر أهمية من وقتنا هذا.

وفيما يلي نتناول أقسام هذا الكتاب وما تتضمنه.

ففي **الفصل الأول** نبين للقارئ الآليات التي حافظت به طاقة الشمس على نظام التدوير في المحيط الحيوي للأرض حتى الآن. وفيه سندرس الطريقة التي تخل بها أعمال البشر بهذا التدوير، وذلك بالنظر في دورة الحياة الشاملة للمواد الأساسية المستخدمة لإنتاج مصنَّعات البشر. وسنظل خلال صفحات هذا الفصل نوضح الكوارث العالمية الثلاث المحتملة: «الاحتباس الحراري» و«استنزاف الوقود الأحفوري» و«الكم الهائل من النفايات الذي نخلفه وراءنا»، وهي الكوارث التي ستقع إذا ظل الحال على ما هو عليه.

وفي **الفصل الثاني** سنتناول طرق استهلاكنا للطاقة لأغراض أهم أمرين نقوم

بهما «صناعة الأغراض» و«ممارسة حياتنا اليومية». سنحتاج إلى دراسة بعض المفاهيم الدقيقة في مجال الطاقة، لا سيما ترشيد الطاقة لنوضح الذي يجعل من الأزمة المحتملة «لاستنفاد الطاقة» حقيقة واقعة، رغم وجود القانون الفيزيائي الذي يقول إن الطاقة لا يمكن تدميرها. وفي هذا الفصل سنحاول القيام بذلك بلغة خالية من المصطلحات العلمية، وسنضرب على ذلك أمثلة من حياتنا اليومية. وأخيرًا سنرى كيف يمكننا تمديد عمر موارد الطاقة الحالية عن طريق زيادة حُسن استخدام الطاقة.

وفي **الفصل الثالث** سنحدد لكل أمر من الأمور التي تساهم بشكل كبير في استهلاكنا للطاقة، بما في ذلك عمليات التصنيع في «صناعة الأغراض» وممارستنا «لحياتنا اليومية»، سنحدد لكل منها الحد الأدنى من الطاقة الذي ينبغي أن يستهلك في أفضل الأحوال. وفي ضوء المعدلات المثالية لاستهلاك الطاقة هذه سنقدِّر الحد الأدنى من الطاقة اللازمة لجميع سكان الأرض لتحقيق مستوى معيشي يضارع مستوى المعيشة الذي يتمتع به سكان البلدان المتقدمة. وسيمنحنا هذا هدفًا نظريًا لتخفيض استخدام الطاقة يمكننا تحقيقه بفضل التكنولوجيا التي بين أيدينا.

وفي **الفصل الرابع** نعقد مقارنة بين حدود معدلات استهلاك الطاقة التي قدَّرناها في الفصل الثالث مع ما يمكن تحقيقه من خلال الحالة الراهنة للتكنولوجيا فيما يتعلق بممارساتنا في «حياتنا اليومية». وعلى وجه التحديد سندرس إمكانية تحسين كفاءة السيارات، وكذلك الأجهزة المستهلِكة للطاقة في المنازل ومباني المكاتب مثل مكيفات الهواء. وسنختم الفصل بإلقاء نظرة على أحدث ما توصلت إليه التكنولوجيا في مجال توليد الطاقة الكهربائية في محطات توليد الكهرباء الحرارية التقليدية ومناقشة ما يمكننا توقعه في المستقبل.

ثم سنستهل **الفصل الخامس** برسم لمسار نحو إنشاء بنية تحتية اجتماعية تعتمد على إعادة استخدام المواد الصناعية الأساسية عن طريق إعادة التدوير.

ومن الناحية النظرية ومن خلال تحليل الوضع الحالي في المجتمع سنوضح في هذا الفصل بالذات أن استخدام المواد المعاد تدويرها للتصنيع ليس ممكنًا فحسب من الناحية التكنولوجية، بل هو أيضًا طريقة سديدة اقتصاديًّا؛ لأنه سيقلل إلى حد كبير من استهلاك الطاقة.

ويتناول **الفصل السادس** أنواع موارد الطاقة التي يحتمل أن تكون متاحة لتحل محل أنواع الوقود الأحفوري غير المتجددة. وسنوضح في هذا الفصل الوضع الحالي في جميع أنحاء العالم في مجال استخدام مصادر الطاقة المتجددة، مثل الخلايا الشمسية، وتوربينات الرياح، ومولدات الطاقة الحرارية الأرضية، وسنحدد تصورات مستقبلية ممكنة لتنفيذ أنظمة واسعة النطاق لتوليد الطاقة، والأنظمة القائمة على أكثر مصادر الطاقة المتجددة التي نعلق عليها آمالنا.

ثم يأتي **الفصل السابع** ليجمع ما ناقشناه في الفصول السابقة، وليجعل من «رؤيتنا للعالم عام 2050م» خريطة طريق شاملة لاستدامة كوكب الأرض يمكن تحقيقها بالفعل بحلول عام 2050م.

وأما **الفصل الثامن** فيبحث في العلاقة التآزرية بين المجتمع والتكنولوجيا تلك العلاقة اللازمة لاتخاذ القرارات الصحيحة بين الخيارات المختلفة للمستقبل في إطار رؤيتنا للعالم عام 2050م. ونطرح في هذا الفصل الأخير العديد من الأساليب الجديدة القائمة على التقنيات الناشئة للمساعدة في تحقيق ذاك التآزر، مع التركيز بشدة على ما يتعلق بتنظيم المعرفة العلمية للخبراء وتقاسم تلك المعارف بطرق تحقق فائدة أكبر وتكون متاحة لمن يستطيعون تطبيقها، وكل ذلك على درب تحقيق استدامة وجودنا على سطح كوكبنا هذا.

المحتويات

تمهيد 7

الفصل الأول: هل الأرض مستدامة؟ 17

1 ـ التغييرات التي تتعافى منها الأرض والتغييرات التي لا تتعافى منها 17

2 ـ آليات تعافي الأرض 22

3 ـ تدخل هائل للإنسان في الغلاف الحيوي 26

4 ـ تدفق المواد الناتجة عن «صناعة الأغراض» 37

5 ـ ماذا يحدث إذا ظللنا على ما نحن عليه؟ 49

الفصل الثاني: معرفة الطاقة 57

1 ـ الطاقة محفوظة 57

2 ـ فيم تُستخدم الطاقة؟ 72

3 ـ الطاقة تتحلل 80

4 ـ تحسين الكفاءة 85

الفصل الثالث: حد كفاءة الطاقة 91

1 ـ الخطوات التمهيدية لأعمال الإنسان 91

2 ـ الخطوات الأولية للطاقة 93

3 ـ طاقة أعمال الإنسان 107

الفصل الرابع: حفظ الطاقة خلال ممارسة حياتنا اليومية 111
1 ـ السيارة 112
2 ـ المنازل والمكاتب 126
3 ـ محطات توليد الكهرباء 140

الفصل الخامس: صناعة الأغراض وإعادة تدويرها 145
1 ـ نظرية إعادة التدوير 146
2ـ إعادة التدوير ... وسيلة أخرى للحفاظ على الطاقة 152
3 ـ هل حرق مخلفات الورق والبلاستيك شيء مشين؟ 164

الفصل السادس: ظهور الطاقة المتجددة 171
1 ـ هل يكمن الحل في تكثيف استخدام الطاقة النووية؟ 271
2 ـ ضوء الشمس 174
3 ـ الطاقة الكهرومائية وطاقة الرياح 189
4 ـ طاقة حرارة باطن الأرض وطاقة المد 192

الفصل السابع: السبيل إلى استدامة كوكب الأرض 195
1 ـ أهمية اتفاقية كيوتو 196
2 ـ العالم عام 2050: خارطة طريق جديدة لاستدامة الأرض 201
3 ـ تحويل رؤيتنا للعالم عام 2050 إلى واقع ملموس 211

الفصل الثامن: مدى نجاح التعاون بين المجتمع والتكنولوجيا 231
1 ـ تكوين بنية تحتية شاملة لإعادة تدوير المواد في المجتمع 231
2 ـ دفع السوق للعمل لمصلحة الاستدامة 240
3 ـ مشروعات تتعلق برؤيتنا للعالم عام 2050 246
4 ـ إعادة بناء العلاقة بين التكنولوجيا والمجتمع 253

حاشية 265

نبذة عن مؤلفيْ الكتاب 269

الفصل الأول
هل الأرض مستدامة؟

1 – التغييرات التي تتعافى منها الأرض والتغييرات التي لا تتعافى منها

التجدد المستمر للأرض الدوارة

«الزهور تتفتح بالطريقة نفسها، عامًا بعد عام. ولكن البشر ليسوا كذلك».
(ترجمة لمثل ياباني قديم)

لم يتساءل البشر لآلاف السنين عن التجدد المستمر للطبيعة. ففي كل عام تتغير الفصول، وكلما عاد الربيع تزدهر ذات الأشجار وتثمر. ولقد عاش البشر حياتهم حتى يومنا هذا على افتراض أن دورة الطبيعة تلك سوف تستمر إلى الأبد.

في فصل الربيع تستخدم النباتات طاقة الشمس لامتصاص ثاني أكسيد الكربون من الغلاف الجوي والمياه من المناطق المحيطة بها لتُنبت جذورها وسيقانها وفروعها وأوراقها، فيما يُسمى بعملية التمثيل الضوئي. ومع ازدهار النباتات البرية في جميع أنحاء العالم خلال فصلي الربيع والصيف تنخفض كمية ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي. وعندما تسقط أوراق تلك النباتات في الخريف تصير تلك الأوراق غذاءً للحشرات والحيوانات الأخرى. وجزء من هذه الأوراق المأكولة يتأكسد ليتحول إلى ثاني أكسيد الكربون حين تتنفس

الحيوانات التي أكلتها؛ بمعنى أن الأوراق تخرج أثناء الزفير في صورة ثاني أكسيد الكربون. أما الأوراق التي لا تؤكل إضافة إلى براز الحيوانات وجثثها فتتحول جميعها إلى موادَّ عضويةٍ في التربة. وهذه المواد العضوية تستخدمها الكائنات الحية الدقيقة وغيرها من الكائنات التي تسكن التربة لتتحول في نهاية المطاف مرة أخرى إلى ثاني أكسيد الكربون؛ لذا فإنه بعد عدة سنوات يعود كل ثاني أكسيد الكربون ـ الذي كان في الغلاف الجوي، والذي تناوله النبات خلال حياته ـ يعود إلى الغلاف الجوي مرة أخرى. ويدور الكربون في محيط كوكبنا بهذه الطريقة، وفي كل عام تعود الأرض إلى حالتها الأصلية.

وقد عاش البشر حياتهم ـ مثلهم مثل كل الكائنات الحية الأخرى ـ ضمن عمليات التدوير التي تجري في الأرض. والزراعة من أعمال الإنسان التي جرت العادة أن تكون حسنة التكيف نسبيًّا مع دورات الطبيعة. فإذا زرعت شتلات أرز في حقول الأرز في الربيع فيمكنك حصاد الأرز في الخريف. وبعد أن تقطَّع نباتات الأرز ويتم الحصاد يأتي الشتاء فتصبح الحقول مقفرة.

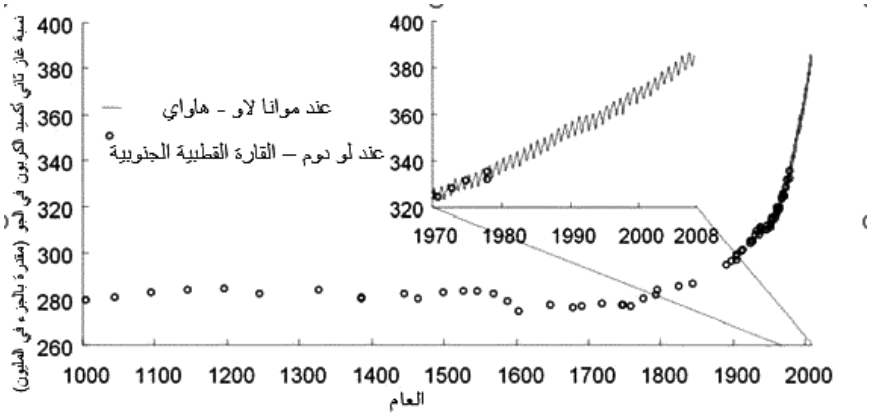
ومع ذلك إذا زُرع الأرز في الربيع الذي يليه فسيصبح الحصاد وفيرًا مرة أخرى في الخريف الذي يليه. وصيد الأسماك هو الآخر من هذا القبيل. فحتى لو ظل صيادو السمك في عصر ما قبل الصناعة يصطادون كميات كبيرة من سمك السلمون من أوائل الصيف حتى قدوم الخريف، فسيعود سمك السلمون في بداية الصيف الذي يليه.

لقد كانت الأرض دائمًا مكانًا للتغيرات النشطة، ولكن لأنها كانت تعود دائمًا إلى حالتها الأصلية بعد كل عام فقد صارت الأرض مكانًا يُعتمد عليه لبناء الحضارة الإنسانية.

ولكن في الآونة الأخيرة بدأ هذا النمط من التجدد المستمر في الخروج عن مساره. فكوكبنا يتأثر بتغيرات جوهرية مستمرة، وهي تغييرات لا يتعافى منها كل عام.

تغييرات لا تتعافى منها الأرض

من التغييرات التي لا تتعافى الأرض منها ارتفاع نسبة ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي (انظر الشكل رقم 1ـ1). فقد ظل متوسط نسبة ثاني أكسيد الكربون السنوي في الغلاف الجوي للأرض ثابتًا تقريبًا عند 280 جزءًا في المليون (من حيث الحجم)، وذلك على الأقل خلال آخر ألف سنة. ولكن بدأ هذا التركيز في الارتفاع في القرن التاسع عشر، ثم خلال النصف الثاني من القرن العشرين تسارع معدل الزيادة تسارعًا مذهلًا حتى أصبحت نسبة ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي بنهاية عام 2007 نحو 384 جزءًا في المليون. وإذا استمرت نسبة ثاني أكسيد الكربون في الزيادة بالمعدل الحالي فسيصل إلى ضِعف ما كانت عليه في عصر ما قبل الصناعة وهو 280 جزءًا في المليون بنهاية القرن الحادي والعشرين. وفي الواقع إن تضاعفت نسبة ثاني أكسيد الكربون فقد تحدث في وقت سابق عن المتوقع بسبب زيادة معدل الزيادة ذاته.



الشكل رقم 1ـ1: نسبة ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي من عام 1000م إلى عام 2008م (بيانات من الإدارة الوطنية للمحيطات والغلاف الجوي: د./ بيتر تانس، بالإدارة الوطنية للمحيطات والغلاف الجوي/ مختبر أبحاث نظام الأرض، ود.م. إثريدج وآخرون، 2001م، بيانات ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي من لو دوم، 1 صفحات برنامج الغلاف الحيوي للغلاف الأرضي/ مركز بيانات العالم لسلسلة مساهمة البيانات في علم المناخ القديم 2001هـ-083. برنامج علم المناخ القديم بالإدارة الوطنية للمحيطات والغلاف الجوي/ مختبر أبحاث نظام الأرض، بولدر كولورادو، الولايات المتحدة).

إن الزيادة في نسبة ثاني أكسيد الكربون قد لا تضر بالبشر والكائنات الحية ضررًا مباشرًا، بل إن هناك بعض الأدلة تشير إلى أن هذه الزيادة تساعد النباتات على النمو ما يجعل الغابات أكثر اخضرارًا وأكثر خصوبة. ولكن يُعتقد أن زيادة نسبة ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي تغير بشكل غير مباشر عمليات التدوير التي تجري على كوكب الأرض، وهي التغييرات التي يمكن أن يكون لها آثارٌ أكثر خطورة في الحضارة الإنسانية من الزيادة في نمو النبات. وعلى وجه التحديد يُعتقد أن الزيادة في نسبة ثاني أكسيد الكربون تؤدي إلى الاحتباس الحراري.

من الحقائق التي نعرفها أن متوسط درجة حرارة سطح الأرض في تزايد.

ومع ذلك نظرًا لأن درجة حرارة الأرض تختلف اختلافًا كبيرًا باختلاف الموقع والوقت خلال العام، فمن الصعب قياس متوسط درجة حرارة الأرض قياسًا يُعتمد عليه.

ذلك إضافة إلى أن درجة حرارة الأرض تتأثر ببقع الشمس والنشاطات الشمسية الأخرى. كما يمكن لانفجار بركان كبير أن يؤثر في درجة حرارة الأرض؛ لأن الغبار الذي يُطلقه البركان في الغلاف الجوي خلال ثورته يعكس ضوء الشمس الوارد، مما يحد من كمية أشعة الشمس التي تصل إلى سطح الأرض.

وتؤثر العديد من العوامل الشبيهة في قياساتنا لدرجة حرارة الأرض، وتجعل من العسير تحديد العلاقة بين ثاني أكسيد الكربون ودرجة الحرارة.

ولكن مع الوقت أصبحت تقنيات تقييم هذه العلاقة أكثر دقة. وطبقًا لآخر التحقيقات التي أجراها العلماء في الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغيير المناخ في عام 2007م، فقد حدث بالفعل ارتفاع في متوسط درجة حرارة سطح الأرض بلغ 0.74 درجة مئوية. ويُعتقد أن السبب الرئيس لهذا الارتفاع، هو الاحتباس الحراري نتيجة زيادة ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي والذي حدث خلال القرن الماضي.

كم من الوقت يستغرقه ذوبان الجليد؟

من نتائج الاحتباس الحراري الذي يثير المخاوف ارتفاع مستوى سطح البحر. ووفقًا لتقرير الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ لعام 2007م فإن المعدل الحالي لارتفاع مستوى سطح البحر هو 3.1 ملم سنويًّا.

فإن استمر هذا المعدل فسيرتفع مستوى سطح البحر بنحو 12 سم مع حلول عام 2050م. ولكن ما يبعث أكثر على القلق هو احتمال أن تنزلق أجزاء كبيرة من الجليد غير الساحلي في القارة القطبية الجنوبية وجرينلاند إلى المحيط. والجليد أقل كثافة من مياه البحر، ولكن إذا تكسرت أرفف جليدية أرضية كبيرة وانزلقت في المحيط فإنها سترفع مستوى سطح البحر، وذلك لأن الجليد سوف يحل محل الماء من حوله بذات الطريقة التي يفيض بها كوب مملوء بالماء إذا وُضعت فيه مكعبات من الثلج. ويقدِّر الخبراء أنه إذا انزلق كل جليد جرينلاند إلى المحيط فإن مستوى سطح البحر سيرتفع أكثر من 600 سم. ومن ناحية أخرى، وبذات مفهوم عدم فيضان كوب مملوء بالثلج حتى لو أن كل الثلج الموجود في الكوب أخذ في الذوبان، فإن جليد القطب الشمالي، والذي هو بالفعل موجود في الماء، لن يزيد من مستوى سطح البحر كثيرًا، حتى لو ذاب كله.

حقيقةُ أنَّ الاحتباس الحراري سيؤدي إلى ارتفاع مستوى سطح البحر هي أمر معروف نسبيًّا.

وقد يظن المرء أننا إذا ثبَّتنا نسبة ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي فإن مستوى سطح البحر سيتوقف عن الارتفاع. ولكن هذا ليس صحيحًا لأن ارتفاع مستوى سطح البحر سببه ذوبان جليد الأرض في أماكن مثل القارة القطبية الجنوبية وجرينلاند، وكذلك التوسع الحراري لمياه البحر مع ارتفاع درجة حرارة المحيطات. ومن الجدير بالذكر أن إذابة قطع كبيرة من الجليد الداخلي ورفع درجة حرارة المحيطات بأكملها يستغرق وقتًا طويلًا.

القطع الصغيرة من الجليد، مثل الجليد المكشوط، تذوب بسرعة، وقطعة بحجم الجليد المتدلي قد تستغرق يومًا على الأكثر لتذوب. أما كتل الجليد

بحجم الأنهار الجليدية فتستغرق وقتًا أطول بكثير لتذوب. إذا افترضنا أن الأنهار الجليدية تذوب فقط من الخارج، فمن ثم بمعدل ذوبان 1 سم في اليوم سوف يستغرق ذوبان نهر جليدي سُمكه 100 متر 300 عام. وتدفئة محيط بأكمله أيضًا أمر يستغرق قرونًا.

وحتى لو تمكنا من تحقيق الاستقرار في درجة حرارة سطح الأرض عند مستوى أقل من درجة حرارة ما قبل الثورة الصناعية، فإن الأنهار الجليدية ستستمر في ذوبانها شيئًا فشيئًا، وستستمر درجة حرارة المحيطات في الزيادة شيئًا فشيئًا. ونتيجة لذلك سيستمر مستوى سطح البحر في الارتفاع حتى تتمكن المحيطات من امتصاص ثاني أكسيد الكربون الزائد، وتنخفض نسبة ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي، وتبدأ درجة حرارة الأرض في العودة إلى قيمتها الحالية. وقد يستغرق ذلك قرونًا.

الاحتباس الحراري الناجم عن زيادة نسبة ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي وما ينتج عنه من ارتفاع في مستوى سطح البحر لا يمثلان سوى مثالين على الكيفية التي بدأت بها الأرض تتغير بطرق لا يمكن أن تتعافى منها خلال دوراتها السنوية.

فلماذا لا تستطيع الأرض التعافي بالطريقة التي اعتادتها؟ وللإجابة عن هذا السؤال دعونا ننظر إلى الإطار الذي من خلاله كررت الأرض دوراتها من التعافي السنوي حتى الآن.

2 – آليات تعافي الأرض

النظم البيئية للتدوير التي تستمد قوتها من طاقة الشمس:

في عام 1998م شب حريق هائل في إحدى غابات إندونيسيا، وظل الحريق مشتعلًا لعدة أشهر، وأظهرت صور الأقمار الصناعية أن دخان ذاك الحريق امتد إلى شبه جزيرة الملايو. ويُعتقد أن الدخان الذي نجم عن هذا الحريق الضخم

قد تسبب في تحطم طائرة ومصرع جميع من كانوا على متنها، وكان عددهم 234 شخصًا. ورغم أن الحرائق بهذا الحجم نادرة نجد أن حرائق الغابات تندلع كل عام في جميع أنحاء العالم. ولكن بمجرد إخماد الحرائق، بما فيها حريق إندونيسيا هذا، تنمو النباتات وتتعافى الغابات. بعد أن تخمد نيران حرائق الغابات تبقى الحياة النباتية في شكل بذورٍ وبراعمَ تحت الأرض في التربة، وعندما يأتي الربيع مرة أخرى تعود الخضرة إلى الغابة. نشوب حريق في الغابة قد يكون مفيدًا لنظامها البيئي، حيث إنه يخلص الغابة من الأخشاب الميتة والطفيليات، بل إن من أسباب العرف القديم لحرق الأوراق الميتة على جبل واكاكوسا في محافظة نارا باليابان كلما أتى شهر يناير/ كانون الثاني هو أن هذه الممارسة تساعد في الحفاظ على الحياة النباتية على الجبل. ولذلك تعد حرائق الغابات جزءًا من عمليات التدوير الغلاف الحيوي للأرض.

وتقدم صناعة صيد الأسماك مثالًا آخر على تعافي الطبيعة. إذا لم نسرف في اصطياد سمك السلمون والتونة والماكريل (الإسقمري) وأنواع أخرى من السمك إلى حد الانقراض، فإن هذه الأسماك ستعبئ مزارع الأسماك عامًا بعد عام، لأن الأسماك التي لم تقع في الشباك تفرخ وتنتج صغارًا تنمو بدورها لتصير أسماكًا بالغة. ولكن هذا النمو يتطلب غذاءً. والسلسلة الغذائية في المحيط تبدأ بالعوالق النباتية. والعوالق النباتية شبيهة بالنباتات البرية، فهي تنمو عن طريق التمثيل الضوئي، وكثير منها تتغذى عليه العوالق الحيوانية التي بدورها تأكلها الأسماك الصغيرة، والتي بدورها تأكلها الأسماك الأكبر منها حجمًا. عندما نصل إلى مصدر السلسلة الغذائية في المحيط نجد أنه التمثيل الضوئي باستخدام الطاقة المستمدة من الشمس. وهناك سلسلة غذائية مماثلة تحدث على اليابسة. فالنباتات البرية تنمو أوراقها وتؤتي ثمارها عن طريق التمثيل الضوئي، وتلك النباتات تتغذى عليها آكلات الأعشاب لتنمو وتتكاثر.

وآكلات اللحوم تفترس الحيوانات العاشبة للبقاء، وفي الوقت ذاته تحافظ على ثبات أعداد هذه الحيوانات.

واختصارًا نقول إن الأساس لدورات الحياة في النظم البيئية على اليابسة وفي البحر هو التمثيل الضوئي، وهي عملية تستمد قوتها من طاقة الشمس.

الرياح والمطر أيضًا يَنْتُجان عن الشمس:

إضافة إلى هذه الدورات البيئية التي تستمر عن طريق التمثيل الضوئي، فإن الظواهر المرتبطة بالطقس مثل الرياح والمطر هي أيضًا تستمد قوتها من طاقة الشمس.

ينشأ المطر عندما تسخن المياه على اليابسة والبحر عن طريق الشمس ومن ثم تتبخر فتشكل السحب ثم تتحول إلى قطرات تسقط في صورة أمطار. بعد سقوط المطر فإنه يغوص في التربة ويغذي الجداول الصغيرة التي تغذي بدورها المجاري المائية الأكبر حجمًا.

في نهاية المطاف تتحد هـذه المجاري المائية في أنهار تتدفق إلى المحيطات. وبذلك يتدفق الماء على سطح الأرض مدفوعًا بطاقة الشمس.

وتنشأ الرياح عندما يتدفق الهواء من مناطق الضغط المرتفع إلى مناطق الضغط المنخفض. ومناطق الضغط المنخفض هي مناطق تسخِّن فيها الشمسُ الهواءَ، مما يجعله يرتفع إلى أعلى، ومناطق الضغط المرتفع هي المناطق التي يقل فيها ذاك التسخين نسبيًّا. في الواقع إن طاقة الشمس هي مصدر جميع أشكال تدوير الهواء، بما في ذلك الرياح التجارية والأعاصير والرياح الموسمية وحتى النسائم التي اعتاد عليها أهل كل بلد.

ويؤدي كل من المطر والرياح أدوارًا مهمة في الغلاف الحيوي. في الوقت الذي يأخذ فيه الماء دورته عن طريق سقوط المطر والتجمع في أنهار والتدفق في المحيطات فإنه يذيب المغذيات من الصخور والتربة. والنباتات تمتص هذه العناصر الغذائية أثناء عملية التمثيل الضوئي، ثم تتناولها الحيوانات عندما تأكل تلك النباتاتِ، ثم تعود تلك العناصر إلى الأرض والماء عندما تُخرج تلك الحيوانات فضلاتها. وتنقل الرياح مجموعة متنوعة من المواد بما في ذلك البذور

والغبار المحمَّل بالمغذيات. ويعد كل ذلك إضافة إلى التمثيل الضوئي للنباتات من الظواهر التي تقوم عليها عمليات تدوير النظم البيئية، وكلها تستمد قوتها من طاقة الشمس.

نسبة العناصر في الغلاف الحيوي ثابتة:

يُسمَّى الجزء من الأرض الذي تحدث فيه جميع دورات النظم البيئية «الغلاف الحيوي». ويوجد الغلاف الحيوي بالكامل داخل قشرة رقيقة تبلغ سماكتها نحو 20 كم تقاس من قمة جبل إيفريست إلى أسفل خندق ماريانا. ولكي تستطيع أن تستوعب إلى أي مدى تصل رقة سمك الغلاف الحيوي، حاول رسم دائرة على ورقة بحجم ورق الرسائل لتمثل الأرض، ثم لاحظ أنه مهما كانت حدة سن قلمك الرصاص فإن الخط الذي سترسمه سيكون حتمًا أكثر سمكًا من الغلاف الحيوي الذي يكاد يحوي كل النشاط البشري داخل هذه الطبقة الرقيقة الواحدة.

وقد تتفاجأ حين تعلم أن النسبة الإجمالية لكل عنصر كيميائي في الغلاف الحيوي لم تتغير على الإطلاق لأكثر من عشرة ملايين سنة. فالعناصر الكيميائية مثل الكربون والأكسجين والهيدروجين لا تُستحدث من عدم ولا تفنى خلال العمليات العادية التي تحدث على سطح الأرض. على سبيل المثال يتحول ثاني أكسيد الكربون إلى الكربوهيدرات عن طريق التمثيل الضوئي؛ ومع ذلك فإن كمية الكربون في الكربوهيدرات هي ذات الكمية التي كانت في ثاني أكسيد الكربون. وهذا ما يعنيه العلماء بقولهم إن العناصر الكيميائية تُستبقى خلال التفاعلات الكيميائية.

الحالة الوحيدة التي لا تُستبقى فيها العناصر الكيميائية هي عندما تتغير النواة الذرية في تفاعل نووي. ففي المفاعل النووي تتغير نواة عنصر كيميائي يسمى اليورانيوم، وينشأ عن ذلك عنصر مختلف مثل البلوتونيوم. حتى في الطبيعة يمكن لقوى مثل الأشعة الكونية أن تتسبب في تحوُّل عنصر كيميائي واحد إلى عنصر كيميائي آخر. ولكن الكمية لا تُذكر. وحفظ الكتلة، والعناصر

الكيميائية على وجه الخصوص، هو أحد المبادئ الأساسية التي يقوم عليها العلم. (هناك مبدأ آخر هو الحفاظ على الطاقة، وسنتناوله في الفصل الثاني من هذا الكتاب). ورغم أن العناصر الكيميائية تحفظ في كميات ثابتة، فقد رأينا أنها تتحول إلى أشكال مختلفة؛ لأنها تسري داخل الغلاف الحيوي مدفوعة بطاقة الشمس. على سبيل المثال النيتروجين في الغلاف الجوي، والذي ينشأ في صورة جزيء، يحتوي على ذرتي نيتروجين، تأخذه البكتيريا المثبتة للنيتروجين، والتي تعيش في جذور النباتات، لتحوله إلى الأمونيا (النشادر).

وبعض الأمونيا يأخذه النبات فيحوله إلى بروتينات. وتستهلك الحيوانات هذا البروتين النباتي، وبعض النيتروجين المستهلك تفرزه الحيوانات في شكل يوريا. وتستهلك البكتيريا التي تعيش في التربة اليوريا وتنتج شكلًا مؤكسَدًا من النيتروجين يسمى النيترات. أما البكتيريا الأخرى فتستهلك النيترات فتحولها مرة أخرى إلى نيتروجين، ومن ثم تكتمل الدورة. جميع العناصر الكيميائية الأخرى في الغلاف الحيوي تتبع ذات أنواع عمليات التدوير لتعود في نهاية المطاف إلى حالتها الأصلية.

لكن التغييرات التي لا تتعافى منها الأرض، وهي التغييرات التي رأيناها فيما سبق من هذا الفصل، بدأت تحدث في هذا الغلاف الحيوي ذاته. لماذا حدث هذا؟ ما الذي أوقف فجأة دورات الغلاف الحيوي، تلك الدورات التي ظلت لآلاف السنين تعيد الأرض إلى حالتها الأصلية كل عام؟ في الجزء التالي سوف نلقي نظرة على ما تغير في القرن الماضي.

3 ـ تدخل هائل للإنسان في الغلاف الحيوي

قرن من الأعمال المتوسعة للإنسان:

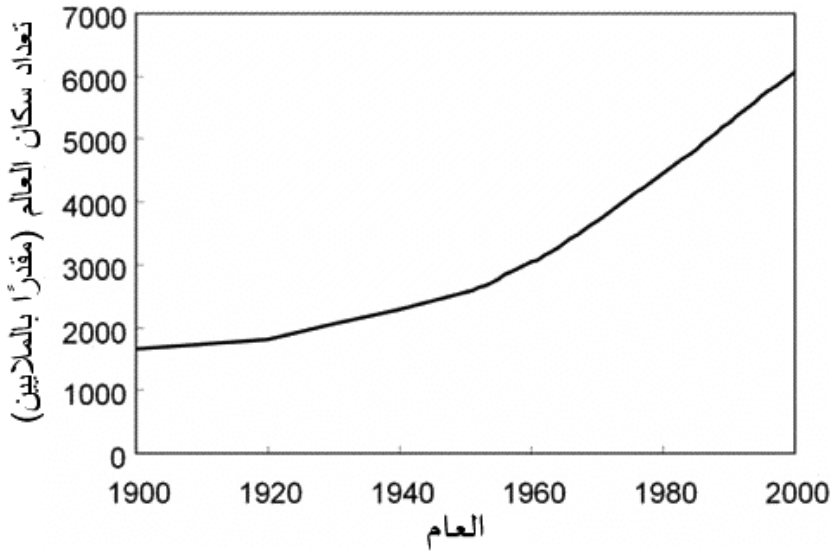
في هذا الجزء نلقي نظرة على ثلاثة رسوم بيانية توضح مدى توسع الأنشطة البشرية في القرن العشرين. يبين الرسم البياني الأول مجموع سكان الأرض من عام 1900م إلى عام 2000م (الشكل رقم 1ـ2). دخل الجنس

البشري القرن العشرين بتعداد مقداره 1.6 مليار نسمة وبلغ بنهايته 6 مليارات نسمة، بزيادة قدرها أربعة أمثال تقريبًا.

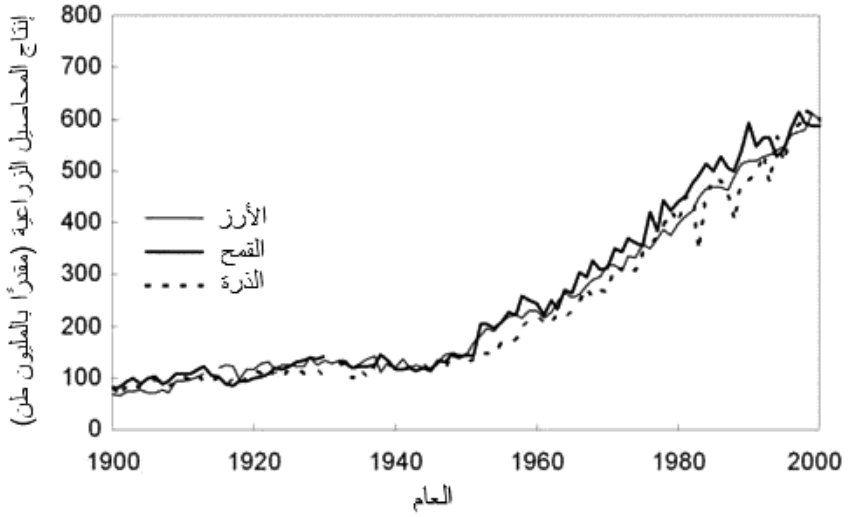
ويبين الرسم البياني الثاني كيفية نمو إنتاج الزراعة خلال ذات الفترة الزمنية (الشكل رقم 1ـ3). فقد زاد الإنتاج الزراعي الذي تمثله حبوب الغلال الرئيسية الثلاث، الأرز والقمح والذرة، سبعة أمثال.

ولأن عدد السكان لم يزد إلا أربعة أمثال فإن متوسط استهلاك الحبوب لكل شخص يكاد يكون تضاعف. وقد كان التوسع في مساحة الأراضي الزراعية أحد العوامل التي تقف وراء تلك الزيادة الهائلة. ومع ذلك، ولا سيما منذ الستينيات، كانت الزيادة في الإنتاج الزراعي تُعزى أساسًا إلى زيادة الغلة التي تخرج من ذات المساحة. فعلى سبيل المثال ازداد الإنتاج الزراعي من عام 1960م إلى عام 1995م بمقدار مرتين ونصف المرة. والسبب الرئيس لهذه الزيادة في الكفاءة هو تقنية تصنيع الأسمدة النيتروجينية التي طورناها بنجاح عن طريق تجميع الأمونيا من النيتروجين، وحتى عام 1960م كنا نحصل على الأمونيا عن طريق النباتات المثبتة للنيتروجين مثل فول الصويا والبقوليات الأخرى. ولكن هذه الزيادة في الكفاءة قد تأتي بتكلفة. يقول الخبراء إن الزراعة واسعة النطاق التي أتيحت في أجزاء كثيرة من العالم بعد ظهور الأسمدة الصناعية قد أدت إلى تدهور التربة تدهورًا شديدًا ومن ثم تضْعُف معها قدرة الأرض على إنتاج الغلات الزراعية ذاتها كل عام. وقد نحصل على شيء من الزيادة الإنتاجية للأراضي اليوم، ولكن على حساب الإنتاجية في المستقبل.

كما ازداد أيضًا جني مزارع الأسماك؛ نظرًا لأن قوارب الصيد الصغيرة التي كانت مقصورة على الصيد بالشباك بالقرب من الشواطئ حلت محلها سفن كبيرة يمكنها صيد الأسماك في البحار المفتوحة. وعلاوة على ذلك تحسنت شباك الصيد وغيرها من المعدات، مما أتاح زيادة حجم عمليات صيد الأسماك. ولكن هذه التحسينات في ممارسات صيد الأسماك تعني أن مَزارع الأسماك لم تعد قادرة على التعافي تمامًا في كل عام. فعلى سبيل المثال عندما يقتصر



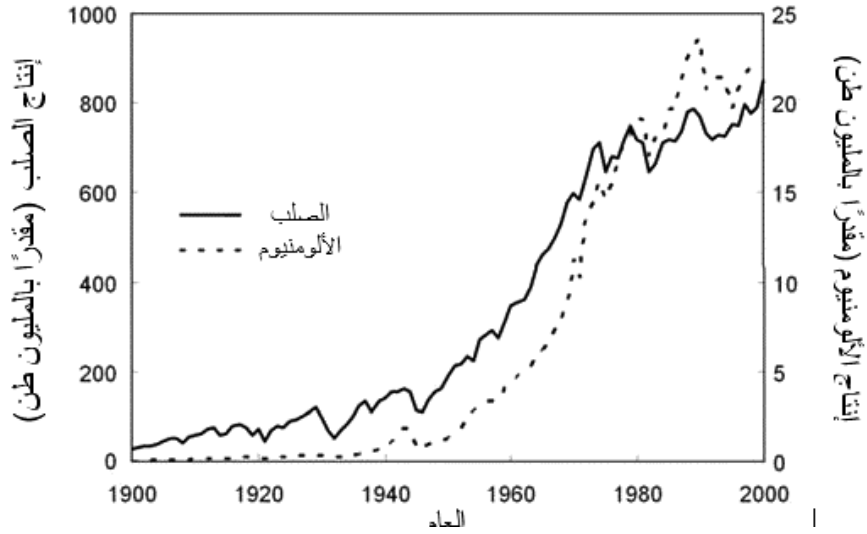
الشكل رقم 1–2: سكان العالم من عام 1900م إلى عام 2000م (بيانات من قاعدة بيانات الأمم المتحدة المشتركة، شعبة الإحصاءات بالأمم المتحدة)



الشكل رقم 1–3: الإنتاج العالمي للحبوب الرئيسية الثلاث من عام 1900م إلى عام 2000م (بيانات من قاعدة البيانات الإحصائية للشركات لمنظمة الأغذية والزراعة «فاوستات» ومنظمة الأمم المتحدة للأغذية والزراعة وقاعدة بيانات الأمم المتحدة المشتركة وشعبة الإحصاءات بالأمم المتحدة والإحصاءات التاريخية الدولية، ب.ر. ميتشل، بالجريف ماكميلان)

صيد الحيتان على الشواطئ فإن دورات الطبيعة يمكنها أن تحافظ على أعداد تلك الكائنات. ولكن عندما انتقلت سفن صيد الحيتان إلى المحيط المتجمد الجنوبي، وبدأت تصيد الحيتان على نطاق واسع تضاءلت أعداد الحيتان كثيرًا، مما أثار القلق من أن بعض أنواع الحيتان قد تنقرض. ووفقًا لتقرير حالة مَزارع الأسماك وتربية الأحياء المائية في العالم لعام 2006م الصادر عن منظمة الأمم المتحدة للأغذية والزراعة، فإن أكثر من ثلاثة أرباع الأرصدة السمكية في العالم تعاني جَوْر الصيد.

ويبين الرسم البياني الثالث مستويات إنتاج الحديد والألومنيوم باعتبارهما عينة من المواد الأساسية المستخدمة في صنع مختلف مكونات السلع والبنية التحتية (الشكل رقم 1ـ4). وفي القرن العشرين زاد إنتاج الصلب عشرين مِثلًا، وزاد إنتاج الألومنيوم أربعة آلاف مِثْل. والواقع أن مستويات إنتاج جميع المواد



الشكل رقم 1ـ4: الإنتاج العالمي للحديد والألومنيوم من عام 1900م إلى عام 2000م (بيانات من قاعدة بيانات الأمم المتحدة المشتركة والشعبة الإحصائية بالأمم المتحدة وشعبة الإحصاءات بالأمم المتحدة والإحصاءات التاريخية الدولية، ب.ر. ميتشل، والإحصاءات التاريخية الدولية، بالجريف ماكميلان)

الأساسية تقريبًا قد زادت من أكثر من عشرة أمثال إلى عدة آلاف مِثْل خلال القرن الماضي. ولم تكن مواد مثل البلاستيك والألياف الصناعية موجودة في القرن التاسع عشر. لذا كان التوسع في التصنيع وأعمال الإنسان المتعلقة بالتصنيع في القرن العشرين ملحوظًا بشدة. وكما سنرى لاحقًا في هذا الفصل، فإن الإكثار من التعدين من أجل الحصول على الموارد وتوفير الطاقة للتصنيع قد بدأ هو الآخر يعطل عمليات التدوير الطبيعي في الغلاف الحيوي.

هناك معادلة معروفة بين الخبراء الذين يدرسون استدامة الوجود البشري على الأرض. وتنص المعادلة على أن تأثير البشر على الأرض يساوي ما ينتجه سكان الأرض وثراءهم قياسًا بالمنتجات والخدمات المستهلكة لكل شخص، وتأثير توفير وحدة واحدة من المنتجات أو الخدمات على كوكب الأرض. على سبيل المثال تأثير استهلاك الأغذية يساوي عدد السكان مضروبًا في متوسط كمية الأغذية المستهلكة لكل فرد مضروبًا في حجم الموارد الطبيعية، مثل المياه والأرض، اللازمة لإنتاج كمية معينة من الأغذية. والعامل الأخير في المعادلة هو حجم تأثير توفير المنتج الذي يعكس حالة التكنولوجيا، ويساوي عكس كفاءة العملية التي توفر هذا المنتج. وبما أن الكفاءة تحدد العوامل المؤثرة في المعادلة التي يمكن للتكنولوجيا أن تؤدي فيها دورًا، لذا سيكون هذا ضمن موضوع رئيسي نتناوله في هذا الكتاب.

على مدى القرون القليلة الماضية، ومع نمو عدد سكان العالم، وزيادة متوسط استهلاك الفرد من الأغذية والمنتجات المصنعة، زاد أثر الإنسان في الغلاف الحيوي ازديادًا عظيمًا. ففي العقد الأخير وحده زاد عدد السكان بنسبة 10٪، وزادت انبعاثات ثاني أكسيد الكربون بنسبة 25٪، وكاد إنتاج المواد الأساسية مثل الحديد والأسمنت يتضاعف. ونتيجة لهذا التأثير لم يعد الغلاف الحيوي قادرًا على العودة إلى حالته الأصلية كل عام. وفي الأجزاء القليلة القادمة سننظر في أعمال الإنسان والأعباء التي يفرضها كل عمل منها على الغلاف الحيوي.

استخدام موارد الوقود الأحفوري:

أعمال الإنسان تتطلب طاقة. في الماضي كان الإنسان يحصل على هذه الطاقة عن طريق حرق الخشب. ومع توسع أعمال الإنسان لم يعد حرق الأخشاب كافيًا لتلبية احتياجاتنا من الطاقة. على سبيل المثال كان الفحم يُستخدم في الأصل لصنع الحديد. وفي ذلك الوقت كانت إنجلترا المنتِج الرئيس للحديد. ولكن نتيجة للإسراف في قطع الأخشاب لإنتاج الفحم استُنزفت الغابات في إنجلترا بسرعة كبيرة، بحيث إنه في القرن السادس عشر كان على الملكة إليزابيث الأولى أن تفرض قيودًا على قَطْع أشجار الغابات. بعد ذلك تراجعت صناعة الحديد في إنجلترا، وأصبحت البلدان التي تتمتع بحظ أوفر من الغابات، مثل روسيا والسويد، قادرة على أن تصبح مُصدِّرة للحديد.

والسبب في أن إنجلترا كان يمكنها أن تسترد هيمنتها على إنتاج الحديد خلال الثورة الصناعية هو الفحم.

وقد أدى استخدام الفحم إلى توسع الصناعة، ولكن الفحم في وقت لاحق انطفأ وهجه بالنفط الذي ظهر نجمًا في سماء الطاقة، حيث إن للنفط محتوى طاقة أعلى لكل طن من الفحم. علاوة على أن النفط سائل، ما يجعله أسهل في النقل أثناء الاستخراج والتحميل على السفن وملء أفران الاحتراق مقارنة بالفحم. وقد أصبح التوسع الهائل للصناعة في النصف الأخير من القرن العشرين ممكنًا بفضل الاستخدام واسع النطاق للنفط. ومع ذلك فإن استخدام الوقود الأحفوري من الفحم والنفط والغاز الطبيعي في وقت لاحق جاء على حساب آثار لم يسبق لها مثيل على الغلاف الحيوي. والسبب في ذلك كما يلي:

يتكون الوقود الأحفوري أساسًا من الكربون والهيدروجين. عندما يُحرَق الوقود الأحفوري مع الأكسجين الموجود في الهواء ينطلق ثاني أكسيد الكربون والماء باعتبارهما منتجَين ثانويين.

ومع ذلك فإن ثاني أكسيد الكربون والماء الناتج عن حرق الوقود الأحفوري يحتويان على ذرات كربون وهيدروجين كانت مدفونة في أعماق

الأرض، ومن ثم لم يشاركا في عملية تدوير العناصر الكيميائية في الغلاف الحيوي. وبعبارة أخرى فإن ثاني أكسيد الكربون والماء المنبعث من حرق الوقود الأحفوري هو مادة أضافها البشر إلى الكمية الثابتة من العناصر التي تأخذ دورتها خلال النظام البيئي للأرض بطاقة الشمس. علاوة على أن هذه المادة الجديدة تضاف إلى الغلاف الجوي، وهو وسط يأخذ دورته بسرعة أكبر من الأجزاء الأخرى من الغلاف الحيوي مثل المحيطات. ونسبة المياه المضافة عن طريق حرق الوقود الأحفوري ضئيلة بالمقارنة مع النسبة الإجمالية للمياه في الغلاف الجوي للأرض، ولكن النسبة المتزايدة من ثاني أكسيد الكربون لم يعد بوسعنا تجاهلها.

وفقًا لتقرير الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ لعام 2007م، فإن الزيادة في نسبة ثاني أكسيد الكربون التي تظهر في الشكل رقم 1ـ1 ناتجة عن الإنتاج الهائل من ثاني أكسيد الكربون أثناء حرق الوقود الأحفوري، إضافة إلى نسبة كبيرة مماثلة من ثاني أكسيد الكربون المتولد من قطع الغابات. فعندما تُقطع الغابات ستتحول الأشجار المقطوعة في النهاية إلى ثاني أكسيد الكربون. وتقدر كمية ثاني أكسيد الكربون التي تنتج كل عام عن طريق حرق الوقود الأحفوري بـ 7.5 مليار طن من وحدات الكربون، والتي تختصر إلى «طن ـ ك». ومن المهم أن نفرق بين هذا وذاك، لأن كتلة ذرة الكربون لا تتجاوز ربع كتلة ثاني أكسيد الكربون.

في هذا الكتاب، عندما نتحدث عن كميات من المواد القائمة على الكربون مثل ثاني أكسيد الكربون والوقود الأحفوري، سنستخدم دائمًا هذا المقياس طن ـ ك. ويعتقد أن كمية ثاني أكسيد الكربون الناتجة عن قطع الغابات تبلغ نحو 2.3 مليار طن. فإذا أضفنا إلى ذلك انبعاثات أخرى من ثاني أكسيد الكربون من أعمال الإنسان بلغ إجمالي انبعاثات ثاني أكسيد الكربون المنبعث سنويًّا عن طريق أعمال الإنسان أكثر من 10 مليارات طن.

كانت كمية ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي مع نهاية القرن

العشرين نحو 700 مليار طن، ومن ثم فإن أعمال الإنسان تزيد نسبة ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي بأكثر من 1٪ كل عام. والزيادة السنوية المستمرة في نسبة ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي بهذا الحجم لم يسبق لها مثيل في تاريخ الحضارة الإنسانية. وإذا ظللنا نطلق ثاني أكسيد الكربون بالمعدل الحالي فبنهاية القرن الحادي والعشرين سنضاعف نسبة ثاني أكسيد الكربون الموجودة في الغلاف الجوي اليوم.

حصة من العشرة مليارات طن من ثاني أكسيد الكربون المنبعث إلى الغلاف الجوي يعاد توزيعها إلى الأجزاء الأخرى من الغلاف الحيوي. ونحو نصف هذه الكمية تمتصها المحيطات، أو يستهلكها النمو الخضري الجديد في الغابات، أما النصف الآخر فيتراكم في الغلاف الجوي.

لذلك فإن نسبة ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي مرتبطة بالظروف الرئيسية على الأرض مثل درجة حرارة السطح التي تتحكم في معدل امتصاص المحيطات ومعدل التمثيل الضوئي الذي يتحكم في امتصاص النباتات لثاني أكسيد الكربون.

تناقص الطبيعة وتراكم مصنَّعات البشر:

عندما نوجه انتباهنا إلى عالم الكائنات الحية فإن العدد المتزايد من الأنواع التي تنقرض يثير القلق. ويُذكر أن أكثر من 100 نوع معظمها من الحشرات تختفي كل يوم من على وجه الأرض. ويقدر تقرير الفريق الحكومي الدولي المعني بتغير المناخ أن ما يصل إلى 30 في المائة من جميع أنواع النباتات والحيوانات تواجه خطر الانقراض إذا استمر الاحتباس الحراري على أشده كما هو الآن. وبطبيعة الحال، ينبغي أن يكون الاختلاف في الأنواع مثمنًا في حد ذاته، ولكنّ هناك أيضًا قلقًا من أن تقليل اختلاف الأنواع قد يقلل من قدرة النظم البيئية على الصمود أمام الكوارث والأمراض. وبمجرد أن ينقرض نوع ما فقد ذهب إلى الأبد.

وإزالة الغابات، ولا سيما الغابات المطيرة المدارية، تعد أيضًا شيئًا ملحوظًا.

وفقًا لتقرير حالة الغابات في العالم لعام 2007م الصادر عن منظمة الأمم المتحدة للأغذية والزراعة، فإن معدل إزالة الغابات آخذ في التناقص؛ ومع ذلك يُقطع ما مقداره 130000 كم مربع من الغابات كل عام. ومن نتائج هذا الفقد السريع للغابات أن الصحارى تطغى بمعدل غير مسبوق على المناطق المأهولة بالسكان في جميع أنحاء العالم، مثل قطاع الساحل في الطرف الجنوبي للصحراء الكبرى.

ويقدر تقرير حالة الغابات في العالم لعام 2007م أن 135 مليون شخص قد يضطرون إلى مغادرة منازلهم نتيجة للتصحر. فعلى سبيل المثال، تفيد التقارير أن الدول الأفريقية التي تقع جنوب الصحراء الكبرى تفقد واحدًا في المائة من إنتاجية أراضيها الزراعية كل عام بسبب الصحراء الآخذة في التوسع.

وبما أن مواردنا الطبيعية آخذة في التناقص فإن مصنَّعات البشر مثل المباني والطرق والسيارات تتراكم بسرعة. وبدأ تراكم مصنَّعات البشر في الغلاف الحيوي يظهر بوضوح في القرن العشرين. على سبيل المثال رغم أن مدينة طوكيو كانت مكانًا تَجمَّع فيه الناس منذ العصور القديمة نجد أن معظم المباني والطرق والسيارات التي نراها هناك لم تكن موجودة في بداية القرن العشرين. ويمكننا أن نرى هذا التراكم في الشكل رقم 1ـ4. المنطقة التي تقع تحت الخطوط التي تبين معدل إنتاج الحديد والألومنيوم تشير إلى الكمية الإجمالية للمواد المنتجة إلى وقت معين. ومن الواضح أن معظم المواد الأساسية المستخدمة في مصنَّعات البشر، مثل الحديد والألومنيوم، أنتِجَتْ في النصف الثاني من القرن العشرين.

وفي الوقت الذي تتراكم فيه مصنَّعات البشر في المدن فإنها أيضًا تُخرج كميات هائلة من النفايات. وفي الآونة الأخيرة كثر الجدل في جميع أنحاء العالم حول التخلص من القمامة. والحقيقة هي أن البيئة الطبيعية المحيطة بالمدن تعجز عن استيعاب الكميات الهائلة من النفايات التي ننتجها.

تأثير المواد السامة:

المواد السامة التي تنتجها أعمال الإنسان، والتي يمكن لكميات صغيرة منها أن تدمر الكائنات الحية والنظم البيئية، تعطل أيضًا دورات الغلاف الحيوي.

والمواد السامة لها تاريخ طويل. فخلال الثورة الصناعية، على سبيل المثال، ساهمت المواد السامة في الحالة غير الصحية لتلوث الهواء والماء في لندن. وأصبح خطر المواد السامة وآثارها في النظم البيئية محورًا للنقاش العام في عام 1962م عندما نشرت راشيل كارسون كتابها «الربيع الصامت» Silent Spring. وقد عانت اليابان أيضًا من العديد من حوادث التلوث البيئي، بما في ذلك تلوث المعادن الثقيلة من مناجم النحاس في آشيو، والتلوث بالزئبق في خليج مينماتا، وتلوث الهواء في يوكايتشي. وقد وقعت جميع هذه الحوادث نتيجة لانبعاثات المواد السامة من منشآت صناعية.

والأمطار الحمضية شكل من أشكال التلوث السام الذي يحول الغابات والبحيرات إلى مساحات قاحلة. ويرجع سبب الأمطار الحمضية في الأساس إلى احتراق الوقود الأحفوري. فعندما يُحرق الوقود الأحفوري يتحد الكبريت الموجود في الوقود والنيتروجين الموجود في الهواء مع الأكسجين فتَنْتُج أكاسيد الكبريت وأكاسيد النيتروجين. وعندما تنبعث هذه المركَّبات في الغلاف الجوي فإنها تتفاعل مع مياه السحب لتصبح أحماضًا قوية، مثل حمض الكبريتيك وحمض النيتريك. وعندما يتحول ماء السحب إلى أمطار فإن أحماض الكبريتيك والنيتريك تجعل مياه الأمطار حمضية للغاية. وهذا المطر الحمضي له آثار ضارة في النظم البيئية والمباني وصحة الإنسان.

ولا يمكن قصر الأضرار الناجمة عن الأمطار الحمضية على الحدود بين البلدان، مما يجعل الأمطار الحمضية مشكلة دولية. فإبان الثورة الصناعية كانت أكاسيد الكبريت والنيتروجين الناتجة عن حرق الفحم في إنجلترا تحملها الرياح عبر بحر الشمال، حتى انتهى بها الأمر إلى تشكيل أمطار حمضية أضرَّت بالغابات والبحيرات في الدول الاسكندنافية. وبالمثل تسببت الانبعاثات الناجمة عن احتراق الوقود الأحفوري في مصانع الصلب الأمريكية حول البحيرات الكبرى بأمريكا الشمالية في أضرار جسيمة في كندا. وأخيرًا بدأت التقارير تُظهر أن الأمطار الحمضية الناشئة في الصين تؤثر في كل من كوريا واليابان.

ومن أمثلة المواد السامة الكلوروفلوروكربونات، وهي مركَّبات غالبًا ما تعرف باسم العلامة التجارية لها «الفريون». وتلك المركَّبات التي لا تحترق أو تغير شكلها الكيميائي بسهولة هي مواد تنظيف فعالة، ويمكن بسهولة تحويلها من الحالة السائلة إلى الحالة الغازية والعكس صحيح. عندما طُرِحَت هذه المركَّبات في السوق في عام 1930م كان يشاد بأنها واحدة من أفضل المركَّبات الكيميائية التي أُنتِجت على الإطلاق. ومع ذلك فإن هذه المركَّبات الكيميائية ذاتها معروفة الآن بأنها سبب رئيس في استنزاف طبقة الأوزون.

وداخل طبقة الأوزون (التي تعتبر جزءًا من طبقة الستراتوسفير في الغلاف الجوي العلوي) تتفاعل مركَّبات الكلوروفلوروكربونات مع الأوزون، مما يؤدي إلى تدمير جزيئاته. ويعمل الأوزون في طبقة الستراتوسفير مرشِّحًا لامتصاص الأشعة فوق البنفسجية الموجودة في ضوء الشمس، وهو الإشعاع الذي من شأنه أن يضر بالتركيبات الوراثية في الخلايا الحية. ومن ثم فهناك قلق من أن استنزاف مركَّبات الكلوروفلوروكربونات للأوزون في طبقة الستراتوسفير سيؤدي إلى زيادة معدلات الإصابة بسرطان الجلد واضطرابات وراثية أخرى.

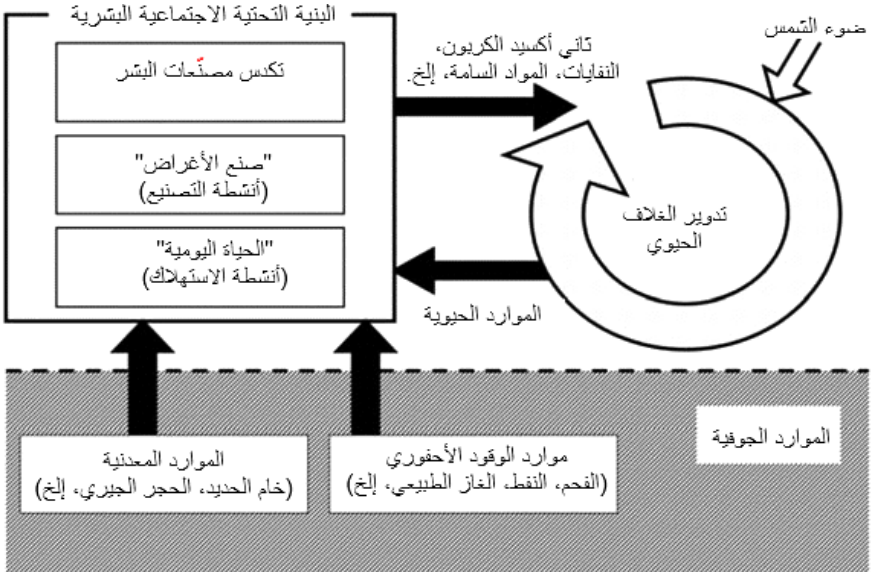
والعديد من المشكلات الأخرى المتعلقة بمجموعة من المواد السامة تثير القلق، وتدفع إلى البحث والتدقيق. وهذه المواد السامة تتراوح ما بين بقايا مواد كيميائية زراعية والديوكسينات ومسببات اختلال الغدد الصماء.

توضح الأمثلة أعلاه أن أعمال الإنسان بدأت تُفسِد الدورات الطبيعية في الغلاف الحيوي. وكما هو مبين في الشكل رقم 1–5، تحول أعمال الإنسان الموارد المعدنية إلى مصنَّعات مثل السلع المصنعة والبنية التحتية الحضرية. وبعض هذه المصنَّعات تتراكم داخل المجتمع. ومع ذلك يُتخلَّص من العديد منها مرة أخرى في الغلاف الحيوي. ونتيجة لذلك يجري غمر الغلاف الحيوي بمصنَّعات البشر التي توقف استخدامها، جنبًا إلى جنب مع ثاني أكسيد الكربون الناتج عن الوقود الأحفوري المستخدم لإنتاج هذه المصنوعات ومختلف المنتجات الثانوية السامة. وكل هذه النفايات تُقذَف أو ترمى في الغلاف الحيوي وتُخِلُّ بعمله.

4 ـ تدفق المواد الناتجة عن «صناعة الأغراض»

دعونا ننظر إلى الصورة المبينة في الشكل رقم 1ـ5 من زاوية مختلفة. تستفيد بعض أعمال الإنسان مثل الزراعة ومزارع الأسماك من الموارد الحية المستمدة من الشمس استمدادًا غير مباشر. لذلك ما دامت هذه الأعمال لا تبلغ حد الإفراط فإنها لا تضر بنظام التدوير في الغلاف الحيوي. ولكن أعمال «صناعة الأغراض» التي تنطوي على إنتاج المصنوعات باستخدام موارد من تحت الأرض تختلف عن هذا. ذلك أن أعمال «صناعة الأغراض» تستخرج المواد التي كانت حتى وقت حفرها معزولة تحت الأرض لتطلق في نظام تدوير الغلاف الحيوي.

ما هي المواد المستخدمة لعمل مصنَّعات البشر؟ بالنظر حولنا نرى أن الورق والمنتجات الخشبية الأخرى، والفلزات مثل الحديد والألومنيوم، والمعادن غير الفلزية مثل الزجاج والخرسانة، والمنتجات النفطية مثل البلاستيك



الشكل رقم 1ـ5: تدفق المادة بين الغلاف الحيوي والبنية التحتية الاجتماعية البشرية الناجمة عن أعمال الإنسان

والمطاط والألياف الصناعية، تمثل معظم المواد المستخدمة في مصنَّعات البشر. واستخدام المواد المأخوذة من الحيوانات مثل الجلود والصدف ضئيل إذا ما قورن بذلك.

وفي الأجزاء التالية من هذا الفصل سننظر في مسيرة هذه المواد الأساسية منذ وقت استخراجها من الأرض باعتبارها موارد طبيعية إلى وقت إعادتها إلى الأرض في صورة نفايات. ويسمى ذلك «دورة حياة» المواد، وسيمنحنا ذلك رؤية مختلفة عن الطريقة التي تعطل بها أعمال الإنسان دورات الطبيعة. وسنرى على وجه الخصوص أن هناك ثلاثة أنواع من دورات الحياة: التراكم والتدفق في اتجاه واحد وإعادة التدوير.

الفلزات المتراكمة:

دعونا أولًا ننظر في دورة حياة الحديد. فخام الحديد هو أكسيد الحديد، وهو حديد مرتبط بأكسجين. يُحوَّل خام الحديد هذا إلى حديد في وعاء تفاعل ضخم يسمى فرن الصهر أو الفرن القائم، وذلك باستخدام الوقود الأحفوري في شكل فحم الكوك في معظم الأحيان. وفحم الكوك هو شكل من أشكال الكربون الناتج عن تسخين الفحم في غياب الأكسجين. في فرن الصهر يرتبط الكربون الموجود في فحم الكوك بذرات الأكسجين، مما يجردها من ذرات الحديد في خام الحديد، وينتج الحديد النقي. وتسمى هذه العملية الكيميائية «اختزال» خام الحديد. والحديد الذي ينتجه فرن الصهر يُسمى «الحديد الغفل»، ويُنتَج منه حاليًا ما يقرب من 900 مليون طن سنويًّا على مستوى العالم. يُمزَج الحديد الغفل بمختلف الإضافات، ثم يُلَفّ، ثم يُشكَّل، ثم يُقطع؛ ثم يُعالج سطحه بطرق مختلفة لإنتاج مختلف منتجات الحديد والصلب التي نراها في الأسواق.

والمصْنع الذي يُبنى حول فرن الصهر وينفذ العملية برمتها من اختزال خام الحديد إلى تسليم منتجاته يسمى مصنع الحديد والصلب المتكامل. وفي هذا المصنع المتكامل يُستخدم نحو 600 كيلو جرام من فحم الكوك لإنتاج طن

واحد من الفولاذ. ونظرًا لأن فحم الكوك مصنوع من الفحم فإن إنتاج كل طن من الفولاذ يستهلك نحو 600 كيلو جرام من موارد الوقود الأحفوري.

منذ عام 2007م تجاوز إجمالي إنتاج الحديد في جميع أنحاء العالم 1.3 مليار طن. فإذا كان 900 مليون طن فقط يأتي من خام الحديد، فمن أين يأتي باقي الحديد؟ عندما تصل منتجات الحديد والصلب إلى نهاية عمرها الافتراضي تُجمع في صورة خردة ثم تُصهر ثم يعاد تصنيعها لإنتاج منتجات حديد وصلب جديدة. وعلى الصعيد العالمي ينتج نحو 400 مليون طن حديد من الخردة.

ومن ثم فإن نسبة إنتاج الحديد الكلي من الخردة هي الثلث. ويسمى هذا الثلث غالبًا «نسبة إعادة التدوير»، ولكن هذا تعبير مضلل؛ لأن نسبة الثلث لإعادة التدوير تعني أن ثلثي الحديد يُتخلَّص منه دون إعادة تدوير والأمر ليس كذلك. وقليلة هي البيانات الدقيقة عن كمية الحديد والصلب التي يُتخلَّص منها في مكبات القمامة، ولكن يُعتقد أنها أقل بكثير من الكمية التي تُسترد على شكل خردة. ومعظم الفارق بين كمية الحديد والصلب التي تُورَّد إلى السوق والكمية التي تعود إلى مصانع الحديد والصلب على شكل خردة يتراكم في البنية التحتية للمجتمع في صورة مصنَّعات.

وفي الشكل رقم 1ـ6 نجد رسمًا بيانيًّا يلخص تدفق الحديد في الغلاف الحيوي. وكثير من التدفقات المبينة في الرسم التخطيطي تَعْبُر الحدود الدولية والمحيطات. واليابان خير مثال على ذلك؛ لأن اليابان لديها موارد طبيعية قليلة، وعليها أن تستورد الكثير من موادها الخام من بلدان أخرى. لذلك دعونا ننظر إلى مثال ملموس لتدفق خام الحديد من البرازيل والفحم من أستراليا لتوفير الحديد في اليابان. ويُجمَّع خام الحديد من البرازيل كحديد لناطحات السحاب والطرق السريعة في اليابان، والفحم الذي كان قد دُفِنَ تحت الأرض في أستراليا يطلق في الغلاف الجوي في صورة ثاني أكسيد الكربون، حيث يسهم في زيادة الاحتباس الحراري.

تصل مصنَّعات البشر في نهاية المطاف إلى نهاية حياة المنتج، ولكن

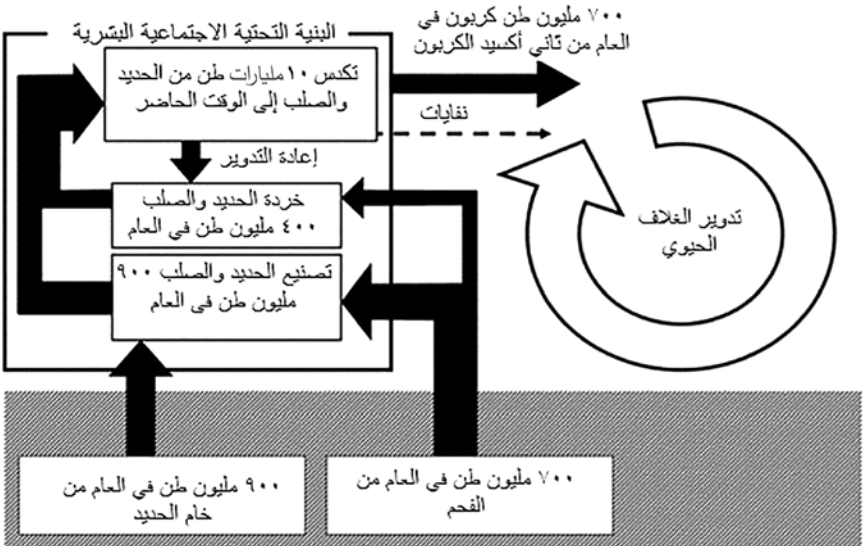
يعاد معظم الحديد فيها إلى منتجات حديد جديدة. ويُتَخلَّص من جزء صغير من الحديد في مكبات القمامة، وعلى مدى فترة طويلة من الزمن يصدأ هذا الحديد فيتحول إلى أكسيد الحديد. ويمكن اعتبار هذا الحديد هو أكسيد الحديد الذي يُنقَل من البرازيل إلى مكب قمامة في اليابان. وتحدث تدفقات مماثلة بين منتجين ومستهلكين آخرين للموارد الطبيعية فيما يخص إنتاج الحديد. وهذه هي دورة حياة الحديد في الغلاف الحيوي، وهي دورة حياة نشأت بسبب أعمال الإنسان.

أما الألومنيوم فهو الفلز الأعلى إنتاجًا إلى جانب الحديد، ويُنتَج من خامات تتكون أساسًا من البوكسيت أو أكسيد الألومنيوم. ومن المستحيل استخدام الكربون لإزالة ذرات الأكسجين عن طريق عملية الاختزال كما هو الحال في حالة الحديد، لأن الروابط بين ذرات الألومنيوم وذرات الأكسجين قوية جدًّا. فبدلًا من ذلك تُستخدَم طريقة مختلفة. أولًا يُخلَط البوكسيت مع أملاح الفلوريد لتقليل درجة الانصهار، ثم يُذوَّب خليط البوكسيت والفلوريد فينقسم البوكسيت المنصهر إلى الألومنيوم والأكسجين عن طريق التحليل الكهربائي.

وتمثل الكهرباء المستخدمة في ذلك تقريبًا جميع الطاقة اللازمة لإنتاج الألومنيوم. بل إن نحو 2٪ من الكهرباء المولدة في العالم تُستهلك في إنتاج الألومنيوم. وهناك بلدان مثل اليابان، حيث سعر الكهرباء مرتفع نسبيًّا، لا تنتج الألومنيوم بل تستورد سبائك الألومنيوم المنتجة من البوكسيت من بلدان تتميز برخص سعر الكهرباء مثل الولايات المتحدة وكندا. ويُعاد تدوير الكثير من نفايات الألومنيوم تمامًا مثل الصلب. ويتجاوز الإنتاج العالمي للألومنيوم من البوكسيت 30 مليون طن سنويًّا، في حين يتجاوز الإنتاج العالمي من خردة الألومنيوم 10 ملايين طن.

والآن لننظر في التدفق العالمي من الألومنيوم للاستخدام في اليابان. يحوَّل البوكسيت المستخرج من المناجم في أستراليا إلى سبائك الألومنيوم باستخدام الطاقة الكهرومائية في إندونيسيا، وهذه السبائك تُنقل بعد ذلك إلى

اليابان. ويشكَّل هذا الألومنيوم الخام على هيئة منتجات مثل العلب وأُطر النوافذ. وعندما لا تعود هناك حاجة إلى هذه المنتجات يُعاد تدوير معظم الألومنيوم الموجود فيها لصناعة منتجات جديدة تُتداوَل مرة أخرى في الأسـواق. وفي نهاية المطاف يحوَّل الألومنيوم المُلقى في مقالب القمامة مرة أخرى إلى أكسيد الألومنيوم؛ لذا فإن هذا الجزء من التدفق يعادل نقل البوكسيت من أستراليا إلى مكب القمامة في اليابان.



الشكل رقم 1ـ6: دورة حياة الحديد

دورات حياة معظم الفلزات تعمل حاليًا بذات الطريقة التي رأيناها في الحديد والألومنيوم. وإعادة تدوير الفلزات النادرة مثل البلاتين والكادميوم والبلاديوم والإيريديوم والنحاس والزئبق يمكن أن تحقق الكثير لجعل المجتمع أكثر استدامة. ومن أسباب ذلك أن الفلزات النادرة تميل إلى أن تكون أكثر تكلفة عند استخراجها من الموارد الطبيعية. ولكن الأهم من ذلك هو أن المعادن النادرة غالبًا ما تكون شديدة السمية، فيصبح من الضروري استخدام أساليب باهظة الثمن للتخلص منها إذا لم يُعَدْ تدويرها.

والمخزون المؤكد القابل للاستخراج من كل من خام الحديد والألومنيوم كبير بما فيه الكفاية، وحتى لو استمر الإنتاج على وتيرته اليوم فقد يستمر هذا المخزون لقرنين أو ثلاثة. فلسنا بحاجة إلى أن نقلق بخصوص استنزاف هذين الموردَيْن الطبيعيَيْن لفترة طويلة. ومع ذلك ـ كما سوف نكتشف في هذا الكتاب ـ إذا واصلنا استنزاف هذه الموارد الطبيعية لتوفير معظم المواد الأساسية التي نستخدمها فسنستهلك في النهاية كميات هائلة من الطاقة، وسنغطي سطح الأرض بالنفايات.

تدفق الأسمنت والزجاج في اتجاه واحد:

الخرسانة والزجاج هما المعدنان الرئيسيان غير الفلزيين المستخدمين في أعمال الإنسان. فماذا عن دورة حياتهما؟ الخرسانة هي الرمل والحصى المرتبط بالأسمنت. والأسمنت هو أكسيد الكالسيوم الذي يتكون عند تسخين الحجر الجيري ليخرج ثاني أكسيد الكربون. ويُستهلَك نحو 100 كيلو جرام من الوقود الأحفوري لإنتاج طن واحد من الأسمنت. وتستخدم الخرسانة في تشييد المباني والطرق السريعة، ومعظم نفايات الخرسانة تتولد عندما تدمَّر المباني والطرق السريعة، بعد ذلك تُستخلَص وتُستخدَم في صورة مواد منخفضة درجة حرارة الانصهار في تطبيقات مثل تحصيب الطرق. ومع ذلك فإن الطلب على هذه المواد آخذ في الانخفاض تدريجيًّا. فعلى سبيل المثال لم تشهد اليابان من إعادة التدوير أكثر من 10 في المائة من إجمالي كمية النفايات الخرسانية التي تولّدت في عام 1995م والبالغة 37 مليون طن. ويمكن اعتبار جميع هذه الخرسانة تقريبًا قد أُلقيت في مكبات القمامة.

وتلخيصًا لما سبق نقول: فإن دورة حياة الخرسانة كما يلي. يُجمع الرمل والحصى والحجر الجيري من الأنهار والجبال، ثم تُحول جميعًا إلى الخرسانة عن طريق استخدام الوقود الأحفوري، ثم تتراكم في البنية التحتية للمجتمع. ومع ذلك فكل هذه الخرسانة تصبح في نهاية المطاف نفايات. وإليكم ما تبدو عليه دورة حياة الخرسانة اليابانية من منظور عالمي. يتحول الفحم المدفون تحت

الأرض في أمريكا وأجزاء أخرى من العالم إلى ثاني أكسيد الكربون، وينطلق إلى الغلاف الجوي.

والرمال والحصى والحجر الجيري من الأنهار والجبال من اليابان يتراكم في مصنَّعات البشر مثل المباني والطرق السريعة. وكل هذه المصنَّعات البشرية تُدمَّر في نهاية المطاف، وكل الخرسانة ينتهي بها المطاف في مكبات القمامة. لذلك نرى أن دورة حياة الخرسانة هي في الأساس تدفق في اتجاه واحد بدأً من استهلاك الموارد الطبيعية إلى إثقال البيئة في شكل توسيع مكبات القمامة وزيادة نسبة ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي (الشكل رقم 1ـ7).

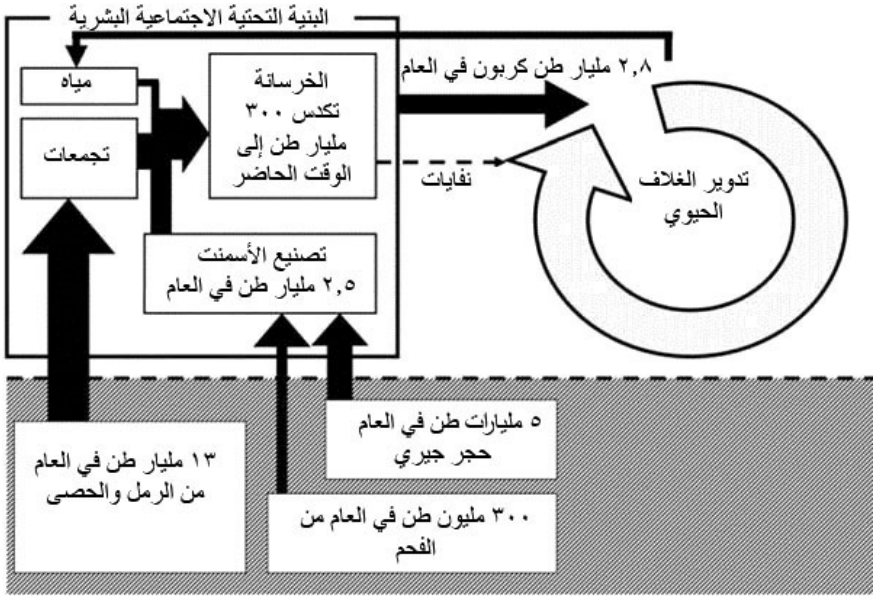
أما الزجاج فتُشكَّل منتجاته عن طريق تسخين خليط من أكسيد السيليكون وكربونات الصوديوم وكربونات الكالسيوم لطرد ثاني أكسيد الكربون، ثم يذوب الخليط ثم يُشكَّل ثم يتصلب. ويُستهلَك نحو 200 كيلو جرام من الوقود الأحفوري في صنع طن واحد من الزجاج. في اليابان تبلغ نسبة إعادة تدوير الزجاج الحالية نحو 50٪، لذلك يستخدم الزجاج من الموارد الطبيعية بمتوسط الضِّعف في المنتجات المصنعة. ومع ذلك فإن دورة حياة الزجاج تكاد تكون مماثلة لدورة حياة الخرسانة. يُجمَع أكسيد السيليكون وكربونات الصوديوم وكربونات الكالسيوم في الكوارتز ورماد الصودا والحجر الكلسي من الأنهار والجبال في اليابان وغيرها من البلدان، ثم ينتهي الأمر بنقلها إلى مكبات القمامة. وفي الوقت ذاته يتحول النفط الذي يأتي من أماكن مثل الشرق الأوسط إلى انبعاثات ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي.

المنتجات البترولية هي الأخرى تتدفق في اتجاه واحد:

البلاستيك والألياف الصناعية هي أمثلة على جزيئات كبيرة تسمى البوليمرات التي تتكون من سلاسلَ طويلةٍ من الـذرات، حيث تتراوح هذه السلاسل بين عشرات وملايين الذرات على عكس جزيئات ثاني أكسيد الكربون والنيتروجين. وقد بلغ إنتاج البوليمرات حاليًا في جميع أنحاء العالم أكثر من 200 مليون طن، ويُستخدم في المتوسط نحو طنين من النفط لإنتاج طن واحد

من البلاستيك. والبلاستيك منتج خاص، بمعنى أن النفط يُستخدَم فيه سواء في صورة مادة خام، أو في صورة مصدر للطاقة من أجل التصنيع.

وتُستخدم كميات متساوية تقريبًا من النفط والطاقة والمواد الخام لإنتاج طن واحد من البلاستيك. وعندما تصل المنتجات البترولية إلى نهاية حياة ال30 لمنتج يُحرَق معظمها أو يُتَخلَّص منه. والبلاستيك الذي يُلقى في مكبات القمامة لا يتحلل بسرعة، ولكن بعد فترة طويلة سوف يتأكسد في نهاية المطاف إلى ثاني أكسيد الكربون.



الشكل رقم 1–7: دورة حياة الخرسانة

ومن ثَمَّ فإن دورة حياة البلاستيك يُنظر إليها من منظور عالمي على أنها مجرد تحويل النفط من حقول النفط إلى ثاني أكسيد الكربون الذي يُطلَق في الغلاف الجوي (الشكل رقم 1–8).

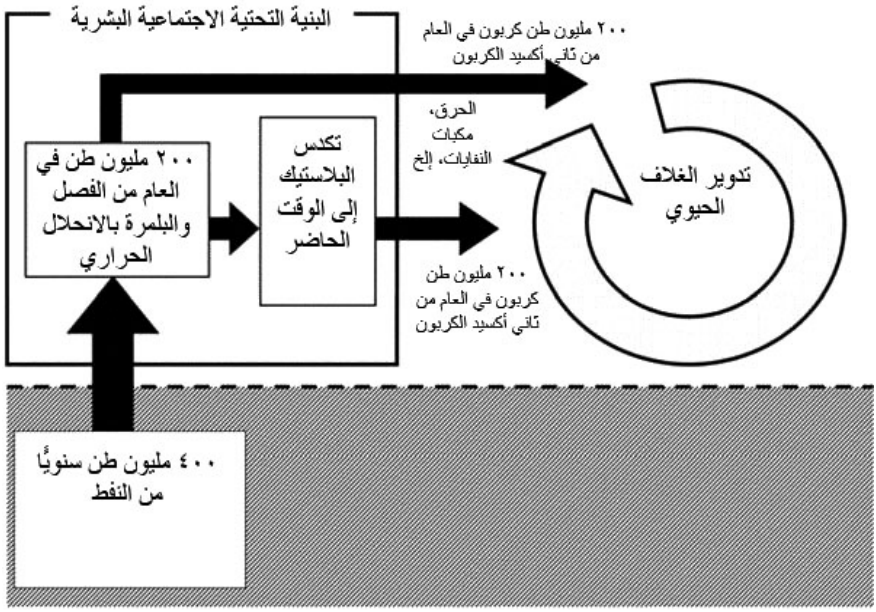
المواد ذات الكتلة الحيوية يُعاد تدويرها:

الحديد والألومنيوم والخرسانة والزجاج والبلاستيك لديها دورات حياة تقوم على التدفق في اتجاه واحد من الموارد الطبيعية لإطلاق النفايات وثاني

أكسيد الكربون إلى البيئة مرة أخرى. وعلى النقيض من ذلك نجد أن الكتلة الحيوية مثال على مادة أساسية يُعاد تدويرها وفي بعض الحالات تظل كذلك حتى في وقتنا هذا.

والموارد البيولوجية التي لا تُستخدم غذاءً، مثل الخشب وقشور النباتات، يشار إليها باسم «الكتلة الحيوية». وتشمل الكتلة الحيوية الورق والأخشاب.

والورق يُصنع من الأشجار؛ ومع ذلك فإن صنع الورق يستهلك كمية كبيرة نوعًا ما من الوقود الأحفوري. ونحو نصف خشب الشجرة يتكون من السليلوز، والنصف الآخر يتكون من اللجنين، وهي المادة التي تجعل الأشجار صلبة. ولا تستخدم مصانع الورق إلا السليلوز لصنع الورق. ومع ذلك فإن اللجنين لا يُتَخلَّص منه، ولكن يُستخدَم وقودًا لتوليد الكهرباء. وللأسف لا يوجد ما يكفي من اللجنين لتوفير الكهرباء اللازمة لإنتاج الورق، لذلك نلجأ إلى النفط لتغطية ذلك العجز.



الشكل رقم 1ـ8: دورة حياة البلاستيك

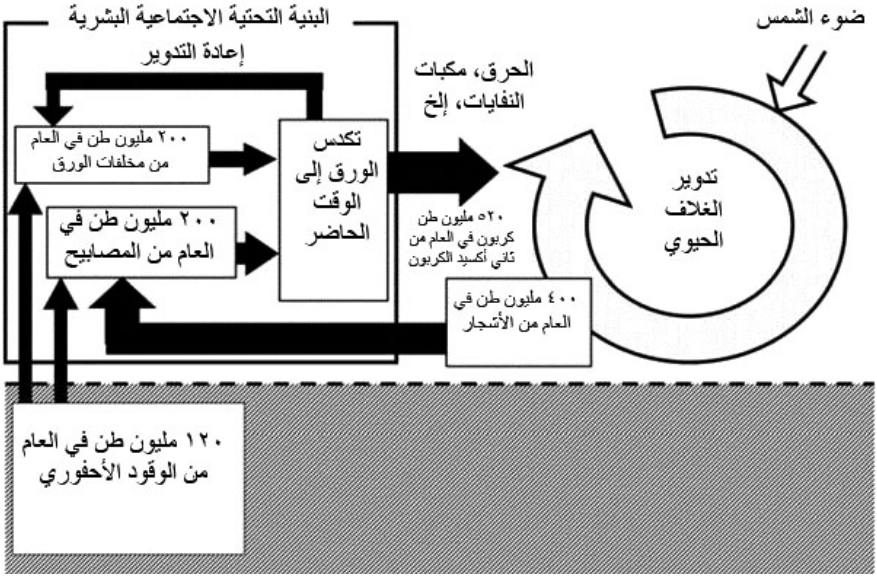
ويبلغ إنتاج الورق في العالم نحو 400 مليون طن سنويًّا، ويُستخدم نحو 300 كيلو جرام من النفط لصنع طن واحد من الورق.

نسبة إعادة تدوير الورق حاليًا في اليابان تقارب 50٪. ورغم أن نسبة إعادة التدوير تختلف من بلد إلى آخر، يمكننا القول أنه في المتوسط يُعاد تدوير نحو نصف الورق المستخدم في العالم. ولذلك فإن ما يقرب من نصف الأربعمائة مليون طن من الورق المنتج في السنة مصنوع من الورق المستعمل. أما بقية الورق المستخدم فيُحرَق أو يُتخلص منه في مكبات القمامة، حيث يتحلل ثم يتأكسد، ثم يصبح ثاني أكسيد الكربون.

وباختصار تبدأ دورة حياة الورق مع حصاد الأشجار في صورة مواد خام، وبعد استخدام الورق مرتين في المتوسط يُطلَق في الغلاف الجوي في صورة ثاني أكسيد الكربون. والأشجار التي تُحصَد لإنتاج الورق تنمو عن طريق الحصول على ثاني أكسيد الكربون من الغلاف الجوي. وإذا لم تُزرع الغابات التي قُطعت لعمل الورق فإن دورة مواد الكتلة الحيوية لا تكتمل، ويصير التدفق في اتجاه واحد مثله مثل تدفق الزجاج والأسمنت. ولكن إذا زُرع ذات عدد الأشجار التي حُصِدَت فإن دورة الحياة تنتقل من الأشجار إلى الورق إلى ثاني أكسيد الكربون ثم تعود إلى أشجار. وهذا هو في الأساس ذات التدوير الطبيعي للأشجار حين تنمو ثم تموت ثم تتحلل.

لذلك فإن الكتلة الحيوية لديها دورة حياة ما إن تنتهي حتى تبدأ، ويمكن أن تستمر في الغلاف الحيوي. عندما ننظر إلى دورة الحياة العامة للورقة المنتَجة بهذه الطريقة نرى أن التأثير الرئيس في الغلاف الحيوي يأتي من 300 كيلو جرام من الوقود الأحفوري المستهلك لكل طن من الورق، والنفط مأخوذ من حقول النفط ويطلق في صورة ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي (الشكل رقم 1ـ9).

وماذا عن دورة حياة الخشب، وغيرها من المواد الرئيسة في الكتلة الحيوية؟ إذا هُدِمَ منزل خشبي في نهاية عمره الافتراضي ورُمي الخشب في



الشكل رقم 1–9: دورة حياة الورق

مكبات القمامة فإن دورة الحياة تكون تدفقًا في اتجاه واحد. ومع ذلك لا يُستخدَم الوقود الأحفوري إلا في صناعة الأخشاب لحصاد ونقل وتشكيل الخشب. وهذه العمليات تستهلك طاقة أقل بكثير من فصل اللجنين من الخشب لإنتاج الورق. لذلك ما دام يُزرَع عدد الأشجار التي تُقطَع فإن استهلاك الخشب يكون مستدامًا. ودورة الحياة تلك تعتبر في مضمونها هي ذات دورة تدوير الكتلة الحيوية التي حدثت في الطبيعة قبل إفساد الإنسان لها.

دورات الحياة المستدامة ودورات الحياة غير المستدامة:

إذا نظرنا إلى عمليات إنتاج المواد الأساسية من منظور عالمي، فسنرى أن عواقب «الإنتاج الضخم/ الاستهلاك الضخم» تختلف تمامًا باختلاف المواد المنتجة. والأمر الذي يجب مراعاته هو أنه من الممكن تصنيع كل من هذه المواد بطريقة مستدامة وطريقة غير مستدامة. وتجري حاليًا استعادة جزء كبير من منتجات الحديد والألومنيوم الملقاة كخردة وإعادة استخدامها. ولكن ما زلنا نتخلص من العديد من المنتجات الفلزية دون إعادة تدوير. ومعظم نفايات

الخرسانة المنتجة عندما تُهدَم المباني والجسور تُستخدَم لأغراض مثل تحصيب الطرق. ومع ذلك فمع انخفاض الطلب على محصبات الطرق وغيرها من المواد منخفضة الدرجة، ستزيد كمية الخرسانة التي يُتَخلَّص منها. وفي بعض مناطق العالم تمارس الحراجة المتجددة، بحيث تُقطَع الأشجار فتُزرَع غيرُها. ولكن في مناطق أخرى تُقطَع الغابات دون أن تُعاد زراعتها، وتُترك الأرض عارية لتصبح صحراوية.

وعندما يُعاد استخدام المواد أو تستبدل الموارد لا تُستهلك في تدفق الاتجاه الواحد وبدلًا من ذلك يُعاد تدويرها داخل المجتمع البشري مرتين أو أكثر.

ومع ذلك فإن تدفقات المواد التي تنتقل مباشرة من الموارد إلى النفايات ينبغي أن تثير قلقنا. ولكي تنسجم أعمال الإنسان في الغلاف الحيوي يجب أن تسري بذات الطريقة التي تقوم بها أعمال الغلاف الحيوي الطبيعية. وكثيرًا ما نستخرج في الوقت الراهن الموارد من الأرض لصناعة المنتجات، ومن ثم إعادة المنتجات الملقاة إلى الأرض اعتمادًا على استكمال التدوير الطبيعي للأرض لدورته والعودة إلى الموارد. وهذا هو التدفق «في اتجاه واحد»، وقد بدأ يطغى على قدرة الأرض على البقاء في توازن.

ومن الواضح أن أعمالنا المتمثلة في «صناعة الأغراض» تعطل عمليات التدوير الطبيعية للغلاف الحيوي. ومع ذلك هذه ليست أعمال الإنسان الوحيدة التي تهدد الأرض. فأعمالنا اليومية العادية مثل قيادة السيارات واستخدام تكييف الهواء وإضاءة منازلنا أيضًا لها تأثيرٌ كبير، وسوف نسمي هذه الأعمال أعمال «الحياة اليومية».

ويستند هذا الكتاب إلى فرضية أن المشكلة الأساسية للاستدامة هي أن أعمال الإنسان من «صناعة الأغراض» وأعمال «الحياة اليومية» لا تجري وفقًا لأي رؤية عالمية شاملة. ومن دون هذه الرؤية لا نعلم ما هي العواقب المستقبلية لأعمالنا الحالية. وبعبارة أخرى لا نعلم ما إذا كانت الأعمال التي توصف بأنها

مفيدة للبيئة ستؤدي في الواقع إلى العواقب التي نريدها. وهذا الافتقار إلى رؤية عالمية، فيما أرى، هو السبب في الشعور واسع النطاق بالعجز فيما يتعلق باستدامة الأرض. وقد استهلكت الحضارة الإنسانية بالفعل أكثر من 40٪ من الغابات التي كانت موجودة في الماضي وأكثر من 50٪ من الموارد النفطية القابلة للتعافي. ولا يسعنا أن نرفض هذه الأرقام باعتبارها مخاوف لا أساس لها من الصحة، بل علينا أن نجد وسيلة لحشد جهودنا لتحقيق استدامة الأرض. وفي الجزء التالي سنرى لماذا.

5 ـ ماذا يحدث إذا ظللنا على ما نحن عليه؟

الاحتياطيات النفطية ستُستنفد:

حتى هذه المرحلة نظرنا في دورات الحياة الحالية للمعادن والأسمنت والزجاج والبلاستيك والـورق، وهي دورات حياة مدفوعة بأعمال الإنسان للتصنيع والاستهلاك. فـإذا ظللنا على ما نحن عليه فكيف سيكون شكل الأرض في منتصف القرن الحادي والعشرين؟ رأينا أن إنتاج جميع المواد الأساسية يتطلب احتراق كميات كبيرة من الوقود الأحفوري. فلصنع طن واحد من البلاستيك يجب علينا حرق طن واحد من النفط. ولصنع طن واحد من الحديد نحتاج 600 كيلو جرام من الفحم. كما نحتاج 300 كيلو جرام من الوقود الأحفوري لعمل طن واحد من الورق، و200 كيلو جرام لعمل طن واحد من الزجاج، و100 كيلو جرام لعمل طن واحد من الخرسانة. فإذا واصلنا استخدام النفط لتوفير الطاقة اللازمة لتصنيع هذه المواد، فمن المؤكد أن احتياطيات النفط العالمية سوف تنضب بحلول نهاية القرن الحادي والعشرين.

قيل إن احتياطيات النفط ستستمر 40 سنة أخرى على الأقل، ولكن كيف توصلوا لهذا الرقم؟ يُحسب متوسط العمر المتوقع لاحتياطات النفط العالمية على أنه إجمالي الاحتياطيات المؤكدة مقسومًا على معدل الاستهلاك السنوي الحالي. ومن ثم، إذا اكتُشِفَت احتياطيات نفطية جديدة وزاد مقدار الاحتياطيات

المؤكدة فإن العمر المتوقع سيزداد. أما إذا زاد معدل الاستهلاك السنوي فإن العمر المتوقع للاحتياطيات سينخفض. والسبب في أن الاحتياطيات النفطية لم تُستنزف حتى الآن، رغم أن الناس كانوا يقولون منذ أكثر من 40 عامًا إن احتياطيات النفط ستستغرق 30 أو 40 عامًا فقط، هو أنه حتى الآن اكتُشِفَت حقول نفطية جديدة بمعدل مماثل لمعدل استهلاك النفط.

ولكن عدد حقول النفط الجديدة المكتشَفة كل عام آخذ في التناقص، وحجم حقول النفط المكتشفة حديثًا أصغر حجمًا من ذي قبل. بالإضافة إلى أن المزيد من حقول النفط الرئيسة القائمة تقترب من نهاية احتياطياتها. على سبيل المثال في الولايات المتحدة، التي إضافة إلى كونها أكبر مستهلك للنفط هي أكبر منتج للنفط بعد المملكة العربية السعودية وروسيا، تجاوزت حقول النفط بالفعل مستويات إنتاجها القصوى، ومنذ 1990م ومعدل الإنتاج هناك آخذ في الانخفاض بشكل مستمر. وفي عام 1998م كانت نسبة الاحتياطيات المتبقية للإنتاج السنوي أقل من عشر سنوات، وكان من المتوقع في ذلك الوقت أنه حتى بعد اكتشاف حقول نفطية جديدة، بعد عشر سنوات، ستكاد الاحتياطيات تنضب تمامًا. ووفقًا للأرقام الأحدث لعام 2006م فإن نسبة الاحتياطيات المتبقية إلى الإنتاج السنوي لا تزال نحو عشر سنوات. ومع ذلك فقد انخفض معدل الإنتاج بأكثر من 20٪ من عام 1998م إلى عام 2006م رغم ارتفاع أسعار النفط العالمية. وهذا مؤشر واضح على أن احتياطيات النفط في الولايات المتحدة تنفد، وحالة حقول النفط البريطانية في بحر الشمال تشبه ذلك.

ومن ناحية أخرى لا يزال معدل استهلاك الوقود الأحفوري في جميع أنحاء العالم في ازدياد. ومن الحقائق الواضحة أن الصين، التي تضم ربع سكان العالم، بعد أن كانت تصدِّر الوقود الأحفوري صارت تستورده خلال النصف الأول من التسعينيات. كما أن الزيادة في استهلاك الوقود الأحفوري الناجمة عن النمو الاقتصادي القائم في جنوب شرق آسيا كبيرة هي الأخرى. وهذه التغييرات في سوق النفط العالمية تشير جميعها إلى الواقع الوشيك لنضوب النفط. في

الماضي شهدت الحضارة الإنسانية أزمتين من الطاقة. غير أن هاتين الأزمتين سببتهما عوامل سياسية واقتصادية أدت إلى ارتفاع أسعار النفط، مثل التقارير الدعائية التي تفيد بأن احتياطي النفط قد ينضب في نهاية المطاف، بدلًا من تقديم دليل حقيقي على أن نفاد النفط قد يحدث في المستقبل القريب. وفي الفترة ما بين عامي 2050م و2100م قد يصبح نضوب النفط حقيقة واقعة، مما سيؤدي إلى أزمة مختلفة أكثر جوهرية.

الاحتباس الحراري سوف يغير مناخ الأرض:

الحدث الكارثي الثاني الذي يكاد يكون مؤكد الحدوث في القرن الحادي والعشرين، هو الاحتباس الحراري. ورغم الرسائل الواضحة الصادرة عن الجهات المسؤولة مثل الهيئة الحكومية الدولية المعنية بتغير المناخ، فما زال بعضهم يدعي أن هناك شكوكًا علمية بشأن الاحتباس الحراري.

ولكن بمجرد النظر إلى الآليات التي يحدث بها الاحتباس الحراري يتضح أنه حقيقة لا يمكن إنكارها.

درجة حرارة سطح الأرض تحفظها حرارة الشمس، ومن دونها ستبرد الأرض إلى درجة حرارة تقترب من درجة حرارة الفضاء الخارجي، وهي نحو 270 درجة مئوية تحت الصفر. والسبب في أن يديك تشعران بالدفء عندما تمدهما أمام مدفأة الخشب هو أن الطاقة تشع من المدفأة الساخنة فتسخن يديك.

وكلما ارتفعت درجة حرارة جسم ما ازدادت إشعاعات الطاقة الصدارة من سطحه، ومعظمها يكون في صورة أشعة تحت حمراء نشعر بها في صورة حرارة. وأشعة الشمس تشرق على الأرض بمعدل نحو 1.4 كيلو واط للمتر المربع الواحد، وهذه الطاقة تدفئ الأرض. مع ذلك، وكما هو مبين في الشكل رقم 1ـ10، تُطلَق الطاقة أيضًا من سطح الأرض إلى الفضاء الخارجي في شكل أشعة تحت حمراء.

في الواقع إن درجة حرارة سطح الأرض مرتفعة بما يكفي لإطلاق كمية

من الطاقة في الفضاء تساوي تمامًا الطاقة القادمة من الشمس. فإذا زادت درجة الحرارة فإن كمية الأشعة تحت الحمراء التي تغادر الأرض تزيد، مما يتسبب في انخفاض درجة الحرارة. وإذا انخفضت درجة الحرارة فإن كمية الأشعة تحت الحمراء تصبح أقل مما يتسبب في ارتفاع درجة الحرارة. لذلك تظل درجة حرارة سطح الأرض كما هي بفضل توازن انبعاث الطاقة. ولو كانت الأرض من دون غلاف جوي فإن درجة حرارة التوازن حينها ستكون خمس درجات مئوية.

ويؤثر الغلاف الجوي للأرض في درجة حرارة التوازن بطريقتين. يأتي التأثير الأول من الغيوم والجسيمات في الغلاف الجوي التي تعكس جزءًا من ضوء الشمس وتمنعه من الوصول إلى سطح الأرض. والجزء المنعكس من أشعة الشمس يمثل نحو 30٪. وهذا الضوء المنعكس يقلل من درجة حرارة التوازن بمقدار 23 درجة مئوية. ولولا التأثير الثاني للغلاف الجوي لصارت درجة حرارة سطح الأرض 18 درجة مئوية تحت الصفر.

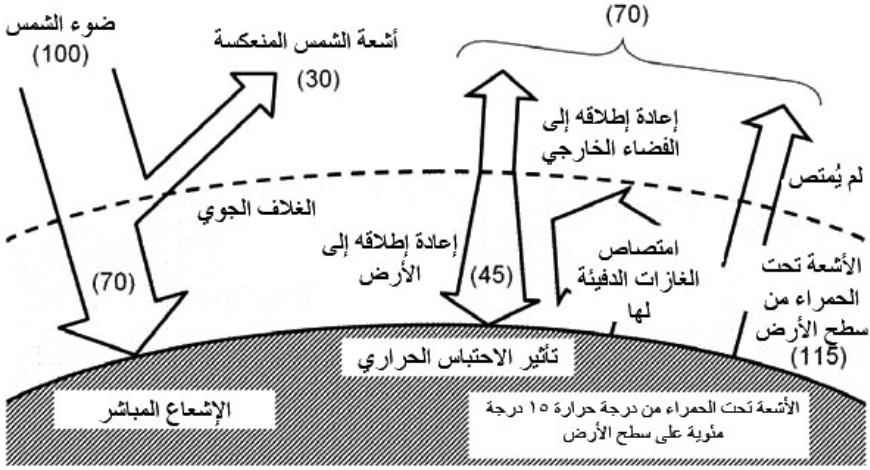
أما التأثير الثاني للغلاف الجوي فهو امتصاص جزيئات غازات معينة، مثل بخار الماء وثاني أكسيد الكربون، للأشعة تحت الحمراء المنبعثة من سطح الأرض. وتسمى هذه الجزيئات التي تمتص الإشعاع «الغازات الدفيئة» لأنها تحجب الحرارة بذات طريقة الأسطح الزجاجية للصوبة (الدفيئة). بعد أن تمتص الجزيئات الأشعة تحت الحمراء التي تتحرك من سطح الأرض نحو الفضاء الخارجي فإنها تعيد إطلاقها على الفور، ولكن نصف الإشعاع المنبعث فقط يُطلَق نحو الفضاء الخارجي. أما النصف الآخر فيعاد توجيهه مرة أخرى نحو سطح الأرض. وبعض الأشعة تحت الحمراء المطلقة باتجاه الفضاء الخارجي تعيد الجزيئات في الغلاف الجوي البعيد عن سطح الأرض امتصاصها، ونصف هذا الإشعاع يعاد إطلاقه باتجاه سطح الأرض.

ويستمر هذا الامتصاص والانبعاث إلى أن يعود الإشعاع إلى سطح الأرض أو يتسرب إلى الفضاء الخارجي. والنتيجة هي أن كمية الأشعة تحت الحمراء التي تعادل أكثر من 60٪ من أشعة الشمس التي تصل إلى سطح الأرض

يلتقطها الغلاف الجوي وتعاد إلى سطح الأرض. وهذا هو تأثير الاحتباس الحراري، الذي يرفع حاليًا درجة حرارة سطح الأرض بنحو 33 درجة مئوية.

النتيجة النهائية لنقصان درجة الحرارة بمقدار 23 درجة مئوية بسبب الانعكاس وارتفاع درجة الحرارة بمقدار 33 درجة مئوية بسبب تأثير ظاهرة الاحتباس الحراري، هي زيادة مقدارها 10 درجات مئوية، وعند إضافتها إلى 5 درجات مئوية وهي درجة حرارة الأرض من دون الغلاف الجوي يصير المتوسط الفعلي لدرجة حرارة سطح الأرض 15 درجة مئوية.

الزهرة، الكوكب الذي يسبق الأرض قربًا من الشمس، تصل درجة حرارة سطحه إلى 400 درجة مئوية. والمريخ، الكوكب الذي يلي الأرض بعدًا من الشمس، تصل درجة حرارة سطحه إلى 50 درجة مئوية تحت الصفر. وتتحدد درجات الحرارة تلك بذات الآليات التي تنظم درجة حرارة الأرض. لذلك إذا زادت نسبة الغازات الدفيئة مثل ثاني أكسيد الكربون، فمن المنطقي أن نستنتج أن تأثير الاحتباس الحراري سيزداد. ويتوقع العلماء أن الارتفاع في متوسط درجة حرارة الأرض عندما تتضاعف نسبة ثاني أكسيد الكربون سيكون 3 درجات



الشكل رقم 1ـ10: توازن الطاقة الذي يحدد درجة حرارة سطح الأرض

مئوية. وبالنظر إلى معدل الزيادة في نسبة ثاني أكسيد الكربون المبين في الشكل رقم 1ـ1، يتضح لنا أنه بحلول منتصف القرن الحادي والعشرين ستكون الزيادة الكبيرة في الاحتباس الحراري من انبعاثات ثاني أكسيد الكربون أمرًا محتومًا.

لا أحد يعرف يقينًا ما هي آثار زيادة الاحتباس الحراري في الأرض وعلى الحضارة الإنسانية. ومع ذلك نعلم أنها ستشكل تغييرًا غير مسبوق في تاريخ الحضارة الإنسانية. ومن المؤكد أنه ستحدث تغيرات جوهرية في مناخ الأرض، مثل أنماط هطول الأمطار، مع ما يترتب على ذلك من آثار في إنتاجية المحاصيل. وكما رأينا من قبل، فإن مستوى المحيطات آخذ في الارتفاع بالفعل، وهناك ما يدعو إلى الاعتقاد بأن الارتفاع يمكن أن يكون كبيرًا بما فيه الكفاية ما سيتسبب في اختفاء أجزاء كبيرة من السواحل في العالم ـ بل وجزر بأكملها ـ تحت سطح البحر. وإذا لم نحرك ساكنًا فيكاد يكون من المؤكد أنه بحلول منتصف القرن الحادي والعشرين سيتطلب توازن الطاقة في الأرض منا إجراء تغييرات كبيرة في طريقة معيشتنا.

ستغرق الأرض في نفاياتنا:

الأزمة الثالثة التي سنواجهها في منتصف القرن الحادي والعشرين هي تراكم كميات هائلة من النفايات.

كما رأينا في الشكل رقم 1ـ4، من بين جميع مصنَّعات البشر الموجودة في المجتمع اليوم، نجد أن معظمها أُنتج في النصف الأخير من القرن العشرين، وليس هناك أي مؤشر على انخفاض معدل إنتاجها. وتتراكم مصنَّعات البشر هذه بشكل رئيس في المدن التي شهدت أكبر زيادة في عدد السكان في القرن العشرين. ويواصل الناس الهجرة إلى المدن خاصة في البلدان النامية.

ومن المتوقع أنه بحلول منتصف القرن الحادي والعشرين سيعيش 70٪ من سكان العالم في المدن. ومع توسع المدن الحالية وبناء المدن الجديدة فإن تراكم مصنَّعات البشر سيزداد هو الآخر. ولكن كل شيء له نهاية.

فالعمر الافتراضي للمنتجات مثل السيارات والأجهزة المنزلية يقارب 10 سنوات، وبالنسبة إلى المباني يتراوح ما بين 40و50 عامًا؛ لذا فإن معظم مصنَّعات البشر التي نراها في المدن اليوم ستصل إلى نهاية عمرها الافتراضي في منتصف القرن الحادي والعشرين. وعندما تصل جبال مصنَّعات البشر المتراكمة في النصف الثاني من القرن العشرين إلى نهاية عمرها الافتراضي سيبدأ إنتاج هائل من النفايات في التكون لا يشبهه أي شيء رأيناه من قبل.

فإذا أردنا التخلص من هذه النفايات في صورة قمامة فيلزمنا أن ننشئ مكبات نفايات على كل سطح الأرض لتتسع لكل هذا.

في جميع أنحاء العالم أصبح من الصعب الحصول على مواقع تصلح لتكون مكبات للقمامة.

وقد نشأ جدال شديد عندما أُعلن عن خطط لإنشاء مكبات قمامة تنطوي على تدمير النظم البيئية الهشة، مثل أراضي مستنقعات خاضعة للمد والجزر. وفي المقابل أصبح الإلقاء غير المشروع للقمامة واضحًا على جزر بحر سيتو الداخلي، وفي ضواحي المدن الكبرى، وفي الغابات في كل مكان. وهذه ليست سوى البداية.

وهذه الظواهر، مثل استنفاد النفط والاحتباس الحراري والإنتاج الهائل من النفايات، هي نتائجُ طبيعيةٌ للتوسع الهائل للأعمال البشرية في القرن العشرين. وفي ظل هذه الظروف القاسية ندخل القرن الحادي والعشرين.

وقد حافظت الأرض على دورات مختلفة للطبيعة داخل طبقة رقيقة من الغلاف الحيوي مستمدة قوتها من طاقة الشمس قبل أن تبدأ الحضارة الإنسانية. أما الآن فإن أعمال الإنسان أصبحت تهدد بإفساد هذه الدورات. ولكي نحقق استدامة الأرض علينا أن نتوصل إلى كيفية بناء نظام تدوير مستدام لأعمالنا الخاصة، وهو نظام يتواءم مع عمليات التدوير الطبيعي للأرض. والغرض من هذا الكتاب هو إظهار أن بوسعنا القيام بهذا.

الفصل الثاني
معرفة الطاقة

نحتاج إلى طاقة إذا أردنا القيام بأي عمل لا يقع بصورة طبيعية أو عفوية، مثل رفع شيء ثقيل من مكان منخفض إلى مكان مرتفع أو نقل الحرارة من مكان بارد إلى مكان ساخن. ولأن معظم أعمال الإنسان الخاصة بـ«صناعة الأغراض» وممارسة «حياته اليومية» تحدث عفويًّا فإنها جميعها تقريبًا تتطلب طاقة. لذلك فإن الطاقة جزء أساسي من لغز معرفة كيفية الحفاظ على الغلاف الحيوي أثناء إعدادنا لمستوى معيشي عصري لسكان الأرض. ولكن العديد من المفاهيم الأساسية للطاقة يصعب فهمها. من غير المتوقع أن تجد درسًا حول ماهية الطاقة وما يعنيه استهلاك الطاقة في كتاب عن بناء مجتمع مستدام، إلا أنه من المهم أن نوضح هذه المفاهيم قبل استعراض الطرق التي يمكن أن تستخدمها التكنولوجيا لاستدامة الوجود البشري على الأرض.

1 ـ الطاقة محفوظة

الطاقة هي القدرة على القيام بـ«الشغل»:

من المحتمل أنك قد رأيت فريق هدم المباني يستخدم رافعة لرفع كرة الحديد ثم إسقاطها لتكسير الهياكل الخرسانية. عندما يتم إسقاط أي كائن، وليس مجرد كرة حديد، من مكان مرتفع، فإن عليه القيام بـ «شغل». و«الشغل»،

مثل الطاقة، كلمة نستخدمها في نواح كثيرة في كلامنا اليومي، ومع ذلك في عالم العلم والتكنولوجيا «الشغل» له تعريف دقيق. يُعرف «الشغل» بأنه حاصل ضرب القوة في المسافة التي قطعها جسم ما تحت تأثير هذه القوة. على سبيل المثال عندما تُرفَع كرة من الحديد إلى مسافة معينة فإن «الشغل» الذي تم يساوي القوة المطبقة على الكرة مضروبة في المسافة التي رُفعت إليها الكرة. ولرفع الكرة ضِعف المسافة يجب مضاعفة الشغل، وإذا قللنا وزن الكرة إلى النصف فسيصير نصف الشغل يكفي لرفع الكرة. ومع ذلك يمكن أن يأخذ الشغل شكل تغييرات أخرى. على سبيل المثال سحق الهياكل الخرسانية هو شكل من أشكال الشغل الذي يجري بكُرة الحديد التي تُلقَى من الرافعة. وإذا ألقينا كرة الحديد في الهواء فهي تقوم بشغل عندما تضرب صفيحة رقيقة من الحديد وتغير شكلها. وتعريف الطاقة بما يناسب نقاشنا في هذا الكتاب، هو قدرة الأجسام المادية وظروفها، مثل درجات الحرارة والضغوط، على القيام بالشغل.

أنواع الطاقة:

هناك ثلاثة أنواع أساسية من الطاقة: الطاقة الخارجية والطاقة الداخلية وطاقة المجال. تسمى الطاقة المخزونة في كرة الحديد التي رفعتها الرافعة طاقة الوضع، وتسمى طاقة الكرة التي تطير في الهواء طاقة الحركة. وهاتان الطاقتان هما نوعا الطاقة الخارجية. والأجسام الأخرى التي لها طاقة وضع تشمل الطائرات المروحية التي تحوم في الهواء والمياه المخزونة وراء السدود والسيارات التي توقفت في أعلى تلة من التلال. أما الأجسام الأخرى التي لها طاقة حركة فتشمل السيارات المتحركة والهواء المتدفق والمحركات الدائرة.

و«الطاقة الخارجية»، مثل حركة سيارة أو موقع طائرة مروحية مرتفعة فوق سطح الأرض، تظهر بادية للعيان من الخارج. وفي المقابل، «الطاقة الداخلية» هي الطاقة المخبأة في الكائن ذاته، ولا يمكن الكشف عنها عن طريق المظاهر الخارجية.

وتشمل الطاقة الداخلية الطاقة الحرارية والطاقة الكيميائية والطاقة النووية.

ورغم أن معظم الناس لديهم فهم مبهم لما تعنيه «الطاقة الحرارية» نجد أن مصطلح «الطاقة الحرارية» في الواقع ليس صحيحًا. ولتحري الدقة نقول إن الأجسام التي لديها درجة حرارة مرتفعة لديها طاقة داخلية. تذكر بأن تعريف الطاقة هو القدرة على القيام بالشغل. إذا كان لدينا ماء مرتفع في درجة حرارته فيمكننا استخدامه لإنتاج البخار، ثم استخدام الضغط الناتج من البخار لدفع محرك البخار، مما يتيح إمكانية القيام بشغل لنقل قاطرة بخارية على سبيل المثال.

وبعبارة أخرى فإن المياه ذات درجة الحرارة المرتفعة لديها طاقة داخلية يمكن استخدامها للقيام بشغل بذات الطريقة التي تعمل بها طاقة الحركة وطاقة الوضع. و«التسخين»، من ناحية أخرى، هو نقل الطاقة الداخلية من جسم له درجة حرارة مرتفعة إلى جسم له درجة حرارة أقل.

فالوقود، مثل الكيروسين، لديه طاقة داخلية في شكل طاقة كيميائية. فإذا مزجنا الكيروسين مع الأكسجين في تفاعل كيميائي يسمى الاحتراق ينتج عنه لهب ساخن، لهب يمكننا استخدامه لتحويل الماء إلى بخار. والطاقة النووية مخزنة في كل ذرة؛ ومع ذلك لا يوجد سوى قليل من العناصر التي يمكن استخدام ذراتها بسهولة للحصول على الطاقة للقيام بشغل. ومن هذه العناصر اليورانيوم. ويمكننا استخدام الحرارة المتولدة عندما تنقسم ذرة اليورانيوم إلى ذرات أصغر عن طريق عملية الانشطار النووي للقيام بشغل، على سبيل المثال توليد الكهرباء. والاندماج النووي هو عملية أخرى تُنتج الحرارة من الطاقة النووية. فعند دمج نواتين من ذرة الهيدروجين تنصهران معًا لتكوِّنا نواة هيليوم وتصحب ذلك حرارة. وعملية الاندماج تلك هي التي تستمد منها الشمس طاقتها.

ويمكن تصور طاقة المجال إن فكرنا فيما يحدث داخل فرن الميكروويف (أو «الفرن الموجي» كما يسميه بعضهم).

عند تشغيل فرن الميكروويف يصبح الفراغ داخله مملوءًا بالموجات الكهرومغناطيسية، وهو شكل من أشكال «طاقة المجال». وهذه الطاقة يمكنها أن

تقوم بشغل لرفع درجة حرارة فنجان القهوة الذي أمامك الذي أصبح باردًا بسبب انشغالك بقراءة هذا الفصل.

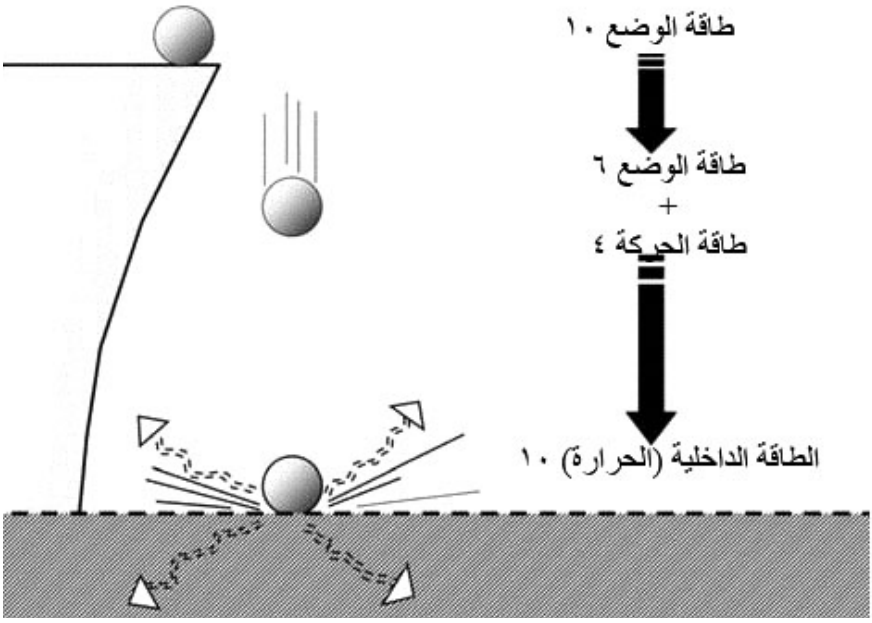
وسائط الطاقة وقانون حفظ الطاقة:

غالبًا ما نشير إلى الشغل والحرارة والكهرباء والضوء باسم «الطاقة»، ولكن حين نتحدث بدقة نقول إنها وسائط للطاقة، أي طرق لنقل الطاقة من جسم إلى آخر. على سبيل المثال إذا أحرقنا بعض البروبان لتسخين الماء في إبريق الشاي، هنا تتحوَّل الطاقة الكيميائية التي كانت في البروبان إلى طاقة داخلية في المياه عن طريق وسط الحرارة، مما يؤدي إلى ارتفاع درجة حرارة الماء.

ويمكن استخدام الطاقة من جسم للقيام بشغل، والشغل يمكن استخدامه لإضافة الطاقة إلى جسم ما. لنَعُدْ إلى كرة الحديد التي قُذفت من الرافعة لتكسير المبنى. عندما تَرفع الرافعةُ كرة الحديد فإن الكرة لا تكسب طاقة وضع أكثر من كمية الشغل الذي تبذله الرافعة. وعندما تُحرَّر كرة الحديد من ارتفاع ما ستسقط. وأثناء سقوطها تفقد طاقة الوضع المقابلة للمسافة التي سقطتها، وتزيد طاقة الحركة بذات المقدار. لذا فعند سقوط الكرة تتحول طاقة الوضع إلى طاقة حركة. يتحول شكل الطاقة، ولكن المقدار الإجمالي لها، وهو مجموع طاقة الوضع وطاقة الحركة، يظل ثابتًا كما هو موضح في الشكل رقم 2ـ1. وكمبدأ عام، عندما تتغير الطاقة من شكل إلى آخر، فإن المقدار الإجمالي للطاقة في جميع أشكالها يظل ثابتًا.

ويطلق على هذا المبدأ قانون حفظ الطاقة.

ماذا يحدث عندما تضرب كرة الحديد الأرض ثم تتوقف؟ كل من طاقة الحركة وطاقة الوضع للكرة ذهبت؛ لأن الكرة لم تعد في موقع عال، كما أنها لا تتحرك. ولكن إذا كان هذا هو كل ما يحدث سيصبح قانون حفظ الطاقة ملغى. ولكن ما يحدث في الواقع عندما تضرب كرة الحديد على الأرض تتولد سخونة، وترتفع درجة حرارة الأرض والهواء المحيط بها.



الشكل رقم 2ـ1: تحويل الطاقة وحفظها

ونعني بقولنا إن درجة الحرارة ترتفع، أن الطاقة الداخلية للأرض والهواء زادت، وهذه الزيادة في الطاقة الداخلية هي بالضبط بذات مقدار طاقة الوضع لكرة الحديد قبل أن تسقط، علاوة على أن هذا المقدار من الطاقة مساوٍ للشغل المطلوب لرفع كرة الحديد إلى ارتفاعها الأصلي.

بهذه الطريقة يمكن تغيير أشكال الطاقة، ولكن يظل المقدار الإجمالي محفوظًا.

ولكن إذا كان الأمر كذلك فكيف يمكننا أن نتحدث عن أزمة الطاقة أو نقول إن هناك شكلًا من أشكال الطاقة يُستنزَف؟ وسوف نعود إلى هذا السؤال في الجزء الثالث من هذا الفصل.

دعونا نطرح هنا بعض الأسئلة التي يمكن أن تقرِّب مفاهيم الطاقة لما نعرفه من معلومات سابقة، لأن شرحنا للطاقة كان موجزًا، ولأن المفاهيم قد يصعب فهمها وقد يلتبس أمرها على القارئ.

السؤال الأول: في غرفة مغلقة، أي هذه الأجهزة له تأثير التدفئة الأكبر: تشغيل سخان كهربي 1 كيلو واط، أم تشغيل أجهزة التلفاز والراديو والأضواء مع تقدير طاقتها الإجمالية بما يساوي 1 كيلو واط؟ الإجابة: أ) تشغيل سخان كهربي 1 كيلو واط، ب) تشغيل أجهزة التلفاز والأجهزة الأخرى، ج) يكادان يتساويان، د) متساويان تمامًا.

السؤال الثاني: إذا تركت باب الثلاجة مفتوحًا في غرفة مغلقة ماذا سيحدث لدرجة حرارة الغرفة؟ الإجابة: أ) درجة الحرارة ستزيد، ب) درجة الحرارة ستنقص، ج) درجة الحرارة لن تتغير كثيرًا، د) درجة الحرارة لن تتغير على الإطلاق. الإجابة عن السؤال الأول هي «يكادان يتساويان». بعد تحويل أجهزة التلفاز وأجهزة الراديو والمصابيح الكهرباء إلى ضوء وصوت فإن جميع الطاقة في النهاية ستصبح حرارة، ومن ثم فإن تأثير التسخين من الأجهزة هو تقريبًا مساوٍ لتشغيل سخان 1 كيلو واط. والسبب في أن الجواب هو «يكادان يتساويان» أن بوسعنا أن نرى الضوء من التلفاز ونسمع الصوت من الراديو من خارج الغرفة ونحن نعلم أن جزءًا صغيرًا من طاقة تلك الأجهزة يتسرب إلى الغرفة عن طريق وسائط الطاقة من ضوء وصوت. لذلك سيكون هناك فارق صغير جدًّا بسبب تأثير التسخين.

الجواب عن السؤال الثاني هو «درجة الحرارة سوف ترتفع». قد يبدو لك هذا الجواب غير منطقي، ولكن إذا نظرنا إلى قانون حفظ الطاقة في الغرفة المغلقة، فسنجد أن الطاقة الداخلية للغرفة يجب أن تزيد بمقدار يعادل الكهرباء التي تستهلكها الثلاجة. والثلاجة هي في الواقع مجرد جهاز لطرد الحرارة التي تتسرب إلى المساحة الداخلية للثلاجة من هواء الغرفة. في الجزء الخلفي من الثلاجة هناك دائمًا مكان ساخن، ومن هذا المكان تُحرَّر الحرارة من الثلاجة إلى الغرفة. فإذا تركت باب الثلاجة مفتوحًا فإن كمية الحرارة الصادرة من الجزء الخلفي للثلاجة ستكون أكثر تأثيرًا من التبريد القادم من الباب المفتوح. والفرق هو بالضبط كمية الكهرباء التي استُهْلِكت. في الآونة الأخيرة، غالبًا ما توضع

الثلاجات في أماكن مثل الفنادق في صندوق لتبدو وكأنها قطعة من الأثاث، من أجل إبقائها بعيدًا عن الأنظار. ومع ذلك إذا لم يكن هناك ما يكفي من الفتحات في الصندوق سترتفع الحرارة إلى أن تتوقف الثلاجة عن العمل. كثير منكم ممن يُكثرون السفر لعلهم قد نزلوا في غرف فنادق تعاني من هذه المشكلة.

وهنا سؤال آخر (أؤكد لكم أنه الأخير!)

السؤال الثالث: بالنسبة إلى الحالتين الموصوفتين في السؤالين السابقين، أين تذهب الحرارة المتولدة من الكهرباء؟ إذا كنا في كل مرة نستخدم فيها الطاقة تنتهي هذه الطاقة إلى تدفئة الهواء المحيط في صورة حرارة، فلماذا لا ترتفع درجة حرارة الأرض؟ السبب هو أنه في النهاية تنبعث الطاقة التي أخذت شكل زيادة في درجة حرارة الهواء والبيئة المحيطة، وهو ما يسمى «درجة الحرارة المحيطة»، إلى الفضاء الخارجي في صورة أشعة تحت حمراء. وكما رأينا في الجزء الذي يصف آلية الاحتباس الحراري من الفصل السابق، عندما تبدأ درجة حرارة سطح الأرض في الارتفاع تزيد الانبعاثات من الأرض للحفاظ على استقرار درجة الحرارة. وزيادة الانبعاث من الأرض تعني أن الطاقة التي اتخذت شكل زيادة في درجة الحرارة المحيطة تتسلل إلى الفضاء الخارجي عن طريق وسط الحرارة.

كيف تعمل محطة توليد الطاقة الحرارية:

من بين العديد من وسائط الطاقة المختلفة تعد الكهرباء الأكثر تميزًا.

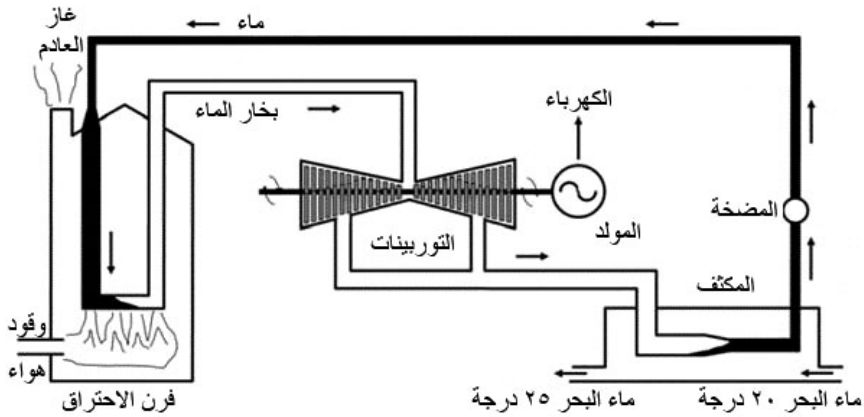
يمكن بسهولة تحويل الكهرباء إلى ضوء أو شغل أو حرارة؛ ويكفي لنقلها استخدام سلك، ويمكن تشغيلها وإيقافها عن طريق مفتاح واحد. وكمية الطاقة التي يستهلكها بلد ما عادة ما تزداد مع تحسن مستويات المعيشة، وهذه الزيادة كبيرة جدًّا بالنسبة إلى الكهرباء. ومع ذلك ـ خلافًا لأشكال الطاقة مثل البنزين ـ فإن الكهرباء غير مرئية، لذلك يكون فهمها أكثر صعوبة. ودعونا هنا نلخص المفاهيم الرئيسة. هناك طريقتان للحصول على الكهرباء، إحداهما استخدام مولد كهربائي، والأخرى استخدام خلية كهربائية.

ويعمل المولد الكهربائي بذات الطريقة التي يُستخدَم بها ضوء مولد كهربائي على دراجة (الدينامو).

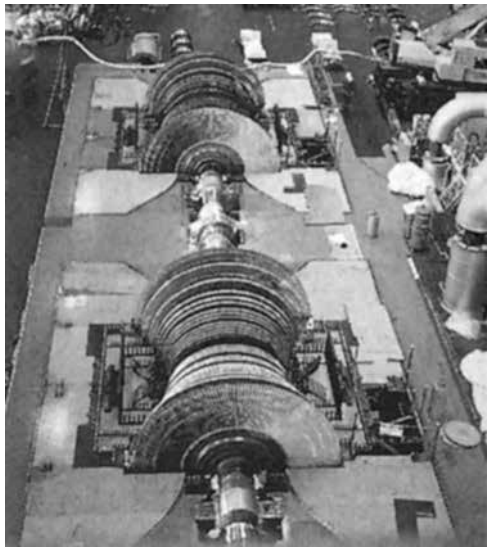
هل تعرف مصباح الدراجة الذي يعمل بترس صغير يدور بدوران العجلات الأمامية لدراجتك بدلًا من البطارية؟ هذا النوع من المصابيح يحتوي على مغناطيس يوضع حول ملف من الأسلاك المعدنية. وهذا الملف يدور على محور، وعندما يدور داخل المغناطيس تتولد الكهرباء وتتدفق عن طريق الملف. لذلك فإن المولد الكهربائي هو آلية لتحويل شغل الحركة الدورانية إلى كهرباء. وهناك العديد من التقنيات المستخدمة لتدوير الملف. ففي حالة مصباح الدراجة تأتي طاقة الدوران من العجلة التي تلف عن طريق الدواسة. وفي طاقة الرياح تستخدم الرياح لإيجاد طاقة دوران عن طريق لف ريش مروحة توربينات الرياح. وفي الطاقة الكهرومائية، فإن قوة تدفق المياه عن طريق أنبوب هي التي تلف ريش مروحة الدافعة الميكانيكية.

ويبين الشكل رقم 2–2 صورة تصورية لآلية محطة توليد الكهرباء الحرارية. أولًا يُحرَق الوقود في فرن ويُستخدَم لغلي الماء في أنابيب صلب لينتج البخار، ثم يوجه البخار إلى التوربينات، مما يؤدي إلى دورانها ومن ثم إنتاج طاقة دوران تتحول إلى كهرباء باستخدام مولد.

الشكل رقم 2–3 هو صورة للتوربينات مع إزالة الغطاء الخارجي. والتوربينات هي في الأساس طاحونة رياح ضخمة عالية الدقة مصنوعة من نوع خاص من الصلب يدور بقوة البخار. ومع ذلك إذا كان ضغط مخرج التوربينات غير منخفض فلن يتدفق البخار عن طريق التوربينات. ولذلك يُوصَّل المخرج بمكثف بخار مصنوع من العديد من الأنابيب الرفيعة تتدفق عن طريقها المياه أو بعض المبردات الأخرى. عند تحويل البخار إلى ماء في المكثف ينخفض الضغط، مما يدفع المزيد من البخار للتدفق عن طريق التوربينات. وتعاد المياه المكثفة إلى الفرن باستخدام مضخة. وباختصار تجري المياه من فرن الاحتراق، وخلال ذلك الجريان تدور التوربينات التي تدفع المولد الكهربائي. وبهذه



الشكل رقم 2ـ2: الآلية الأساسية لتوليد الطاقة الكهربائية الحرارية



الشكل رقم 2ـ3: توربينات محطة توليد كهرباء حرارية (بإذن من شركة طوكيو للطاقة الكهربائية)

الطريقة يتسنى لنا استخراج الكهرباء من الطاقة الكيميائية للوقود. ولكن أقل من نصف الطاقة الكيميائية للوقود يمكن في الواقع أن تتحول إلى كهرباء. وتُفقد معظم الحرارة الناتجة عن احتراق الوقود عند تكثيف البخار في المكثف. ونتيجة لذلك يتحرَّر أكثر من نصف الطاقة الكيميائية للوقود المستخدم في محطة توليد الكهرباء الحرارية في صورة حرارة مهدرة في البيئة.

آلية محطة طاقة نووية هي في الأساس مشابهة لآلية محطة توليد الكهرباء الحرارية. والفرق الرئيس هو أنه بدلًا من الفرن الذي يُحرق فيه الوقود في محطة توليد الكهرباء الحرارية، تستخدم محطة الطاقة النووية مفاعلًا نوويًّا ينتج حرارة من الانشطار النووي.

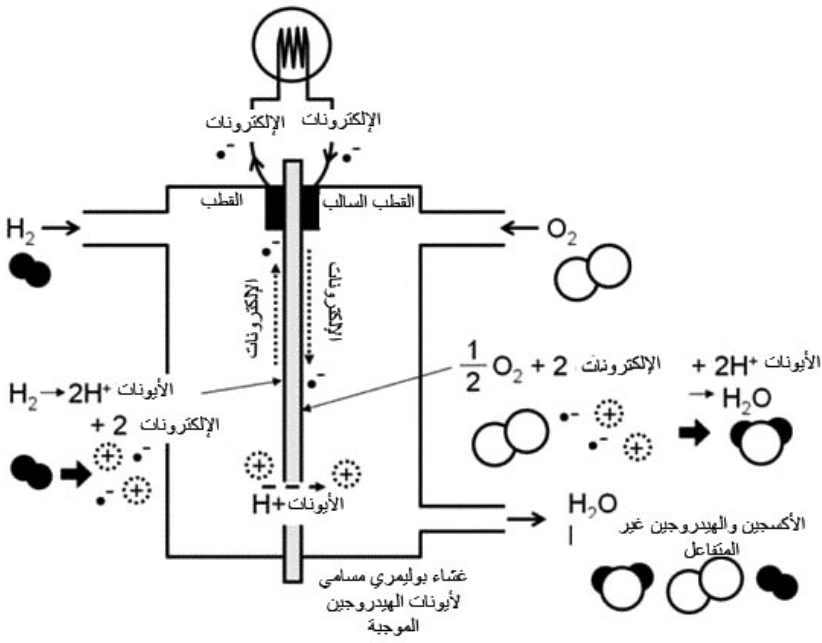
كيف تعمل الخلايا الكهربائية:

هناك أنواع كثيرة من الخلايا الكهربائية. والخلايا الكهربائية الكيميائية تحول الطاقة الكيميائية إلى كهرباء. والخلايا الكهربائية الشمسية، التي عادة ما تسمى «الخلايا الشمسية» اختصارًا، تحول أشعة الشمس إلى كهرباء. وسنرى في الفصل السادس من هذا الكتاب كيف تعمل الخلايا الشمسية. ومعظم الخلايا الكهربائية الكيميائية المستخدمة حاليًا على نطاق واسع تعمل عن طريق فصل مادتين كيميائيتين بسائل أو غشاء فصل مسامي لا يسمح إلا بمرور الأيونات، ووضع قطب في كل مادة منهما، والسماح للمادتين الكيميائيتين بالتفاعل.

قد تتذكر من تجارب كيمياء المرحلة الثانوية أن جزيئات الماء يمكن فصلها إلى الهيدروجين والأكسجين عن طريق تمرير الكهرباء، وهذا ما يسمى بالتحليل الكهربائي للمياه. وكما هو مبين في الشكل رقم 2–4، فإن الخلية الكهربائية الكيميائية للهيدروجين والأكسجين تستخدم ذات الآلية، إلا أنه في الأماكن التي كان ينتج فيها الهيدروجين والأكسجين في التحليل الكهربائي للمياه، يوفَّر الهيدروجين والأكسجين فيها في خلية كهربائية كيميائية، وفي مكان إمداد الكهرباء في التحليل الكهربائي للمياه، تُستخرَج الكهرباء في خلية كهربائية كيميائية. وإليكم كيفية عمل الخلية الكهربائية الكيميائية في الشكل رقم 2–4. يتكون غشاء الخلية من مادة لا تسمح إلا لأيونات الهيدروجين بالمرور. ومن ثم فإن الطريقة الوحيدة لهيدروجين الجانب الأيسر من الغشاء للوصول إلى الجانب الأيمن، بحيث يتفاعل مع الأكسجين لإنتاج المياه هو أن تتخلى جزيئات الهيدروجين عن الإلكترونات، وتتحول إلى أيونات الهيدروجين. وبمجرد أن تتغير الذرات في جزيئات الهيدروجين إلى أيونات، فإنها يمكن أن تمر عبر

الغشاء إلى الجانب الأيمن من الخلية، ولكن الإلكترونات لا يمكنها ذلك. ولا بد للإلكترونات من استكمال تفاعل الأكسجين والهيدروجين ليتحولا إلى ماء، لذلك يجب وجود طريقة أخرى للوصول إلى الجانب الأيمن من الخلية. وتتاح هذه الطريقة عن طريق دائرة خارجية تربط الأقطاب الكهربائية على كل جانب من الخلية. وتنتقل الإلكترونات عبر الدائرة الخارجية لتصل إلى الجانب الأيمن من الخلية، حيث تحول جزيئات الأكسجين إلى أيونات الأكسجين. وتتفاعل أيونات الأكسجين مع أيونات الهيدروجين التي مرت عبر الغشاء، ومن ثم تنتج المياه. وأثناء عملية تشكيل المياه من الهيدروجين والأكسجين يمكن استخراج الكهرباء في شكل تدفق الإلكترونات عن طريق الدائرة الخارجية.

ولدى الهيدروجين والأكسجين ميل طبيعي للاتحاد التلقائي وتشكيل المياه، وهذا الميل الطبيعي يمكن استخدامه لإنتاج الكهرباء.



الشكل رقم 2ـ4: الآلية الأساسية للخلية الكهربائية

هذا مثال خاص للقاعدة العامة التي تقول بأن أي عملية كيميائية تسير تلقائيًّا يمكنها أن تنتج شغلًا.

هناك أنواع كثيرة من الخلايا الكهربائية الكيميائية. كل نوع من الخلايا يتضمن مزيجًا مختلفًا من المواد الكيميائية المتفاعلة وغشاء أو فاصلًا آخر يُستخدم لفصل المواد الكيميائية. والخلايا الكهربائية الكيميائية الأكثر شيوعًا هي الخلية الجافة، وتستخدم ثاني أكسيد المغنيسيوم والزنك. تستخدم بطاريات الليثيوم ثاني أكسيد المغنيسيوم والليثيوم تفصلهما طبقة رقيقة من البلاستيك، وتستخدم بطاريات الزئبق أكسيد الزئبق والزنك، وتستخدم بطاريات السيارات الرصاص وأكسيد الرصاص يفصلهما حمض الكبريتيك. وتسمى الخلية الكهربائية التي تستخدم الهيدروجين والأكسجين في الشكل رقم 2ـ4 خلية وقود.

مصادر الطاقة:

ملاحظة: تُشكَّل الأيونات على جانبي الغشاء الذي يمنع مرور الإلكترونات. الأيونات على جانب واحد تمر عبر الغشاء لتتفاعل مع الأيونات على الجانب الآخر. تنتقل الإلكترونات عن طريق دائرة خارجية وتتحول إلى كهرباء. ويسمى المثال في هذا الشكل الذي يستخدم الهيدروجين والأكسجين خلية وقود.

وعندما يتحدث الخبراء عن أزمات الطاقة، فإنهم يشيرون إلى مشكلة استنزاف موارد الطاقة أو عدم كفاية توزيعها. فما هي موارد الطاقة؟ مورد الطاقة هو في الأساس مصدر أو طريقة يمكن عن طريقها الحصول على الطاقة. ولكننا عندما نتحدث عن موارد الطاقة في سياق استدامة الأرض، ما نعنيه عادة هو «موارد الطاقة الطبيعية»، أو مصادر الطاقة التي حصلنا عليها مباشرة من الطبيعة. وموارد الطاقة الطبيعية قد تكون مدفونة في الأرض، أو تنمو على سطح الأرض، أو تسقط من السماء.

ومع ذلك لا يتطلب إيجاد هذه الموارد وجود عمليات صناعية.

فالهيدروجين والكهرباء ليسا من موارد الطاقة. والسبب في ذلك هو أنه لا يمكن الحصول عليهما عمليًّا مباشرة من الطبيعة.

وقلة هم من يعتبرون الكهرباء مصدرًا للطاقة. ولكن من الغريب أن تجد أن كثيرين يسيئون فهم الهيدروجين. وكثيرًا ما تسمع أحدهم يقول: «الهيدروجين يمكن أن يحل مشكلة الطاقة» أو «يمكننا بناء بلد يقوم على الهيدروجين». وتستند تلك الادعاءات إلى أنه طالما أن الهيدروجين يمكن إنتاجه من التحليل الكهربائي للمياه، وطالما أن هناك إمدادات وفيرة من هذه المياه، فعندما نستخدم الهيدروجين لتلبية احتياجاتنا من الطاقة يمكننا أن نحل مشكلة الطاقة وفي ذات الوقت نُنهي أمر انبعاث المواد السامة. ولكن هذا ليس صحيحًا. فحتى لو كانت هناك إمدادات لا تنضب من الماء فإن الكهرباء لازمة للحصول على الهيدروجين من المياه، مما يضعنا مرة أخرى في موقف الحاجة إلى مورد للطاقة، لإنتاج الكهرباء. أي لا يزال يتعين علينا الاعتماد على بعض موارد الطاقة للحصول على الهيدروجين واستخدامه مصدرًا للطاقة.

ولذلك إضافة إلى الوقود الأحفوري والطاقة النووية فإن موارد الطاقة التي نعرفها تتكون من الطاقة الحرارية الأرضية (طاقة باطن الأرض) وارتفاع وهبوط المد والجزر (جاذبية القمر) وبما في ذلك جميع مصادر الطاقة التي تعمل بالطاقة الشمسية، مثل الرياح والمطر والكتلة الحيوية. إننا في الوقت الحاضر نستمد ما يقرب من 80٪ من الطاقة المستخدمة في جميع أنحاء العالم من الوقود الأحفوري، بما في ذلك النفط والفحم والغاز الطبيعي. وتمدنا الطاقة الشمسية الموجودة في صورة كتلة حيوية والطاقة المائية بنحو 15٪ من الطاقة، وتمدنا الطاقة النووية بنحو 5٪ منها. وتشكل الطاقة الحرارية الأرضية وطاقة المد وأشكال الطاقة الشمسية بعيدًا عن الكتلة الحيوية أو الطاقة الكهرومائية أقل من 1٪. ويتمثل دور مصافي النفط ومحطات توليد الكهرباء في تحويل موارد الطاقة إلى أشكال يسهل نقلها ويسهل استخدامها مثل البنزين والغاز الطبيعي المضغوط أو المسال والكهرباء. ودور المحركات والأجهزة المنزلية وأجهزة الإضاءة هو

تحويل هذه الأشكال من الطاقة إلى الشغل والحرارة والضوء، وهي أشكال نستخدمها مباشرة في «صناعة الأغراض» وممارسة «حياتنا اليومية».

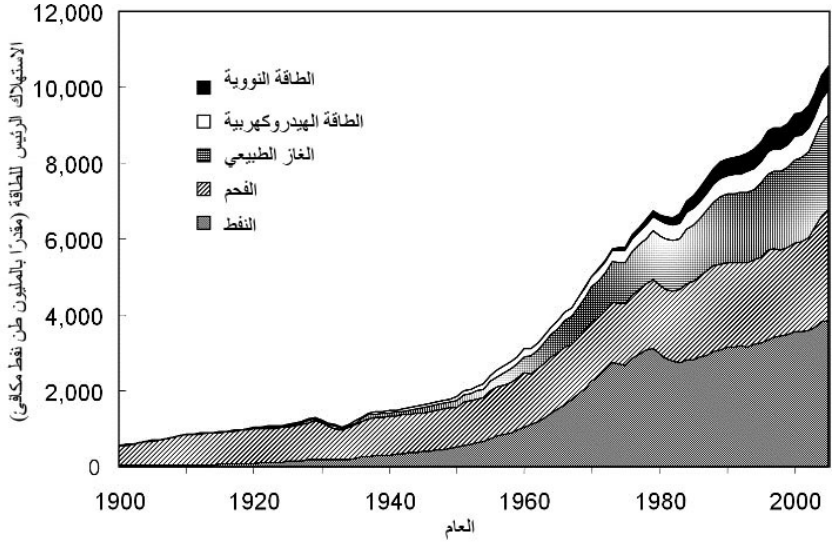
مصطلحات الطاقة:

هناك عدة طرق للتعبير عن قياسات موارد الطاقة. «تحويل الفحم» و«تحويل النفط» هي طرق عن طريقها نختار شكلًا من أشكال الفحم أو النفط، ووحدتها القياسية هي قيمة الحرارة لكل وحدة كتلة. ثم تُحوَّل كميات من موارد طاقة أخرى لازمة للقيام بقدر معين من الشغل إلى تلك الوحدات القياسية. والأرقام التي نراها في الشكل رقم 2ـ5، والتي سنراها في الجزء التالي من هذا الفصل، تستخدم شكلًا من أشكال تحويل النفط وهو طن نفط مكافئ TOE. وهناك طرق للتعبير عن الطاقة النووية والطاقة المائية بالطريقة ذاتها. ولأن معظم موارد الطاقة تستخدم الكهرباء فإننا نحتاج إلى طريقة للتعبير عن عدد وحدات «تحويل النفط»، أو وحدات «تحويل الفحم» القياسية التي تقابلها كمية معينة من الكهرباء.

وهناك طريقتان للقيام بذلك: طريقة لحساب كمية الحرارة التي يمكن إنتاجها باستخدام الكهرباء في سخان كهربي، ثم يُعبَّر عن هذا المقدار من الكهرباء من حيث كمية الوقود الأحفوري اللازمة لتوفير ذات القدر من الحرارة، والطريقة الأخرى هي حساب كمية الحرارة اللازمة لإنتاج كمية معينة من الكهرباء في محطة للطاقة الحرارية. رأينا فيما مر معنا من الكتاب أن أقل من نصف الطاقة الحرارية للوقود الأحفوري المستهلكة تتحول فعليًّا إلى كهرباء. ومقدار الوقود الأحفوري اللازمة لإنتاج مقدار معين من الكهرباء هو مقدار الكهرباء مقسومًا على كفاءة توليد محطة توليد الكهرباء. فإن كانت كفاءة التوليد 33٪ فإننا نحتاج إلى ثلاثة أمثال طاقة الوقود الأحفوري. واستخدام الطريقة الثانية يعطي تقييمًا أكثر دقة لمقدار الوقود الأحفوري الذي سنحتاجه لتلبية احتياجات الطاقة إذا كانت الطاقة كلها ستتوفر من الوقود الأحفوري. ولكن إذا

حولنا الكهرباء التي تنتجها الطاقة النووية والطاقة المائية إلى وحدات قياسية باستخدام الطريقة الأولى، فإننا سنقلل في تقدير كمية الطاقة النووية والطاقة الكهرومائية المستخدمة. ومقدار استهلاك الطاقة الأولية الذي توفره محطات الطاقة النووية ومحطات الطاقة الكهرومائية في الشكل رقم 2ـ5 نحصل عليه بقسمة الكهرباء التي يوفرها المصنع على كفاءة توليد الطاقة 0.33 وهو المتوسط العالمي لمحطات توليد الكهرباء الحرارية.

هناك طريقة أخرى للتعبير عن قياس موارد طاقة وهي تحويله إلى وحدات من الكربون. في هذه الطريقة يُعبَّر عن كل مورد طاقة بمقدار الكربون الذي يحتويه المورد. ولذلك فإن هذا الأسلوب لا ينطبق إلا على الوقود القائم على الكربون، ولا يمكن استخدامه لموارد طاقة مثل الطاقة النووية والطاقة المائية. وهذه الطريقة لا يمكن أن تقارن بدقة موارد الطاقة التي تنتج قيمًا حرارية كبيرة لكل وحدة من الكربون، موارد مثل الغاز الطبيعي مع موارد طاقة مثل الفحم، تتسم بالكثافة العالية من الكربون. ومع ذلك نظرًا لأن الاحتباس الحراري ناجم



الشكل رقم 2ـ5: الاستهلاك العالمي للطاقة من عام 1900م إلى عام 2008م (بيانات من مراجعة BP الإحصائية للطاقة العالمية 2007م)

أساسًا عن ثاني أكسيد الكربون، يمكننا عن طريق تحويل موارد الوقود الأحفوري إلى وحدات الكربون أن نعبر مباشرة عن تأثير حرق هذه الموارد على الاحتباس الحراري. في هذا الكتاب، عند الإشارة إلى قيم دقيقة من كميات الطاقة، سنستخدم وحدات تحويل النفط. وفي جميع الحالات الأخرى سنستخدم وحدات تحويل الكربون.

2 – فيم تُستخدم الطاقة؟

الاستهلاك العالمي للطاقة هو طن واحد للفرد في السنة:

في الشكل رقم 2–5 نرى كيف كانت الزيادة الكبيرة في استهلاك الطاقة في القرن العشرين، وهي زيادة تقارب 20 مِثْلًا. تصل كمية الوقود الأحفوري المستهلَك سنويًّا اليوم (نحو 80٪ من إجمالي استهلاك الطاقة) إلى نحو 7.5 مليار طن عند تحويلها إلى وحدات الكربون. ولأن عدد سكان العالم الحالي يزيد على 6.5 مليار نسمة فإن متوسط استهلاك شعوب العالم للطاقة من الوقود الأحفوري في مطلع القرن كان يزيد قليلًا على طن واحد لكل شخص في السنة.

فماذا عن إحصائيات اليابان في هذا الشأن؟ يبلغ عدد سكان اليابان نحو 125 مليون نسمة، وتستهلك نحو 350 مليون طن من الوقود الأحفوري، لذلك يبلغ نصيب الفرد من استهلاك الوقود الأحفوري 2.7 طن. ترسَل جميع أنواع الوقود الأحفوري المستوردة إلى اليابان كل عام إلى مصافي النفط ومحطات توليد الكهرباء وشركات الغاز.

والتوزيع الحالي هو 60٪ لمصافي النفط و25٪ لمحطات توليد الكهرباء و5٪ لشركات الغاز. أما ما تبقى من الوقود الأحفوري فهو الفحم المستخدم لصناعة الحديد والصلب. ومصافي النفط ومحطات توليد الكهرباء وشركات الغاز لا تستخدم الطاقة بذاتها، بل توصلها إلى الأماكن التي تحتاج إليها في أعمال «الحياة اليومية» و«صناعة الأغراض». فكيف تستخدم كل هذه الطاقة؟ وللإجابة عن هذا السؤال سنحتاج إلى بيانات عن توزيع استخدام الطاقة في

جميع بلدان العالم. ومما يؤسف له أن هذه المعلومات غير متاحة، حتى في كثير من البلدان المتقدمة.

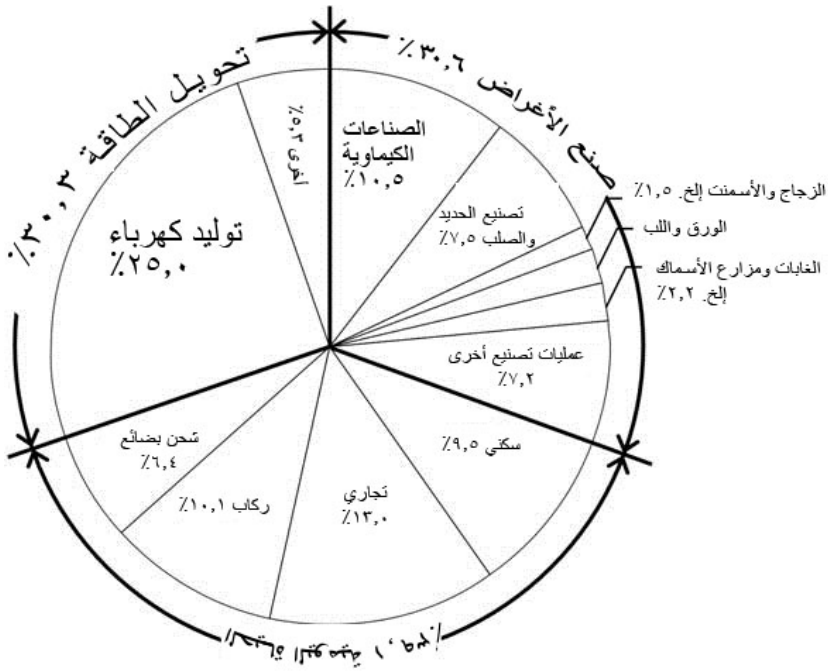
واليابان واحدة من البلدان القليلة التي لديها بيانات عن توزيع استخدام الطاقة، لذلك سنوضح مفاهيم استخدام الطاقة لأعمال «الحياة اليومية» عن طريق هذه البيانات.

ويبين الشكل رقم 2ـ6 توزيع استخدام الطاقة في اليابان. أماكن الأعمال «الحياة اليومية» هي المنازل وتمثل 9.5٪، والمكاتب وتمثل 13.0٪، ووسائل النقل وتمثل 16.5٪ أو ما مجموعه 39٪ من استهلاك الطاقة. وتستهلك الصناعة، أي «صناعة الأغراض»، 31٪، وتستهلك 30٪ في تحويل مختلف أشكال الطاقة إلى منتجات للكهرباء ومنتجات تكرير النفط. والآن دعونا ندرس فيما يلي كيفية استخدام الطاقة في كل من هذه الأعمال.

استخدام الطاقة في ممارسة «حياتنا اليومية»:

نستهلك الطاقة في أداء أعمال «حياتنا اليومية» في المنازل وأماكن العمل والنقل. وتكاد الطاقة المستهلكة في المنازل تتألف بالكامل من الكهرباء والغاز والكيروسين. وتُستخدَم في الطهي وتسخين المياه وتشغيل الأجهزة الكهربائية وتدفئة المنزل أو تبريده. ولا يختلف استهلاك الطاقة في المكاتب وأماكن العمل الأخرى اختلافًا كبيرًا، رغم وجود بعض الاختلاف في طريقة توزيع استخدام الطاقة، مع زيادة استهلاك الكهرباء في مكان العمل لوجود الحواسيب وآلات النسخ.

وتعمل الثلاجات والغسالات والمكانس الكهربائية عن طريق استخدام الكهرباء لدفع محرك. وتشكل هذه الاستخدامات للطاقة إلى جانب الإضاءة وأجهزة التلفاز نحو ثلث إجمالي استهلاك الطاقة من أعمال «الحياة اليومية» في المنازل. وقرابة ثلث آخر يُستخدَم للتدفئة والتبريد، وأما الثلث الأخير فيُستخدم لتسخين الماء وإعداد الطعام. ومن إجمالي الاستهلاك المنزلي



الشكل رقم 2–6: توزيع استهلاك الطاقة في اليابان (بيانات من سوجو إنيروجي توكي 2005م، الوكالة اليابانية للموارد الوطنية والطاقة)

للكهرباء والثلاجات ومكيفات الهواء والأضواء، كلٌّ على حدة يستهلك نحو 20٪.

وتشمل وسائل النقل التي تستخدم الطاقة سيارات الركاب والشاحنات والحافلات والقطارات والطائرات والسفن وما شابه. وفي اليابان يمثل بنزين سيارات الركوب أكثر من 50٪ من إجمالي استهلاك الطاقة للنقل، سواء النقل الشخصي أو التجاري. وأكبر حصة بعد ذلك هي لنسبة 35٪ التي تستخدمها مَرْكبات الشحن للنقل التجاري والشخصي، لا سيما الشاحنات. وتشكل وسائل النقل الأخرى، مثل الطائرات والسفن وسيارات الأجرة والحافلات والقطارات، أقل من 15٪. لذلك حتى لو افترضنا أن الطاقة المستخدمة في النقل هي مجرد الكمية المستخدمة في السيارات والشاحنات فإن خطأنا سيكون يسيرًا.

ملاحظات: البيانات من عام 2007م. الطاقة المستهلكة في «تحويل الطاقة» هي في الغالب الطاقة الموجودة في محطات توليد الكهرباء التي لا تتحول إلى كهرباء، أو التي تُستخدم داخليًّا في المصنع.

إنتاج المواد الأساسية هو جوهر التصنيع:

يمكننا أن نتصور بسهولة كيف تستهلك الطاقة في ممارسة «حياتنا اليومية»، ومع ذلك قد يكون تخيل استهلاك الطاقة في التصنيع أصعب إلى حد ما.

ومجال التصنيع الذي يستهلك معظم الطاقة هو صناعة الحديد والصلب، يليه إنتاج المواد الكيميائية مثل البلاستيك والمعادن غير الفلزية مثل الزجاج والأسمنت والورق واللب. وفي اليابان تمثل هذه الصناعات وحدها أكثر من 60٪ من الطاقة المستهلكة في الصناعة.

أي أن معظم استهلاك الطاقة في الصناعات يُستخدم لتغيير الموارد الطبيعية إلى مواد التصنيع الأساسية مثل الحديد والأسمنت والزجاج والورق والبلاستيك والألياف الصناعية والمطاط. ومقدار الوقود الأحفوري اللازم لإنتاج طن واحد من المواد هو 600 كجم للحديد وطن واحد للبلاستيك و100 كجم للأسمنت و200 كجم للزجاج و300 كجم للورق كما مر بنا من قبل. وهذه هي طبيعة استهلاك الطاقة في التصنيع. واحتراق الوقود الأحفوري في التدفق العالمي للمواد الأساسية، الذي بحثناه في الفصل السابق، يمثل تقريبًا جميع الطاقة المستهلكة في «صناعة الأغراض». ولعلكم لاحظتم معي أننا في سردنا لقائمة الصناعات التي تستهلك أكثر الطاقة لم نضمِّن الشركات المصنعة للسيارات والمعدات الثقيلة والأجهزة المنزلية.

كذلك الحال بالنسبة إلى شركات البناء والهندسة المدنية. والسبب في ذلك أنه بالمقارنة مع الطاقة المستخدمة في إنتاج المواد الأساسية يُستهلَك القليل جدًّا من الطاقة في مصانع التجميع ومواقع البناء.

ولننظر معًا في السيارة مثالًا لذلك. فأكبر استهلاك للطاقة في عمر السيارة

هو البنزين المستخدَم لدفعها، يَتْبَعه استهلاك الطاقة المستخدمة في إنتاج المواد الأساسية للسيارة مثل الحديد والبلاستيك. وهـذه المواد تشتريها شركات السيارات وتعمل على تجميعها في شكلها النهائي. ولكن الطاقة المستهلكة لتشكيل المواد وتجميعها ضئيلة ضآلة تثير الدهشة. ووفقًا لأحد التقديرات فإنه قد وُجِدَ أن من إجمالي الطاقة المستهلكة للسيارة منذ إنتاجها إلى مرحلة التخلص منها هناك نسبة قدرها 79٪ تكون من نصيب استخدام البنزين لدفعها ونسبة قدرها 14.5٪ تكون من نصيب المواد الأساسية المستخدمة لصناعتها، ونسبة لا تتعدى 4.5٪ تكون من نصيب التجميع، ونسبة قدرها 2٪ تكون من نصيب صيانتها وإصلاحها والتخلص منها.

وكثيرًا ما نرى رافعاتٍ عملاقةً في مواقع البناء مع تطاير شرر أثناء قيام العمال بلحام الأجزاء معًا، ونرى على شاشة التلفاز مشاهد من المصانع تستخدم الروبوتات وأحزمة ناقلة في خطوط التجميع. ولكن مقدار الطاقة المستهلكة في هذه المراحل من «صناعة الأغـراض» ضئيل ضآلة تثير الدهشة. ولتحديد المنتجات التي تستهلك أكبر قدر من الطاقة في تصنيعها، بدلًا من عناء جمع مقادير الطاقة التي تستخدمها الصناعات المختلفة لتشغيل الآلات والمرافق، من الأسهل والأكثر دقة مقارنة الطاقة المستهلكة لإنتاج المواد الأساسية المستخدَمة في صناعة المنتجات. فعلى سبيل المثال، في اليابان نحو 50٪ من الحديد المنتج يُستخدم في تشييد المباني والجسور و16٪ في صناعة السيارات. فيمكننا أن نستنتج أن بناء المباني والجسور يستهلك نحو ثلاثة أمثال طاقة تصنيع السيارات. وتُنتَج المواد الأساسية لصناعة الأغراض التي نستخدمها نحن المستهلكين، وإنتاج هذه المواد الأساسية هو الذي يستهلك الجزء الأكبر من الوقود الأحفوري في تصنيعها.

فقدان الطاقة في قطاع تحويل الطاقة:

تشكل محطات توليد الكهرباء ومصافي النفط وشركات الغاز الأطراف الرئيسية في قطاع تحويل الطاقة. والغرض من هذا القطاع هو تغيير الطاقة إلى

أشكال يَسْهُل على المستهلكين استخدامُها. ولكن لا سبيل إلى تحويل 100٪ من أحد أشكال الطاقة المفيدة مثل الشغل إلى آخر مثل الكهرباء. فأثناء أي تحويل للطاقة من شكل مفيد إلى آخر ستتحول دائمًا بعض الطاقة إلى سخونة في درجة الحرارة المحيطة ولا سبيل إلى استخدامها. ونتيجة لذلك يُستهلك جزء من موارد الطاقة في قطاع تحويل الطاقة. وقد رأينا في وقت سابق كيف تطلق محطات توليد الكهرباء الحرارية التي تعمل بالوقود الأحفوري أكثر من نصف الطاقة الكيميائية للوقود في البحر أو الجو. إضافة إلى أنه تُستهلَك نسبة مئوية من الكهرباء المولدة في تشغيل محطة توليد الكهرباء ذاتها.

وفي حالة محطات الطاقة النووية تكون كفاءة توليد الطاقة أقل، مما يؤدي إلى فقدان الطاقة بنسبة 70٪ تقريبًا.

وتختلف نسبة الكهرباء المستهلكة في تشغيل محطات توليد الكهرباء في جميع أنحاء العالم وفقًا لعدد من العوامل، منها كفاءة تشغيل المصنع والتقنيات المستخدمة للسيطرة على التلوث. فعلى سبيل المثال، في محطات توليد الكهرباء اليابانية التي تعمل بالوقود الأحفوري، تكون نسبة الكهرباء التي تستهلكها المحطة ذاتها مرتفعة نسبيًا، لأن جميع محطات توليد الكهرباء اليابانية تقريبًا تستخدم عمليات مستهلِكة للطاقة لنزع أكاسيد الكبريت وأكاسيد النيتروجين والرماد المتطاير من غاز الاحتراق. في عام 1990م كان عدد تلك المحطات على مستوى العالم يناهز 2360 تعمل بمعدات نزع الكبريت و490 محطة نزع النيتروجين، كان منها في اليابان وحدها 1800 محطة نزع كبريت و350 محطة نزع نيتروجين. واليابان دولة لا تمثل أكثر من 5٪ من استهلاك الطاقة في العالم ولا تملك أكثر من 5٪ من محطات توليد الكهرباء في العالم، وتعمل على تشغيل أكثر من 70٪ من محطات توليد الكهرباء في العالم بمرافق لمعالجة غاز الاحتراق. وهكذا يبدو من الإنصاف أن نقول إن اليابان في عام 1990م كانت هي الدولة الوحيدة التي كانت تشهد عمليات ضخمة لنزع الكبريت ونزع النيتروجين بمحطات توليد الكهرباء.

من الواضح أن التخلص من جميع معدات نزع الكبريت ونزع النيتروجين قد يزيد من كفاءة محطة توليد الكهرباء التي تعمل بالوقود الأحفوري. ولكن هذا ليس حلًا منطقيًّا. فيجب أن نكون حذرين في ذلك حتى لا نتبنى أساليبَ تزيد الكفاءة لتوجِد أنواعًا أخرى من المشاكلات.

منذ التسعينيات، كم من البلدان الأخرى عملت على تنظيف ما لديها من محطات توليد الكهرباء؟ يبين الشكل رقم 2ـ7 مقدار انبعاثات أكاسيد الكبريت في المتوسط لكل وحدة من الكهرباء المولدة في عامي 1999م و2002م من محطات توليد الكهرباء الحرارية التي تستخدم الوقود الأحفوري في عدة بلدان مختلفة. وقد خفضت معظم البلدان الموضحة انبعاثات أكسيد الكبريت، فها هي ألمانيا صار ينبعث منها الآن أقل من جرام واحد من أكاسيد الكبريت لكل كيلو واط ساعة من الكهرباء. ومع ذلك حتى في ألمانيا، لا تزال المحطات التي تعمل بالوقود الأحفوري تطلق أكثر من ثلاثة أمثال التلوث الذي تطلقه المحطات اليابانية. وعندما تذوب أكاسيد الكبريت وأكاسيد النيتروجين في الماء فإنها تتحول إلى حمض الكبريتيك وحمض النيتريك، وهما نواة الأمطار الحمضية. لذا فليس من المستغرب أن تكون آثار الأمطار الحمضية على النظم البيئية أكثر خطورة في أمريكا وأوروبا منها في اليابان، رغم أن الأمطار الحمضية الأخيرة من الصين وغيرها من بلدان شرق آسيا ـ التي تشهد تحولًا سريعًا نحو الصناعة ـ أصبحت تمثل لليابان مشكلة خطيرة.

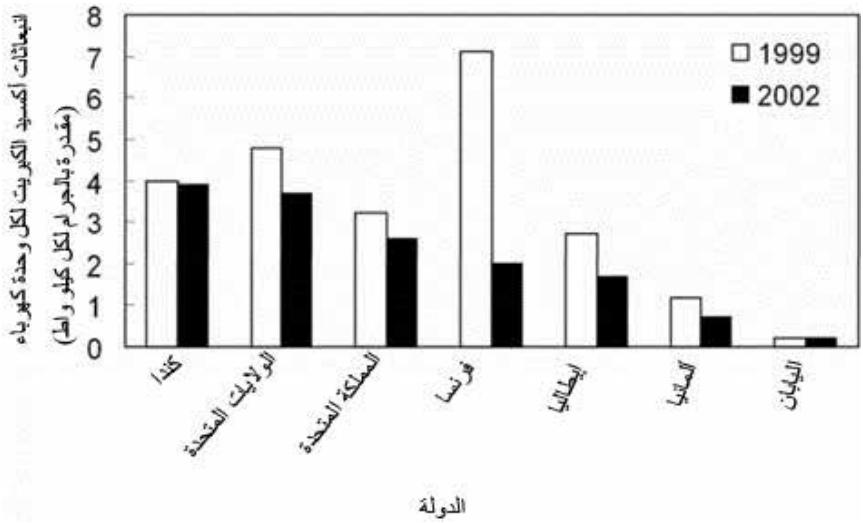
ويتمثل دور مصافي النفط في فصل النفط إلى منتجات مثل البنزين والكيروسين والنفط الخفيف والزيت الثقيل، ثم توزيع تلك المنتجات على الأماكن التي تُستخدَم فيها. وتفاوتت نسبة الطلب على المنتجات المختلفة المكونة للنفط حسب المرحلة الزمنية والبلد. فعلى سبيل المثال في اليابان، خلال عصر النمو الاقتصادي السريع بعد الحرب العالمية الثانية، الذي ركز على الصناعات الثقيلة والمصانع الكيميائية، كان هناك طلب كبير على النفط الثقيل. وفي ذلك الوقت حُوِّل نحو نصف واردات النفط إلى زيت ثقيل. ومع

ذلك، وفي أعقاب تلك الحقبة، ونتيجة للتقدم الصناعي في الحفاظ على الطاقة وزيادة استخدام السيارات، زاد الطلب النسبي على البنزين. والآن أكثر من 25٪ من النفط المستورد تحول إلى بنزين.

وتستوعب مصافي النفط هذه التغيرات في الطلب عن طريق تعديل نسبة المكونات في المنتج النهائي. ومثله مثل كل أنواع الوقود الأحفوري الأخرى، يتكون النفط أساسًا من الكربون والهيدروجين، حيث إن منتجات التكرير المختلفة لها نسب مختلفة من الكربون والهيدروجين. فالنفط الثقيل على سبيل المثال يحتوي على كمية أكبر من الكربون، في حين يحتوي البنزين على كمية أكبر من الهيدروجين. ونتيجة للتحول في الطلب من النفط الثقيل إلى البنزين فإن معظم منتجات التكرير تحتوي الآن على المزيد من الهيدروجين عن النفط الخام. لزيادة نسبة الهيدروجين يُحرَق جزء من النفط، ومع الطاقة المنتجة يُستخرَج الهيدروجين من الماء ويضاف إلى النفط. وباستخدام الهيدروجين المضاف يمكن زيادة كمية البنزين، ولتنفيذ ذلك يجب أن تستهلك مصافي النفط الطاقة اللازمة لها. ويُعبَّر عن معدل استهلاك هذه الطاقة بشكل عام في صورة جزء من الطاقة الكيميائية للنفط الخام الذي يدخل المصفاة، والذي سيظل محفوظًا داخل الطاقة الكيميائية للمنتجات. وبالنسبة إلى مصافي التكرير الحديثة يبلغ هذا القدر نحو 95٪. أو بعبارة أخرى، يُستهلَك نحو 5٪ من النفط الذي يمر عبر مصفاة لتكرير النفط في التكرير. وهذه الخسارة أصغر بكثير من فقدان طاقة الوقود في محطة توليد الكهرباء، ومن ثم فإن إنتاج الوقود مثل البنزين والكيروسين أقل استهلاكًا للطاقة من توليد الكهرباء.

ويتمثل الدور الحالي لشركات الغاز ببساطة في توزيع الغاز الطبيعي على المستهلكين.

ولكن إن أمكن جعل أنظمة التوليد المشترك أكثر كفاءة، على سبيل المثال عن طريق تطبيق خلايا الوقود، فيمكن لشركات الغاز أن تؤدي دورًا مهمًّا في نشر هذه التكنولوجيا عن طريق توفير شبكات إمداد الوقود اللازمة.



الشكل رقم 2–7: مقارنة انبعاثات أكسيد الكبريت من محطات توليد الكهرباء الحرارية (بيانات من شركة طوكيو للطاقة الكهربائية)

ويبين الشكل رقم 2–6 الطاقة المستهلَكة في أعمال «الحياة اليومية» و«صناعة الأغراض» في اليابان إلى جانب الكمية المستهلَكة خلال تحويل الطاقة كما هو موضح أعلاه. ويكاد يكون كلُّ الطاقة المستهلكة في تحويل الطاقة الحرارةَ المفقودة في البيئة أثناء توليد الكهرباء. والطاقة التي حُوِّلت إلى أشكال سهلة الاستخدام مثل الكهرباء والبنزين والكيروسين والغاز الطبيعي ـ والتي تستخدم في أعمال «الحياة اليومية» و«صناعة الأغراض» ـ يستهلك كل منها ما يقرب من نصف تلك الطاقة. ومن ثم فإننا نرى العديد من الطرق التي تُستهلَك الطاقة بها في أعمالنا لتمدنا بالمنتجات والخدمات التي نستخدمها كل يوم.

3 ـ الطاقة تتحلل

ما هي قيمة الطاقة؟

وفقًا لقانون حفظ الطاقة فإن الطاقة محفوظة، ما يعني أن كمية الطاقة قبل التغيير وبعده تظل ثابتة. غير أن قيمة الكهرباء، التي يمكن استخدامها لتشغيل تلفاز أو مكنسة كهربائية، تختلف تمامًا عن قيمة السخونة المحيطة، وهي

السخونة عند درجة حرارة البيئة المحيطة، حتى لو كانت كمية الطاقة ثابتة. وبعبارة أخرى فإن قيمة الطاقة لا تُحدَّد بكميتها فحسب، ولكن أيضًا بفائدتها.

في ظل ظروف مثالية، يمكن لمحرك عالي الجودة تحويل ما يقرب من 100٪ من الطاقة التي تأتي في شكل كهرباء إلى شغل. وبالمثل يمكن لمولد كهربائي عالي الجودة تحويل ما يقرب من 100٪ من الطاقة التي تأتي في شكل شغل إلى كهرباء. وبالطبع يتضح من هذا أن الكهرباء والشغل لهما ذات القيمة. علاوة على أنه من الممكن تحويل ما يقرب من 100٪ من طاقة الحركة وطاقة الوضع إلى شغل. وباختصار يمكننا القول بأن الشغل وطاقة الحركة وطاقة الوضع والكهرباء وجميع أنواع الطاقة الأخرى باستثناء الحرارة جميعها لها ذات القيمة.

وتستغل المرافق الكهربائية هذه الخاصية للطاقة عن طريق ضخ المياه في اتجاه أعلى سد محطة الطاقة الكهرومائية وذلك لتخزين الكهرباء. وفي معظم البلدان المتقدمة يكون الطلب على الكهرباء نهارًا أكبر من نظيره ليلًا. غير أنه بالنسبة إلى الكثير من أشكال توليد الطاقة مثل الطاقة النووية، لا يمكن وقف تشغيل المصنع ليلًا ثم إعادة تشغيله في الصباح، لذلك يكون هناك فائض من الكهرباء ليلًا.

في ذات ذلك الوقت تُضَخ مياه مصب سد محطة توليد الطاقة الكهرومائية إلى أعلى وتخزَّن في خزان المنبع. وفي اليوم التالي، عندما يزيد الطلب على الكهرباء يُسمَح للمياه بالمرور من السد لتوليد الكهرباء. وتُضَخ المياه لأعلى باستخدام محرك مدفوع بالكهرباء الزائدة الناتجة عن محطة الطاقة النووية ليلًا، ما يضيف طاقة وضع للمياه. وتحوَّل طاقة الوضع مرة أخرى إلى كهرباء عندما تمر المياه من السد مرة أخرى.

كفاءة التحويل المثالية لهذا كله هي 100٪، لذلك يمكن استرداد 100٪ من الكهرباء الليلية التي تنتجها محطة الطاقة النووية لتوليد الكهرباء في النهار من محطة الطاقة الكهرومائية.

ولكن على أرض الواقع نجد أن نسبة 70٪ هي أفضل نسبة يمكن تحقيقها في الوقت الحالي.

إن الوصول لتحويل 100٪ بين مختلف أشكال الطاقة قد يكون ممكنًا في ظل ظروف مثالية، ولكن يتعذر تحقيقه على أرض الواقع؛ لأن في كل مرة تحوَّل فيها الطاقة يتحول جزء منها إلى حرارة. والسبب في أن الأجهزة الكهربائية مثل أجهزة التلفاز والمكانس الكهربائية والمصابيح الكهربائية تَسْخَن عندما نستخدمها هي أنه خلال تحويل الكهرباء إلى ضوء وصوت وطاقة حركية وما إلى ذلك، يتحول جزء من الكهرباء إلى حرارة. ويحدث هذا بغض النظر عما إذا كان الجهاز يُستخدَم لإنتاج الضوء أو الصوت أو الحركة أو أي غرض مفيد آخر. غير أن مقدار الكهرباء الذي يتحول إلى حرارة في الأجهزة المختلفة يختلف اختلافًا كبيرًا. ففي محطة توليد الطاقة الكهرومائية، التي تعد مثالًا للكفاءة المرتفعة، تتحول نحو 85٪ من طاقة الوضع للمياه وراء السد إلى كهرباء في حين تتحول بقية الـ 15٪ إلى حرارة. ومن ناحية أخرى، فإن مقدار الكهرباء الذي يتحول إلى ضوء عن طريق المصابيح المتوهجة لا يتعدى 2٪، وينتهي الحال إلى أن نسبة 98٪ من الكهرباء تتحول إلى حرارة.

قيمة الطاقة بوصفها حرارة:

هل يستحيل علينا استخدام الطاقة بمجرد أن تتحول إلى حرارة؟ في محطة توليد الكهرباء الحرارية، يحوَّل الوقود إلى حرارة ثم تحوَّل الحرارة إلى كهرباء. لذلك يتضح أن الحرارة يمكن أن تُستخدَم مصدرًا للطاقة، وأن هذا يقع بالفعل. ولكن قد لا تكون هناك طريقة سهلة لاستخدام الطاقة الحرارية الموجودة في الهواء حول مصباح متوهج وهي أعلى قليلًا من درجة الحرارة المحيطة. بعبارة أخرى هناك حرارة يمكن استخدامها وحرارة لا يمكن استخدامها.

وقيمة الطاقة باعتبارها حرارة أمر يَصْعُب فهمه إلى حد ما، فقد حيرت العلماء رَدْحًا من الزمن. وقد توصلوا أخيرًا إلى مبدأ من المبادئ الأساسية للديناميكا الحرارية. وهذا المبدأ هو: «السخونة بدرجة حرارة عالية بما فيه

الكفاية لها قيمة مماثلة للشغل والكهرباء وغيرها من أشكال الطاقة، ولكن مع انخفاض درجة حرارة هذه السخونة تنخفض القيمة، وحين تصل السخونة إلى ذات درجة حرارة البيئة المحيطة لا يمكن أن تُستخدَم على الإطلاق، ومن ثم فلا قيمة لها». فلكي نغلي الماء في 100 درجة مئوية نحتاج موقدًا لا تقل درجة حرارته عن 150 درجة مئوية، ولنذيب زجاجًا نقطة انصهاره 500 درجة مئوية نحتاج فرنًا درجة حرارته 600 درجة مئوية أو أكثر. وفي هذه الحالات كلما ارتفعت درجة الحرارة كان أفضل.

ويمكن وصف قيمة الحرارة بمعنى دقيق على النحو التالي: الجزء من الشغل الذي يمكن الحصول عليه من كمية السخونة عند درجة حرارة معينة T هو الفرق بين T ودرجة الحرارة المحيطة مقسومًا على T.

وبعبارة أخرى قيمة السخونة هي كمية السخونة مضروبة في $(T/ (T-T_0)$، حيث T_0 هي درجة الحرارة المحيطة. ويجب التعبير عن جميع درجات الحرارة تلك بوحدات مطلقة. ومقياس درجة الحرارة المطلق الأكثر شيوعًا هو مقياس كلفن. ولتحويل درجة حرارة من درجة مئوية إلى كلفن ما علينا إلا أن نضيف 273.

في حالة السخونة عند درجة حرارة مماثلة لدرجة الحرارة المحيطة فإن T تساوي T_0، ومن ثم تكون القيمة صفرًا. وهذا يعني على سبيل المثال أنه يتعذر توليد الكهرباء باستخدام مياه البحر والهواء وهما متساويان من حيث درجة الحرارة. وكلما ارتفعت درجة حرارة السخونة زادت قيمتها، وإذا كانت درجة الحرارة مرتفعة بلا حدود فستصبح النسبة واحدًا صحيحًا. على سبيل المثال الشمس من أسخن ما يمكن أن نتصوره، حيث إن درجة حرارة سطحها نحو 6000 درجة مئوية أو 6273 كلفن.

وباستخدام المعادلة بأعلى يمكننا حساب أن أكثر من 95٪ من سخونة درجة حرارة سطح الشمس المستخدمة في درجة الحرارة المحيطة يمكن تحويله إلى شغل.

والآن دعونا نلخص النقاط الرئيسية السابقة. تتحول موارد الطاقة من الطبيعة إلى كهرباء وبنزين وكيروسين وما إلى ذلك، وتُستَهلك هذه الأشكال من الطاقة عن طريق أعمال الإنسان من ممارسة لحياته اليومية وصنعه للأغراض المختلفة. رغم أن القول بأن استهلاك الطاقة يبدو متناقضًا مع مبدأ الحفاظ على الطاقة، ما نعنيه هو أنه في كل مرة تحوَّل الطاقة هناك جزء منها يتحوَّل إلى حرارة. وعند انخفاض درجة حرارة السخونة تدريجيًّا تنخفض قيمتها حتى تصل في النهاية إلى درجة الحرارة المحيطة وتفقد كل قيمتها. رأينا في السؤال الثالث كيف تنبعث السخونة التي تصبح في درجة الحرارة المحيطة إلى الفضاء الخارجي. ولذلك فإن الطبيعة الحقيقية لاستهلاك البشر لموارد الطاقة هي أنه عن طريق أعمال الإنسان تتحول الطاقة الكيميائية الموجودة في موارد الطاقة مثل الوقود الأحفوري ولو لعدة مرات، وفي كل مرة يحدث فيها هذا التحول يصير جزء من الطاقة حرارة محيطة تنبعث في النهاية إلى الفضاء الخارجي.

مع التفكير في الطاقة بهذه الطريقة نرى أن العنصر المهم لاستخدام الطاقة ليس الحفاظ على كميتها، ولكن أن الطاقة تتدهور بحيث يتعذر استخدامها. رغم أن الزيادة في كمية الطاقة في الهواء حول مصباح كهربائي متوهج هي في الأساس ذات كمية الطاقة في الكهرباء المستخدمة من قبل هذا، نجد أن الكهرباء يمكن استخدامها لأغراض مختلفة كثيرة إلى جانب إضاءة الغرفة، ولكن الطاقة في شكل الهواء الساخن قليلًا لا يمكن أن تُستخدَم لأي غرض. وهذا هو السبب في أن البشرية في حاجة ماسة إلى مواردَ جديدةٍ للطاقة. إن الوقود الأحفوري الذي نعتمد عليه في نحو 80٪ من مجموع مواردنا الحالية من الطاقة قد استنزف كما رأينا في الفصل الأول. علاوة على أن حرق الوقود الأحفوري يطلق ثاني أكسيد الكربون الذي يؤدي إلى الاحتباس الحراري.

وقد يتمثل أحد الحلول لتغيير اعتمادنا على الوقود الأحفوري في الطاقة المتجددة أو الطاقة النووية. غير أن هناك أيضًا مشكلات مرتبطةً باستخدام تلك الموارد للطاقة. ومن المؤكد أن تطوير موارد الطاقة البديلة أمر مهم، ولكن

الاستعاضة الكاملة عن الوقود الأحفوري بالطاقة المتجددة بحلول منتصف القرن الحادي والعشرين ربما لا تكون ممكنة من الناحية التكنولوجية، ناهيك عن الإمكانات الاقتصادية. ومن ناحية السلامة فسيكون من الأفضل إبقاء اعتمادنا على الطاقة النووية في أضيق الحدود.

فما هي الطرق الممكنة التي بقيت لنا؟ سنقترح في هذا الكتاب أهدافًا متوسطة وطويلة الأجل كما يلي: تتمثل الأهداف متوسطة الأجل في 1) وضع خطة لتمديد العمر الافتراضي لموارد الوقود الأحفوري عن طريق الحد من كمية الطاقة المستخدمة بتحسين الكفاءة و(2 وضع الأسس لبناء نظم الطاقة المتجددة. وبمجرد أن نحقق هذه الأهداف متوسطة الأجل يجب أن نهدف إلى التحول الكامل للطاقة المتجددة على المدى الطويل.

وفي الجزء التالي من هذا الفصل سنرى بشكل ملموس ما يعنيه تحسين كفاءة الطاقة.

4 ـ تحسين الكفاءة

حرق حقول النفط مقابل تدفئة المنازل:

تخيل أن حقل نفط في الصحراء شبت فيه النيران واحترق ما به من نفط. يتحول النفط إلى ثاني أكسيد الكربون وماء، وفي الوقت ذاته تتولَّد حرارة شديدة. هذه الحرارة ترفع في البداية درجة حرارة الهواء المحيط، ولكن في النهاية تنتشر الحرارة إلى أن تصبح غير ملموسة. النفط يتحول إلى حرارة، والحرارة تُسخن الهواء المحيط بقدر ضئيل. وهكذا تُحفظ الطاقة، ولكن لا يمكن استخدام هذه الطاقة المتولدة لتسخين مبنى أو قيادة سيارة. ومن منظور أعمال الإنسان فإن طاقة ذلك النفط قد أُهدِرَت تمامًا.

الآن انظر فيما يحدث إذا حاولنا تدفئة أنفسنا باستخدام موقد النفط في حقل مفتوح في ليلةٍ شاتية. يُحرق النفط فيتحول إلى حرارة ويدفئ الهواء المحيط قليلًا، وهو ذات ما يحدث في حرق حقل النفط، ولكن هذه التدفئة القليلة تصل

إلى حد أننا يمكن تدفئة أنفسنا بحرارة الموقد، ما يعني أننا نستمد بعض المنافع من الطاقة الكيميائية للنفط الذي يُستهلَك.

وبالطبع يجب علينا نصب خيمة أو ما شابه إذا كان ذلك ممكنًا لجعل هروب الحرارة أكثر صعوبة، ومن ثم تقليل كمية النفط التي يجب علينا حرقها للحفاظ على الدفء.

عندما ندفئ منزلنا بموقد النفط إلى الحد الذي نقوم فيه بحرق النفط فقط، فإن الوضع يكون هو ذاته مثل حرق حقل النفط، أو حرق النفط في الموقد في حقل مفتوح.

ومع ذلك عن طريق حرق النفط في موقد منزل حَسَنِ العزل يمكننا تحقيق هدف تدفئة أنفسنا باستخدام كمية نفط أقل بكثير. وهذه هي النقطة الأساسية لاستخدام الطاقة بكفاءة: يجب أن نستخدم الحد الأدنى الممكن من مورد الطاقة لتحقيق هدف معين.

مدى واسع للكفاءة:

استنادًا إلى الأفكار السابقة دعونا ننظر أي أنواع نظم تدفئة الغرفة يتمتع بأعلى كفاءة في استخدام الطاقة.

يمكننا تسخين غرفة باستخدام سخان كهربي، وفي هذه الحالة فإن السخان سوف يُنتج حرارة بذات كمية الكهرباء المستهلكة. فأيهما أكثر كفاءة السخان الكهربي أم موقد النفط؟ وللإجابة عن هذا السؤال يجب علينا تحديد الاختيار الذي يستهلك أقل موارد للطاقة. موقد النفط يستهلك النفط لإنتاج الحرارة، والسخان الكهربي يستهلك الكهرباء. ولكن كما رأينا سابقًا، الكهرباء ليست موردًا للطاقة. لإنتاج الكهرباء المستخدمة في سخان كهربي يجب حرق الوقود الأحفوري في محطة توليد الكهرباء. ولذلك يجب علينا مقارنة كمية النفط المستهلكة في محطة توليد الكهرباء لإنتاج الكهرباء التي يستخدمها سخان كهربي مع كمية النفط المحترقة في موقد النفط. فحتى محطات توليد الكهرباء

الحديثة التي تعمل بالنفط لا تحول سوى نحو 40٪ من الطاقة الكيميائية في النفط إلى كهرباء، ثم بعد ذلك يجب توصيل الكهرباء إلى منزلك، مما يؤدي إلى خسارة إضافية. لذلك فإن كفاءة السخان الكهربي تبلغ 40٪ فقط من كفاءة موقد النفط.

وفي الآونة الأخيرة انتشرت وحدات تكييف الهواء التي يمكن أن تسخّن غرفة أو تبردّها بالكهرباء. قد تظن أن هناك سخانًا كهربيًّا في وحدة تكييف الهواء، ولكن الأمر ليس كذلك. وسوف ننظر في تلك الآلية بالتفصيل في الفصل الخامس، ولكن يستخدم محرك في الأساس لتحويل الكهرباء إلى شغل، ويُستخدم الشغل لضخ الحرارة للغرفة من الخارج. «ضخ» الحرارة يعني أنه رغم أن درجة حرارة الهواء الخارجي أقل من الداخل، إلا أنه يمكن نقل الحرارة من الهواء الخارجي إلى الداخل. ولأن هذا يشبه الطريقة التي تُضخ بها المياه من مكان منخفض إلى مكان مرتفع، يطلق على هذا النظام «مضخة حرارية». في الصيف تستخدم وحدة تكييف الهواء مضخة حرارة لنقل الحرارة من الداخل البارد إلى الخارج الساخن. وفي فصل الشتاء يُعكَس اتجاه المضخة الحرارية، لذلك يمكن استخدام وحدة تكييف هواء واحدة لكل من التدفئة والتبريد.

ويمكن للمضخة الحرارية نقل كمية من الحرارة من مكان ذي درجة حرارة منخفضة إلى مكان ذي درجة حرارة مرتفعة، وهذه الكمية تكون أكثر بعدة أمثال من كمية الكهرباء المستهلكة. ومن بين وحدات تكييف الهواء الحديثة ذات الكفاءة العالية، هناك طراز للاستخدام المنزلي يمكن أن يوفر كمية من الحرارة في غرفة بأكثر من سبعة أمثال كمية الكهرباء المستهلكة. وكفاءة تحويل النفط إلى كهرباء تبلغ 40٪، ومن ثم فإن مضخة الحرارة الكهربائية يمكن أن توفر ما يقرب من ثلاثة أمثال حرارة موقد النفط باستخدام ذات الكمية من الوقود الأحفوري. قد تبدو القدرة على توفير ثلاثة أمثال الحرارة باستخدام ذات الكمية من مورد الطاقة مثل السحر، ولكنها مجرد مبادئ الديناميكا الحرارية. والكثير منا يفعل ذلك عندما نشتري وحدات تكييف الهواء التي توفر التدفئة والتبريد.

إذا قارنا كفاءة السخانات من ناحية استهلاك الوقود الأحفوري فإن السخانات الكهربية لديها أدنى كفاءة، ومضخات الحرارة في وحدات تكييف الهواء لديها أعلى كفاءة، ومواقد النفط كفاءتها فيما بين هذا وذاك. في حالة السخانات الكهربية، وحتى في محطات توليد الكهرباء الحديثة التي تعمل بالنفط هناك فاقد 60٪ من الطاقة الكيميائية للنفط في صورة حرارة، لذلك فإن الـ40٪ المتبقية يمكن استخدامها لتسخين الغرفة عن طريق التحويل المباشر من الكهرباء إلى الحرارة. وبالمقارنة مع ذلك نجد أن موقد النفط الذي يحول موارد الوقود الأحفوري مباشرة إلى الحرارة هو الخيار الأفضل. وبدلًا من ذلك، بما أن كل ما نقوم به هو تحويل الكهرباء إلى حرارة، فإذا كنا نستهلك ذات الكمية من الكهرباء لتشغيل أجهزة التلفاز وأجهزة الراديو والأضواء والأجهزة الأخرى، رأينا في السؤال الأول أننا سنحصل على ذات تأثير التدفئة تقريبًا. وهذا الخيار يعطينا المزيد من الفوائد من الطاقة أكثر من مجرد تشغيل سخان كهربي.

تعمل المضخة الحرارية أيضًا على تحويل الكهرباء المستهلكة إلى حرارة، ولكنها في الوقت ذاته تضخ أضعاف الحرارة من الهواء الخارجي إلى الداخل، ومن ثم فإن الكفاءة أعلى مما سبق. ويوضح هذا المثال كيف يمكننا، عن طريق التكنولوجيا المحسنة، أن نخفض موارد الطاقة اللازمة لتحقيق هدف معين. فبمجرد جزء ضئيل من النفط الذي نستخدمه لتدفئة أنفسنا بموقد النفط في شتاء بارد، يمكننا تشغيل نظام التدفئة الذي يدفئ الغرفة بشكل مريح وباستخدام مضخة الحرارة.

في الواقع، يمكننا استخدام التكنولوجيا للحد من الطاقة المستخدمة في التدفئة والتبريد بما هو أكثر من ذلك. ومن طرق ذلك تحسين العزل لمنازلنا باستخدام العزل عالي الأداء في الجدران والأرضيات والسقوف وبتثبيت نوافذ مزدوجة. ومع تحسين عزل منازلنا نقلل الطلب على الطاقة للتدفئة والتبريد. في جبال روكي، على ارتفاع 1500 متر، بُنِيَ منزل حَسَن العزل يعيش فيه الناس دون استهلاك أي موارد من الوقود الأحفوري للتدفئة والتبريد.

وهناك طرق أخرى للحد من الطاقة المستخدمة في التدفئة والتبريد تشمل تركيب مبتكر للنوافذ تحت أسطح طويلة ومنحدرة، بحيث إنه في فصل الشتاء عندما تكون الشمس منخفضة في الأفق تضيء أشعة الشمس المنزل وتدفئه، ولكن في الصيف، عندما تكون الشمس أعلى، فإن الغرف تكون مظللة عن طريق السقف المتدلي. وزرع أشجار متساقطة الأوراق على الجانب الجنوبي من المنزل هو وسيلة أخرى لتوفير الطاقة، لأن في الصيف تحجز الأوراق ضوء الشمس، بينما في فصل الشتاء عندما تسقط الأوراق تضيء أشعة الشمس في المنزل. واستخدام المراوح لدفع الهواء في مبنى يمكن أن يقلل من حِمل التبريد إلى حد كبير في الصيف. وفي الواقع عن طريق تصميم مبنى بطريقة صحيحة يمكن حث الاندفاع الطبيعي للهواء، بحيث لا نحتاج إلى استخدام المراوح.

رغم أن مثال «حرق حقول النفط» مبالغ فيه من ناحية أن يُحرَق مورد الوقود الأحفوري وينتهي فقط بتسخين البيئة بكمية غير محسوسة، نجد أنه لا يوجد فرق من حيث المبدأ بين حرق النفط في حقل مفتوح وتدفئة منزل حَسَن العزل. غير أن مقدار موارد الطاقة المستهلكة للحصول على ذات مقدار الفائدة يختلف اختلافًا كبيرًا تبعًا للطريقة المستخدمة. وفي ضوء ذلك يمكننا أن نرى أن هناك ثلاث طرق لزيادة كفاءة استخدام الطاقة لتقليل كمية الموارد المستهلكة. أولًا، باستخدام أجهزة مثل المضخة الحرارية، يمكننا تقليل كمية من موارد الطاقة المستهلكة لتوفير بعض الخدمات مثل التدفئة، تلك الموارد التي كانت ستفقد في نهاية المطاف في صورة حرارة محيطة. ثانيًا، يمكننا أن نحاول أن نفعل أشياء كثيرة قدر الإمكان بالطاقة قبل أن تنتقل إلى الحرارة المحيطة، مثل تشغيل أجهزة التلفاز والأضواء لتسخين الغرفة. ثالثًا، يمكننا تقليل كمية الطاقة المطلوبة لتلبية احتياجاتنا، على سبيل المثال عن طريق عزل منازلنا وتصميم المنازل للحصول على الاستخدام الأمثل لأشعة الشمس والحد من الطاقة اللازمة لتدفئة بيوتنا.

وبهذه الطرق يمكننا رسم خطة لزيادة كفاءة استخدام الطاقة لتوفير موارد الوقود الأحفوري عن طريق التكنولوجيا.

ومن منظور الكفاءة فإن هناك مجالًا كبيرًا لتحسين الطرق التي تستخدم بها الطاقة. وفي الفصلين الثالث والرابع من هذا الكتاب سنرى مدى إمكانية الحفاظ على الطاقة عن طريق زيادة الكفاءة.

الفصل الثالث
حد كفاءة الطاقة

1 ـ الخطوات التمهيدية لأعمال الإنسان

ما هو مقدار الطاقة التي يمكن حفظها نظريًّا؟ للإجابة عن هذا السؤال علينا أولًا أن نعرف الحد الأدنى من الطاقة المطلوبة للقيام بأمر معين. والفرق بين ذاك الحد الأدنى ومقدار الطاقة المستهلكة حاليًا للقيام بأمر بعينه ـ نظريًّا ـ سيكون الحد الأقصى لحفظ الطاقة. وبتطبيق مبادئ الميكانيكا والديناميكا الحرارية نستطيع الحصول نظريًّا على قيمة تلك الطاقة المحفوظة. ومن طرق تحقيق هذا الغرض حساب الحد الأدنى من الطاقة نظريًّا لكل نسبة طاقة يستهلكها كل عمل من أعمال الإنسان، مثل إنتاج الصلب وصناعة البلاستيك واستخدام مكيفات الهواء، إضافة إلى الثلاجات والسيارات. ومع ذلك فإن هذا الأسلوب سيتطلب إجراء دراسات على عدد لا حصر له من أعمالنا. ولذلك فلنجرب أسلوبًا آخر هنا. سنقسم أعمال الإنسان المعقدة إلى خطوات أولية، ثم نجري دراسة على تلك الأعمال نسعى عن طريقها إلى حفظ الطاقة كتسلسل لهذه الخطوات الأولية.

دعونا، على سبيل المثال، ننظر في صناعة البلاستيك باستخدام مشتقات النفط. وهي عملية تتألف مما يلي:

ـ النفط الذي يضخ من حقول النفط يُنقَل عبر أنابيب إلى الميناء، ثم يُحمَّل في

ناقلة، ثم يشحن إلى المنطقة التي تجري فيها صناعة البلاستيك، ومن ثم يُنقَل مرة أخرى عبر أنابيب إلى مصفاة.

- داخل المصفاة، يُحلَّل النفط الخام إلى عدة عناصر مثل البنزين والكيروسين والنفط الثقيل. ومن بين تلك العناصر النافثا، وهي المادة الخام لصناعة البلاستيك.
- تُسخَّن النافثا داخل فرن احتراق، وعن طريق تفاعل كيميائي يسمى الانحلال الحراري، أو التكسير الحراري، تتكون مركَّبات مثل الإيثيلين والبروبيلين.
- يبرَّد الناتج عن التكسير الحراري إلى نحو 100 درجة مئوية تحت الصفر، ومن ثم يُضغط ثم يسيَّل، ثم يُفصَل عن طريق التقطير إلى العديد من مكوناته من المُرَكَّبات.

وهذه المكونات المتنوعة تُستخدم في صناعة العديد من أنواع البلاستيك والألياف الصناعية. فعلى سبيل المثال نجد أن الإيثيلين، وهو أحد تلك المركَّبات، يوضَع تحت ضغط عال ثم يحوَّل، عبر تفاعل كيميائي يسمى التبلمر، إلى حبيبات من الجزيئيات تسمى البولي إيثيلين.

بعد ذلك تذاب ثم تقولب جزيئات البولي إيثيلين تلك لصناعة منتجات البولي إيثيلين البلاستيكية والحاويات التي نراها داخل المتاجر، مثل زجاجات الشامبو وألعاب الأطفال.

وبالنظر إلى وصف طريقة صناعة البلاستيك في الفقرة السابقة نرى أن بوسعنا تقسيم تلك الطريقة إلى الخطوات الأولية التالية: النقل، ثم الفصل، ثم الحرق، ثم التسخين، ثم التبريد، ثم الضغط، ثم التسييل، ثم الإذابة، ثم التفاعلات الكيميائية، ثم أخيرًا التشكيل. وإذا ما أمعنا النظر في أعمال الإنسان المختلفة المتمثلة في صناعة الأغراض وممارسة حياته اليومية من زاوية الطاقة فسنجد أنها في الغالب يمكن أن تحلل إلى مزيج من العناصر الأولية بالتسلسل المذكور. وبوسعنا أيضًا تحليل عمل الإنسان المتمثل في صنع القهوة بالتنقيط بذات الطريقة. فصنع القهوة بالتقطير يمر بالخطوات الأولية التالية: تُنقل حبات

القهوة من مكان ما مثل البرازيل، ثم تُحمَّص، ثم تطحن، وأخيرًا يسخَّن الماء ثم يُرشَّح عبر المطحنة لصنع القهوة. ومن ثم يمكن تقسيم صنع القهوة إلى الخطوات الأولية التالية: النقل، ثم التسخين، ثم التشكيل، ثم التسخين، مرة أخرى، ثم الفصل.

وإذا استطعنا تحديد الحد الأدنى النظري لمقدار الطاقة المستخدمة في كل من تلك الخطوات الأولية فسنستطيع بسهولة إيجاد الحد الأدنى من الطاقة المستهلكة نظريًّا لأي عمل من أعمال الإنسان بالنظر إليه على أنه منظومة من الخطوات الأولية. وفيما يلي سنقدر الحد الأدنى النظري للطاقة لكل خطوة أولية.

2 ـ الخطوات الأولية للطاقة

الطاقة الناتجة عن النقل تساوي صفرًا:

دعونا أولًا ننظر في مقدار الطاقة المطلوبة، في الحالة المثلى، عندما ننقل المواد الخام والمنتجات والناس إلخ. فكأول مثال في هذا الصدد على ذلك، دعونا نتخيل أن سيارة تسير على طريق مستوية. فلكي نبدأ في تحريك السيارة نحتاج إلى طاقة، ذلك أن قانون الطاقة الكامنة ينص على أنه من أجل منح الأجسام طاقة حركة فلا بد من وجود شغل.

ومع ذلك بعد بدء تشغيل السيارة والوصول إلى سرعة سير ثابتة، فنحن نظريًا لا نحتاج إلى المزيد من الطاقة لجعلها تحافظ على حركتها. تعالوا بنا نسترجع معًا حدث التزلج السريع في دورة الألعاب الأوليمبية الشتوية الثامنة عشرة التي عُقدت في مدينة ناجانو اليابانية عام 1998م. كان مِنْ هيروياسو شيميزو، الحائز الميدالية الذهبية، بعد وصوله إلى الهدف، أن خلع نظارته الرياضية، وخلع قبعته، ثم انتظر بفارغ الصبر أن تظهر النتيجة على لوحة العرض، ثم تفحص نقاطه، ثم لوَّح بقبضته في نشوة وفرح، ثم توقف في النهاية عن الحركة عندما اعتنقه مدربه. وكل هذا حدث وهو لا يزال يتحرك، وهو الذي

لم يحرك قدمه ولو لمرة واحدة أثناء ذلك كله. ثم في دورة الألعاب الأوليمبية الشتوية العشرين التي عُقدت عام 2006م في مدينة تورينو الإيطالية، أدت شيزوكا أراكاوا حركتها المميزة المسماة «إينا باور» لتفوز بالميدالية الذهبية في التزلج على الجليد. وقد تمكن كلا اللاعبين من ذلك لضآلة احتكاك القدمين بالجليد. ولو فرضنا أن انعدم الاحتكاك بالكلية فحينها يمكن الدوران حول حلبة التزلج تلك للأبد دون تباطؤ. تدور الأقمار الصناعية التي تستخدم لأغراض الاتصالات وكذلك القمر يدور حول الأرض دون توقف، بل ها هي الأرض ذاتها تدور حول الشمس منذ نشأتها، وذلك بسبب انعدام الاحتكاك في الفضاء الخارجي.

فما الذي حدث عندما توقفت السيارة؟ حين نستخدم المكابح لإيقاف السيارة فإن طاقتها الحركية ستتحول إلى حرارة لينتهي بها المطاف إلى تدفئة الهواء قليلًا. ورأينا في الفصل السابق أن الطاقة الحركية لديها ذات القيمة مثلها مثل الطاقة المتولدة عن الوقود، ولكن إيقاف السيارة المتحركة بهذا الأسلوب يذهب بكل تلك القيمة أدراج الرياح. وهذا يشبه الطاقة التي تضيع هباء عند احتراق حقول النفط. ولكي نقلل من إهدار الطاقة الحركية قدر الإمكان نستطيع جعل السيارة تشغّل مولدًا كهربائيًّا ثم نحوِّل الطاقة إلى كهرباء. تذكرون الدراجة ذات مولد الضوء (الدينامو) التي رأيناها في الفصل السابق؟ رأينا أن تحريك دواسات الدراجة يصبح أكثر صعوبة عندما يعمل مولد الضوء، وإذا ما توقفنا عن تحريك الدواسات فستأخذ الدراجة في التوقف سريعًا، لذا نجد أن مولد الضوء يمكن أن يؤدي وظيفة المكابح.

وبدلًا من استخدام الضوء دعونا نفترض أننا خزنَّا الطاقة الكهربائية المتولدة داخل بطارية صغيرة قابلة لإعادة الشحن. حينها سنجد أن كمية هذه الطاقة الكهربائية تعادل كمية الطاقة الحركية التي فقدتها الدراجة، والتي تعادل أيضًا كمية الشغل المطلوب لجعل الدراجة تتحرك مرة أخرى. ولهذا إذا استخدمنا هذه الطاقة الكهربائية لتشغيل محرك نستطيع التسريع من وتيرة عودة الدراجة إلى سابق سرعتها قبل أن تتوقف (تذكروا أننا نفكر في الطريقة المثلى

دون حدوث احتكاك، ولكن الواقع يقول إن بعض الطاقة الحركية دائمًا ما يذهب سدى جراء أي عملية تحول). وبمجرد أن تتحول الطاقة الكهربائية مرة أخرى إلى طاقة حركية ستتحرك الدراجة بسرعة ثابتة من دون إدخال أي طاقة، وإذا ما أردنا التوقف يكفينا استخدام المولد لاسترداد الطاقة الكهربائية مرة أخرى. وبعبارة أخرى، نستطيع صناعة دراجة يمكنها التحرك والتوقف من دون استخدام الدواسات. كما يمكننا التفكير في صناعة سيارة أو شاحنة بذات الطريقة بالضبط. ومن هذا المنطلق رأينا أن الحد الأدنى لكمية الطاقة المطلوبة نظريًّا للنقل على سطح مستو يساوي صفرًا.

وإن أردنا مثالًا على النقل الرأسي فدعونا نفكر إلى أي مدى نستطيع تقليل كمية الطاقة الكهربائية المطلوبة لتحريك أحد المصاعد صعودًا وهبوطًا في ظل ظروف مثالية. لعلكم تظنون أنه عندما يتجه المصعد إلى أعلى فإن السلك الموصول بالمصعد يجذبه إلى أعلى، لذا فهناك ضرورة لوجود طاقة كهربائية، وأنه عندما يهبط إلى أسفل، فهو يهبط اعتمادًا على ثقله، الأمر الذي لا يتطلب وجود طاقة.

والحقيقة أن المصاعد الحديثة لا تعمل بهذه الطريقة المهدِرة للطاقة. ففي المصاعد الحديثة نجد أن السلك الذي ينقل جسم المصعد إلى أعلى موصول ببكرة، أما الطرف الثاني من السلك فنجده موصولًا بكتلة لها ذات وزن جسم المصعد. وكلا جانبي البكرة له ذات الوزن، وإذا ما كانت البكرة معدة بحواملَ عاليةِ الجودة نجد أن نسبة الاحتكاك تساوي صفرًا، ولن يكون هناك حاجة إلى تحريك المصعد لأعلى ولأسفل. بعبارة أخرى يكون الحد الأدنى للطاقة المطلوبة لرفع المصعد وإنزاله يساوي صفرًا.

أما فيما يتعلق بنقل النفط والغاز الطبيعي عبر الأنابيب، فإذا ما زاد قطر دائرة الأنبوب تقل نسبة الاحتكاك الناجمة عن النقل، وفي الحدود النظرية ستعادل الطاقة المطلوبة صفرًا. وحتى إذا ما كانت الأنابيب تمر صعودًا وهبوطًا خلال الجبال والوديان، طالما أن نقطة البداية والنهاية بذات الارتفاع، فهذا لن

يتطلب وجود طاقة. ولننظر كذلك إلى استخدام خرطوم لسحب المياه من حوض الاستحمام (البانيو) إلى داخل سطل فوق أرضية دورة المياه. طالما أن طرف الخرطوم الأمامي في وضع أدنى من طرفه الخلفي لا يهم عندها إلى مدى يكون ارتفاع الخرطوم لتخطي حوض الاستحمام، وستتدفق المياه من داخل الحوض إلى داخل السطل. يحدث فقدان الطاقة عندما تتولد الحرارة خلال عملية انتقال الكهرباء، حيث إن الحرارة تولدت بفعل مقاومة سلك النقل. تلك هي ذات الآلية المستخدمة في سخان المياه الكهربائي لتوليد السخونة. ومع ذلك وحتى وإن لم نضرب أمثلة بناقلات فائقة التوصيل للطاقة، نستطيع أن نرى هنا أيضًا أننا عندما نجعل سلك النقل الكهربائي أكثر سمكًا، وما يترتب على ذلك من مقاومة أقل، ستكون الحرارة المتولدة أقل. وعند الحد النظري ستساوي الطاقة المهدرة أثناء النقل صفرًا.

فبداية من المواد المستخدمة وانتهاء بالطاقة الكهربائية، نجد أن الحد الأدنى للطاقة المستهلكة للنقل يساوي صفرًا من الناحية النظرية. فالسبب الرئيس لاستهلاك الطاقة أثناء عملية النقل في الوقت الحالي هو الاحتكاك. ولهذا فإن سر تقليل الاستهلاك خلال النقل يكمن في النظر في أي مدى يمكننا تقليل الاحتكاك. وهذه نقطة مهمة سنتعرض لها مرة أخرى في الفصل التالي عندما نتناول الوسائل التي تجعل المَرْكبات أكثر كفاءة في استهلاك الطاقة.

لا بد للفصل من طاقة:

رأينا فيما مضى أن عملية الفصل هي إحدى الخطوات الأولية المهمة في صناعة البلاستيك. وفي الحقيقة إن عملية الفصل عامل مشترك في جميع أنواع الصناعات، بداية من فصل الخامات المعدنية عن الصخور إلى استخلاص توابل الطعام من السوائل المخمرة. فالتركيز من أشكال ذلك الفصل، ومن أمثلته إنتاج المشروبات المُسْكِرة المقطرة عن طريق تركيز الكحول من الكحول المخمر.

وتنظيف الملابس شكل من أشكال الفصل أيضًا. تُصنَع القهوة عن طريق فصل مكونات القهوة عن حبوبها، ونحصل على الزبد عن طريق فصل الدهن

عن الحليب. فهذه الأمثلة وتلك تبين لنا أن فصل المواد من الخطوات المهمة في «صناعة الأغراض» من ناحية، وفي استخدامات حياة الناس اليومية من ناحية أخرى. ولكي نفصل مكونات مزيج ما تجدنا نحتاج إلى الطاقة دائمًا.

فمثلًا الحد الأدنى المطلوب من الطاقة لفصل الماء العذب عن مياه البحر هو نتاج أربع وعشرين وحدة ضغط إضافة إلى كمية المياه العذبة المنتجة.

فلنتناول هذا المثال لنرى مقدار الطاقة المطلوبة لعملية الفصل تلك.

إذا فصلنا ماء البحر عن الماء العذب في إناء بوضع غشاء شفاف شبه نافذ يسمح بمرور الماء دون الملح فسنجد أن الماء العذب بدأ بالترشح في جهة ماء البحر بسبب ما يُطلق عليه اسم «الضغط الإسموزي» ونجد أيضًا أن جانب ماء البحر قد ارتفع مستواه عن جانب الماء العذب. ويعتمد الضغط الإسموزي على التركيز، وفي حالة ماء البحر تقارب النسبة أربعًا وعشرين وحدة ضغط. وهذا يعني أننا إذا استخدمنا أربعًا وعشرين وحدة ضغط في الجانب الذي يحتوي على ماء البحر فسيكف الماء العذب عن الترشح عن طريق الغشاء. أما إذا مارسنا المزيد من الضغط فسيبدأ الماء العذب بالترشح عن طريق الغشاء من جانب ماء البحر. ويطلق على عملية إنتاج الماء العذب هذه وسيلة الضغط الإسموزي العكسي لتحلية مياه البحر.

وهنا نرى أن الطاقة المستهلكة لإنتاج كمية معينة من الماء العذب باستخدام وسيلة الضغط الإسموزي العكسي تُحدَّد عن طريق ناتج الضغط وحجم المياه الناتجة. إذًا فالطاقة المستخدمة لإنتاج الماء العذب تناسب طرديًّا مع الضغط الممارَس على جانب ماء البحر. وبهذا حققنا الحد الأدنى النظري للطاقة المستخدمة بإيجاد ضغط بمعدل 24 وحدة، ولكن إذا أوجدنا تلك النسبة من الضغط وحدها فلن نتمكن من الحصول على الماء العذب. أما إذا زدنا الضغط قليلًا فستبدأ المياه العذبة بالترشح عن طريق الغشاء. وخلال التطبيقات الواقعية يكون هناك ضغط يقارب ثمانين وحدة لإنتاج كم هائل من المياه العذبة. ومع ذلك، ولكي يتحقق هذا فإن نسبة الطاقة المستهلكة تبلغ 80 مقسومة على

24 أي بنسبة تفوق 3.3 أمثال الحد الأدنى النظري. وتنتج ذات الكمية من المياه، ولكن تُرى أين ذهبت الطاقة الإضافية المستهلكة؟ كما رأينا في الأمثلة السابقة تحولت إلى حرارة وانتهى بها المطاف إلى الفضاء الخارجي.

وفي أغلب عمليات الفصل التي تتم في «صناعة الأغـراض» وأعمال «الحياة اليومية» هناك ما يعادل نسبة تتراوح بين عشرة وعشرين مِثْلًا من الحد الأدنى للطاقة المستهلكة في العمليات الفعلية. وفي معظم الحالات السابقة نرى أن النتيجة المشتركة لتحقيق نسبة كافية من عملية الفصل توليد فائض حراري. ويسعى العديد من الباحثين الآن سعيًا حثيثًا في محاولةٍ منهم لإيجاد طرق للتقليل من كمية الطاقة الزائدة المطلوبة لتحقيق معدلات كافية من ذاك الفصل. ومن أمثلة ذلك أن من أسباب اشتراط وجود هذا الضغط الكبير لتحلية مياه البحر أن نسبة مقاومة عملية الفصل في الغشاء كبيرة. ولهذا فإن ابتكار غشاء قوي شبه نافذ سيساعدنا في الاقتراب من الحد الأدنى النظري البالغ أربعًا وعشرين وحدة ضغط.

تستخدم العديد من وسائل الفصل مثل التقطير والامتزاز والتبادل الأيوني في العديد من الأغراض، إلا أن الحد الأدنى النظري للطاقة المطلوبة متساوٍ في كل تلك الوسائل. وفي الواقع نجد أن قيمة الحد الأدنى النظري لا يعتمد كثيرًا على نوع المادة المراد فصلها. والعامل الرئيس المؤثر في الحد الأدنى النظري للطاقة المطلوبة لفصل المواد هو تركيز المكونات المختلفة المراد فصلها. فعلى سبيل المثال نجد أن الطاقة المطلوبة لفصل نسبة 3٪ من مكون الملح في ماء البحر هي تقريبًا ذاتها المطلوبة لفصل نسبة 3٪ من مزيج ثاني أكسيد الكربون في غاز مداخن إحدى محطات توليد الكهرباء. ومع ذلك فإن الطاقة المطلوبة لفصل الأجزاء الثلاثة لكل مليار من اليورانيوم من ماء البحر ستكون أعظم بكثير.

الطاقة المطلوبة للتشكيل والقولبة تساوي صفرًا:

من أمثلة التشكيل والقولبة في التصنيع وضع حبيبات بلاستيكية في قالب لتشكيل إطار التلفاز وضغط لوح رقيق من الصلب ليتخذ شكلًا يلائم هيكل

السيارة. والحد الأدنى للطاقة المطلوبة لكل هذا التشكيل والقولبة يساوي صفرًا. لعل هذا أمر يصعب تصديقه، ولكن لننظر في الأمر بالطريقة التالية: إذا سخنَّا مادة إلى درجة قريبة من درجة ذوبانها فستصبح طرية وسهلة التشكيل. ثم إذا استرجعنا الحرارة لدى عملية تبريد المادة باستخدام مبادل حراري بالغ الطول لنقل الحرارة الكلية للمادة إلى مادة سائلة فسنجد أن نسبة الاسترجاع الحراري ستكون بذات مقدار الطاقة المطلوبة لعملية التسخين. ورغم أنه يتعذر تحويل جميع الطاقة الحرارية إلى كهرباء أو شغل، ففي أفضل الحالات يمكن نقل كل الحرارة من مادة إلى أخرى. وباستخدام الحرارة المسترجَعة لتسخين مادة أخرى ثم إعادة الكرَّة لا نعود بحاجة إلى استخدام أي طاقة. أيضًا نجد أن الحد الأدنى النظري للطاقة المطلوبة للأنواع الأخرى من التشكيل والقولبة، مثل تحويل ألواح سميكة من الصلب إلى ألواح رقيقة والتقطيع والتجزيء إلخ يساوي صفرًا.

التدفئة والتبريد باستخدام مكيف هواء مثالي:

لعلك تظن أننا عندما نغلي الماء باستخدام لهب الغاز أنه بمجرد أن تنتقل حرارة اللهب تمامًا إلى الماء، بعبارة أخرى ما لم يحدث فقد حراري، فسنحقق بذلك كفاءة الطاقة المثلى الممكنة. ومع ذلك تذكر أن الطاقة الكيميائية الناتجة عن غاز الوقود، والتي يمكن أن تتحول إلى طاقة كهربائية أو شغل، تفوق في قيمتها كثيرًا الطاقة الحرارية الناتجة في صورة ماء يغلي عند درجة حرارة 100 درجة مئوية، أو حمام استحمام مسخَّن لدرجة حرارة 40 درجة مئوية. ولهذا فإن استخدام الوقود لغلي الماء بمثابة إهدار هائل للطاقة الكيميائية الثمينة. وقد رأينا الأمر ذاته عندما نظرنا في الطرق المختلفة لتدفئة الغرفة. فالحد الأدنى للطاقة المطلوبة للتدفئة والتبريد يمكن تحديده عن طريق التفكير في شكل مثالي لمكيف هواء العادي الذي نستخدمه لتبريد منازلنا (وفي بعض الأحيان لتدفئتها).

الحد الأدنى النظري لكمية الطاقة المطلوبة للتبريد اتضح لأول مرة عن طريق مبادئ دورة كارنوت العكسية في الديناميكا الحرارية.

وطبقًا لهذه المبادئ نجد أن الحد الأدنى النظري للطاقة الكهربائية

المطلوبة لطرد قدر معين من الحرارة يُحدَّد عن طريق درجة الحرارة داخل المساحة المطلوب تبريدها وخارجها. فالمعادلة التي نعرف عن طريقها الحد الأدنى من الطاقة الكهربائية المطلوبة تتمثل في الاختلاف بين المساحات الأقل حرارة والأكثر حرارة مقسومًا على درجة حرارة الجانب الأقل حرارة. وهذه المعادلة هي في الغالب ذات المعادلة التي عرفنا عن طريقها قيمة الحرارة في الفصل السابق، ولكن القاسم المشترك هنا هو درجة حرارة الأقل. فمثل المعادلة السابقة، كل درجات الحرارة يجب التعبير عنها عن طريق ميزان درجة الحرارة المطلقة أو وحدات كلفين، والتي تعني ضرورة إضافة 273 لدرجة الحرارة بمقياس الدرجة المئوية. فإذا افترضنا أن درجة حرارة الغرفة تبلغ 28 درجة مئوية في حين تبلغ درجة الحرارة بالخارج 35 درجة مئوية، نجد أن القيمة الناتجة عن هذه المعادلة تساوي (28+273)/ 7 أو 1/ 43.

ولهذا لا نحتاج هنا من الكهرباء سوى نسبة 1/ 43 من الحرارة التي طُردت خارجًا. وهذا هو الحد الأدنى النظري للتبريد عن درجة الحرارة هذه.

عندما نبرِّد غرفة باستخدام مكيف الهواء ينتج عن ذلك هواء ساخن في الوحدة الخارجية للمكيف. وبالنظر إلى الهواء الخارجي فهذا تأثير يرفع درجة الحرارة. بعبارة أخرى يمكننا اعتبار مكيف الهواء جهازًا مستهلكًا للكهرباء لإزالة السخونة من هواء الغرفة ونستخدمه لتسخين الهواء الخارجي. والحد الأدنى النظري لكمية الكهرباء التي يجب استهلاكها لتسخين الهواء الخارجي، أو كمية معينة، يُحدَّد أيضًا عن طريق درجات الحرارة بالداخل والخارج عن طريق نسب اختلاف درجة الحرارة ودرجة حرارة الجانب الأكثر سخونة. لذلك فإن نسبة 7/ (35 + 273) أو نسبة واحد على أربعة وأربعين من الكهرباء تكفي نظريًّا لتسخين الهواء الخارجي.

الضغط والتمدد رويدًا رويدًا:

من السهل أن ترى أن ضغط الهواء يتطلب طاقة. ومع ذلك فكمية الطاقة تعتمد على الطريقة التي يُضغط بها الهواء. فعلى سبيل المثال، تخيل أنك ضغطت

الهواء داخل حقنة عن طريق تغطية فوهتها بأصبعك. فإذا ضغطت المكبس برفق فستصبح قوة الصد أقوى تدريجيًّا. فالطاقة المطلوبة لدفع المكبس إلى أسفل بهذه الطريقة تقترب من الحد الأدنى. أما إذا دفعت المكبس سريعًا، فمن البداية ستشعر بقوة صد قوية، ومن ثم سيكون استهلاك الطاقة أكبر.

الحد الأدنى النظري للطاقة لا يعتمد كثيرًا على نوع الغاز المضغوط، بل على نسب الضغط قبل وبعد الكبس.

علاوة على ذلك، فإن الحد الأدنى النظري للطاقة المطلوبة للضغط يساوي تمامًا الحد الأقصى للطاقة المكتسبة أثناء عملية التمدد. وهذا مثال آخر على قانون حفظ الطاقة.

ولنلخص ما سبق نقول إن الحد الأدنى النظري للطاقة أثناء التدفئة والتبريد يُحدِّده الفرق في درجات الحرارة، تركيز مكونات المادة في حالة الفصل، ومعدل الضغط في حالة الكبس والتمدد.

قياس التفاعلات الكيميائية باستخدام خلية كهربائية مثالية:

رأينا في الفصل الثاني أن جميع الأفعال يمكن تقسيمها إلى أفعال تحدث بشكل طبيعي وتلقائي، وأخرى لا تحدث بشكل طبيعي ولكنها تتطلب طاقة لتبدأ. فالحجر يسقط تلقائيًّا إذا ما ألقينا به، ولكنه لن يرتفع مرة أخرى ما لم نوفر الطاقة الضرورية لرفعه مرة أخرى. علاوة على ذلك رأينا أنه في الوقت الذي نحتاج فيه إلى طاقة لإحداث عمليات غير تلقائية، يمكننا استخدام عمليات تلقائية لتوليد الطاقة. يمكننا أيضًا تقسيم التفاعلات الكيميائية إلى تفاعلات تلقائية مثل البلمرة، وغير تلقائية مثل الانحلال الحراري للنافثا. فمثل جميع العمليات التلقائية، بإمكان التفاعلات التلقائية إنتاج طاقة مفيدة كتلك التي تنتج عن الشغل والكهرباء، فمثل جميع العمليات غير التلقائية، تحتاج التفاعلات غير التلقائية إلى طاقة لتحدث.

إن القيمة النظرية المرتبطة بالحد الأقصى للكفاءة للتفاعلات الكيميائية

تتوقف على نوع التفاعل. وعندما نتناول التفاعلات التلقائية، وبخاصة تلك التي ينتج عنها طاقة، نعني بمصطلح «الحد الأقصى للكفاءة» الحصول على الحد الأقصى للطاقة عن طريق تلك التفاعلات. أما إذا ما تعرضنا بالذكر للتفاعلات غير التلقائية، تلك التي ينتج عنها طاقة، فنعني حينئذ بمصطلح «الحد الأقصى للكفاءة» استخدام الحد الأدنى من الطاقة المتولدة لإحداث التفاعل. فالاحتراق يعتبر من ضمن التفاعلات الكيميائية التلقائية. وإذا ضمَّنا التفاعل التلقائي العكسي، وهو ما نطلق عليه مصطلح «الاختزال» نستطيع مناقشة كفاءة الاحتراق باعتباره تفاعلًا كيميائيًّا.

التحليل الكهربائي للماء لإنتاج الهيدروجين الذي تعرضنا له في الفصل السابق مثال حي على التفاعل غير التلقائي الذي يتم دون الحاجة إلى إضافة طاقة. والطاقة الكهربائية المستخدمة خلال التحليل الكهربائي يمكن حسابها عن طريق ضرب الجهد الكهربي في التيار في الزمن. فالتيار الناتج والزمن المستغرق خلال التحليل الكهربائي للماء هو كمية الإلكترونات المستخدمة، والتي تحدد كمية المياه المنقسمة. لذا فإن الطاقة الكهربائية الواجب استهلاكها لتدفق كمية معينة من المياه أثناء التحليل الكهربائي يحدِّدها بشكل تام الجهد الكهربي، تمامًا مثلما نستطيع تحديد نسبة السخونة والبرودة بواسطة درجة الحرارة، وفصل مكونات المادة بالتركيز، والكبس عن طريق الضغط.

وهناك حد أدنى من الجهد الكهربي يجب توفره أثناء التحليل الكهربائي لمركب كيميائي معين. فلا يمكن إجراء التحليل الكهربائي في ظل جهد أقل من ذاك الحد الأدنى. فعندما يتعلق الأمر بالماء نجد أن نسبة الجهد الكهربي المطلوب للتحليل الكهربي 1.23 فولت. فالطاقة الكهربائية المستهلكة في ظل وجود هذا الجهد تساوي 1.23 فولت مضروبة في كمية الإلكترونات المستخدمة، وحيث إن الجهد الكهربي هو أقل قيمة متاحة فإنه هذا يكون هو الحد الأدنى النظري للطاقة المستهلكة للتحليل الكهربائي للماء. ومع ذلك فبهذه النسبة من الجهد الكهربي لا نستطيع إنتاج الهيدروجين فعليًّا. ولجعل

الهيدروجين يتشكل علينا توفير كم أكبر قليلًا من الجهد الكهربي. تمامًا بذات القدر الذي احتجنا فيه إلى توفير المزيد من الضغط لتحلية الماء، للحصول على نسبة كافية من الهيدروجين نحتاج إلى توفير جهد كهربي مقداره يقارب 1.5 فولت. ومع ذلك إذا نفذنا عملية التحليل الكهربائي بهذه النسبة فسنهدر كمية من الكهرباء تعادل (1.5 ـ 1.23) X (كمية الإلكترونات). وكما هو الحال سابقًا، تتحول تلك الطاقة الكهربائية أثناء تلك العملية إلى حرارة جراء الاحتكاك وينتهي بها الأمر إلى الفضاء الخارجي.

كما رأينا في تناولنا لأمر خلايا الوقود في الفصل الثاني، تعمل خلية الوقود على النقيض من عملية التحليل الكهربائي للماء. ولهذا فإذا أجرينا تحليلًا كهربائيًّا على كمية من الهيدروجين والأكسجين، ووصلنا مصباحًا كهربائيًّا بدلًا من مصدر الطاقة الكهربائية أثناء عملية التحليل الكهربائي، فسنجد أن آلية الجهاز قد تغيرت وسيستهلك الهيدروجين والأكسجين، وينتج عن ذلك طاقة كهربائية تضيء المصباح. التحليل الكهربائي هو عملية تحويل الماء إلى هيدروجين وأكسجين ضد ما هو مألوف، تفاعل غير تلقائي، الأمر الذي يستوجب وجود طاقة. ومع ذلك فإن تفاعل الهيدروجين والأكسجين في خلية الوقود يجري دون الحاجة إلى وجود طاقة ويمكن استخدامه لتوليد الكهرباء، لذا فإن تفاعل خلية الوقود يعد تفاعلًا تلقائيًّا. أضف إلى ذلك، فإن الحد الأقصى النظري للطاقة المتولدة عن التفاعل التلقائي لكمية من الهيدروجين والأكسجين داخل خلية وقود يساوي الحد الأدنى للطاقة النظرية المتولدة عن التفاعل غير التلقائي للتحليل الكهربائي الضروري لإنتاج ذات الكمية من الهيدروجين والأكسجين.

وباستطاعتنا تحقيق الحد الأقصى النظري لكفاءة الطاقة لأي تفاعل كيميائي فيما يتعلق بغازي الهيدروجين والأكسجين بذات الطريقة المتبعة في الفقرة السابقة.

فمقدار الطاقة الواجب توفيره لشكل التفاعل على غير المألوف (تمامًا

مثل الحد الأقصى لكمية الطاقة التي نستطيع اشتقاقها من شكل التفاعل الذي يحدث على الوجه المألوف) يمكن حسابه عن طريق نسبة الجهد الكهربي لخلية وقود مثالية تستخدم هذا التفاعل. فعلى سبيل المثال، الحد الأدنى للطاقة النظرية لإنتاج الحديد من أكسيد الحديد يعادل نسبة الطاقة الضرورية لإجراء تحليل كهربائي لذات العنصر بالحد الأقصى للجهد الكهربي. كذلك فالحد الأقصى النظري من الطاقة التي يمكن الحصول عليه من احتراق الميثان يعادل مقدار الطاقة الكهربائية الضرورية لتوليد أعلى نسبة جهد كهربي لخلية الوقود التي يُستخدَم فيها غاز الميثان بديلًا لغاز الهيدروجين.

جميع أجهزة الطاقة تتمتع بذات الكفاءة النظرية:

مما يجب تأكيده في هذا الصدد هو أن الحد الأقصى للكفاءة النظرية لتلك العمليات على اختلافها لا يتوقف على الوسيلة المستخدمة فعلًا. فعلى سبيل المثال، بمجرد أن نقرر استخدام غاز الميثان لإنتاج الطاقة، سواء فعلنا هذا باستخدام خلية وقود أو محطة توليد كهرباء حرارية أو محرك ميثان، نجد أن الحد الأقصى للكفاءة هو هو. فالكهرباء والشغل لهما ذات القيمة؛ لأن كليهما يمكن أن يتحول إلى الآخر بنسبة مائة في المائة، ولهذا نجد أن الحد الأقصى النظري لمقدار الطاقة التي تنتجها خلية وقود أو محطة توليد طاقة حرارية، إضافة إلى آلية تنفيذ هذا عن طريق ماكينة، يكون متطابقًا. وبمعنى أوضح، نجد أن مقدار الطاقة المنتجة يساوي في المقدار الطاقة الكيميائية لغاز الميثان. بعبارة أخرى من الناحية النظرية، لا يوجد اختلاف في كفاءة توليد الطاقة، سواء أكان بواسطة خلية وقود أو داخل وحدة توليد طاقة حرارية. ومن ثم فالسؤال المهم الذي يطرح ذاته هنا هو: أي هاتين الآليتين يمكن أن تقترب أكثر من القيمة النظرية المثلى بسهولة؟ فاحتراق غاز الميثان مثال على إنتاج الطاقة، وفي هذه الحالة يمكننا أن نفكر بذات الطريقة فيما يتعلق بموضع استهلاك الطاقة. رأينا فيما مضى كيف يمكننا تحلية ماء البحر باستخدام وسيلة الانعكاس الإسموزي، ولكن باستطاعتنا أيضًا أن نحلي مياه البحر بتبخيرها

ومن ثم تكثيف المياه العذبة. فإذا طبقنا هذه الوسيلة تطبيقًا مثاليًّا فستكون الطاقة الضرورية المطلوبة متماثلة تمامًا لدى استخدامنا لأربع وعشرين وحدة ضغط أثناء عملية الانعكاس الإسموزي. وبالطبع إذا حرقنا النفط ثم استخدمنا الحرارة المنبثقة عن عملية الحرق تلك لتبخير مياه البحر، ثم برَّدنا بخار الماء حتى يتكثف ويتحول إلى ماء، فهذه التجربة تشبه قيامنا بتدفئة أنفسنا بموقد زيت في حقل مفتوح. فالأمر يتطلب منا جهدًا حثيثًا، كشرط مسبق، لجعلنا نستهلك أقل نسبة ممكنة من الطاقة للاقتراب بها من حدها الأقصى من الكفاءة.

ولنلخص ما سبق نقول: سواء ولَّدنا الطاقة أو استخدمناها، فلكي ننفذ ذلك بشكل مثالي، يجب أن تكون كمية الطاقة متطابقة بغض النظر عن الآلية المستخدَمة. ونظريًّا نجد أن كفاءة أي عملية تتضمن تحويلًا للطاقة لا تعتمد فعليًّا على الآلية المستخدمة بالفعل في تحويل تلك الطاقة.

مقارنة استهلاك الطاقة في الخطوات الأولية:

عندما نحرق الكربون مع الأكسجين في الهواء تتولد طاقة، ولنفصل الأكسجين عن ثاني أكسيد الكربون الناتج لا بد من وجود طاقة. ونطلق على الأولى اسم «طاقة الاحتراق» وعلى الثانية اسم «طاقة الاختزال»، وكما بيَّنا سابقًا كلتاهما متطابقة نظريًّا. إذاً أيتهما أكبر؟ طاقة الاحتراق الناتجة عن حرق المادة، أم تلك المتولدة عن عملية الفصل لإزالة الشوائب التي تحويها المادة؟ لعلكم تظنون أن هذه المقارنة يستحيل تعميمها، ولكن في الحقيقة، طاقة الاحتراق تكاد تكون دومًا أكبر.

ويلخص لنا الجدول رقم 3ـ1 الحدود الدنيا النظرية لكميات طاقة الاحتراق الضرورية للخطوات الأولية للعديد من المواد المختلفة.

فإذا تأملنا الأمثلة السابقة فسيمكننا وضع مقاييس تقريبية لحجم الطاقة المطلوبة لكل خطوة أولية.

الطاقة الكيميائية المتضمنة داخل كمية معينة من الإيثانول، والتي اصطلح على تسميتها بـ«المول»، وهو نحو 60 مل، تساوي 1278 كيلو جول. فالطاقة المطلوبة لفصل مزيج يحتوي على نسبة 1٪ من الماء داخل مول من الإيثانول تبلغ 0.13 كيلو جول، والتي لا تتعدى جزءًا من عشرة آلاف جزء من الطاقة الكيميائية. أما إذا كان المزيج يحتوي على 50٪ من الماء والإيثانول فستكون طاقة الفصل 1.7 كيلو جول، أو جزء واحد من 705 أجزاء. أما بالنسبة إلى النسب العادية لشوائب كهذه فإن طاقة الفصل بشكل عام أقل بمئات إلى آلاف المرات من الطاقة الكيميائية.

علاوة على ذلك، إذا نظرنا في النسب بين الطاقة الكيميائية والحرارة الناتجة عن ذوبان الإيثانول والألومنيوم والحديد فسنجد أن قيم الأول 256 والثاني 78 والثالث 27.

ولهذا فإن الطاقة الكيميائية تبلغ عشرات إلى آلاف أمثال الطاقة المطلوبة لإذابة حتى المعادن كالحديد مثلًا.

فمن شأن وضع مقياس تقريبي لحجم الطاقة الداخلة والخارجة خلال عملية معينة، أن يساعدنا في التفكير في معضلات معقدة في مجال الطاقة. وبالطبع الطاقة الكيميائية تعتمد على التركيب الجزيئي، كما أن التفاعل الحراري يعتمد على نوع ذلك التفاعل. فدرجات حرارة التبخر والذوبان تتغير طبقًا لنوع المادة. أما الطاقات الناتجة عن الفصل والكبس فلا تعتمد كثيرًا على نوع المادة، ولكنها مشروطة بنسب التركيز والضغط. ومع ذلك لا يزال بوسعنا أن نضع مقياسًا واضحًا للكميات التقريبية من الطاقة لكل عملية أولية. فإن وضعنا مقياسًا ألفيًّا للطاقة الكيميائية لمادة ما نستطيع تقدير أن الترتيب التقريبي للاستهلاك النظري للطاقة هو 1000 للاحتراق والاختزال، و100 لغير ذلك من التفاعلات الكيميائية، و10 للتبخر والتكثف والضغط والتمدد، و1 للذوبان والتصلب والتسخين والتبريد والفصل، وصفرًا للنقل والتشكيل.

الجدول 3ـ1: يُحسَب حجم القيم النظرية لمدخلات الطاقة ومخرجاتها بوحدات الكيلو جول لكل مول.

	الطاقة الكيميائية	التفاعل	التبخر	الكبس	الذوبان	التسخين/ التبريد	الفصل	النقل/ التشكيل
الكحول الإثيلي	1278	69	38.6		5.0	10.0ـ2.1	1.7ـ0.13	0
الإيثيلين	1324	136	13.5	11ـ5.7	3.4	3.9ـ0.9	1.7ـ0.13	0
البنزين	3267	208	31.7	11ـ5.7	9.8	12.0ـ2.5	1.7ـ0.13	0
الهيدروجين	242	84	0.9	11ـ5.7	0.1	1.9ـ0.4	1.7ـ0.13	0
الحديد	412		354		15.1	22.0ـ0.5	1.7ـ0.13	0
الألومنيوم	838		291		10.7	22.0ـ0.5	1.7ـ0.13	0

ملاحظة: كلمة «التفاعل» هنا هي مختصر لطاقة التفاعل وكلمة «الذوبان» هي مختصر لطاقة الذوبان. والتفاعلات هي نزع الماء من الكحول الإيثيلي، وهدرجة الإيثيلين، وهدرجة البنزين، واختزال أكسيد النحاس بالهدرجة؛ والكبس يتعلق بمعدلات الضغط ما بين 10 إلى 100؛ والتسخين من 25 درجة مئوية إلى 100 درجة مئوية باستخدام درجة تسخين تبلغ 100 درجة مئوية؛ والتبريد من 25 درجة مئوية إلى 100 درجة مئوية تحت الصفر باستخدام مبرد تبلغ درجة حرارته 100 درجة مئوية تحت الصفر؛ والفصل متعلق بخلائط بنسب 1٪/ 99٪ و50٪/ 50٪.

3 ـ طاقة أعمال الإنسان

في الجزء السابق من هذا الفصل حددنا الحجم التقريبي للحد الأدنى النظري من كمية الطاقة المطلوبة لكل خطوة أولية من أعمال الإنسان. والآن دعونا نستخدم هذه المقاييس لنُجري عن طريقها دراسة على نشاط صناعة البلاستيك، والتي تناولناها في بداية الفصل. فإن فعلنا فسيكون بمقدورنا تحديد الحد الأدنى النظري من طاقة الاحتراق المطلوبة لصناعة البلاستيك باعتبارها مزيجًا من العناصر الأولية المذكورة.

أولًا، طاقة نقل النفط من حقل النفط إلى المصفاة تساوي صفرًا. وحاليًا يستخرج النفط في الشرق الأوسط باستخدام وسيلة تتضمن حقن مياه البحر في حين يُضَخ النفط إلى أعلى. ويتماثل هذا مع مبدأ وضع كتلة ثقيلة في الجانب الآخر من جسم المصعد وتحريكها إلى أعلى وأسفل، ولهذا يكون الحد الأدنى

النظري للطاقة يساوي صفرًا. أيضًا طاقة نقل النفط عبر الأنابيب وناقلات النفط تساوي صفرًا.

ويبدأ استهلاك الطاقة في المصفاة خلال فصل الزيت الخام وتفاعل الانحلال الحراري للمواد النفطية. ويُضغَط المزيج الناتج عن التفاعل ويُكثَّف، ثم يُفصَل الإيثيلين، وأخيرًا، يُضغط الإيثيلين تمهيدًا لعملية البلمرة، وكل هذه الخطوات تتطلب طاقة. وقد تتولد طاقة أثناء عملية بلمرة الإيثيلين.

وأخيرًا نجد أن طاقة تشكيل حبيبات البولي إيثيلين تساوي صفرًا.

ويمكننا تقسيم عملية صناعة البلاستيك إلى ما يلي: الفصل ثم التفاعل ثم الضغط ثم التكثيف ثم الفصل مرة أخرى ثم التفاعل ثم التشكيل. والمقاييس التقريبية لهذه الخطوات الأولية كما يلي: الفصل 1، ثم التفاعل 100، ثم الضغط 10، ثم التكثيف 10، ثم الفصل مرة أخرى 1، ثم التفاعل 100، ثم التشكيل صفر.

ولذلك نجد أن الدواخل والمخارج الأكبر للطاقة تبلغ 100 لكل من تفاعلي الانحلال الحراري للنافثا وبلمرة الإيثيلين. وعندما نجري الحسابات الفعلية سنجد أن حرارة التفاعل للبلمرة والانحلال الحراري يكادان يتطابقان، وينتهي بهما المطاف إلى إلغاء أحدهما للآخر. ولهذا فإن صناعة البولي إيثيلين من النفط لا تتضمن خطوات أولية تتطلب مقدارًا كبيرًا من الطاقة. نظريًّا يجب أن تتوفر إمكانية إنقاص الطن الإضافي من النفط الذي يستهلك أثناء صناعة طن من البلاستيك بحيث يكاد ينعدم.

وماذا عن صنع القهوة المقطرة التي مررنا به في بداية هذا الفصل؟ هذه العملية تحتوي على العناصر الأولية لعمليات النقل ثم التسخين ثم التشكيل، ثم التسخين مرة أخرى وأخيرًا الفصل. وحجم الطاقة بكل خطوة من تلك الخطوات كالتالي: النقل صفر، ثم التسخين 1، ثم التشكيل صفر، ثم التسخين مرة أخرى 1، ثم الفصل 1. فالعناصر الأولية التي تتطلب مقدارًا كبيرًا من الطاقة، مثل عمليات الاحتراق والتفاعلات الكيميائية المختلفة لا نجدها هنا. ومن ثم نرى أن صنع القهوة بالتقطير، نظريًّا، هو عبارة عن نشاط من شأنه ألا

يستهلك الكثير من الطاقة. وإذا تأملنا كيف نحرق الغاز لغلي الماء، وكيف نستخدم البنزين لنقل حبات القهوة، فسيتضح لنا جليًّا كيف أننا نهدر كمًّا هائلًا من الطاقة. وسنرى في الفصل التالي الأسباب المؤدية لحدوث هذا الإهدار في مختلف أنواع الطاقة.

الفصل الرابع
حفظ الطاقة خلال ممارسة حياتنا اليومية

في هـذا الفصل من الكتاب سنلقي نظرة على الإمكانية التي يمكن للتكنولوجيا الحديثة أن تقدمها لنا لترشيد استهلاك الطاقة أثناء ممارستنا لحياتنا اليومية، سواء في المنازل أو المكاتب أو وسائل المواصلات.

وفي الفصل السابع سنلقي نظرة على هذه الإمكانات مرة أخرى عندما نعرض للمفاهيم الأساسية لـ «رؤيتنا للعالم عام 2050». وسننطلق في رؤيتنا هذه من عام 1995م. ولهذا فسوف نبني نقاشنا في هذا الفصل على التطور التكنولوجي الذي كان موجودًا في عام 1995م. وحيث تتوفر لدينا المزيد من المعلومات الحديثة، فسننظر هل نجحنا في تحقيق طفرة كبيرة خلال السنوات الأخيرة أم لا.

رأينا في الفصل الثاني أن ممارستنا لحياتنا اليومية تمثل أكثر من نصف إجمالي الطاقة التي تستهلكها أعمال الإنسان، والتي تحولت إلى أشكال مفيدة مثل الكهرباء والبنزين بفضل قطاع تحويل الطاقة. وفي الفصل الثالث نظرنا في الحد الأدنى النظري المطلوب من الطاقة لإنجاز مثل هذه الأعمال. ويبقى السؤال: ما هو حجم الطاقة الحقيقي الذي يمكن أن توفره لنا التكنولوجيا الحديثة؟ فلنبدأ بإلقاء نظرة على إمكانات حفظ تلك الطاقة في عملية النقل، بتسليط الضوء على أكبر مستهلك للطاقة في العصر الحديث ألا وهو السيارات.

1 – السيارة

رأينا في الفصل السابق أن حجم الطاقة المطلوبة نظريًّا لعملية النقل يساوي صفرًا. لذا ومن الناحية المثالية، وجب على راكب السيارات أو أي مراكب أخرى، قيادتها من دون استخدام أي وقود. وإذا كان هذا الأمر صحيحًا، فكيف عسانا أن نفسر حقيقة أن استهلاك المَرْكَبات التي تعمل بمحركات البنزين يمثل ما يربو على 20٪ من الطاقة التي يستهلكها المجتمع البشري؟ أولًا، سننظر في الآلية التي تستهلك بها السياراتُ البنزينَ. وبمجرد أن نتمكن من تحديد موضع هدر تلك الطاقة سنستطيع أن نقرر ما هي الوسائل المثلى التي نستطيع عن طريقها خفض استهلاك السيارات للبنزين بأن نحدد الوسائل المثلى لتوفير الطاقة في السيارات.

كيف تعمل السيارات التقليدية؟

تعمل السيارات والمركبات الأخرى، والتي تعمل بالمحركات عن طريق حرق محرك السيارة للوقود.

وعندما يحترق الوقود داخل، أسطوانات المحرك تنتقل القوة الناتجة عن احتراق الوقود إلى مقدمة الأسطوانة ما يجعل عجلة المحور تدور. وعن طريق العديد من نواقل الحركة وأجزاء نقل أخرى، والتي تعمل على ضبط السرعة والحركة، يبدأ عجل السيارة في الدوران. وخلال هذه السلسلة من الأحداث تتحول الطاقة الكيميائية للبنزين إلى شغل بواسطة مقدمة الأسطوانة، وهذا الشغل يُستخدَم لتسيير السيارة.

الخطوة الأولى في عمل السيارة هي تحويل الطاقة الكيميائية للبنزين إلى شغل وحرارة. وهنا يتوقف قانون حفظ الطاقة، حيث إن كمية الطاقة الحرارية والشغل الناشئة عن عملية الاحتراق يجب أن تعادل الطاقة الكيميائية الناتجة عن الوقود. وفي أفضل الأحوال ينبغي أن تتحول جميع كمية البنزين إلى شغل، لكن ما نراه اليوم أن نسبة نحو 35٪ فقط من كمية الطاقة تتحول إلى شغل في السيارات. أما نسبة الـ65٪ المتبقية فتهدَر في شكل حرارة عن طريق انبعاثات العادم والإشعاع المنبعث من محرك السيارة.

ولكي تبدأ السيارة في الحركة يضغط السائق على بدال السرعة بقوة. ويتسبب ذلك في إهدار كمّ كبير من البنزين المحترق في المحرك، وينتج عن ذلك شغل ضخم بالتبعية. ونتيجة لذلك تتلقى السيارة طاقة حركية تدفعها للإسراع. ومع ذلك لا يتحول كل الشغل المتولد داخل محرك السيارة إلى طاقة حركية. ويرجع السبب في هذا إلى تنوع أشكال الاحتكاك داخل السيارة، مثل ذلك الناشئ عن احتكاك إطارات السيارة بالأرض، أو الناشئ عن احتكاك التروس مع نواقل الحركة، وهنا نجد أن هناك شغلًا ضخمًا انتهى به الأمر إلى ـ بالضبط كما توقعتَ أيها القارئ الفَطِن ـ حرارة.

ما إن تبلغ السيارة السرعة المطلوبة لا يحتاج السائق مزيدًا من الضغط على بدَّال السرعة إلى الآن؛ لأننا إذا ما عقدنا مقارنة بين تحريك السيارة واحتفاظها بسرعتها فسنجد أن الاحتفاظ بالسرعة يحتاج إلى طاقة أقل. ومع ذلك رأينا في الفصل السابق أننا، ومن الناحية المثالية، لسنا بحاجة إلى طاقة إذا ما أردنا التحرك بالسيارة بسرعة ثابتة؛ لذا إذا كنا نسير بسرعة ثابتة على طريق مستوٍ، فما الحاجة إذاً لاستهلاك البنزين؟ السبب الرئيس في هذا المشكلة هو الاحتكاك. ونكرر فنقول إن جزءًا كبيرًا من الطاقة الحركية يذهب سدى في شكل حرارة، والسبب يرجع في ذلك إلى الاحتكاك بين إطارات السيارة والطريق وكذلك التروس الداخلية. علاوة على ذلك عندما نسير بسرعات أعلى، كما هو الحال في الطرق السريعة، يصبح الاحتكاك بين جسم السيارة والهواء عاملًا أساسيًّا في إنتاج مزيد من الحرارة.

والمشكلة الأخرى التي تواجهنا في ذلك تكمن في الاحتراق الداخلي للبنزين في محرك السيارة بنسبة تبلغ 35٪، فالكفاءة الحقيقية للمحرك تختلف طبقًا لظروف القيادة. وطبقًا لتصميم محرك السيارة، عادة ما يبلغ المحرك أعلى درجات الكفاءة عندما يكون فيه الناتج قليلًا نوعًا ما، كما هو الحال عندما يكون معدل السرعة متوسطًا.

وتقل كفاءة محرك السيارة عندما يبذل طاقة أقل، كما يحدث عند القيادة

بسرعة هادئة، أو عندما يبلغ المحرك أقصى درجات طاقته، مثلما يحدث عند القيادة بسرعة فائقة.

فعلى سبيل المثال، عندما تتوقف السيارة حين تعطي إشارة المرور الضوء الأحمر يضغط قائد السيارة على دواسة المكابح. ويتسبب ذلك في الضغط على الجزء المعدني من عجلة السيارة، ما ينتج عنه حدوث احتكاك بين مكابح وعجلة السيارة، مما يجعلها تهدئ من سرعتها. وكما رأينا في الفصل السابق، الطريقة المثالية لتهدئة سرعة السيارة هي مكابح مولِّد يجمع طاقة حركة السيارة في صورة كهرباء.

ومع ذلك نجد أن الطاقة الحركية في السيارات التقليدية، والتي تستخدم لوحات المكابح، ينتهي بها الأمر إلى التحول إلى حرارة عن طريق عملية مهدِرة للطاقة تسمى الاحتكاك.

وهنا نتساءل: ماذا يحدث عندما نتوقف بالسيارة عند أحد التقاطعات؟ إذا كان المحرك يعمل، فهذا يعني أن البنزين لا يزال آخذًا في الاحتراق. عندها نجد أن كل الشغل الناتج عند تشغيل المحرك تعمل على تسخين زيت المحرك والتروس إضافة إلى الهواء، ثم تختفي في صورة هدر حراري.

وتلخيصًا لما سبق نقول: هناك ستة عوامل تفسر لنا السبب، فرغم أن الطاقة الناشئة عن قيادة السيارة تساوي صفرًا، ففي الواقع هناك كمية هائلة من الطاقة تُستهلك في ذلك.

1) حجم الكفاءة المترتبة عن تحويل الطاقة الكيميائية إلى شغل لا تبلغ نسبتها 100٪، فبعض الطاقة الكيميائية لعملية احتراق الوقود داخل محرك السيارة تضيع هباء في البيئة المحيطة في شكل حرارة.

2) يتولد عن عملية احتكاك التروس والأجزاء المتحركة في السيارة شغل أثناء نقل الشغل من المحرك إلى إطار السيارة.

3) تتولد حرارة نتيجة احتكاك الإطارات بالأرض.

4) تتولد حرارة نتيجة احتكاك جسم السيارة بالهواء.

5) تتولد حرارة نتيجة احتكاك المكابح.

6) المحرك الذي يعمل على وضع الحمل الخالي يُحْدِث هدرًا في الطاقة.

مع أخذ تلك العوامل في الاعتبار فإن التطوير التكنولوجي للسيارة يجب أن يصبح منهج تحسين أداء حفظ الطاقة في السيارات.

المحركات ذات الكفاءة العالية والسيارات الهجينة:

تحسين أداء محرك السيارة من الطرق التي تساعد على رفع كفاءة تحويل الطاقة الكيميائية إلى شغل. ففي المحركات ذات الاحتراق الداخلي يحترق الوقود داخل أسطوانات المحركات منتجًا قوة دفع لقيادة السيارة. ولتحقيق القوة القصوى عن طريق احتراق الوقود داخل أسطوانات المحرك يحتاج البنزين إلى أن يتبخر أولًا، ثم يختلط بالهواء. فاستنادًا إلى مبدأ الترذيذ (التحويل إلى رذاذ)، كان البنزين المار بأسطوانات المحركات المصنوعة يُحوَّل إلى رذاذ وذلك في حقبة التسعينيات. وعملية الترذيذ هي ذات العملية المستخدمة لترذيذ، العطر في زجاجة العطر. وحين يُدفع السائل المختلط بالهواء من خلال فتحة ضيقة يتحول السائل إلى الحالة الغازية. كان البنزين يرذذ داخل محرك السيارة بالدفع به عن طريق صمام يسمى المكربن. فيُدفع بمزيج الهواء والوقود عبر المكربن باستخدام الشغل الناتج على الأسطوانة التي تزداد اتساعًا؛ لذا يتحتم استقطاع هذا الشغل الناجم عن الشغل المتولد عن عملية الاحتراق لرفع مستوى أداء المحرك. وأثناء السير بسرعة هادئة تقل كمية البنزين المستهلك، وذلك بالغلق الجزئي للمكربن، والذي يزيد بدوره من كم الشغل المطلوب للدفع بالبنزين والهواء من خلاله. ونتيجة لذلك فإن قلة كفاءة أداء المحرك تتناسب تناسبًا طرديًّا مع السرعات الهادئة للمحركات باستخدام المكربنات.

وللتغلب على هذه المشكلة طورت الشركات المصنِّعة نوعًا جديدًا من محركات السيارات يعمل على ضغط البنزين وحقنه مباشرة داخل الأسطوانة،

وبالفعل طُرحت السياراتُ التي تعمل بتلك المحركات الجديدة في الأسواق ويمكن شراؤها اليوم. ويسمى هذا المحرك بمحرك الحقن المباشر للبنزين، ويعمل بذات الطريقة التي تعمل بها محركات الديزل التقليدية. وتعمل محركات الحقن المباشر بضغط الوقود، ومن ثم حقنه داخل الأسطوانة. ولهذا كل ما نحتاجه أثناء السرعات الهادئة هو التقليل من الوقود المحقون، ومن ثم لن تكون هناك حاجة إلى شغل إضافي لإمداد المحرك بالوقود. وبفضل ظهور هذا التصميم الجديد وتجربته على محركات البنزين العادية، حدث تحسن في أداء المحرك بنسبة 25٪. وفي وقت تأليف هذا الكتاب لم تعد السيارات تُزوَّد بمكربنات.

وتعتمد كفاءة محركات الاحتراق الداخلي، سواء التي تعمل بالبنزين أو الديزل، تعتمد بشدة على كمّ مزيج الغاز من الوقود والهواء المضغوط قبل اشتعاله. فكلما زاد الضغط زادت قوة الانفجار وزادت كفاءة المحرك. وتساهم محركات الحقن المباشر في زيادة الكفاءة في هذا الإطار أيضًا، لأن الهواء فقط هو الذي يُضغط من داخل المحرك، أما الوقود فيحقن فقط داخل الهواء المضغوط. فقابلية الهواء للانضغاط أكثر منها في الوقود، ولذلك يمكن رفع نسب قابلية الضغط لمزيج الهواء والوقود. علاوة على ذلك فعن طريق استخدام الحاسوب للتحكم بدقة في عملية حقن الهواء والوقود إلى داخل الأسطوانة، يمكن عمل أخلاط من الهواء والوقود فائقة الضَّعف. نعني بالأخلاط فائقة الضَّعف تلك التي تكون فيها نسب الهواء إلى الوقود أعظم بكثير من نسب الاحتراق المتكافئ بنسبة تصل إلى ثلاثة أمثال. وفي المحركات من النوع الذي يطلق عليه اسم محركات «الاحتراق الضعيف»، قد ترتفع نسب الضغط، ما يتيح المزيد من الانخفاض في نسب فقد الكفاءة والانبعاثات الملوثة للبيئة أثناء القيادة بمستويات منخفضة الطاقة. تلك كانت أمثلة على التطورات التقنية التي طرأت على السيارات خلال العقد الماضي وحده.

الحد الأقصى لكفاءة محركات الديزل يتراوح ما بين 40٪ و45٪ وهو بذلك يفوق نسبة كفاءة محركات البنزين التي تبلغ 35٪. ومع ذلك تتسبب

محركات الديزل في مشكلات بيئيةٍ جراء انبعاثات العوادم، والتي تحتوي على نسب عالية من السخام وأكاسيد النيتروجين. وكي نستغل ميزة الكفاءة العالية لمحركات الديزل علينا التغلب على مشكلة التلوث أولًا. وقد ظهرت تقنيات حديثة لتحجيم انبعاثات محركات الديزل الملوثة للبيئة، تتضمن استخدام عملية حقن وقود الديزل بالمشترك، والتي تزيد من ضغط حقن الوقود، وما يترتب على ذلك من عملية ترذيذ أفضل للوقود، كما تضمنت تطوير المحولات الحفازة عن طريق أنظمة تخفيض جسيمات الديزل لتقليل انبعاثات السخام.

ورغم أهمية وسائل تحسين أداء المحركات في حد ذاتها تبقى هناك إمكانية لتقليل استهلاك الطاقة عن طريق تشغيل المحرك تحت ظروف معينة يمكن أن تمنحنا أفضل نتيجة ممكنة لرفع كفاءة الوقود. فمتوسط كفاءة الوقود بالشروط القياسية للقيادة في اليابان، والتي يطلق عليها نظام «10ـ15»، تقدر بنحو 13٪، والتي تمثل فقط ثلث الحد الأقصى لكفاءة الوقود الذي يبلغ 35٪. ويرجع السبب في قلة كفاءة الوقود إلى أنه في الوقت الذي تقضي فيه السيارة وقتًا طويلًا داخل الزحام في المدينة يتحتم على المحرك أن يمدها بطاقة أعلى أو أقل من المستوى الأمثل. وإذا استطعنا أن نجعل المحرك يحتفظ بما ينتجه من طاقة بأعلى مستوى من الكفاءة فسيتسنى لنا أن نزيد من الكفاءة الإجمالية للمحرك بنسبة ثلاثة أمثال في الغالب. على سبيل المثال نستطيع فعل هذا عند تخزين الشغل الزائد الذي ينتج خلال القيادة بسرعات هادئة، ثم نعيد استخدامها للإمداد بالشغل الإضافي المطلوب لزيادة السرعة والقيادة بسرعات فائقة. والتقنيات الحديثة في تحسين أداء المحرك ذاته، مثل استخدام تقنيات الحقن المباشر والاحتراق الضعيف، يمكن أن تزيد من كفاءة الوقود بنسبة تتراوح بين 10٪ و15٪. ولهذا فإن فرصة مضاعفة كفاءة الوقود إلى ثلاثة أمثال أمرٌ لا يمكننا تجاهله.

والسيارات الهجينة مثل تويوتا بريوس وهوندا إنسايت، حاولت زيادة رفع كفاءة الوقود في محركات البنزين بهذه الطريقة. فالسيارة الهجينة تجمع بين السيارة الكهربائية والسيارة التي تعمل بالبنزين، يمكننا اعتبارها سيارة تقليدية

ذات بطارية أكبر ومزودة بمحرك كهربائي. بعبارة أخرى السيارة الهجينة لديها مصدران للطاقة في القيادة: محرك يعمل بالبنزين ومحرك يعمل بالكهرباء. فعندما تسير السيارة الهجينة بسرعات تتطلب ناتج طاقة يقترب من الناتج المثالي لمحرك البنزين يُستخدَم محرك البنزين لتسيير السيارة. وإذا حدث شغل زائد فتستخدم السيارة الهجينة ذلك الشغل لتوليد الكهرباء وشحن البطارية، وفي حال تطلَّب الأمر شغلًا إضافيًّا تستطيع بعض فئات السيارات الهجينة استخدام المحرك الكهربائي ليضيف إلى ناتج الطاقة في محرك البنزين. وعند قيادة السيارة الهجينة بسرعات هادئة لا تلائم محرك البنزين يتوقف محرك البنزين ويستخدم المحرك الكهربائي الذي يستمد طاقته من البطارية في تحريك السيارة. ويتوقف العمل بمحرك البنزين عند توقف السيارة عند إشارة المرور، ثم يُستخدم المحرك الكهربائي لجعل السيارة تسير من جديد. وعندما تصل السيارة إلى سرعة مناسبة يبدأ محرك البنزين في العمل مرة أخرى.

إن وجود بطارية أكبر في السيارة يعطينا الفرصة للاستفادة من وسيلة أخرى لحفظ الطاقة سبق وأن رأيناها تسمى «الكبح الاسترجاعي».

تتذكرون المثال الذي ذكرناه في الفصل السابق للدراجة التي تستطيع السير والتوقف من دون استخدام الدواسات؟ «الكبح الاسترجاعي» يعني استخدام المولد الكهربائي داخل السيارة الهجينة لتحويل الطاقة الحركية للسيارة إلى طاقة كهربائية عند استخدام المكابح. ولهذا تعدُّ السيارة الهجينة تصميمًا يمكن أن يسهم إسهامًا كبيرًا في حلّ ثلاثة من العوامل آنفة الذكر، ويسهم أيضًا في توفير استهلاك السيارات للطاقة: مثل عملية تحويل كفاءة المحرك من البنزين إلى شغل، والاحتكاك الناتج عن المكابح، وإهدار استخدام الوقود أثناء تشغيل المحرك على الحمل الخالي. ففي الوقت الذي تنخفض فيها كفاءة قيادة السيارات التقليدية في مواقع مثل وسط طوكيو، ونظرًا لتكدس المواصلات، تستطيع السيارات الهجينة العمل بنصف كمية البنزين المستخدمة في السيارات التقليدية.

الشكل رقم 4ـ1: السيارة بريوس الهجينة (بإذن من مؤسسة تويوتا للسيارات)

السيارات الكهربائية التي تعمل بخلية الوقود:

هناك الكثير من الطرق تجري دراستها الآن لزيادة كفاءة تحويل البنزين إلى شغل. وكما رأينا في الفصل الثالث أن الحد الأقصى النظري لكفاءة تحويل الطاقة الكيميائية للوقود إلى شغل تمامًا مثل المحركات الخلايا الكهربائية ومحطات توليد الكهرباء الحرارية تكون نسبته بالأساس 100٪. كل ما نحتاج فعله هو تدوير عجل السيارة لجعلها تسير، كما أن هناك أيضًا العديد من الطرق للإمداد بالطاقة عند القيام بذلك.

يرى أصحاب فكرة تصميم المَرْكبات الكهربائية أن تلك المَرْكبات ذات كفاءة أعلى في استهلاك الوقود من نظيرتها التي تعمل محركاتها بالبنزين، والسبب في ذلك يرجع إلى أن كفاءة عمل محطات توليد الكهرباء تفوق بكثير كفاءة محركات البنزين. ورأينا أن حد الكفاءة الأقصى لمحركات البنزين تبلغ نسبته 35٪ وأنه حتى باستخدام أكثر التقنيات تقدمًا ـ مثل الحقن المباشر والاحتراق الضعيف ـ كل ما نتمنى تحقيقه في المستقبل القريب هو زيادة نسبة الكفاءة إلى 40٪. في الوقت الحالي هناك محطات توليد طاقة حرارية تعمل على رفع كفاءات التوليد بنسبة تفوق 50٪.

كفاءة توليد الطاقة في محطة توليد الكهرباء الحرارية تفوق بكثير الحد الأقصى لكفاءة محركات البنزين، علاوة على ذلك فإنه بسبب قدرة المحركات

الكهربائية على العمل والتوقف بسهولة تتميز المَرْكبات الكهربائية بأنها لا تعاني من فاقد الطاقة الذي يسببه تشغيل محركات البنزين والديزل على وضع الحمل الخالي عندما تتوقف السيارة عن السير. فاستنادًا إلى هذا التأثير المزدوج لكلتا الكفاءتين نجد أن المَرْكبات الكهربائية يمكنها الإسهام إسهامًا كبيرًا في مجال حفظ الطاقة في وسائل النقل.

ولعل من أكثر المَرْكبات الكهربائية اللافتة للنظر في الوقت الراهن هي تلك التي تعمل بنظام خلية الوقود. فهناك أنواع عديدة لخلايا الوقود تتراوح بين تلك التي تعمل تحت درجات حرارة تتعدى الألف درجة مئوية، وتلك التي تعمل تحت درجة حرارة قريبة من درجة حرارة الغرفة.

فمن ضمن خلايا الوقود التي تمتلك إمكانية فائقة كمصدر للطاقة في السيارات في المستقبل القريب تلك التي اصطلح على تسميتها «خلية وقود الإلكتروليت البوليمري». وتستطيع خلية الوقود هذه إنتاج الطاقة من وقود الهيدروجين في درجة حرارة قريبة من درجة حرارة الغرفة.

فإذا حُمِّل الهيدروجين داخل مركبة ووُلِّدت الكهرباء عن طريق تفاعله مع الأكسجين في الهواء تظل هناك إمكانية الوصول إلى كفاءة توليد كهرباء بنسبة 50٪.

ولم تصل خلايا الوقود بعد إلى مرحلة الإنتاج التجاري.

العديد من المشكلات التي تبحث عن حل مرتبطة بخلية الوقود ذاتها مثل تلك المتعلقة بالعمر الافتراضي والموثوقية والوزن والقدرة والثمن. ومع ذلك فهناك مشكلات أخرى مثل كيفية إقامة محطات للإمداد بوقود الهيدروجين. علاوة على ذلك علينا أن نعرف كيف سنخزن الهيدروجين داخل المركبة. فإذا ما حاولنا تخزين الهيدروجين داخل خزان الوقود فلا بد من ضغط الخزان ضغطًا يفوق بكثير ضغط خزان البروبان. وهناك طريقة أخرى وهي تخزين الهيدروجين داخل قالب جزيئي مصنوع من سبيكة معدنية خاصة ثم نحمِّله داخل المركبة. وكطريقة بديلة يجري الآن تطوير دراسة لصناعة سيارات تعمل بخلية الوقود عن

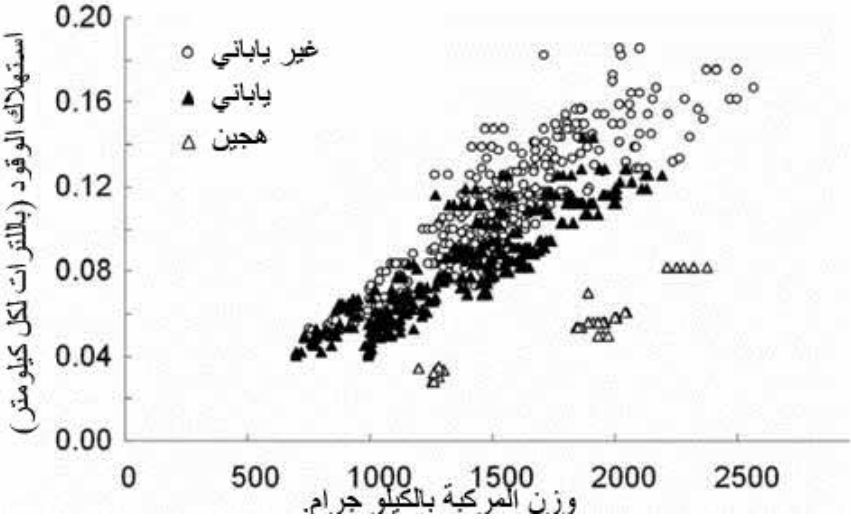
طريق تحميل الميثانول داخل المركبة بدلًا من الهيدروجين باعتباره سائلًا يسهل التحكم فيه. ومن ضمن التصورات الجديدة التي أجريت خلال الدراسة يحوَّل الميثانول إلى هيدروجين ليُستخدَم في خلية الوقود. وفي ظل وجود مصنع كبير يمكن تحويل الميثانول إلى هيدروجين بسهولة نسبية وبكفاءة فائقة. ومع ذلك فمن الصعوبة تطبيق ذلك على السيارة. ونتيجة لذلك تجري العديد من شركات السيارات أبحاثًا على خلايا الوقود باستخدام الميثانول بدلًا من الهيدروجين وقودًا لتوليد الطاقة الكهربائية. ولا عجب أن تسمى خلايا الوقود هذه «خلايا وقود الميثانول المباشر».

وهذه الأشكال المختلفة لخلايا وقود السيارات هي الآن محل بحث وتطوير مكثفيْن. وبحسب التقديرات إذا ما طوِّرَت مركبة ذات كفاءة عالية في ترشيد الطاقة فسيمثل هذا ضِعف الكفاءة الحالية التي نحصل عليها من عملية تحويل الوقود إلى شغل.

تخفيض وزن المَركبة:

الطريقة المثلى لتقليل الاحتكاك بين إطارات المركبة والأرض تتمثل في تخفيف وزن هيكلها. فعلى سبيل المثال، هناك فرق شاسع بين المجهود الذي يتطلبه السير بدراجة سباق عالية الأداء مصنوعة من سبائك خفيفة الوزن إذا ما قورن بالمجهود المبذول للسير بسيارة بالية مصنوعة من الحديد للاستخدام المنزلي.

فالدراجات المستخدمة في سباقات السرعة مثل مسابقة «تور دي فرانس» تكون خفيفة الوزن جدًّا، حيث تستطيع حملها بيد واحدة. ويستطيع المتنافسون في السباق السير بها على الجبال صعودًا وهبوطًا. أما إذا استخدمنا سيارة بالية مصنوعة من الحديد فلن يستطيع حتى أعتى المتنافسين أن يفعل ذلك بها. ولذات السبب نجد أن العدَّائين في سباق العَدْو يتمتعون بالرشاقة والوزن الخفيف ولا يكونون مفتولي العضلات وثقال الوزن.



الشكل رقم 4–2: الوقود الذي تحتاج إليه السيارة لقطع مسافة 1 كيلو متر (المعلومات مستمدة من ياهو جيدوشا Yahoo Jidosha)

وهذا أمر يجدر بنا أن نؤكده. فتقليل الوزن من العوامل الرئيسة لخفض استهلاك الطاقة في وسائل النقل. ويتضح هذا في العلاقة بين استهلاك البنزين ووزن المَرْكبات وهي علاقة طردية كما يبين لنا الشكل رقم 4–2. ويرجع السبب في ذلك إلى أن الاحتكاك يتناسب طرديًّا مع الوزن. ومن طرق تقليل وزن المركبة التقليل من حجمها.

ومع ذلك يمكننا الإبقاء على حجم السيارة كما هو، في حين نقلل من وزنها باستخدام مواد خاصة مثل السبيكة الحديدية الذي يطلق عليها اسم «فولاذ عالي مقاومة الشد» والتي تتمتع بقوة فائقة لكل وحدة وزن. ونستطيع إنقاص وزن المركبة أيضًا إن استخدمنا موادَّ خفيفة الوزن مثل الألومنيوم والبلاستيك. وصناع السيارات اليوم يبحثون عن طرق يخففون بها وزن السيارة دون المساس بالحجم وعنصري الأمان والأداء. ولا نتوقع أن يطرأ جديد فيما يتعلق بخفض وزن السيارات بحلول منتصف العقد القادم.

الشكل المستقبلي للسيارات:

حيث إنه يمكن نظريًّا للسيارات أن تقطع المسافات بنسبة طاقة تساوي صفرًا، علمنا أن هناك إمكانية ضخمة لتقليل استهلاك الطاقة أثناء التنقل بالسيارة. دعونا نمعن النظر هنا في بعض الوسائل المتاحة لتصميم سيارات تستطيع العمل بذات أداء السيارات في أيامنا هذه، غير أنها أقل استهلاكًا بكثير للطاقة.

لننظر أولًا في كفاءة حصان السباق. في الثلاثين من شهر سبتمبر/ أيلول عام 2001م قطع الحصان تروت ستار مسافة 1500 متر في سباق الخيول «سبرنتر ستيكس» في وقت قياسي بلغ 64 ثانية أي بمتوسط سرعة 64 كيلو مترًا في الساعة. بعبارة أخرى استطاع حصان السباق الأصيل ـ والذي يعادل قوة حصان واحد ـ العَدْو بسرعة تعادل أداء سيارة بقوة مائة حصان. وإن شئنا قلنا يستطيع الحصان العَدْو بنسبة واحد من مائة من طاقة السيارة.

أتعلمون ما السبب؟ السبب هو أن الخيول تحتك بنسبة أقل بالأرض أثناء عَدْوها من احتكاك إطارات السيارات بالطرق. فيكتسب الحصان قوة دفع فائقة لدى ركله للأرض بحوافره. بذات الأسلوب ـ وكما رأينا في مثال ارتطام كرة الحديد بالأرض في الفصل الثاني ـ يفقد الحصان بعضًا من طاقته الحركية في صورة هدر حراري عندما تصطدم حوافره بالأرض. ومع ذلك فإن الحصان نشأ للعَدْو بكفاءة بالغة؛ لذا فإن معدل فقده للطاقة لا يكاد يُذكر. وحيث إن المساحة التي يلامسها الحصان من الأرض أثناء عَدْوه تكون صغيرة، كما أن الوقت الذي يستغرقه أثناء لمسه للأرض يكون قصيرًا، فيمكننا القول إن الحصان يطير فوق الأرض ولا يجري عليها.

لعلك تظن أنه إن قل الاحتكاك بين إطارات السيارة والأرض فستدور العجلات حول ذاتها ولن تتحرك السيارة. فهذا بالطبع يمكن أن يحدث بالنسبة إلى سيارات اليوم. ومع ذلك فإن تقليل نسبة الاحتكاك لا يقتضي بالضرورة انخفاض القوة الدافعة التي تنتقل إلى الأرض. ومن الأمثلة التي توضح لنا كيف تغلب شكل من أشكال النقل على هذه المشكلة مثال التزلج على الجليد. فأثناء

التزلج على الجليد تضع وزنك على المزلاج في قدم واحـدة، ما يسمح لك بالتزلج بأقل نسبة احتكاك. وتستخدم المزلاج في القدم الأخرى للدفع بالضغط على أرضية الجليد لتكتسب بذلك قوة دافعة. نضرب مثالًا آخر بوسيلة تستخدم لتسلق الجبال، حيث يفرد المتسلقون فراء فقمة وهو ما يطلق عليه «جلد التسلق» على مزلاج جليد عادي. وبسبب ذاك الفراء يمكن لمتسلق الجبل التحرك نحو الأمام ولكن ليس للخلف. وخلال منافسات التزلج للمسافات الطويلة يتحقق ذات الأمر، حيث يضع المتسابقون الشمع على المزاليج. فإذا تمكنا من صنع إطارات يمكنها الدفع بالسيارة بذات الأسلوب عندها سنتمكن من صناعة سيارة تستطيع السير بأقل نسبة احتكاك بين إطاراتها والأرض.

وإليكم مثالًا آخر يوضح أهمية الوزن بالنسبة إلى السيارة. هناك سباق تتنافس فيه السيارات لقطع أكبر عدد من الأميال نسبة إلى الوقود المحترق. ويتسابق فيها رجال نحيلون يركبون سيارات خفيفة الوزن نحيلة الإطارات. في عام 1998م قطعت السيارة الرابحة مسافة 1600 كيلو متر مستهلكة لترًا واحدًا فقط من البنزين. وأخيرًا خرج علينا المعهد الفيدرالي السويسري للتكنولوجيا بزيورخ بسيارة تعمل بخلية وقود يمكنها قطع مسافة 5134 كيلو مترًا باستخدام ما يعادل لترًا واحدًا فقط من البنزين. ومقارنة بسيارات الركاب التقليدية التي تبلغ كفاءتها استهلاكها للوقود 10 كيلو مترات لكل لتر وقود فإن الفائزين في مثل هذا السباق يستطيعون استهلاك ما تتراوح نسبته بين واحد على ستين وواحد على خمسمائة من كمية البنزين.

وتعدو الخيول بما نسبته واحد على مائة في حين يسير الرابح في سباق سرعة كفاءة الوقود بما نسبته واحد على خمسمائة من الطاقة التي تستهلكها سيارة الركاب التقليدية. إلى أي مدى نستطيع إذًا نستطيع زيادة توفير الطاقة في السيارات؟ إذا ضاعفنا كفاءة تحويل الوقود إلى شغل وقللنا حجم السيارة بمعدل النصف فسيكون من الممكن بحلول منتصف القرن الحادي والعشرين الوصول إلى صناعة سيارة تستهلك ما نسبته ربع كمية الوقود التي تستهلكها

السيارات التي صنعت في عام 1995م. في الواقع تتمتع السيارات الهجينة بالفعل بما يقارب ضِعف كفاءة استهلاك الوقود بالمقارنة بالسيارات التي تعمل بالبنزين، وقد أدى ظهور محركات الحقن المباشر للبنزين إلى زيادة كفاءة استهلاك الوقود لمحركات البنزين التقليدية بنسبة 25٪.

إليكم مثالًا آخر! معظم سيارات اليوم تعمل بنظام النقل الذاتي للحركة.

تستهلك محركات النقل الذاتي وقودًا أكثر بنسبة ما يقرب من 10٪ من الوقود الذي تستهلكه سيارة ذات ناقل حركة يدوي يقودها سائق محترف. والسبب في ذلك كما يلي. جهاز تعشيق التروس (دبرياج) في السيارة ذات ناقل الحركة اليدوي يتصل دون أي تفويت.

ومع ذلك فإن نظيره في ناقل الحركة الذاتي يكون نوعًا ما في حالة تراخ، ما يجعل هناك قدرًا ضئيلًا من التفويت. ويتسبب هذا التفويت في حدوث احتكاك في حركة نقل السيارة ما يقلل من كفاءة استهلاكها للوقود. ولكن ومع ظهور المحركات بنظام نقل الحركة ذي التعشيق المستمر حُلَّت هذه المشكلة تقريبًا، ونتج عن ذلك ارتفاع ما نسبته 10٪ من كفاءة استهلاك الوقود.

وماذا بعد ذلك؟ يبدو من المستحيل أن توصل إلى صناعة سيارة تسير بذات الآلية التي يعدو بها الحصان. ومع ذلك فيمكننا صنع إطارات تستطيع نقل قوة الدفع إلى الأرض بكفاءة عالية، وحينها يتأكد احتمال الوصول إلى ضآلة الاحتكاك. وبإجراء الكثير من التحسينات التقنية قد نستطيع أن نجعل نسبة استهلاك الوقود تبلغ عُشر ما تستهلكه السيارات في أيامنا هذه.

ومع ذلك فمن غير المرجح إنتاج سيارة تصلح للتسويق التجاري بزيادة في كفاءة الوقود تبلغ 500 مِثْل من كفاءة استهلاك بنزين كما هو الحال في سيارة الفائز بسباق السرعة التي لا تستهلك إلا لترًا واحدًا من البنزين. وفي الوقت ذاته لا يمكننا الاستهانة بقدرة التقنية الحديثة في إجراء تحسينات هائلة في مجال رفع كفاءة استهلاك الوقود.

وكلامنا هذا يجعلنا نفكر في تحقيق أرقام قياسية جديدة في الرياضات المختلفة. فقد ظللنا سنين طويلة نعتقد أن الرقم القياسي لقطع مسافة 100 متر عَـدْوًا في غضون عشر ثوان هو أقصى ما يمكن لبشر تحقيقه، ولكن في عام 1968م جاء من حطمه.

وتَبع ذلك تحطيم رقمي قياسي جديد في العَدْو بلغ 9.9 ثانية لذات المسافة، وفي عام 2005م حقق عدَّاء من جامايكا يدعى أسافا باول رقمًا قياسيًّا جديدًا بلغ 9.77 ثانية. فإلى أي مستوى سيظل ذاك الرقم يتناقص؟ من الممكن تحقيق أرقام قياسية في العَدْو قد تبلغ 9.6 بل و9.5 ثانية، ولكن بالطبع لا يستطيع أحد أن يعدو مسافة 100 متر في غضون 9 ثوان فقط. أم تُرانا نجد من يحقق ذلك يومًا ما؟ من يدري فلعل بعضهم يبتكر أسلوبًا يُحْدِث طفرة في عالم التدريب، أو يظهر عَدَّاءُ مسافاتٍ قصيرة يتمتع بقوة تفوق عَدَّائي زماننا بمراحل، فنجد من يحطم الرقم القياسي إلى تسع ثوان. ذات الأمر ينطبق على مجال الإبداع في التكنولوجيا. فدائمًا هناك احتمال ظهور اكتشافات واختراعات لم تخطر ببال أحد من قبل. وحتى هنا انحصر نقاشنا في التطورات المتوقعة لأحدث ما تنتجه لنا التكنولوجيا.

ومع ذلك، فبقدر علمنا أن الطاقة الناتجة عن النقل تساوي صفرًا من الناحية النظرية محال أن ندعي أن للتقنية حدًّا تقف عنده.

2 – المنازل والمكاتب

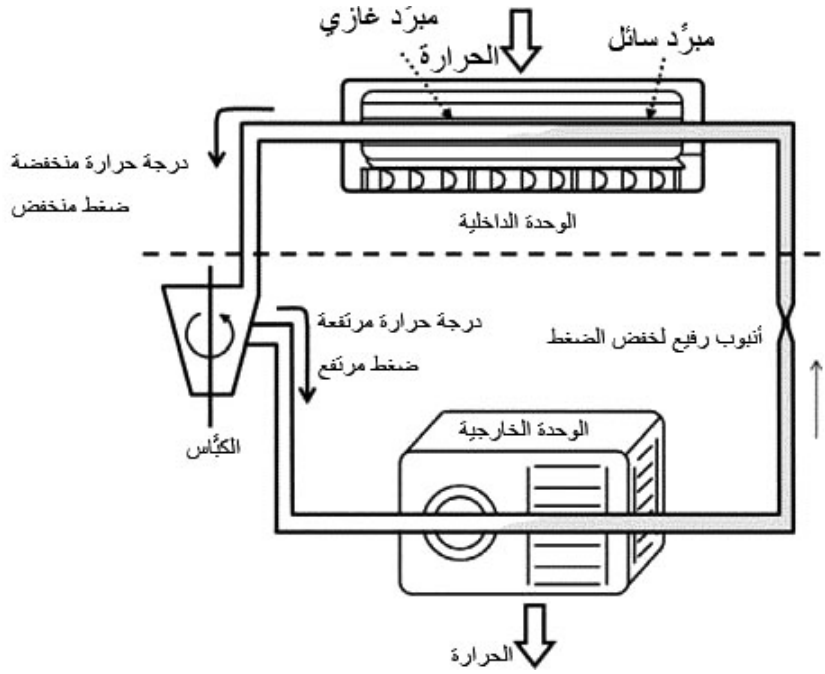
في اليابان تستهلك المنازل والمكاتب الطاقة، سواء كانت كهرباء أو غازًا طبيعيًّا أو كيروسينًا بنسب شبه متساوية في ثلاثة أنشطة يومية رئيسية: أولها تدفئة الغرف وتبريدها، وثانيها الطبخ وتسخين المياه، وثالثها إضاءة المصابيح وتشغيل الأجهزة الكهربائية. وتعادل تلك الاستخدامات ما يقرب من نصف حجم الطاقة المستهلكة خلال الأعمال اليومية، أما النصف الآخر فيُستهلَك في وسائل النقل. ولعلكم تتذكرون ما قلناه حول الحد الأدنى للطاقة المطلوبة للأعمال اليومية.

دعونا نلقي نظرة على الفرق بين ما هو واقعي ومثالي لأعمال يومية مثل: تدفئة الغرف وتبريدها وتسخين الماء وإضاءة المصابيح.

كيف يعمل مكيف الهواء؟

رأينا من قبل كيف أن مكيف الهواء الحديث يمدنا بالسخونة والبرودة باستخدام الطاقة الناتجة عن الكهرباء لضخ الحرارة من الجانب منخفض الحرارة إلى الجانب مرتفع الحرارة. وتتماثل آلية التدفئة والتبريد في مكيف الهواء؛ لذا فلنتناول مثال عملية التبريد الموضح في الشكل رقم 4ـ3.

معظم مكيفات هواء الغرف اليوم تتألف من وحدتين، إحداهما داخلية والأخرى خارجية. يمر سائل خاص يدعى «المبرِّد» عبر أنبوب يربط بين الوحدتين. فعلى سبيل المثال عندما تمسح الكحول على جلدك قبل أخذ حقنة لعلاج نزلة البرد تحس ببرودة مفاجئة. وينتابُ المرءَ هذا الإحساسُ بسبب ذهاب



الشكل رقم 4ـ3: الآلية الرئيسية لمضخة الحرارة (مثال على نظام التبريد)

الحرارة من الجلد بفعل تبخر الكحول. بذات الأسلوب عندما يتبخر سائل التبريد يزيل الحرارة من الهواء المحيط.

وعلى الجانب الآخر إذا بُرِّد السائل الغازي بسبب الهواء المحيط فستنتقل الحرارة إلى الهواء، ثم يتكثف في شكل سائل مرة أخرى. ونستطيع تخيل هذه العملية إذا فكرنا فيما يحدث لزجاج النافذة في الشتاء. فعندما يكون الطقس باردًا تتكون العديد من قطرات الندى على الزجاج، ثم تتجمع في النهاية لتكوِّن جداول مياه صغيرة. ويرجع السبب في هذا إلى أن بخار الماء الموجود في الغرفة يفقد حرارته لدى ملامسته لزجاج النافذة، ثم يبرد، ثم يتكثف في شكل قطرة ندى. ومكيف الهواء عندما يشغَّل على خاصية التبريد يستخدم آليتي التبخير والتبريد لنقل الحرارة من الداخل إلى الخارج بواسطة المبرِّد.

ولكن هناك مشكلة ما تواجهنا هنا بالنسبة إلى الآلية التي ذكرناها في الفقرة السابقة.

يتبخر المبرِّد عند درجات الحرارة العالية في حين يتكثف عند درجات الحرارة المنخفضة، ولكن في هذه الحالة ستنتقل الحرارة من الجانب مرتفع الحرارة إلى الجانب منخفض الحرارة. ففي الصيف هذا يعني أننا سننقل الحرارة من خارج المنزل إلى داخله، وهو ما يضاد تمامًا ما نريد. الطريقة التي تعكس بها مكيفات الهواء في الغرفة هذا التدفق هي أن تجعل ضغط المبرِّد في الوحدة الخارجية أعلى من مثيله في الوحدة الداخلية. فإذا ارتفع الضغط فإن المبرِّد سيتكثف عند درجة حرارة أعلى. هذا هو ذات السبب الذي يجعل حَلَّة الضغط تطهو الطعام بسرعة أكبر؛ لأننا بزيادة الضغط جعلنا درجة غليان الماء تتجاوز 100 درجة مئوية. وكي يزيد الضغط يستخدم مكيف الهواء كباسًّا يعمل بالكهرباء. في الواقع فإن نسبة ما يستهلكه الكباس من كهرباء تعادل تقريبًا كل الطاقة التي يستهلكها مكيف الهواء. وعندما يعود سائل التبريد إلى الوحدة الداخلية يمر عن طريق أنبوب دقيق يطلق عليه «صمام التمدد»، والذي يعمل على تقليل نسبة الضغط. وفي ظل الضغط المنخفض يتبخر سائل التبريد حتى عند درجة حرارة

الغرفة وهي أقل. وبهذه الطريقة يتسنى نقل الحرارة من داخل المنزل وهو بارد إلى الخارج وهو ساخن.

نفترض أنكم ترغبون في استخدام مكيف الهواء للإبقاء على برودة الغرفة في الصيف عند درجة 28 درجة مئوية في الوقت الذي تصل فيه درجة الحرارة بالخارج إلى 35 درجة مئوية. في ظل هذه الظروف سيعمل مكيف الهواء ذو الكفاءة المثالية في استهلاك الطاقة على تبخير سائل التبريد بالداخل عند درجة حرارة 28 درجة مئوية ويكثف غاز التبريد بالخارج عند درجة حرارة 35 درجة مئوية عن طريق استخدام كباس لا يتطلب سوى الحد الأدنى النظري من الطاقة لضغط غاز التبريد.

كما رأينا في الفصل الثالث فإن العلاقة بين استهلاك الطاقة لمكيف الهواء المثالي هذا وكمية الحرارة التي تضخ خارج الغرفة تقوم على أساس درجة حرارة الغرفة بوحدات درجة الحرارة المطلقة مقسومة على الفرق في درجة الحرارة والتي تساوي7 / (28 + 273) إذًا فإن كمية الحرارة التي يمكن أن تضخ إلى خارج الغرفة تساوي حاصل ضرب كمية الشغل المستهلك في 43. ومع ذلك كان باستطاعة مكيفات هواء الغرف التي كانت تباع في عام 1995م أن تطرد كمية من الحرارة من غرفة تبلغ أربعة أمثال كمية الكهرباء المستهلكة. رأينا كيف أن قيمتي الكهرباء والشغل متعادلتان؛ لذا فإن هذه الفئات من مكيفات الهواء تنتج أقل من عُشر الكفاءة المثالية لاستهلاك الطاقة.

حفظ الطاقة بتحسين كفاءة مكيف الهواء:

هناك سببان أساسيان لتلك الفجوة بين القيمة المثالية والقيمة الحقيقية لكفاءة مكيفات هواء الغرف. أولهما أن الكباس يستهلك ضِعف الطاقة الكهربائية المطلوبة من الناحية النظرية. ويرجع استهلاك هذه الطاقة الكهربائية الزائدة إلى أن كفاءة تحويل الكهرباء إلى شغل وحجم الشغل المستخدم أثناء عملية الكبس يتعدى بمراحل القيم المثالية.

ويمكننا رفع أداء طاقة تحويل الكهرباء إلى شغل باستخدام مغناطيس دائم ذي أداء عال في المحرك. وعن طريق إدخال التحسينات على التقنيات حدث أن الشغل المستخدم في الكباسات الضخمة مثل تلك المستخدمة في المصانع ارتفع ليصل إلى مستويات كفاءة بلغت 90٪. وكفاءة الكباسات في مكيفات هواء الغرف لا تتجاوز 50٪؛ لذا فلا بد من وجود إمكانية لتحسين هذه القيمة. كما سبق ورأينا في الفصل الثالث أن المبدأ الرئيس لرفع أداء الكبس يتأتى من فعله ببطء، وهذا يتضح في حقيقة أنك إذا ضغطت الهواء الموجود داخل الحقنة برفق تستطيع فعل هذا بقدر شغل قليل نسبيًّا، أما إذا ضغطت الهواء سريعًا فسيزيد الشغل زيادة كبيرة. ففي الكباسات صغيرة الحجم مثل تلك المستخدمة في مكيفات هواء الغرف لا يكون هناك مفر في الغالب من تجنب الضغط بسرعة. ولكن لو ضمَّنَّا عنصر توفير الطاقة في أهداف تصميم الأجهزة فحتمًا سنحسن من كفاءة أدائها.

وثانيهما ـ وهو أهمهما ـ والذي يعود إليه أن الفرق بين ما هو مثالي وما هو حقيقي كبير للغاية، هو اختلاف درجة الحرارة المستخدمة في مكيفات هواء الغرف. فبالرغم من أن الفرق بين درجة الحرارة في الداخل التي تبلغ 28 درجة مئوية ودرجة الحرارة في الخارج التي تبلغ 35 درجة مئوية لم يتعدَّ السبع درجات مئوية في المثال الذي ضربناه، نجد أن مكيفات الهواء التي كانت تصنع عام 1995م كانت مصممة لتبلغ درجة حرارة المبرِّد فيها خمس درجات مئوية في الوحدة الداخلية (التبريد) وأربعين درجة مئوية في الوحدة الخارجية (التدفئة) ـ أي بفارق 35 درجة مئوية. ولهذا السبب وحده نحتاج إلى مضاعفة المقدار المثالي للطاقة الكهربائية المستخدم لأكثر من خمس مرات. وبضم زيادة تلك الأمثال الخمسة من فرق درجة الحرارة إلى زيادة المِثْلين من الكبس يصبح لدينا فارق الأمثال العشرة كما رأينا من قبل بين الكفاءة المثالية والكفاءة الحقيقية لمكيف هواء غرفة عادي.

الفرق بين درجة الحرارة الداخلية للمكان والوحدة الداخلية يبلغ 23 درجة مئوية. وعلى النقيض من ذلك لا يتجاوز الفرق بين درجة الحرارة

الخارجية والوحدة الخارجية 5 درجات مئوية. تُرى ما السبب؟ مكيفات الهواء التقليدية تحسِّن كفاءة نقل الهواء الساخن في الوحدة الخارجية باستخدام مروحة قوية لدفع الهواء عبر أنابيب تحتوي على مبرِّد مضغوط. ولأن تدفق الهواء قويٌّ جدًّا أصبح فرق الخمس درجات بين درجة حرارة الهواء البالغة 35 درجة مئوية ودرجة حرارة المبرِّد البالغة 40 درجة مئوية كافيًا لتشغيل مكيف الهواء. ومع ذلك هناك شق سلبي: فعندما يمر أحدنا بالقرب من الوحدة الخارجية يصطدم بتيار من الهواء الساخن. وإذا ما نجحنا في جعل الهواء المتدفق عن طريق الوحدة الداخلية بذات قوة اندفاع الهواء من الوحدة الخارجية عندها ستصبح درجة حرارة المبرد التي تقل بخمس درجات عن درجة حرارة الهواء في الوحدة الخارجية كافية. ونتيجة لذلك ستقل درجة الحرارة بين الوحدة الداخلية والوحدة الخارجية في حدود هذا المثال من 35 درجة مئوية إلى 17 درجة مئوية، وبهذا نستطيع توفير 50٪ من الطاقة.

وأخيرًا عكف مصنِّعو مكيفات الهواء على دراسة وسائل تحسين نقل الحرارة إلى الوحدة الداخلية. فإذا ما استطعنا توسيع منطقة نقل الحرارة بين المبرِّد والهواء عندها سيكون مقدار أصغر من فارق درجة حرارة كافيًا للإمداد بالبرودة المطلوبة دون الحاجة إلى تقوية تدفق الهواء. وهناك العديد من التقنيات المستخدمة في مكيفات الهواء الحديثة بهدف زيادة المنطقة السطحية لنقل الحرارة. ومن بين تلك التقنيات توصيل ريش بالأنبوب من الخارج يتدفق الهواء من خلالها. وهناك تقنية أخرى تتضمن تركيب حواجز داخل الأنبوب، والتي تتسبب في اضطراب في تدفق المبرِّد، مما يزيد من معدل نقل الحرارة. وهناك أنظمة أخرى قيد التجربة مثل تدفئة الحوائط وتبريدها. إذا استخدمنا كامل مساحة الحائط فسنحصل على مساحة نقل حرارة أكبر بكثير، ومن ثم يمكن الحصول على تدفئة كافية وتبريد كافٍ عن طريق فارق درجة حرارة أقل. علاوة على ذلك، سيقل الفرق في درجة حرارة الغرفة، وبهذا نكون قد حققنا ـ كمنفعة جانبية ـ بيئة معيشية مريحة أكثر.

هناك طريقة أخرى لتحسين عملية نقل الحرارة في الوحدة الداخلية، وذلك عن طريق تصميم مجرى أفضل للتدفق عبر الوحدة. واليوم نجد مصنّعي مكيفات الهواء يستخدمون نماذج محاكاة بواسطة الحاسوب للتخطيط لأفضل المواضع المناسبة لوحدات التبادل الحراري داخل مكيف الهواء لمضاعفة معدل نقل الحرارة.

ونتيجة لهذه التطورات التقنية حدثت طفرة نوعية في مكيفات هواء الغرف خلال العقد الماضي. فوجدنا أحدث مكيفات الهواء اليابانية تستطيع ضخ مقدار من الحرارة خارج الغرفة يفوق بسبعة أمثال مقدار الكهرباء المستهلكة، وهو ما يعني تحسينًا تصل نسبته إلى 40٪ مقارنة بأفضل مكيفات عام 1995م كفاءة. وقد توصلنا إلى هذه الزيادة في الكفاءة عن طريق إجراء تحسينات على كفاءة الكباس ومكونات مكيف الهواء الأخرى. ومع ذلك فما يفوق هذا أهمية تلك التحسينات التي أجريت على عملية تدفق الهواء، ما مكَّن من تقليل الفرق بين درجة حرارة الغرفة من ناحية ودرجة حرارة مبرِّد الوحدة الداخلية من ناحية أخرى بنسبة تقارب 30٪.

ومع ذلك إذا أفرطنا في رفع درجة حرارة المبرِّد الداخلي بهدف التبريد في الصيف فستظهر مشكلة أخرى. فعملية التبريد لا تمثل سوى إحدى وظيفتي مكيف الهواء. فهناك وظيفة أخرى تسمى التجفيف.

جزء من عدم الشعور بالراحة الذي تحسون به خلال يوم من أيام الصيف الحار يرجع إلى ارتفاع درجة الحرارة، إلا أن ارتفاع الرطوبة عامل آخر يؤثر في ذلك. فمكيفات الهواء لا تزيل الحرارة من الغرفة فحسب، بل الرطوبة أيضًا. ويحدث هذا لأن الرطوبة الموجودة في الجو الدافئ تتكثف داخل الوحدة الداخلية ثم يُتخلص منها. ولا تحدث عملية التكثف هذه إلا عندما تكون الوحدة الداخلية باردة بما يكفي. فإذا تعدت درجة حرارة الوحدة الداخلية خمس عشرة درجة مئوية قل معدل التكثف بشدة.

ولحل هذه الإشكالية يعكف مصنّعو المكيفات على تصميم أنظمة

مكيفات هـواء تعمل على إزالـة الحرارة والرطوبة كل في مرحلة منفصلة. ويُتخلص من الرطوبة عن طريق مواد خاصة تسمى المجففات، ولهذا لا يحتاج الجزء الخاص بضخ الحرارة في المكيف إلا إلى التخلص من الحرارة من الغرفة. وبهذه الطريقة يمكن التقليل أكثر من فرق درجة الحرارة.

حفظ الطاقة عن طريق تقليل الحِمْل:

إدخال التحسينات على مكيف الهواء ليس هو الطريقة الوحيدة لتقليل كمية الطاقة المستهلكة خلال عمليتي التدفئة والتبريد. فعندنا وسائل أخرى منها تحسين العزل في منازلنا.

فعندما تعود إلى منزلك في الصيف فإذا حدث وكنت قد خرجت لفترة وتعرضت لحرارة الشمس الساطعة، فربما ستجد أن منزلك حار جدًّا هو الآخر.

لذا تبادر إلى تشغيل مكيف الهواء. وفي خلال دقيقتين إلى ثلاث دقائق يبرد المنزل. ثم إذا أطفأت مكيف الهواء فستتسرب الحرارة من الخارج وسرعان ما يعود المنزل حارًّا مرة أخرى. ومن ثم يجدر بنا أن نضع في اعتبارنا أن تكييف الهواء لا يعني تبريد غرفة حارة، بل هو التخلص من الحرارة القادمة من الخارج. فعزل منزلك يقلل مقدار الحرارة المتسربة إليه.

ومقدار الحرارة المتسربة من الخارج تلك يطلق عليه اسم «حِمْل التبريد».

الطاقة المطلوبة للتبريد تقاس بحساب نسب حِمْل التبريد نسبة إلى مقدار الحرارة الذي يمكن أن يُطرد إلى خارج الغرفة باستخدام مقدار معين من الطاقة.

ومن شأن زيادة كفاءة مكيف الهواء أن تقلل من استهلاك الطاقة عبر زيادة الحرارة المتخلص منها بنسبة معينة من الطاقة. ومع ذلك نستطيع أيضًا تقليل الطاقة المطلوبة للتبريد بتقليل حمل التبريد.

مقدار الحرارة المتدفقة إلى الغرفة يتناسب طرديًّا مع فرق درجات الحرارة في الداخل والخارج، فكلما كان الفرق أكبر ازداد تدفق الحرارة، لذا فمن طرق

تقليل حمل التبريد رفع درجة منظم الحرارة؛ وفي الواقع نستطيع تقليل حمل التبريد إلى نسبة صفر بمعادلة درجة حرارة الغرفة بنظيرتها في الخارج. ومن الأهمية بمكان العمل على توفير الطاقة، ومن ذلك رفع درجة منظم الحرارة في الصيف. ومع ذلك فإن تركيزنا في هذا الكتاب ينصب على الدور الذي يمكن أن تؤديه التقنية الحديثة في إعداد مجتمع مستدام. فكونك تقرر رفع أو خفض درجة حرارة الغرفة لتوفر الكهرباء ـ وهو مشكلة أسلوب حياة ـ ليس محل حديثنا في هذا الكتاب.

التقنية المستخدمة لتخفيض حمل التبريد هي تحسين عزل الغرفة المراد تدفئتها أو تبريدها. ويتضمن هذا أمورًا منها استخدام مواد عالية الجودة لعزل أرضيات الغرف وحوائطها وأسطحها، إضافة إلى تزويد النوافذ بألواح زجاجية مزدوجة. ففي منازل شمال أوروبا وكندا، حيث يكون البرد قارسًا خلال الشتاء برع الناس هناك في ابتكار الكثير من وسائل العزل. ومع ذلك فخلال عملية عزل المنازل إذا انتهى بنا الأمر أن أفرطنا في منع دخول الهواء إليها فسيفسد الهواء بداخلها وسنحتاج حينها إلى البحث عن وسيلة لتحسين التهوية. وبالطبع إذا اكتفينا بفتح النوافذ فستزيد أحمال التسخين والتبريد ويفوت بذلك تحقيق الهدف من عملية العزل.

من ناحية أخرى، إذا أدخلنا الهواء الخارجي إلى المنزل للتخلص من الحرارة، وإخـراج الهواء الداخلي عبر لوح معدني فيمكننا استخدام الهواء الدافئ بالداخل لتدفئة الهواء البارد الخارجي أثناء تدفقه إلى المنزل. علاوة على ذلك فبدلًا من استخدام لوح معدني يمكننا استخدام فاصل يسمح لبخار الماء والحرارة بالمرور ويحدِث تبادلًا بين الهواء في الداخل والخارج، كما نستطيع تجفيف الهواء القادم من الخارج خلال فصل الصيف ونسترجع رطوبة الهواء الخارج خلال فصل الشتاء.

في الواقع ما يقرب من نصف مباني المكاتب الجديدة في اليابان معدة بهذه الأنظمة لتبادل الحرارة والرطوبة. وكذلك المباني السكنية تستخدم أنظمة

التهوية تلك وبمعدل متزايد. ولكن الكثير من الهواء المأخوذ من داخل الغرف مثل المطابخ والحمامات لا يكون مناسبًا لتبادل الحرارة والرطوبة.

لذلك لا تكون كفاءة هذا النظام بذات المقدار في المنازل والشقق كما هو الحال في المباني المكتبية.

من الإهدار استخدام الغاز لغلي الماء:

في الخطوة التالية دعونا ننظر في أمر الطاقة المستهلكة لتسخين المياه من خلال مثال التحضير للاستحمام. عملية التحضير للاستحمام تتضمن تسخين مياه درجة حرارتها 20 درجة مئوية لتصير 40 درجة مئوية ولذات الأسباب ـ كما هو الحال في تدفئة غرفة ـ نصل إلى الحد الأدنى من الطاقة المطلوبة باستخدام مضخة حرارية مثالية. إذا كان فرق درجة الحرارة 20 درجة مئوية فنظريًّا فسيتطلب ذلك مقدار حرارة في صورة شغل لا يتجاوز 20 / (40 + 273) أو واحد من خمسة عشر جزءًا. كذلك تسخين مياه الحمام مباشرة بحرق بعض الوقود مثل الغاز يعني أننا بحاجة إلى الاستهلاك مقدار من طاقة الوقود على الأقل يعادل مقدار الحرارة المطلوبة للاستحمام. لذا نستطيع تحقيق هدفنا بنسبة استهلاك أقل بكثير باستخدام مضخة حرارية. وهذا هو ذات السبب الذي لاحظناه في الفصل السابق عند الإشارة إلى أن غلي الماء باستخدام الغاز لإعداد القهوة المقطرة إهدار للطاقة.

فاستخدام مضخة حرارية لتدفئة الحمام أو غلي الماء أكثر صعوبة من تدفئة الغرفة. فإذا أردنا الوصول بسائل المضخة الحرارية إلى درجة حرارة 45 للحصول على ماء تبلغ حرارته 40 درجة بهدف الاستحمام، فسيستغرق تسخين الماء وقتًا طويلًا جدًّا. ولكي نسخن الماء بشكل أسرع علينا رفع درجة الحرارة؛ ومع ذلك ففي الوقت الذي زاد فيه فرق درجة حرارة المضخة الحرارية زادت معه الطاقة المطلوبة. منذ عشر سنوات كان هذا يبدو مشكلة لا حل لها.

ولكن بفضل جهود شركات الطاقة الكهربائية والمصنِّعين أصبحت

المضخات الحرارية متاحة الآن في الأسواق، ويمكنها تسخين الماء بدءًا من درجة الحرارة المحيطة إلى 90 درجة مئوية، والتي تتجاوز الحد المطلوب لإمداد المنزل بما يحتاجه من الماء الساخن.

هناك بدائل أخرى لتقليل هدر الطاقة الكبير الذي ينشأ عن التسخين المباشر للحمام. فعلى سبيل المثال تعلمنا من قانون حفظ الطاقة أننا عندما نحرق مصادر الطاقة في المصانع ومحطات توليد الكهرباء، أنه حتى وإن تحولت في النهاية إلى أشكال مفيدة مثل الكهرباء والشغل وطاقة الحركة، فكل ذلك ينتهي به الأمر إلى أن يصبح حرارة. وبوجه عام الأشكال المفيدة للطاقة لا يمكن أن تستمد من حرارة قد تصل إلى 40 درجة مئوية، لذا نجد داخل المصنع أن هناك مصادر لا حصر لها من الحرارة الزائدة هي عند درجة حرارة منخفضة نسبيًّا.

يمكننا اعتبار هذه الحرارة منخفضة الدرجة نوعًا من الإهدار لمصادر الطاقة، وقد سبق أن تعرضنا مرارًا لهذا الهدر الحراري، والذي تتخلص منه محطات توليد الكهرباء بإلقائه في الأنهار. فإذا حالفتنا الظروف (أو لم تحالفنا) وسكنَّا بالقرب من مصنع ما أو محطة توليد كهرباء، فيمكننا استخدام هذه الطاقة الحرارية المنخفضة لتسخين مياه حماماتنا.

ما مدى تأثير التوليد المشترك للطاقة؟

هناك إمكانية أخرى اقترحت للحصول على الحرارة بنسبة إهدار أقل وتسمى «التوليد المشترك للطاقة»، وتسمى في بعض الأحيان «الجمع بين الطاقة والحرارة» وتعني التوليد المتزامن لكل من الكهرباء والحرارة.

وقد رأينا في الفصل الثاني أن هناك طريقتيْن لتوليد الكهرباء، باستخدام مولد أو خلية كهربائية. وكثير من التقنيات المختلفة تُستخدم لتوليد الكهرباء بكلتا هاتيْن الطريقتيْن، بما في ذلك توربينات الغاز وخلايا الطاقة. وكلتا التقنيتيْن تفقد شيئًا من مدخلات الطاقة في صورة حرارة. فعلى سبيل المثال، أثناء عملية توليد

الطاقة الكهربائية باستخدام توربين الغاز يتحول مقدار كبير من الطاقة الكيميائية للوقود إلى حرارة، ولذا يهدف التوليد المشترك للطاقة إلى حُسْن استخدام كل من الحرارة والكهرباء. وإذا بلغت الحرارة الصادرة عن توربين الغاز 100 درجة فهذه درجة تكفي لتسخين ماء الحمام وعمل القهوة والإمداد بالماء الساخن للأغراض المنزلية والمكتبية المختلفة. وبهذا يمكننا الاستفادة من الحرارة وإلا تبددت إلى البيئة المحيطة.

ولكن في الواقع لم ينجح توليد الطاقة المشترك كما كان متوقعًا. والسبب الرئيس في هذا هو أن الطلب على الطاقة الحرارية قليل مقارنة بالطلب على الكهرباء. ففي أنظمة التوليد المشترك القائمة على استخدام توربينات الغاز مع بداية القرن حُوِّل ما نسبته 30٪ من الطاقة الكيميائية للوقود إلى كهرباء، وحُوِّل ما نسبته 40٪ إلى حرارة، في حين فُقِدَ ما نسبته 30٪. ومع ذلك قليلة هي الأماكن التي تُستخدم فيها الحرارة أكثر من الكهرباء، منها الفنادق المزوَّدة بحمامات سباحة دافئة أو ساخنة. فإذا كنا لن نستخدم الطاقة الحرارية على أي وضع كان فمن الأفضل لنا اللجوء إلى محطات توليد الكهرباء العادية، حيث تفوق كفاءة الطاقة بها 50٪. وحتى وإن ضممنا إلى ذلك الحرارة الناتجة عن عملية التوليد المشترك فنظام التوليد المشترك الذي يَنتج عنه 30٪ كهرباء و40٪ حرارة عند درجة حرارة 90 درجة مئوية ما هو إلا خيار أسوأ فيما يخص الموارد المستهلكة مقارنة بمحطة توليد الكهرباء التي تنتج 50 ٪ كهرباء وتتخلص من بقية الحرارة. والسبب في هذا هو أنه حتى وإن انتهى بنا الأمر إلى استخدام 20٪ من الطاقة الكهربائية المتولدة بواسطة محطة توليد طاقة عادية لإنتاج طاقة حرارية يمكننا استخدام مضخات الحرارة المتوافرة في الأسواق لضخ ثلاثة أمثال ذلك المقدار من الحرارة، بدءًا من درجة الحرارة المحيطة إلى 90 درجة مئوية. وهذا يعادل 60٪ من الطاقة الكيميائية الأصلية، والتي تتجاوز نسبة الـ40 ٪ من الطاقة الحرارية المنتجة عن طريق التوليد المشترك.

ولقد تحسنت أنظمة توليد الطاقة المشترك، حيث أصبح من الممكن

استعادة 50٪ من الحرارة، وهذا يعني أن فاقد الحرارة أصبح لا يتجاوز 20٪. ومع ذلك ولتشجيع استخدام أنظمة التوليد المشترك علينا ابتكار أنظمة توليد مشترك صغيرة تتمتع بكفاءة عالية في توليد الكهرباء. ومن ذلك ابتكار نظام توليد مشترك قائم على خلية الوقود. ويمكن لخلايا الوقود توليد كهرباء بكفاءة 50٪، ولكن ما يتبقى من الطاقة الكيميائية للوقود ينتهي به الأمر إلى أن يصير حرارة. وإذا عملت خلية الوقود عند درجة حرارة 100 درجة مئوية فإن الحرارة الزائدة تطلق منها حال كونها تبلغ 100 درجة مئوية.

إذا كان لدينا خلية طاقة تعمل عند درجة حرارة 100 درجة مئوية وتولِّد طاقة كهربائية بكفاءة تصل إلى 50٪ فنستطيع الحصول منها على بعض الطاقة الكيميائية التي لم تتحول إلى طاقة كهربائية في صورة ماء ساخن في درجة الغليان. ويحتوي هذا الماء الساخن على ما مقداره 30٪ من الطاقة الكيميائية الأصلية. حتى لو استخدمنا بعضًا من الحرارة المنبعثة من خلية الطاقة في عملية التسخين المسبق للوقود والهواء فستكون هناك زيادة في الحرارة. وفي الواقع يجب أن تزوَّد تلك الخلية بنظام تبريد، لأننا إن لم نتخلص من الحرارة فسترتفع درجة حرارة الخلية فوق الحد المطلوب.

بعبارة أخرى حتى لو لم تكن هناك حاجة إلى الحرارة يتحتم علينا التخلص من تلك الحرارة من المبرِّد قبل إعادته إلى خلية الطاقة. وإذا تمكنا من ابتكار نظام توليد طاقة مشترك قائم على خلية طاقة فسيصبح بذلك منافسًا من ناحية الكفاءة في توليد الطاقة الكهربائية للمنشآت الضخمة لتوليد الطاقة الكهربائية، لذا فأي طاقة حرارية مستخدمة بنظام التوليد المشترك ستكون بمثابة منفعة إضافية.

تقليل الطاقة المستهلكة في التدفئة والتبريد إلى العُشر:

رأينا في الصفحات القليلة السابقة عِظَم ما يُهدَر من موارد الطاقة في مجالات التكنولوجيا المتعلقة بتدفئة الأماكن وتبريدها والثلاجات والحمامات وتسخين المياه. ونتيجة لذلك لزم توفير مساحة كبيرة لتقليل استهلاك الطاقة. حتى وإن استطعنا تقليل فرق درجة الحرارة لمضخات الحرارة بنسبة الثلث

ورفع كفاءة مضخات الكبس من قيمتها الحالية التي تبلغ 50٪ إلى 75٪ فلن يطرأ تخفيض على نسبة استهلاك مكيفات الهواء أثناء نقلها لمقدار معين من الحرارة لأكثر من الخُمس. وإذا خفضنا أحمال التدفئة والتبريد إلى النصف عن طريق تحسين العزل فلا بد من أن تكون هناك إمكانية لتقليل الكهرباء المستهلكة في تكييف الهواء إلى عُشر ما كان عليه الحال في عام 1995م.

والثلاجات هي الأخرى مضخات حرارية؛ لذا فمن الناحية النظرية لا بد من إمكانية تحقيق ترشيد للطاقة بذات الطريقة المتبعة مع مكيفات الهواء.

علاوة على ذلك، وإضافة إلى تحسين نظام العزل يمكننا التقليل إلى أقصى حد ممكن من الزيادة في الحمل الذي يقع عند فتح باب الثلاجة وغلقه عن طريق تقسيم مساحة الثلاجة.

ويمكننا ابتكار طرق لاستخدام الحرارة المهدرة من الثلاجات والأجهزة الكهربائية الأخرى في تسخين المياه أو توفير التدفئة لأماكن معيشتنا، ما سيترتب عليه توفير أكثر للطاقة.

الإضاءة:

الإضـاءة عبارة عن نشاط يومي يتذيل قائمة كفاءة استهلاك الطاقة. والمصابيح المتوهجة (مصابيح التنجستين) لا تحوِّل من الكهرباء سوى مقدار 2٪ إلى ضوء، بل وحتى مصابيح الفلوريسنت التي نعتبرها موفرة للطاقة لا تتعدى نسبة كفاءتها 12٪. فنحن بحاجة إلى تحسين كفاءة مصابيحنا الضوئية. وقد تسهم أشباه الموصلات في هذا الأمر إسهامًا مهمًّا. وقد بدأت أشباه موصلات خاصة تسمى «الصمامات ثنائية الباعث للضوء» في الظهور مثل مؤشرات الضوء في أجهزة التلفاز وأجهزة الاستيريو وإرشادات الطرق الضوئية وشاشات العرض في المطارات ومحطات القطار. وأخيرًا بدأت بعض أشكال الإضاءة هذه في الظهور في الفنادق. فإذا رأيت مصباحًا من هذا النوع فتحسسه بحذر لترى ما إن كان ساخنًا أو لا، بل إننا نحس بسخونة بالغة عند ملامستنا لمصباح الفلوريسنت.

أما إذا وجدت المصباح غير ساخن، فهو بكل تأكيد مصباح من طراز «LED» عالي الكفاءة. وبتطوير هذا النوع من التقنية لا بد وأن نرى زيادة في معدل الكفاءة الضوئية تتراوح بين مِثلين وثلاثة أمثال حتى إذا ما قارناها بالمصابيح الفلوريسنت.

3 ـ محطات توليد الكهرباء:

رأينا كيف أن التقنيات التي تزيد من كفاءة الطاقة لدى الأجهزة الكهربائية مثل مكيفات الهواء وأجهزة الإضاءة يمكن أن يكون لها تأثير بالغ في استخدام الطاقة. وإمكانات ترشيد الطاقة في الشق الخاص بالإمداد بالكهرباء أو بمعنى آخر محطات توليد الكهرباء عظيمة هي الأخرى. هنا دعونا ننظر في محطات توليد الكهرباء الحرارية.

كما رأينا في الشكل رقم 2ـ2 فإن محطة توليد الكهرباء الحرارية هي آلية لتحويل الطاقة الكيميائية للوقود إلى طاقة كهربائية. ويتمثل الهدر الحراري في محطة توليد الكهرباء الحرارية في مقدار الطاقة الكيميائية التي لم تحوَّل إلى طاقة كهربائية. ولهذا حتى نستطيع رفع كفاءة التوليد الكهربائي علينا أولًا الوصول بالجزء المهدر حراريًّا إلى حده الأدنى.

حدود ارتفاع درجة الحرارة:

خلال النصف الثاني من القرن العشرين طرأ تطور مذهل في تقنيات توليد الطاقة الكهربائية في محطات توليد الكهرباء الحرارية. ارتفعت كفاءة توليد الطاقة لمحطات توليد الكهرباء الحرارية من نسبة كانت تقارب 20 ٪ خلال منتصف القرن إلى ما يربو على 40٪ بنهاية القرن. ويرجع الفضل في تلك الزيادة إلى التقنيات التي أتاحت الفرصة لرفع درجة حرارة وضغط البخار في محطات توليد الكهرباء، حيث أصبحت درجة حرارة البخار محطات توليد الكهرباء الحرارية ـ التي كانت في أول الأمر تناهز 450 درجة مئوية ـ أصبحت تتجاوز 600 درجة مئوية. في الوقت ذاته ارتفع ضغط البخار من 40 وحدة ضغط إلى أن

تجاوز 300 وحدة ضغط. ونتيجة لتلك التطورات في التقنية يمكن أن يزيد مقدار كفاءة توليد الكهرباء إلى ما يتجاوز 42٪.

ويسعى الآن مصنِّعو محطات توليد الكهرباء الحرارية الدفع بحدود درجة الحرارة إلى 700 درجة مئوية ما يترتب عليه زيادة أكثر في رفع كفاءة الطاقة. ومع ذلك فإن درجة الحرارة والضغط في وقتنا الحالي تقارب حدود المواد المستخدمة في محطة توليد الكهرباء. وإذا حاولنا رفع تلك الزيادة أكثر فسيذيبُ البخارُ مكوناتِ مواد التوربين المصنوعة من الحديد أو يحدثُ فيها تآكلًا.

وبالفعل هناك طريقتان للنظر في مقدار كفاءة الطاقة في محطات توليد الكهرباء.

يتطلب تحويل الماء إلى بخار وجود حرارة حتى وإن لم تتغير درجة الحرارة، وعندما يتحول البخار إلى ماء يتولد عن ذلك طاقة. ولحساب درجة كفاءة محطة توليد الطاقة الحرارية نقسم الطاقة الكهربائية المتولدة على الحرارة المطلوبة لإنتاج هذه الكهرباء. ومع ذلك يعتمد مقدار الحرارة المتاحة من البخار على ما إذا كنا نأخذ في الحسبان الحرارة المتولدة عندما يتحول البخار الذي يوفر تلك الحرارة إلى ماء. ويطلق على حجم الطاقة الحرارية المتولدة عند تحول البخار إلى ماء «القيمة الحرارية العليا». أما حجم الطاقة المتولدة عند انخفاض درجة حرارة البخار من البداية إلى أقصى درجة حرارة فيطلق عليها «القيمة الحرارية الدنيا». فالقيمة الحرارية العليا أكبر من القيمة الحرارية الدنيا، لذا يحسب مقدار كفاءة الطاقة لمحطة توليد الكهرباء الحرارية على أساس أن القيمة الحرارية العليا الحرارية ستكون أقل من كفاءة الطاقة التي تمنحها القيمة الحرارية الدنيا. في الواقع لا بد من توفير طاقة الوقود الأحفوري لتحويل الماء إلى بخار، إضافة لرفع درجة حرارة البخار، وبذلك تكون على الأرجح الكفاءة المبنية على القيمة الحرارية العليا أكثر دقة. وسنستخدم في كتابنا هذا الكفاءة القائمة على القيمة الحرارية العليا.

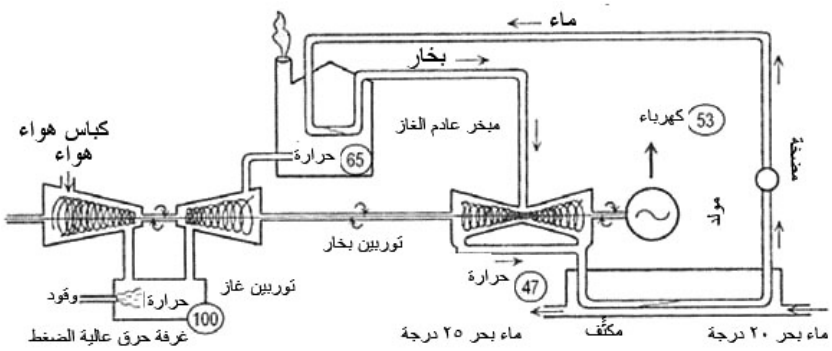
وحتى إذا رفعنا كفاءة الطاقة بنسبة 42٪ أثناء عملية توليد الكهرباء في

محطة توليد الكهرباء تبقى هناك نسبة من الهدر البيئي للطاقة الكيميائية للوقود قدرها 58٪ وغالبًا ما يكون هذا في المكثف. ولرفع الكفاءة لا بد من إيجاد وسيلة لزيادة مدخلات درجة حرارة التوربين. والسبب يرجع في هذا، كما رأينا في الفصل الثاني، إلى أن قيمة الطاقة الحرارية المرتفعة أعظم من نظيرتها المنخفضة، حيث إن جزءًا كبيرًا من الحرارة يتحول إلى طاقة كهربائية.

توليد الكهرباء عن طريق الدورة المركبة:

يكمن الإبداع التقني الذي كسر حاجز كفاءة الطاقة في دمج توربين البخار وتوربين الغاز لإنتاج دائرة مركبة (الشكل رقم 4ـ4). يعمل توربين الغاز بالأساس بذات الطريقة التي يعمل بها المحرك النفاث. ففي الدائرة المركبة أول ما يجري هو استخدام غاز الاحتراق الموجود في الوقود لتشغيل توربين الغاز وينتج ذات القدر من الطاقة الكهربائية. ويحتفظ عادم الغاز المنبعث من توربين الغاز بدرجة حرارة تبلغ 1000 درجة مئوية، ولهذا يستخدم عادم الغاز لتوليد البخار، كما تتولد طاقة كهربائية إضافية بواسطة توربين البخار العادي. ومن الممكن أن تزيد كفاءة الدائرة المركبة بسبب ارتفاع الحد الأقصى لدرجة الحرارة لتوليد الطاقة الكهربائية. وبدلًا من استخدام ذلك لإنتاج بخار تبلغ درجة حرارته 600 درجة مئوية يستخدم غاز الحرق بدرجة حرارة قد تصل إلى 1500 درجة مئوية بواسطة توربين الغاز لتوليد الطاقة الكهربائية مباشرة. ومنذ شهر يونيو/ حزيران عام 2007م وهناك وحدة في محطة كاواساكي للطاقة الحرارية في اليابان تستخدم تقنية الدائرة المركبة هذه، وهي تدار تجاريًّا، وتتمتع بكفاءة طاقة كهربائية تبلغ 53٪. وهناك مثال آخر هو وحدة تملكها شركة جنرال موتورز تعمل في ذات المجال في خليج باجلان بمقاطعة ويلز.

نظريًّا يمكن رفع كفاءة الطاقة بنسبة أكبر إذا زادت درجة الحرارة، ولهذا هناك جهود تبذل لإيجاد طرق لرفع درجة حرارة توربين الغاز بنسبة أكبر. ومن المشكلات التي تعترض طريقنا في ذلك، أن مواد توربين الغاز المستخدمة في محطات توليد الكهرباء حاليًا لا تستطيع تحمل درجات حرارة تزيد على 1500



الشكل رقم 4ـ4: الآلية الرئيسية التي تعمل بها محطة توليد الكهرباء عن طريق الدائرة المركبة باستخدام توربينات الغاز.

ملاحظة: كباس الهواء وتوربين الغاز وتوربين البخار كلها مركبة على ذات المحور. النظام في الأساس هو ذات النظام المتبع في الشكل رقم 2ـ2 مع إضافة توربين غاز. وعدد الدوائر يمثل كميات الطاقة في كل جزء من الأجزاء عندما تكون طاقة الوقود 100 درجة.

درجة مئوية. ومع ذلك فمع تطوير مواد جديدة وتحسين تصميم تركيب توربين الغاز بدت المظاهر مبشرة للوصول إلى درجة حرارة 1700 درجة مئوية. وكنتيجة لتلك الجهود إلى جانب التطورات التي طرأت على تقنيات التبريد الضرورية لحفظ شفرات التوربين من البلى يُعتقد أن تجاوز كفاءة توليد الطاقة الكهربائية لنسبة 55٪ أمر يحتمل حدوثه في المستقبل القريب.

هل هذا هو أقصى ما نستطيعه؟ لا! على الإطلاق. الحد النظري لكفاءة توليد الطاقة هو 100٪. وهناك دراسات الآن تُجرى للنظر في طرق متنوعة للاقتراب من هذا المستوى من الكفاءة. ما اطلعنا إلا على بعض الطرق التي يجري استكشافها لرفع درجة حرارة توربين الغاز. ومن بين الأبحاث الأخرى التي تُجرى وتستهدف زيادة كفاءة توليد الطاقة الكهربائية ابتكار طرق أفضل للجمع بين توربين الغاز وتوربين البخار. بل هناك من يعمل الآن على ابتكار دائرة مركبة ثلاثية المراحل تعمل على توليد الطاقة الكهربائية من خلية وقود قبل تزويد توربين الغاز بالوقود.

وخلايا الوقود لا تستهلك جميع الوقود الداخل إليها. فيمكن حرق بقايا

الوقود المتبقي في الغاز الصادر عن خلية الوقود في توربين الغاز لتوليد مزيد من الطاقة الكهربائية. وأخيرًا يُستخدم غاز العادم الساخن لتوليد البخار ليستخدم في التوربين البخاري.

وتلخيصًا لما سبق نقول: تتباين كفاءات توليد الطاقة الكهربائية التي تستخدم المولدات أو الخلايا الكهربائية تباينًا كبيرًا طبقًا للوسائل والتقنيات المستخدمة. وبتحقيق كفاءات أفضل نستطيع تقليل مقدار الوقود الأحفوري الذي نستخدمه.

وهذا يمثل جزءًا مهمًّا لإمكانية حفظ الطاقة عن طريق التطور التكنولوجي.

الفصل الخامس
صناعة الأغراض وإعادة تدويرها

كما رأينا في الفصل الأول أننا على الأرجح سنواجه ظروفًا صعبة في القرن الحادي والعشرين بسبب أزمات ثلاثية المحاور ألا وهي: نضوب موارد النفط والاحتباس الحراري والكم الهائل من النفايات الذي نخلفه وراءنا. في الفصلين السابقين نظرنا في أمر استخدام الطاقة في أعمال نمارسها في وسائل المواصلات والمنازل والمكاتب.

من الواضح أنه لا تزال هناك مساحة كبيرة فيما يتعلق بتحسين كفاءة الطاقة خلال أعمال الحياة اليومية، مما يعوض نصف إجمالي ما يستهلكه البشر من طاقة. فإجراء تحسينات على كفاءة الطاقة يساعدنا على حل تلك المشكلات المتعلقة بنضوب موارد النفط والاحتباس الحراري. ولكن كيف عسانا أن نتعامل مع مشكلة الكم الهائل من النفايات الذي نخلفه وراءنا؟ من الحلول المطروحة لحل هذه المشكلة إنشاء مجتمع يتبنى ثقافة تدوير المخلفات بحيث يُعاد تدويرها لإنتاج منتجات جديدة عن طريق أعمال الإنسان المتعلقة بصناعة الأغراض. ومع ذلك ولأن نصف الطاقة يُستهلك في صناعة الأغراض فإذا حدث واستهلكت إعادة تدوير المخلفات طاقة كبيرة فسيتبدد كل ما أنجزناه من تحسينات في مجال كفاءة الطاقة المتعلقة بأعمال حياتنا اليومية. ولهذا بداية علينا أولًا بحث إمكانية إعادة تدوير المخلفات بكفاءة عالية.

1 ـ نظرية إعادة التدوير

في نهاية المطاف ستتشبع مصنَّعات البشر في المجتمع:

لا ننفك عن شراء منتجات جديدة نظرًا لتلف منتجاتنا القديمة، ومع توسع المدن تُشيَّد مبان جديدة وطرق وبنى تحتية أخرى.

ونتيجة لذلك يحدث تكدس مستمر لمصنَّعات البشر في المجتمع. ويتجلى هذا التكدس في المدن الجديدة، حيث إن كل مدينة جديدة تُبنى تمثل تكدسًا جديدًا لمصنَّعات البشر. إلا أن الأرض محدودة، ومن ثم فمن المستحيل أن يستمر تكدس مصنَّعات البشر هذا إلى الأبد.

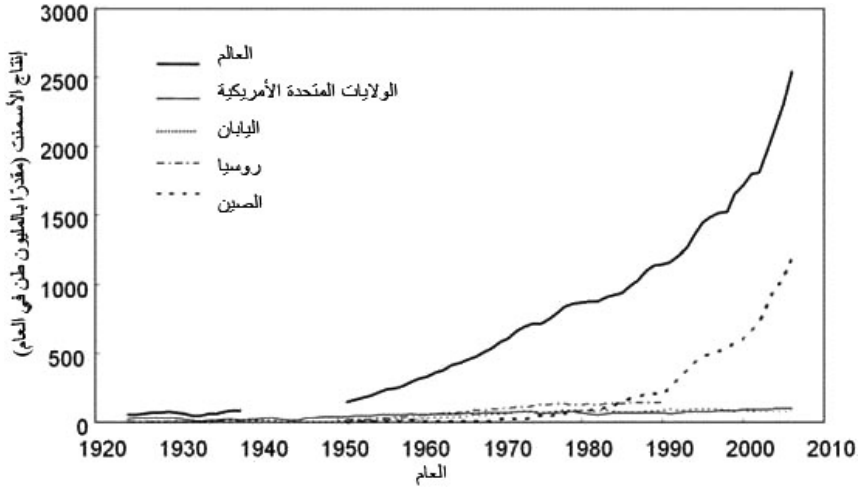
لا بد من وجود حدٍّ معين ينخفض عنده أو يصل به إلى حد التشبع هذا الكم من التكدس لمصنَّعات البشر في المجتمع. ونعني بمصطلح «التشبع» في مصنَّعات البشر أن يصير مقدار المواد المستخدمة في مصنَّعات البشر، والتي يُتَخلَّص منها سنويًّا يعادل مقدار المواد الضرورية لإنتاج منتجات جديدة. ولهذا عندما يحدث تكدس لمصنَّعات البشر في المجتمع فإذا استطعنا إعادة توزيع تلك المخلفات عن طريق أماكن تحتاج إليها، وذلك عن طريق إعادة تدويرها عندها سنضع نهاية لاستغلال الموارد الطبيعية.

في الواقع هناك مؤشرات تبين بالفعل أن مصنَّعات البشر في الدول المتقدمة دخلت بالفعل في حالة التشبع تلك. فعلى سبيل المثال يمتلك كل اثنين في جميع الدول المتقدمة تقريبًا أكثر من سيارة. فعندما يصل معدل امتلاك السيارات إلى هذا المستوى يبلغ إجمالي عدد السيارات في المجتمع حد التشبع، ويقتصر الطلب على السيارات الجديدة على من لهم سيارات بالفعل ويريدون شراء سيارة جديدة.

في اليابان ـ حيث يصل تعداد السكان إلى 127 مليون نسمة ـ هناك ما يقرب من 50 مليون سيارة حاليًا. فمتوسط الوقت المستغرق في استخدام السيارة في اليابان قبل تكهينها يصل إلى نحو 10 سنوات؛ لذا يقدر عدد السيارات

الجديدة التي تباع سنويًّا من باب التجديد بخمسة ملايين سيارة. ورغم حدوث بعض التنوع في البيع من عام لآخر فقد بلغ عدد السيارات الجديدة المسجلة سنويًّا ذروته بعد عام 1989م، حيث بيع ما بين 4 و5 ملايين سيارة. وبحسب ما صرحت به منظمة التعاون الاقتصادي والتنمية، فقد حدثت زيادة طفيفة في ملكية السيارات لكل شخص في كل من أوروبا وأمريكا بين عامي 2000 و2004م. ولهذا اقترب عدد السيارات بالفعل من حد التشبع حتى في تلك الدول.

وتشييد المباني هو مثال آخر على تشبع مصنَّعات البشر. في المدن الكبيرة مثل اليابان وأوروبا جرى العرف على أنه عندما يريد أحدهم تشييد عقار جديد فلا بد أولًا من هدم عقار قديم لإفساح المجال أمام تشييد العقار الجديد. وصار الاستثناء أن تشيد مبان على أرض لم يسبق أن شُيِّد عليها مبنى من قبل. نستطيع أن نرى في الشكل رقم 5ـ1 حالة التشبع في تشييد المباني عن طريق الإنتاج السنوي من الأسمنت والذي يعد المادة الرئيسية لتشييد المباني. ويبلغ إجمالي الإنتاج الحالي من الأسمنت 2.5 مليار طن سنويًّا.



الشكل رقم 5ـ1: إنتاج الأسمنت في البلدان المختلفة (البيانات مستمدة من مركز معلومات الأمم المتحدة قسم إحصائيات وملخصات السلع المعدنية التابع للأمم المتحدة المسح الجيولوجي الأمريكي).

وقد بدأ إنتاج الأسمنت في الولايات المتحدة، والتي كانت يومًا ما أكبر منتج للأسمنت في العالم، بدأ في الوصول إلى حد التشبع بما يقارب 80 مليون طن سنويًّا بداية من السبعينيات.

وبداية من النصف الثاني من السبعينيات حدث تأرجح في إنتاج الأسمنت في اليابان، والذي طرأ عليه نمو سريع في أعقاب الحرب ما بين 70 و 95 مليون طن سنويًّا، وهو ما يشير إلى حدوث تشبع في إنتاج الأسمنت هناك. والمعلومات الخاصة بإنتاج الأسمنت في روسيا محدودة، ولكن يبدو أن إنتاج روسيا منه الأسمنت أصابه التشبع هو الآخر.

وتعد الصين الآن أكبر منتج للأسمنت في العالم. وهي تنتج مقدارًا مذهلًا يبلغ 1.2 مليار طن سنويًّا أي ما يقرب من نصف الإنتاج العالمي من الأسمنت. ومن بين الدول الرئيسة المنتجة للأسمنت كما هو موضح في الشكل رقم 5ـ1 انفردت الصين بزيادة ضخمة في إنتاجه في العقد الماضي، ويرجع ذلك غالبًا إلى زيادة الناتج العالمي خلال هذا الوقت. لا شك أنه لو زار أحدهم مدينة شانجهاي في نهاية القرن العشرين، ثم عاود زيارتها مرة أخرى اليوم فسيُصدم من التحول الذي طرأ عليها. ففي غضون سنوات قليلة فقط صارت القرية الريفية العشوائية مدينة كبيرة تفوق نظيراتها في اليابان وأوروبا وأمريكا. ويبلغ عدد سكان مدينة شانجهاي حاليًا 13 مليون نسمة، وهو عدد يفوق عدد سكان طوكيو أو أي مدينة في الولايات المتحدة وأوروبا. وتعج المدينة بالطرق السريعة والأنفاق، إضافة إلى كتلة من المباني الشاهقة التي تذكرنا بناطحات سحاب مانهاتن في نيويورك أو شنجوكو في طوكيو.

جزء من الناتج السنوي من الأسمنت في الصين والبالغ قدره 1.2 مليون طن يُستخدم أيضًا في تشييد مدن حديثة مثل مدينة شانجهاي الجديدة.

ومع ذلك حتى في تلك المدن وعند حد معين في المستقبل سيصل عدد المباني فيها إلى حد التشبع.

المواد الخام لصناعة الحديد حتمًا ستتغير:

لننظر إلى إنتاج الحديد من زاوية حدوث تشبع مصنَّعات البشر.

وفق التقديرات فإنه بحلول نهاية القرن العشرين بلغ ما أنتجته البشرية من الحديد 18 مليار طن، منها 10 مليارات طن تكدس في المجتمع في صورة مصنَّعات البشر مثل السيارات والمباني والجسور (هناك تقديرات أكبر من هذه، ولكننا استخدمنا التقدير الأكثر تحفظًا هنا). بعبارة أخرى معظم منتجات الحديد والتي عملت على انخفاض خام الحديد في الماضي لم يُتخلص منها في صورة قمامة أو لم يُعَدْ تدويرها مرة أخرى، بل تكدست في صورة أجزاء ثمينة من البنية التحتية المجتمعية. إذًا ماذا سيحدث في المستقبل لهذا الحديد؟ نستطيع حساب نسبة مخلفات جيل من خردة الحديد عن طريق كمية مكونات الحديد الداخلة في مصنَّعات البشر والمكدسة في المجتمع ومتوسط العمر الافتراضي لتلك المصنَّعات. فمتوسط العمر الافتراضي لمصنَّعات البشر من الحديد هو نحو 30 سنة، لذا فإن نسبة 1/ 30 من مكونات الحديد الداخلة في مصنَّعات البشر تظهر كل عام في صورة خردة. وحيث إن مقدار التكدس من الحديد بلغ حاليًا 10 مليارات طن ينتج عن ذلك أكثر من 300 مليون طن من الحديد الخردة كل عام. وهكذا تستمر زيادة تكدس مصنَّعات البشر في المجتمع، ومن ثم تستمر معها الزيادة في كم الخردة الناتجة عن ذلك سنويًّا.

وقد بلغ إنتاج الحديد من خام الحديد عام 1995م 500 مليون طن سنويًّا.

فإذا استمر هذا الكم من الإنتاج دون أن يطرأ عليه أي انخفاض، وإذا افترضنا أيضًا أن كل المنتجات المصنوعة من الحديد أعيد تدويرها في صورة خردة ثم أعيد استخدامها لصناعة منتجات حديدية أخرى فسيحدث ما بين عامي 1995م و2050م تكدس جديد لأكثر من 25 مليون طن من الحديد في المجتمع. عند هذه النقطة سيتعدى إجمالي الحديد المتكدس في المجتمع 35 مليار طن في الوقت الذي لم يتعدَّ فيه الحديد المتكدس في المجتمع عام 1995م قرابة 10 مليارات طن. وإذا تحولت نسبة 1/ 30 من هذا الحديد المتكدس إلى خردة

فسيترتب عن ذلك ما نسبته 1.2 مليار طن من خردة الحديد سنويًّا. ولهذا وبحلول عام 2050م ستتعدى نسبة تحول منتجات الحديد إلى خردة فقط إجمالي إنتاج الحديد عام 1995م والبالغ 800 مليون طن سنويًّا.

نتيجة لذلك كل ما نحتاجه الآن لعمل نظام إعادة تدوير لمنتج الحديد هو تقليل إنتاج الحديد المصنوع من الحديد الخام ونحسن الاستفادة مما نتج عنه من خردة بدلًا من ذلك. ظل إنتاج الحديد والصلب في اليابان ثابتًا عند ما يقرب من 100 مليون طن سنويًّا منذ عام 1980م، وبحلول عام 1995م كانت نسبة 67٪ من إنتاج الحديد من خام الحديد ونسبة 33٪ من ذلك من خردة الحديد. ويعد تاريخ إنتاج الحديد والصلب في الولايات المتحدة أطول من اليابان، ولهذا نجد تكدسًا أكبر لمنتجات الحديد في المدن الأمريكية. وتحولت المنتجات إلى كم كبير من الخردة؛ لذا فإن إجمالي ما يُنتج من منتجات الحديد والصلب المصنوعة من الخردة في الولايات المتحدة فاق بكثير نظيره في اليابان، ففي عام 1995م تجاوز نسبة 50٪.

ومع ذلك كما رأينا في الفصل الأول فإن الإنتاج الحالي من الحديد من خام الحديد نحو 900 مليون طن في السنة، أي ما يقرب من مِثْلي مقدار الإنتاج عام 1995م. هل هذا يعني أننا نتنكَّب طريق إعادة التدوير ونتجه نحو كارثة؟ ليس بالضرورة.

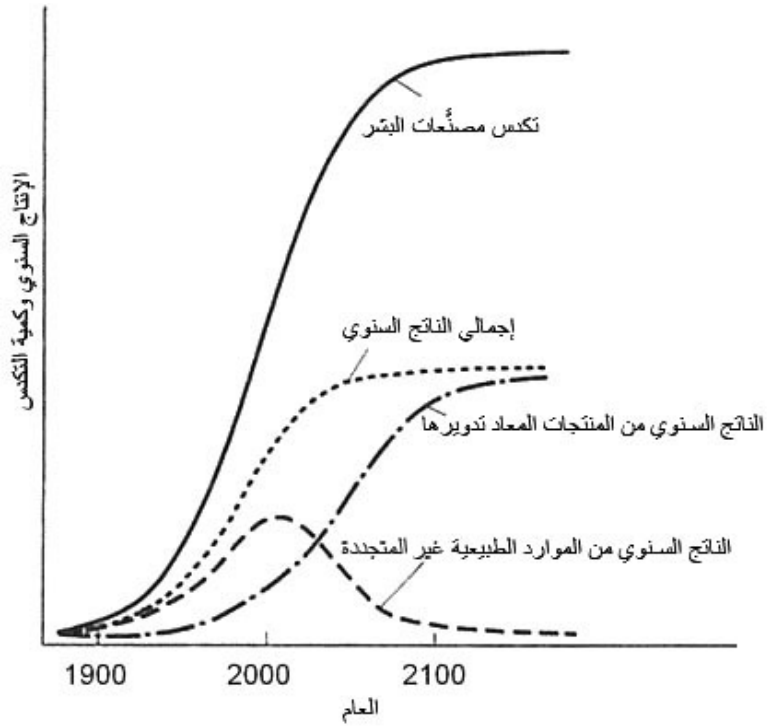
ما يهمنا في هذا الصدد أن نسبة استهلاك خام الحديد بدأت تقل في الدول المتقدمة وهو ما يعني أن تلك الدول تمر بمرحلة انتقال إلى مجتمع يتبنى ثقافة إعادة التدوير يعتمد على استخدام الخردة. يزيد الطلب في الدول النامية على منتجات الحديد الجديدة زيادة كبيرة؛ لذا فإن إنتاج الحديد من اختزال خام الحديد سيستغرق بعض الوقت على الأرجح. ومعظم الزيادة التي طرأت على إنتاج الحديد من خام الحديد كانت في الصين والهند. ومع ذلك وفي نهاية المطاف نجد أنه حتى تلك الدول ستتحرك باتجاه إعادة تدوير الحديد الخردة مثلها مثل الدول المتقدمة.

إن مفاهيم إعادة التدوير التي تناولناها فيما سبق لا تقتصر على الحديد فحسب، فذات الشيء يمكن أن ينطبق على مختلف أنواع إنتاج المواد الأخرى. الشكل رقم 5ـ2 يعطينا رسمًا بيانيًّا عن التحول في الإنتاج الضروري لإيجاد مجتمع مستدام.

المحور الأفقي للرسم البياني يعتمد على المادة المطروحة ومستوى تطور الدولة. بالنسبة إلى كل المواد المطروحة عالميًّا، ونتيجة للطلب المستمر على مصنَّعات البشر الجديدة في المستقبل القريب، سيزيد تكدس تلك المصنَّعات، ويزيد معه كم المخلفات الناتجة زيادة مطردة. ومع ذلك فبزيادة الناتج السنوي من المواد المعاد تدويرها من مخلفات مصنَّعات البشر سينخفض استهلاكنا للموارد الطبيعية غير المتجددة. وبهذا الأسلوب سيكون بوسعنا التحايل على مشكلة استنفاد الموارد الطبيعية غير المتجددة. ولهذا السبب نجد أن المشكلة الحقيقية التي يجب أن نتناولها بالبحث تتعلق بمستقبل موارد الطاقة.

فلنفكر أكثر فيما استخلصناه في الفقرة السابقة. كثيرًا ما يقال إنه يتحتم علينا أن ننأى بأنفسنا عن حضارة الإنتاج الضخم/ والاستهلاك الضخم. ومع ذلك يجب علينا إمعان النظر فيما يعنيه هذا. فلتلبية احتياجات سكان الأرض الذين يفوق عددهم 6 مليارات نسمة من المواد الأساسية لا نستطيع أن نغفل الحاجة إلى إنتاج كم ضخم من المواد. ومن ناحية أخرى رأينا فيما سبق أن الأخطار الرئيسية التي تتهدد استدامة المجتمع البشري تكمن في نضوب الموارد خاصة النفط والكم الهائل من النفايات الذي نخلفه وراءنا.

فالمشكلة لا تنحصر فقط في كم الإنتاج الضخم. لذا كي نحقق الاستدامة علينا أولًا أن ننأى بأنفسنا عن تلك الحضارة المبنية بالأساس على الاستهلاك الضخم من الموارد الطبيعية، والتخلص من مقدار المخلفات الضخمة في بيئة الأرض. فيجب علينا أن نأخذ بعين الاعتبار تلك التحذيرات التي أطلقها العلماء والخبراء أخيرًا من أن موارد وطاقة البيئة محدودة، وأن أعمال الإنسان قد تجاوزت تلك الحدود بالفعل. ومع ذلك يجب ألا نفقد الأمل فثمة حل لهذه المشكلة.



الشكل رقم 5–2: رسم بياني يوضح مصير تكدس وإنتاج مصنَّعات البشر في القرن الحادي والعشرين

2– إعادة التدوير ... وسيلة أخرى للحفاظ على الطاقة

العديد من الناس لديهم آراء سلبية فيما يتعلق بإعادة التدوير. ومن بينها الاعتقاد أن إعادة التدوير ستستهلك كمًّا كبيرًا من الطاقة يفوق الحد. دعونا ننظر في هذا المأخذ باستخدام وسيلة تحليل عمليات إعادة التدوير إلى خطوات أولية والتي سبق أن وضعناها في الفصل الثالث.

جمع الخردة ومخلفات المواد بالأساس هي عملية «نقل»، فالطاقة الضرورية نظريًّا لعملية الجمع هذه تساوي صفرًا. بالطبع واقعيًّا لا يمكننا تجنب استهلاك شيء من الطاقة أثناء عملية جمع مخلفات المواد.

ومع ذلك، بالنسبة إلى الإنتاج من الموارد الطبيعية نحتاج أولًا إلى القيام

باستخلاص ونقل المواد الخام من المناجم، والتي دائمًا ما تكون في مناطق نائية. على الأقل من ناحية الطاقة، في معظم الحالات لا يكون الجمع اللازم لإعادة التدوير أكبر بكثير من النقل المطلوب للإنتاج من الموارد الطبيعية.

تتطلب عملية الفرز للحصول على المواد الأساسية من أخلاط المخلفات بعض الطاقة. ومع ذلك، وكما رأينا في الفصل الثالث، الحجم النسبي لتلك الطاقة يساوي 1، ولهذا فإذا طبقنا عملية الفصل بنسبة كفاءة طاقة عالية فلن يتطلب الأمر كمًّا كبيرًا من الطاقة. ولهذا فالمشكلة الكبيرة التي تواجهنا هي مقدار الطاقة المستهلكة داخل المصنع أثناء عملية إنتاج المواد الأساسية الجديدة من مخلفات المواد التي جمعت وفُرزت. وفي الأجزاء التالية من هذا الفصل سنعقد مقارنة بين ما يُنتَج عن طريق موارد طبيعية، وما يُنتَج عن طريق مخلفات مصنَّعات البشر مثل الحديد والألومنيوم والأسمنت والزجاج.

اختزال خام الحديد.. طريقة فرن الصهر:

رأينا في الفصل الأول أن ما نسبته 1.3 مليار طن من الحديد الذي يُنتَج سنويًّا يُنتج معظمه داخل أفران الصهر باستخدام خام الحديد كمادة خام، إلا أن هناك مقدارًا كبيرًا أيضًا يُنتج داخل الأفران الكهربائية باستخدام الحديد الخردة كمادة خام.

بداية لنحلل عملية الإنتاج من خام الحديد إلى خطوات أولية. يجري الإنتاج بالخطوات التالية: أولًا الاختزال، حيث يستخدم الكربون لتحويل خام الحديد إلى حديد غفل وثاني أكسيد الكربون. ثانيًا يُفصل الكربون الموجود في الحديد الغفل ثم تُضبط نِسَب العناصر النزرة في الحديد بحسب المطلوب في مواصفات المنتج. وأخيرًا تتشكل مادة الحديد في صورة منتجات حديدية مثل ألواح رقيقة أو قضبان مستديرة. ولهذا نجد أن التصنيع يمر بثلاث خطوات: الاختزال، ثم الفصل، ثم التشكيل. نظريًّا الطاقة المطلوبة أثناء عملية التشكيل تساوي صفرًا. وفي واقع الأمر وعن طريق بعض التطورات التي طرأت على

صناعة الحديد والصلب التكاملي مثل عملية الصب المستمر التي سنتناولها لاحقًا، نجد أن الطاقة المستخدمة لعمل ألواح وقضبان من الحديد قد انخفضت انخفاضًا كبيرًا. لذا نجد أن معظم الطاقة المستخدمة في إنتاج الحديد من خام الحديد تُستهلك في خطوتي الاختزال والفصل. الحجم النسبي من الطاقة المطلوبة هو 1000 مدرجة مئوية لخطوة الاختزال و1 لعملية الفصل. ولهذا إذا ما جرى الفصل بكفاءة عالية فستكون الطاقة المطلوبة حينها لا تُذكر.

وبحساب الحد الأدنى للطاقة المطلوبة لاختزال الحديد مقارنة بالحد الأقصى للطاقة التي نحصل عليها أثناء احتراق الكربون، نستطيع استنتاج الحد الأدنى من الكربون المطلوب لإتمام خطوة الاختزال. الحد الأدنى النظري المطلوب لصناعة الحديد يتحول إلى 202 كيلو جرام من الكربون لصناعة طن واحد من الحديد. وتبلغ قيمة ذلك بالنسبة إلى مصانع الحديد والصلب التكاملية الضخمة 600 كيلو جرام. لذا رأينا أن نسبة الثلث من الكربون ضرورية لصناعة الحديد حتى في الحالات المثالية، ولا يمكن توفير الثلثين الآخرين إلا باستخدام أكثر التقنيات تطورًا.

فيما مضى بعد ما كان يخرج الحديد الغفل في حالة ذوبان من فرن الصهر، كان يُبَرَّد في شكل قوالب للتخزين. وكان يعاد تسخين قوالب الحديد لاحقًا، ثم تُشكَّل في صورة ألواح سميكة تُترك لتبرد مرة أخرى. تتكرر عمليتا إعادة تسخين الحديد وتبريده حتى يصل رويدًا رويدًا إلى الشكل المرغوب فيه مثل لوح رقيق يمكن استخدامه لصناعة هيكل السيارة الخارجي. فالطاقة المستخدمة لتسخين الحديد في كل مرة لا يمكن استردادها، ما يترتب عليه استهلاك مقدار كبير من الوقود. ولتقليل ذاك الإهدار في الوقود لجأنا إلى تبني تقنية «الصب المستمر». وخلال هذه العملية تُنفَّذ خطوات صناعة الحديد بدءًا من إنتاج الحديد الغفل داخل فرن الصهر، وانتهاءً بتشكيل ألواح الحديد وقضبانه بشكل مستمر لتفادي تكرار تسخين الحديد وتبريده. علاوة على ذلك، ابتُكِرَت تقنيات جديدة لاسترداد بعض من مدخلات الطاقة مثل فحم الكوك في صناعة الحديد. ومن

تلك التقنيات استخدام الغاز المنبعث من فرن الصهر، والذي يحتوي على وقود مثل أول أكسيد الكربون والهيدروجين لتوليد الكهرباء.

وهناك تقنية أخرى لتوليد الكهرباء تتمثل في استخدام وسائل مثل توربينات استرداد طاقة عالية الضغط، بحيث يعمل التوربين المولد للكهرباء بواسطة الضغط المتولد عن عادم الغاز. وعن طريق تطبيق هذه التقنيات المتنوعة تحقق ما نراه اليوم من كفاءة عالية في توفير الطاقة في صناعة الحديد والصلب ـ 600 كيلو جرام فحم لإنتاج طن واحد من الحديد.

ومع ذلك تكاد الطاقة الحرارية المتولدة عن تسخين خام الحديد في فرن الصهر لا يُستَرَدُّ منها شيء. أيضًا لا يزال هناك إهدار للطاقة خلال العديد من الخطوات المتخذة أثناء عملية تشكيل وقولبة الحديد كتلك التي تجري خلال الدرلفة والتقطيع. وقد رأينا أن الطاقة المطلوبة أثناء التشكيل والقولبة تساوي صفرًا؛ لذا فأي طاقة تُستخدَم لهذا الغرض تُعَدُّ هدرًا. فعلى سبيل المثال في إحدى العمليات يدَرفَل لوح من الحديد يبلغ سمكه مترًا واحدًا في صورة ألواح رقيقة يبلغ سمكها 0.7 ملليمتر لاستخدامها في صناعة أجزاء السيارات. وتنفذ هذه العملية في الوقت الحالي بتمرير لوح الحديد عن طريق عدد كبير من آلات الدرفلة التي تعمل بالكهرباء. فرغم أن كل عملية درفلة ربما لا تستهلك كثيرًا من الطاقة، فإننا إذا أضفنا باقي الخطوات فسنجد أن إجمالي الطاقة المستهلكة كبير للغاية.

أيضًا هناك استخدامات أخرى للطاقة كتلك المستخدمة في عملية المعالجة السطحية.

والفرق بين نسبة الاستهلاك الأمثل للكربون، والتي تعادل 202 كيلو جرام لكل طن حديد، والقيمة الفعلية البالغة 600 كيلو جرام جاء نتيجة لدمج تلك الخطوات المتعددة قليلة الاستهلاك للطاقة. ويعتمد مدى ما سنحققه من المزيد من الترشيد في الطاقة داخل منشآت صناعة الحديد على حجم الاستثمار في المعدات المستخدمة لهذا الغرض، ومع ذلك فمن غير المرجح أن نتمكن

من تقليل نسبة استهلاك الكربون عن نسبة 400 كيلو جرام لكل طن حديد على المدى القريب.

إعادة تدوير الحديد بطريقة الفرن الكهربائي المقوس:

يُعاد تدوير الحديد بالطريقة التالية: بدايةً تفكَّك منتجات الحديد التي انتهى عمرها الافتراضي، ثم يُفرز الحديد عن باقي المواد، ثم يُجمَع في صورة خردة. ويُذاب الحديد الخردة، ثم تُزال عنه الشوائب العالقة، ثم يُعاد تشكيله مرة أخرى، ثم يُشحن في صورة منتجات حديدية منها القضبان والألواح. ويُطلَق على الفرن الذي يذاب فيه الحديد «الفرن الكهربائي المقوس»، وهو يَستخدم الكهرباءَ لتوليد طاقة حرارية لإذابة خردة الحديد.

وبتقسيم إنتاج الحديد عن طريق إعادة تدوير الخردة إلى خطوات أولية يكون لدينا: الإذابة، ثم الفصل، وأخيرًا التشكيل. أما الخطوات التي تتطلب استهلاك طاقة كبيرة فهي: الإذابة، ثم الفصل وحجم الأولى 10، وحجم الثانية 1. لذا نجد أن الجزء الأكثر استهلاكًا للطاقة هو الإذابة. وبتحويل الطاقة الحرارية الضرورية لإذابة الحديد إلى وحدات كربون وجدنا أن ما نسبته 7.5 كيلو جرام من الكربون يكون كافيًا لإذابة طن واحد من الحديد. وهذا المقدار يقارب أقل بنسبة 27 مِثْلًا للحد الأدنى من القيمة المُثلى والتي تبلغ 202 كيلو جرام لتخفيض استهلاك خام الحديد، ومن ثم نرى أن إعادة تدوير الحديد الخردة يمكنها أن ترفع من كفاءة استهلاكها الطاقة أكثر بكثير من إنتاج الحديد من خام الحديد طبيعي.

في الواقع فإن إعادة تدوير الحديد في يومنا هذا ليست موفرة للطاقة بالقدر الكافي. فإذابة الحديد الخردة عن طريق تحويل الكهرباء إلى طاقة حرارية تحويلًا مباشرًا ليست موفرة للطاقة الكهربائية. علاوة على ذلك، تمامًا مثل تلك العمليات التي تطرقنا إليها خلال الفصل الثالث، من أجل أن نتمكن من إذابة الحديد الخردة إذابة سريعة ترفع درجة حرارة الفرن الكهربائي المقوس، بحيث يزيد على الحد المثالي المطلوب لمثل هذا.

وعندما نحسب نسبة الوقود المستهلك داخل محطة توليد كهرباء حرارية لتوليد الكهرباء، والتي تستخدم حاليًا لإعادة تدوير الحديد الخردة، نجد أن نسبة 300 كيلو جرام من الوقود الأحفوري استُهلك لكل طن واحد من خردة الحديد. فهذه النسبة لم تزل نصف نسبة الـ600 كيلو جرام المستخدمة في طريقة فرن الصهر. إذًا فالنسبة إلى صناعة الحديد حتى وإن كانت إعادة تدوير الحديد الخردة لا تعمل بالكفاءة المثالية لتوفير الطاقة تبقى أكثر توفيرًا للطاقة من إنتاج الحديد عن طريق الموارد الطبيعية.

والآن دعونا نلخص النقاط السابقة. يتطلب استخدام وسيلة فرن الصهر لإنتاج الحديد من موارد طبيعية طاقة لاختزال خام الحديد. كما تتطلب أيضًا طريقة الفرن الكهربائي المقوس لإعادة تدوير الحديد من خردة الحديد طاقة أثناء الإذابة.

حجم الخطوات الأولية المتعلقة 1000 بالنسبة إلى الاختزال و10 بالنسبة إلى الإذابة. لذا يمكننا عمل تقدير تقريبي لنسبة الطاقة المستهلكة باستخدام وسيلة الفرن الكهربائي المقوس، بحيث تكون أصغر بنسبة 100 مرة. ورأينا أن نسبة الطاقة الحرارية المستخدمة لإذابة الحديد تبلغ تقريبًا جزءًا من سبعة وعشرين جزءًا من تلك المستخدمة أثناء الاختزال. ويعد هذا هو الأساس لتوفير الطاقة عن طريق استخدام الفرن الكهربائي المقوس. ومع ذلك بافتراض أن درجة الحرارة الضرورية للإذابة تبلغ جزءًا من سبعة وعشرين جزءًا من تلك المستخدمة للاختزال، لماذا تقتصر إعادة التدوير التقليدية لخردة الحديد على مجرد تقليل الطاقة المستهلكة إلى النصف عن مثيلتها في فرن الصهر؟ من أسباب عدم تحقيق ترشيد كبير للطاقة أثناء إعادة تدوير التقليدية لخردة الحديد أن الطاقة الحرارية المتولدة عن إذابة الحديد داخل الفرن الكهربائي المقوس لا يكاد يُجمع منها شيء. ومن الأمثلة على ذلك أنه يمكن استخدام هذه الطاقة بديلًا للطاقة الكهربائية المستهلكة حاليًا لتشكيل الحديد وقولبته. ومع ذلك فالمشكلة الأبرز هنا تكمن في أن الحرارة المستخدمة لإذابة الحديد الخردة حاليًا تتولد

باستخدام الكهرباء. والسبب في ذلك يرجع إلى أنه يسهل على الطاقة الكهربائية تحقيق درجة حرارة قدرها 1540 درجة مئوية وهي درجة الحرارة الضرورية لإذابة الحديد. ومع هذا فحرق الوقود الأحفوري لتحويل ما نسبته 40٪ من الحرارة إلى كهرباء عن طريق محطة توليد كهرباء حرارية، ثم إعادة تحويل الكهرباء مرة أخرى إلى طاقة حرارية لإذابة الحديد أمر مهدر للطاقة بما يفوق الوصف، كما رأينا عندما عقدنا مقارنة بين استخدام السخان الكهربي واستخدام موقد الغاز لتدفئة غرفة، فإنه من الممكن ابتكار تقنيات لإذابة خردة الحديد باستخدام الوقود الأحفوري مباشرة، حيث يعكف الباحثون حاليًا على إجراء دراسات على تطبيقات عملية لتحقيق هذا الغرض. فعندما نستخدم الوقود الأحفوري بدلًا من الكهرباء لإذابة الحديد الخردة لا بد أولًا أن نسعى إلى تقليل الطاقة المستهلكة داخل الفرن الكهربائي المقوس بنسبة تصل إلى 50٪ أو ما يعادل 150 كيلو جرامًا من الكربون لكل طن حديد.

التحليل الكهربائي في مقابل إذابة الألومنيوم باستخدام الكهرباء

دعونا الآن نلقي نظرة على معدن الألومنيوم. فإذا نظرنا إلى إنتاج الألومنيوم من البوكسيت من حيث خطواته الأولية، نجد أن هناك الاستخراج وهو شكل من أشكال النقل، ثم إذابة البوكسيت، ثم التحليل الكهربائي للبوكسيت، وهو صورة من صور الاختزال، ثم أخيرًا التشكيل. فالخطوات التي تحتاج إلى طاقة هي الإذابة والتحليل الكهربائي، ومع ذلك ولأن حجم الطاقة المطلوب للإذابة 10 وللتحليل الكهربي 1000 نجد أن أغلبية الطاقة تُستهلك في صورة كهرباء أثناء التحليل الكهربائي للبوكسيت. وحاليًا ينفَّذ التحليل الكهربائي بجهد كهربي يفوق القيمة النظرية بمِثلين وبهذا يُستهلَك مِثلا المقدار المثالي من الكهرباء. فرغم أن الطاقة الكهربائية المستخدمة في التحليل الكهربائي للألومنيوم تأتي عادة من الطاقة الكهرومائية، فتلك الطاقة الكهرومائية تفقد ما نسبته 15٪ من الطاقة الحركية للموارد الكهرومائية في توليد الكهرباء.

ولهذا تقارب إمكانية حفظ الطاقة نسبة 60٪.

إعادة تدوير الألومنيوم منتشرة على نطاق واسع. والسبب في هذا يرجع إلى أن نسبة استهلاك الطاقة أثناء إعادة تدوير الألومنيوم صغيرة، ومن ثم نجد أن إعادة تدوير الألومنيوم موفرة للنفقات أيضًا إن نظرنا إليها من منظور اقتصادي بحت. ويتطلب الألومنيوم نسبة طاقة تقل بنحو 83 مرة عن نسبة الحرارة المطلوبة للاختزال أثناء التحليل الكهربائي للبوكسيت، وحتى خلال التطبيقات الصناعية الواقعية لا تتعدى نسبة الكهرباء المستخدمة في المصانع لإعادة إذابة الألومنيوم ودرفلته نسبة 3٪ من الطاقة المستخدمة أثناء إنتاجه من البوكسيت. ولهذا نجد أن عائد المنفعة المرتبط بالطاقة أثناء تدوير الألومنيوم ـ من الناحيتين النظرية والعملية ـ أكبر بكثير من نظيره فيما يتعلق بالحديد.

إعادة تدوير المواد المعدنية اللافلزية:

باتباع ذات الطريقة فيما يتعلق بصناعة الأسمنت نجد أن تلك الصناعة تتألف من الخطوات الأولية التالية: استخراج الحجر الجيري، وهو شكل من أشكال النقل، ثم السحق، وهو إحدى صور التشكيل، ثم أخيرًا التحليل الحراري لإزالة ثاني أكسيد الكربون من الحجر الجيري لإنتاج أكسيد الكالسيوم. نظريًّا فإنه باستثناء التفاعل لا تحتاج أي من هذه الخطوات إلى الاستهلاك طاقة. علاوة على ذلك، فمقارنةً بخطوة الاختزال، حيث يبلغ مقدار الطاقة 1000 لصناعة المعادن مثل الحديد والألومنيوم نجد أن مقدار الطاقة في التفاعلات لا يتعدى 100، ومن ثم نستطيع القول إنَّ صناعة الأسمنت من الناحية النظرية تحتاج فقط إلى ما يقرب من عُشر الطاقة المطلوبة في صناعة المعادن. وفي الواقع إنتاج طن واحد من الأسمنت لا يحتاج إلا إلى 100 كيلو جرام من الوقود الأحفوري، أي بنسبة تقل ست مرات عن المقدار المطلوب لصناعة الحديد. علاوة على ذلك فهذه القيمة تفوق بقليل القيمة النظرية المطلوبة لصناعة الأسمنت بنسبة 40٪ أي ما يقارب 70 كيلو جرامًا.

هناك أنواع كثيرة من الأسمنت. الأسمنت العادي، والذي يطلق عليه اسم «أسمنت بورتلاند التقليدي» يدخل في صناعته نسبة 5٪ من المواد الناتجة من

معالَجات صناعية أخرى مثل «خبث فرن الصهر» وهو منتج فرعي ينتج عند صناعة الأسمنت في أفران الصهر. وأيضًا هناك منتج فرعي آخر يطلق عليه اسم «الرماد المتطاير» وهو عبارة عن بقايا احتراق الفحم بل والحجر الجيري العادي. هناك نوع آخر من الأسمنت يسمى: «أسمنت بورتلاند الخليط» وهو يتميز باحتوائه على مقدار أكبر من الإضافات. وتُستخدم أنواع الأسمنت المختلفة لأغراض مختلفة. ومن ثم يُعاد تدوير المواد المتخلفة عن المعالجات الأخرى قدر المستطاع في إنتاج الإسمنت.

أما الزجاج ـ وهو أبرز المواد اللافلزية ـ فتُتبع في إنتاجه الخطوات التالية: 1) استخراج المواد الخام: ثاني أكسيد السيليكون من الكوارتز، وكربونات الكالسيوم من الحجر الجيري، وكربونات الصوديوم من رماد الصودا، 2) السحق، 3) الخلط ، 4) الإذابة ، 5) التحلل الحراري، ذات التفاعل المستخدم في صناعة الأسمنت، 6) الإذابة و7) التشكيل. الخلط مناقض للفصل، وبما أن الفصل يحتاج إلى طاقة، فإن ذاك الخلط عملية تَنْتج عنها طاقة. ولهذا هناك خطوتان فقط تحتاجان إلى طاقة وهما خطوتا الإذابة والتفاعل، والأولى تحتاج إلى مقدار 10 من الطاقة والثانية تحتاج إلى مقدار 100 من الطاقة. ومع ذلك ففي حين لا يتضمن التفاعل سوى كربونات الكالسيوم فإن جميع المواد لا بد لها من المرور بعملية إذابة، ومن ثم فلا يمكننا تجاهل الطاقة المستهلكة لإجراء تلك الإذابة. حاليًا يستخدَم 200 كيلو جرام من الوقود الأحفوري لإنتاج طن واحد من الزجاج. وهذه النسبة تفوق ثلاثة أمثال نسبة الطاقة النظرية المثلى الضرورية لإتمام عمليتي الإذابـة والتفاعل والتي تصل إلى 60 كيلو جرامًا من الوقود الأحفوري لكل طن زجاج.

لماذا كل هذا الفارق في النسب بين المعدل الحالي لاستهلاك الطاقة والقيمة النظرية لكل من الزجاج والأسمنت إن علمنا أن طريقتي تصنيعهما تكاد تكون متطابقة؟ السبب الرئيس يكمن في اختلاف متطلبات الجودة بين المنتجين.

فالمنتجات الزجاجية تتبع متطلبات صارمة تحكم الجودة. فعلى سبيل

المثال، لا يُسمح بأي تلوث يطرأ على الزجاج ولو بمقدار بسيط من الفقاعات أو الشوائب.

ولهذا يلزم تنفيذ صناعة الزجاج ببطء وعناية. ولهذا السبب تحتاج مادة الزجاج إلى أن تبقى حارة لمدة أطول من مادة الأسمنت ما يترتب عليه هدر حراري أكبر أثناء عمليات الإنتاج الفعلي.

حاليًا يُعاد تدوير ما يقرب من 50٪ من الزجاج. الطاقة المستهلكة للإنتاج من الزجاج المسحوق المعاد تدويره ـ والذي يطلق عليه اسم (كِسارة الزجاج)ـ أقل من تلك المستهلكة في صنعه من المواد الطبيعية، ومع ذلك فهي لا تضاهي تلك المتعلقة بإعادة تدوير الألومنيوم والحديد.

ولهذا وكما رأينا خلال تصنيع المواد الأخرى، فإن إعادة تدوير الزجاج مميزة من حيث حفظ الطاقة.

في أيامنا هذه غالبًا ما يخلط الأسمنت بالرمل والحصى والماء ويُستخدم كخرسانة. وكما رأينا في الفصل الأول عندما ينتهي العمر الافتراضي المخصص للمنتجات الأسمنتية يُعاد تدوير الخرسانة بسحقها واستخدامها في استخدامات منخفضة درجة الانصهار مثل تحصيب الطرق. ومع هذا رأينا أيضًا أن هذا سيقل الطلب عليه مستقبلًا. ولهذا فسيكون هناك حاجة إلى إعادة تدوير متكاملة للأسمنت بحيث تُعاد صناعته من بقايا الخرسانة كتلك الناتجة مثلًا عن هدم المباني. فإذا سحقنا الخرسانة وفصلنا الرمل والحصى عنها ثم سخنَّا المادة المتبقية وهي مادة أكسيد الكالسيوم المائي عندها سيكون بوسعنا استرداد الأسمنت. وحجم الطاقة النظرية للسحق صفر، وللفصل 1 وللتفاعل 100. ويتطابق هذا مع التحليل الذي رأيناه من قبل للإنتاج الحالي للأسمنت. ولهذا نستطيع نظريًّا ابتكار نظام إعادة تدوير يعمل بذات مستوى الطاقة المستهلكة أثناء إنتاج الأسمنت في الوقت الحالي. في المستقبل يمكن أن نرى شاحنات لخلط الأسمنت بإمكانها إجراء استرجاع للأسمنت من الخرسانة من دون أن تبرح موقعها.

إعادة التدوير وسيلة أخرى للحفاظ على الطاقة:

رأينا في الأجزاء السابقة أنه ما زالت هناك إمكانيات ضخمة لتوفير الطاقة في تصنيع المعادن والأسمنت والزجاج من المواد الطبيعية. والأهم من ذلك فلقد رأينا أن الفصل والإذابة من أجل إعادة تدوير هذه المواد من مخلفات المنتجات تستهلك بالفعل طاقة أقل من الطاقة المستهلكة أثناء نظيريهما عند تصنيع تلك المواد من المصادر الطبيعية. وفارق توفير استهلاك الطاقة كبير جدًّا في حالة صناعة المعادن. علاوة على ذلك، رأينا أن هذا الأمر ليس صحيحًا فحسب من الناحية النظرية بالنسبة إلى حجم الطاقة الضرورية لتنفيذ كل خطوات التصنيع، بدءًا من مرحلة التجميع، وانتهاء بإعادة الاستخدام، بل يتعدى ذلك ليشمل الاستخدامات الفعلية لإعادة تدوير المعادن والزجاج. ومن ثم فإنه في معظم الحالات يكون النقد القائم على دعوى أن إعادة تدوير المواد تهدر الطاقة في غير محلها.

فإذا ما صادفنا ذات مرة إعادة تدوير ينتج عنها استهلاك كبير للطاقة لزمنا أن نعد هذا مؤشرًا لقلة كفاءة كبيرة في استهلاكها للطاقة. تمامًا مثلما رأينا في مثال تدفئة الغرفة كيف تتأثر كفاءة الطاقة بشدة خلال إعادة التدوير بالطريقة المستخدمة. فمثلًا إذا كانت المخلفات المجمعة خليطًا من جميع المواد فلا مناص على الأرجح من استهلاك طاقة كبيرة لإعادة تدويرها.

رأينا في الفصل الأول أن كمية العناصر في الغلاف الحيوي ثابتة.

لذا، ماذا نعني بقولنا إن موردًا مثل الحديد سينضب؟ وكما رأينا عند مناقشتنا لموضوع الطاقة في الفصل الثاني فمفتاح الحل يكمن في الإذعان بأنه مورد ذو قيمة.

فالحكم على قيمة مورد ما ـ سواء أكان ذلك المورد طبيعيًّا أو من صنع الإنسان ـ من منظور الطاقة له شروط هي كالتالي: أولًا لا بد من احتوائه على نسبة كبيرة من مادة أساسية. ثانيًا لا بد ألا يحتوي المورد على عدد زائد من العناصر التي يصْعُب فصلها. ثالثًا لا بد أن يتوفر المورد بكميات كبيرة مجتمعة

مع بعضها بعضًا. فمن دون هذه الشروط ولأن العناصر توجد بوفرة في الغلاف الحيوي للأرض، فلن تكون هناك حدود لكميات الموارد المتاحة. مثلًا هناك كميات كبيرة من جميع أنواع العناصر متوافرة في ماء البحر بما في ذلك المعادن واليورانيوم. ومع هذا وبسبب الانخفاض الشديد في تركيز تلك العناصر نجد أن الطاقة الضرورية لاستخراج هذه العناصر من ماء البحر هائلة. ولهذا لا يمكن لماء البحر أن ينافس كمورد المخزون المعدني الموجود تحت الأرض.

ويمكننا التفكير في استرجاع المواد من مصنَّعات البشر التي تُخلَّص منها بذات الطريقة. ينص الشرط الأول للقيام بهذا على أنه من أجل أن نعتبر تلك المخلفات موارد ذات قيمة فيجب ألا يكون التركيز فيها أقل بكثير مما في الموارد الطبيعية. ومن الواضح أن تركيز مواد مثل الحديد الزجاج والورق في تلك المخلفات لا يكون أقل من الموارد الطبيعية. والمشكلات الحقيقية تتعلق بالشرطين الثاني والثالث: فمخلفات المنتجات تحتوي على عناصر يصعب فصلها، فضلًا عن أن تلك المخلفات تُنتَج بكميات ضئيلة في المجتمع كله. ولهذا هناك نقطتان رئيسيتان لرفع كفاءة إعادة تدوير المخلفات ورفع قيمة مخلفات المنتجات باعتبارها موردًا. أولًا لا بد أن نتأكد عند التخلص من المنتجات أن المواد المراد فصلها ليست مختلطة. ثانيًا لا بد من عمل نظام لجمع ونقل مخلفات المنتجات المنتشرة في البنية التحتية للمجتمع بكفاءة.

علاوة على ذلك، إذا ما نجحنا في إنشاء نظام شامل قائم على المفاهيم التي رأيناها هنا، والتي تضم الدورة الكاملة لمصنَّعات البشر، بدءًا من التصميم، مرورًا بالاستهلاك، وانتهاء بالتخلص منها، فمن شأن هذا أن يساعدنا على الوصول إلى هدفنا الأشمل وهو إيجاد مجتمع يتبنى ثقافة إعادة التدوير، إلى جانب تحقيق توفير كبير للطاقة. سنعود لنناقش ما يتعلق بتحقيق ذلك النظام في الفصل الثامن.

3 – هل حرق مخلفات الورق والبلاستيك شيء مشين؟

حتى ولو حرقنا الورق لا يزال بإمكاننا إعادة تدويره:

رأينا هنا أن إعادة التدوير تعود علينا بمنفعة مزدوجة، فهي من ناحية تقلل مقدار مخلفات المواد التي يُتَخلَّص منها في الغلاف الحيوي للأرض ومن ناحية أخرى توفر الطاقة. ومع ذلك يجب أن نضع في الحسبان أن إعادة تدوير الأشياء لا تعني بالضرورة تدويرها في صورة مواد. وهذا من الأهمية بمكان لسببين. أولهما أنه لا مناص من أن جودة بعض المواد المعاد تدويرها ستكون رديئة جدًّا بحيث لا يكون من السهل إعادة استخدامها مرة أخرى في صورة مادة خام لإنتاج مادة جديدة. وثانيهما حاجتنا إلى كم كبير من الطاقة. وهذه الاعتبارات مهمة للغاية خاصة إذا تعلق الأمر بالورق والبلاستيك. دعونا أولا نتناول حالة الورق.

بدءًا من الإعلانات البريدية التي تعج بها صناديق بريدنا، ووصولًا إلى سيول المطبوعات التي خرجت علينا من بوابة الحاسوب نجد أننا نستهلك من الورق يوميًّا كمًّا هائلًا من الورق يكاد يكون من الإجرام أن نلقي به هكذا دون استفادة. رأينا في الفصل الأول أن إنتاج الورق من الأشجار يستهلك طاقة كبيرة. ومثله مثل المعادن والزجاج، نجد الورق إذا أعيد تدويره بكفاءة أثمر توفيرًا للطاقة. حاليًا في اليابان والاتحاد الأوروبي والولايات المتحدة يُستخدَم قرابة 50٪ من مخلفات الورق مع عجينة ورق جديدة في إنتاج الورق.

لو أمكننا زيادة نسبة إعادة التدوير من دون اللجوء إلى توسيع الحدود التقنية والاقتصادية فيا حبذا ذلك. ومع ذلك إذا أعدنا تدوير الورق مرارًا وتكرارًا فسيقصر بهذا طول أليافه وستخور قواه. ولهذا السبب يقال إن حد مخلفات الورق المسموح بإضافته إلى المادة الخام لصناعة الورق يبلغ 70٪. فإذا كنا قد أخفقنا في إعادة تدوير كل هذا الكم من مخلفات الورق لهذا السبب فيا تُرى ماذا يكون البديل الأمثل؟ حاليًا يُحرَق الورق الذي لم يعد تدويره جنبًا إلى جنب مع المخلفات المدن الأخرى، أو يُكتفى بدفنه في مكبات النفايات. والورق الذي

يُدفن في مكبات النفايات وإما يتحلل وإما تلتهمه الجراثيم. ولهذا فسواء حُرِق الورق أو دُفن في مكبات للنفايات فسينتهي به الأمر إلى التحول إلى ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي.

وإذا كان ولا بد من إحراق الورق على أية حال فيتحتم علينا إيجاد طريقة مفيدة لحرقه. فمجرد التخلص من مخلفات الورق في المحارق أو مكبات النفايات يماثل إحراق آبار النفط. ومع ذلك إذا أحرقنا الورق في محطة توليد طاقة بالفحم عندها سنقلل من استهلاك الفحم عن طريق مقدار الحرارة المتولدة عن احتراق الورق. من الممكن استخدام مخلفات الورق في مصانع صناعة الأسمنت وأفران الصهر أيضًا. فحيثما أُحرِقَ الوقود الأحفوري، إذا استطعنا أن نُحِلَّ محله شيئًا من مخلفات الورق فسنكون بذلك قد قللنا استعمال موارد الوقود الأحفوري. فنحن هنا لسنا بصدد ما إذا كان إحراق الورق مفيدًا أم أنه مجرد هدر، فما نحن بصدده الآن هو الوصول إلى الحل الأمثل بالمقارنة بما يجري الآن من تخلص من مخلفات الورق في المحارق أو دفنه في مكبات النفايات.

رأينا في الفصل الثاني كيف أن كفاءة التسخين/ التدفئة تعتمد بالدرجة الأولى على الطريقة المستخدمة. فعندما نستخدم مخلفات الورق وقودًا فلا بد لنا كذلك أن ننظر أي طريقة تقدم أفضل كفاءة.

على سبيل المثال نجد أن توليد الطاقة من النفايات هي إحدى التقنيات التي تُستخدم لإعادة تدوير القمامة. وتقوم الفكرة على إحراق القمامة ثم استخدام الحرارة الناتجة لتوليد الكهرباء الحرارية. ومع الأسف فإن حجم كفاءة الطاقة الذي يمكن تحقيقه عن طريق هذا يزيد قليلًا على 10٪، أي أنه لا يتجاوز خُمس كفاءة الطاقة في أكثر محطات توليد الكهرباء تقدمًا. بعبارة أخرى نجد أن الوقود المستخدم في محطات توليد الكهرباء العادية يفوق من حيث الكفاءة الطاقة المتولدة عن حرق النفايات بخمسة أمثال. ويستخدم توليد الطاقة من النفايات أيضًا للحصول على الماء الساخن. ومع ذلك، وكما رأينا في موضوع التوليد المشترك الذي تناولناه في الفصل السابق، فإن الإقبال في معظم الأحيان

على المياه الساخنة أقل بكثير من الطلب على الكهرباء؛ لذا حتى لو استطعنا أن نجمع تقريبًا كل الحرارة الناتجة عن إحراق القمامة في صورة مياه ساخنة، فسنجد أن قيمة تلك الطاقة منخفضة.

إذا استطعنا إيجاد طريقة لحرق مخلفات الورق يمكن عن طريقها تقليل استهلاك مقدار الوقود الأحفوري بما يوازي الطاقة الكيميائية للورق، فعندها سيكون إحراق الورق مجديًا. وربما يتطلب هذا إيجاد وسيلة ناجعة لإزالة الماء والملوثات الأخرى من المخلفات الورقية. ومع ذلك لو استطعنا القيام بهذا بدون استهلاك قدر زائد على الحد من الطاقة عندها ستكون جميع الطاقة المكتسبة عن طريق حرق الورق ذات تأثير إيجابي فيما يتعلق بنضوب موارد الوقود الأحفوري.

إذًا لماذا ينتابنا شعور بأن إحراق الورق هو مجرد إهدار؟ لعل من أسباب ذلك قلقنا من أن استهلاك الورق قد يؤدي إلى تدمير الغابات. ومع هذا لو كنا حريصين في التعامل مع الغابات وإعادة زراعة الأشجار مرة أخرى باستدامة فسيعتبر إحراق الورق لإنتاج الكهرباء مثلًا شكلًا من أشكال نظامٍ طبيعيٍّ للطاقة يعتمد على الطاقة الشمسية. السبب الآخر المهم في مقاومتنا لفكرة إحراق الورق هو عدم اعترافنا أننا في واقع الأمر نحرق مقدارًا من النفط يفوق بعشرة أمثال حجم الورق الذي نستخدمه. فعلى سبيل المثال، بالمقارنة بنسبة الـ2.7 طن من الوقود الأحفوري المقسم إلى وحدات كربون يستهلكها اليابانيون سنويًّا لكل شخص، نجد أن مقدار استخدام الورق لا يزيد على 0.2 طن إلا قليلًا. لا يوجد سبب وجيه يجعلنا نتجنب إحراق الورق عند انتهاء دورة حياته. ما يجب علينا فعله لكي نطيل من عمر إنتاج الورق هو أن نعيد زراعة الأشجار التي حُصِدَت لصناعة عجين الورق ونخفض مقدار الـ300 كيلو جرام من الوقود الأحفوري التي تُحْرَق لإنتاج طن من الورق. علاوة على ذلك، ورغم أننا لم نتعرض لهذا الأمر في هذا الكتاب، يجب علينا أيضًا أن نتناول مشكلة الاستهلاك ـ هل نحن بحق في حاجة إلى استخدام كل هذا الكم من الورق؟

استخدام البلاستيك وقودًا:

نستطيع التفكير بذات الطريقة عندما نتناول الطريقة المثلى لإعادة تدوير البلاستيك. حاليًا، وكما رأينا في الفصل الثاني، الوقود الأحفوري هو أكبر مصدر طبيعي يستهلكه البشر سنويًّا، ويقدر بـ 7.5 مليار طن مقسم إلى وحدات كربون. ومن بين كل هذا الكم ما يُحوَّل إلى مواد لا يتعدى 200 مليون طن من البلاستيك والألياف الصناعية ومواد بتروكيميائية أخرى تنتج سنويًّا. ولهذا هناك ما نسبته 7.3 مليار طن من الوقود الأحفوري، أو ما يقرب من 98٪ من إجمالي الاستهلاك يُحرَق ليزودنا بالطاقة المطلوبة «لصناعة الأغراض» وممارسة «حياتنا اليومية».

ويمكننا تقسيم طرق استخدام مخلفات البلاستيك إلى أربعة أنواع رئيسية: 1)إعادة استخدام مخلفات البلاستيك كما هي 2) استخدامه بعد إعادة تشكيله 3) استخدام التحلل الحراري لإعادة مخلفات البلاستيك في شكل مادة خام مرة أخرى مثل الإيثيلين 4) استخدام مخلفات البلاستيك وقودًا. لو أمكن إعادة استخدام منتج البلاستيك كما هو أو إعادة تدويره بذات قيمة المنتج الأصلي عندها فلعل هذا يكون أفضل ما يمكننا فعله. صغيرة هي الطاقة الضرورية لإعادة التشكيل ولهذا حتى وإن كان لزامًا علينا إعادة تشكيل البلاستيك إلى منتجات جديدة فسيمكننا ذلك من توفير استهلاك تقريبًا مقدار الطن من الوقود المستخدَم لإنتاج طن من البلاستيك عند صناعته من النافثا.

فيما يتعلق بالنوع الثالث من إعادة التدوير، حيث يُستخدم التحلل الحراري لإعادة البلاستيك إلى صورة المادة الخام، لا بد من توخي الحذر عندما ننظر في حجم استهلاك الطاقة المطلوب. كما رأينا في نهاية الفصل الثالث، التحلل الحراري هو الخطوة الأكبر استهلاكًا للطاقة خلال إنتاج البلاستيك من النافثا. ولهذا في أسوأ الحالات ليس مستحيلًا أن نستهلك أكثر من طن نفط لإعادة تدوير طن من البلاستيك. علينا كذلك توخي الحذر في المواقف التي يعاد فيها استخدام المنتجات البلاستيكية عالية الجودة لصناعة منتجات رديئة

مثل مقعد الحديقة أو أصيص الزرع. إذًا إذا أعدنا استخدام مخلفات البلاستيك لنخرج منتجات نحتاج إليها بحق فيا حبذا ذلك. ومع ذلك، في مواقف معينة في هذه الأيام يُعاد التدوير لا لشيء سوى إعادة التدوير مع إيلاء قليل من الاهتمام لمدى الإقبال على المنتجات المعاد تدويرها، وفي مواقف أخرى نجد منتجات أعيد تدويرها هي عبارة عن منتجات كان يمكن صنعها مع استهلاك أقل لموارد الطاقة لو كنا استخدمنا مادة مختلفة. وعن طريق تلك المواقف ربما يكون من الأفضل استخدام مخلفات البلاستيك وقودًا بديلًا لموارد الوقود الأحفوري.

فعلى سبيل المثال، من أكثر الطرق الواعدة في الوقت الحالي لإعادة تدوير المخلفات البلاستيكية استخدامه بديلًا لفحم الكوك في اختزال خام الحديد. فإذا عالجنا البلاستيك مسبقًا لإزالة الكلور وشوائب أخرى، ثم عالجناه حراريًّا يمكننا الحصول على حبيبات كربون لديها في الغالب ذات خصائص فحم الكوك المصنوع من الفحم. وحتى مع التقنية المتاحة في أيامنا هذه يقال إن ما نسبته 70٪ من الطاقة الكيميائية الناتجة عن مخلفات البلاستيك يمكن إعادة استخدامها بديلًا لفحم الكوك، وهذا ما يعد أداءً رائعًا لإعادة التدوير.

وفي ضوء المناقشة السابقة يبدو جليًّا خاصة فيما يتعلق بالورق والبلاستيك أننا بحاجة إلى النظر في مميزات وعيوب مختلف الخيارات المتعلقة بإعادة تدوير وإعادة استخدام مخلفات المواد من المنظور العالمي بدلًا من النظر إليها من زاوية واحدة تمامًا كأن نتساءل: هل مخلفات المنتجات يمكن إعادة تدويرها أم لا لتدخل في منتجات مواد أخرى؟

ففي مجتمع وصلت فيه مصنَّعات البشر إلى درجة التشبع، هناك مخرجان بالنسبة إلى مصنَّعات البشر التي انتهى عمرها الافتراضي: وإما أن يُلقى بها بعيدًا أو يُعاد تدويرها. يمكننا تخيل ما الذي سيحدث إذا اخترنا إلقاء مصنَّعات البشر بعيدًا بأن ننظر فيما سيؤول إليه الحال في المدن العصرية. رأينا معًا أن تلك المدن تمثل تكدس مصنَّعات البشر. فإذا افترضنا أن متوسط عمر مصنَّعات البشر هو

50 عامًا، فبعد مرور 50 عامًا سيكون هناك مقدار من المخلفات يعادل مساحة كل تلك المدن الموجودة حاليًا يتحتم علينا التخلص منه في مكان ما في الغلاف الحيوي للأرض. وإذا أخذ عدد المدن في الزيادة، وتخلينا عن تلك المدن كل 50 عامًا، عندها ستتحول الكرة الأرضية في نهاية المطاف إلى مكب قمامة. ولهذا إذا أردنا استدامة الأرض فليس لدينا بديل عن إيجاد مجتمع يتبنى ثقافة إعادة تدوير المواد.

والهدف من هذا الفصل لا يقتصر فقط على جعل «صناعة الأغراض» عن طريق إعادة التدوير أمرًا ممكنًا، بل قد تسهم أيضًا في حفظ موارد الطاقة.

الفصل السادس
ظهور الطاقة المتجددة

الفصول السابقة أوضحت أن هناك إمكانات ضخمة لتوفير الطاقة في أعمال «الحياة اليومية»، بل حتى في أعمال «صناعة الأغراض» يمكننا توفير موارد الطاقة عن طريق إعادة التدوير بدلًا من اعتمادنا الحالي على الموارد الطبيعية في الإنتاج. لكن حتى لو قللنا مقدار الطاقة الذي نستهلكه بهذه الطريقة سنظل بحاجة إلى كمّ هائل من موارد الطاقة. ليس بوسعنا أن نستمر في الاعتماد على الوقود الأحفوري بأنواعه. فإذا ما نظرنا فقط إلى قضية الاحتباس الحراري الناتجة عن انبعاثات ثاني أكسيد الكربون سيتضح لنا أنه لم يعد هناك متسع من الوقت لابتكار موارد طاقة تصلح بديلًا للوقود الأحفوري.

لقد رأينا أننا ربما لن نتمكن من تحقيق عملية استبدال الوقود الأحفوري بشكل كامل خلال القرن الحادي والعشرين. غير أن ذلك لا يعني أن بإمكاننا الجلوس دون حراك ونحن نشاهد موارد الوقود الأحفوري وهي تتلاشى أمام أعيننا.

بل علينا أن ننظر إلى هذا باعتباره تحذيرًا مفاده أننا إذا ما بذلنا أفضل ما بوسعنا تجاه ابتكار موارد طاقة بديلة الآن فسيكون بإمكاننا التخلي عن فكرة الاعتماد على النفط والوقود الأحفوري بأنواعه، ونتوصل بسلاسة إلى نظام طاقة بديل ومستدام.

1 – هل يكمن الحل في تكثيف استخدام الطاقة النووية؟

كما رأينا في الفصل الثاني خيارات الطاقة البديلة والطاقة المتجددة محدودة، فأي تلك البدائل إذًا يمكن ائتمانه على مستقبلنا؟

أنواع الطاقة النووية:

يقول الكثير من الخبراء إن الطاقة النووية هي الحل وإحدى فوائدها تكمن في استخدام التفاعل النووي لليورانيوم بدلًا من حرق الكربون، وإن الطاقة النووية لا تسبب انبعاث غازات دفيئة. من ناحية أخرى اليورانيوم مصدر طاقة غير متجدد شأنه في ذلك شأن الوقود الأحفوري. صحيح أن عنصر اليورانيوم موجود وبكميات ضخمة تحت سطح الأرض، لكن معظمه من نوع يورانيوم 238 وهو أحد نظائر اليورانيوم التي لا يمكن استخدامها استخدامًا مباشرًا في الانشطار النووي. أما الشكل الانشطاري من اليورانيوم – يورانيوم 235 – والذي يمكن استخدامه في المفاعلات النووية التقليدية فيوجد بنسبة ضئيلة لا تتجاوز 0.7 في المائة على الأرض. والكميات المؤكدة لمخزون اليورانيوم 235 مقارنة بنسب الإنتاج الراهنة ستكفي لخمسة وأربعين عامًا قادمة لا أكثر، وهو ما قد يثير بعض المخاوف لدينا من احتمال نضوب موارد اليورانيوم الطبيعي. لكن يقال أيضًا إننا إذا بحثنا فقد نجد كل ما نحتاج إليه. ويمكننا القول استنادًا إلى نموذج النفط في الماضي إنه من المستبعد أن تنضب الموارد في غضون 45 عامًا.

غير أن هذا لا يغير حقيقة أن عملية توليد الطاقة النووية في شكلها الحالي تعتمد على مورد غير متجدد.

ومن الحلول المحتملة لهذه المشكلة التي أثارت الكثير من الاهتمام هو استخدام مفاعلات الاستنسال (التوليد) السريع. تركيز نسبة اليورانيوم 235 في اليورانيوم بشكل عام حاليًا يحتاج إلى تخصيب بنسبة تصل إلى اثنين في المائة كي يُستخدم وقودًا في توليد الطاقة النووية.

نظير اليورانيوم 238 لا يُستخدَم، ويجب التخلص منه في أماكن احتواء

باهظة الثمن. لكن إذا تمكنّا من بناء مفاعل الاستنسال السريع فسيمكننا تحويل اليورانيوم 238 الذي يبقى في المفاعل إلى بلوتونيوم 239 وهو مادة انشطارية أخرى عبر عملية مصادمة بينه وبين النيوترونات، ما سيجعل موارد الطاقة النووية تتضاعف فجأة عشر مرات. قد تبدو هذه تقنية مثالية، لكن للأسف هي تقنية ليست خالية تمامًا من المشكلات، فالبلوتونيوم أكثر خطورة حتى من اليورانيوم، ومن ثم فإن قضايا السلامة والحد من الانتشار تزداد خطورة في حالة المفاعلات الاستنسالية.

ظللنا ردحًا من الزمن يحدونا الأمل في ابتكار تقنية لإنتاج الكهرباء عبر عملية الاندماج النووي. إنتاج الكهرباء عن طريق الاندماج النووي سيعتمد على ذات المبدأ الذي يمنح الشمس طاقتها، لذا من منظور علمي محض ينبغي أن يكون ذلك ممكنًا. إذا أمكن توليد الطاقة عن طريق الانصهار النووي فإن مقدار الطاقة الكهربية التي يمكن توليدها سيكون بلا حدود. لكن نظرًا لأن أحدًا لم يتمكن من بلوغ تلك المرحلة الحرجة التي يتجاوز فيها قدر الطاقة الناتج قدر الطاقة المتوافر، ونظرًا لأن الناس كانت تقول قبل ثلاثين عامًا: «في غضون ثلاثين عامًا سنبني المفاعل الذي يبرهن ذلك»، وما زلنا نردد ذات الكلام اليوم، فلعل الاندماج النووي لن يكون مصدر الطاقة المحتمل للقرن الحادي والعشرين. إذا كنا سنعمد إلى استخدام الطاقة النووية فإن الأمر على الأرجح لن يتجاوز الانشطار النووي بكل المشكلات المتعلقة بالموارد والسلامة والانتشار النووي.

مخاوف تتعلق بالسلامة:

المخاوف التي تتعلق بسلامة التكنولوجيا النووية كثيرة، ورغم أن بعض تلك المخاوف ربما لا يكون لها أساس فإن كثيرًا منها جد خطير مثل مسألة انتشار الأسلحة النووية، والتخلص من النفايات المشعة التي قد تتجاوز المدة اللازمة لفقدانها نصف خطورتها آلاف السنين. ويبلغ إسهام الطاقة النووية من إنتاج الطاقة عالميًّا خمسة في المائة، ولا يرجح أن تزيد هذه النسبة كثيرًا. إذا أردنا على سبيل المثال الاعتماد بشكل حصري على الطاقة النووية في توليد كل

احتياجاتنا من الطاقة، فذاك يعني إقامة عشرات الآلاف من المحطات النووية بحجم محطة جزيرة الثلاثة أميال في كافة أنحاء العالم. مهمة التوصل إلى حل القضايا المتعلقة بالحوادث والإرهاب ومعالجة النفايات المشعة قد تتجاوز كافة إمكاناتنا الحالية بالتأكيد.

إذا عجزنا عن تحقيق حلم تكثيف الطاقة النووية فسنحتاج إلى تركيز جهودنا على تطوير الطاقة المتجددة. الطاقة المتجددة موجودة وبوفرة هائلة في محيطنا الحيوي، ولكن المشكلة التي تحاول تقنيات الطاقة المتجددة حلها هي كيف يمكن تحويل تلك الطاقة إلى أشكال سهلة الاستخدام مثل الكهرباء ووقود السيارة. كثير من تقنيات الطاقة المتجددة طرحت ابتداء من التسخين الشمسي إلى توربين الرياح (عنفة الرياح) إلى أساليب توليد الطاقة الكهربية باستخدام الفارق بين درجة حرارة سطح الماء ودرجة حرارة الأعماق في المحيطات أو استخدام الضغط الإسموزي بين المياه المالحة والمياه العذبة، والذي مر بنا في الفصل الثاني من هذا الكتاب. لكننا هنا لن نركز إلا على تلك التقنيات التي يمكن تقديمها على نطاق واسع في المستقبل القريب.

2 – ضوء الشمس

مقدار كاف وجودة مثالية:

يمكننا احتساب إجمالي مقدار أشعة الشمس التي تصل إلى الأرض بضرب كثافة أشعة الشمس خارج الغلاف الجوي والمسلط بشكل عمودي على سطح الأرض (وهو 1.37 كيلو واط/ المتر المربع) في مساحة القطاع العرضي للأرض. هذه القيمة تقارب عشرة آلاف مِثلٍ من إجمالي الطاقة التي تستخدمها البشرية اليوم، ومن ثم طاقة ضوء الشمس أكثر من كافية. أما المشكلات اللاحقة التي يتعين علينا التفكير فيها عند استخدام ضوء الشمس مصدرًا للطاقة فتتعلق بجودته وكثافته.

ما مدى جودة ضوء الشمس؟ رأينا في الفصل الثاني أن كافة أشكال الطاقة

فيما عدا الحرارة يمكن ولو نظريًّا تحويلها بكفاءة تبلغ مائة في المائة ولذا تتمتع بذات القيمة أو الجودة. وإن شئنا الدقة أكثر قلنا إن كل أشكال الطاقة تتمتع بجودة متساوية فيما عدا الطاقة الحركية للجزيئات التي تهتز اهتزازًا عشوائيًّا وهي الحرارة داخل جسم ما والطاقة المشعة التي ينتجها جسم عند ارتفاع درجة حرارته مثل سلك المصباح الكهربي. ضوء الشمس طاقة مشعة تنتجها الشمس؛ لذا فجودته ليست بذات درجة جودة أنواع الطاقة الأخرى التي رأيناها في الفصل الثاني مثل الكهرباء والشغل. فلننظر إلى جودة ضوء الشمس من منظورين.

المنظور الأول هو درجة حرارة طاقة ضوء الشمس إذا ما حُوِّلت إلى حرارة.

رأينا أنه يمكن تحديد قيمة الحرارة بقسمة التباين في درجات الحرارة في بيئة ما مقسومًا على درجة حرارة السخونة، ومن ثم كلما زادت درجة حرارة الحرارة زادت القيمة. درجة حرارة سطح الشمس تبلغ نحو ستة آلاف درجة مئوية، وعليه فإن ضوء الشمس يحمل قيمة طاقة تعادل التسخين لدرجة حرارة ستة آلاف درجة مئوية.

باستخدام درجة حرارة بيئة الأرض، والتي تبلغ نحو 15 درجة مئوية، نجد أن اختلاف درجة الحرارة مقسومًا على درجة الحرارة ذاتها يقارب 0.95. وهذا يعني أن ضوء الشمس طاقة يمكن تحويلها إلى كهرباء بنسبة كفاءة تبلغ تسعة وخمسين في المائة، وعليه فإن ضوء الشمس يتمتع بذات جودة الكهرباء تقريبًا.

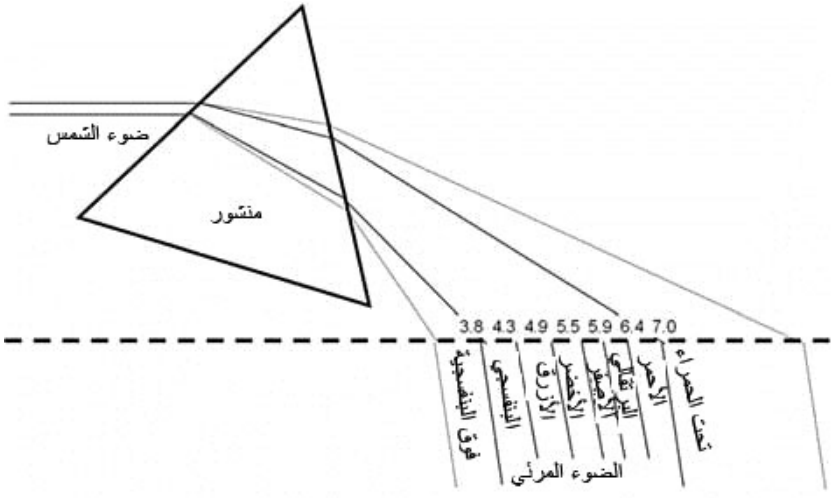
أما المنظور الآخر للبحث في جودة ضوء الشمس هو ذلك المتعلق بطوله الموجي.

عندما يمر ضوء الشمس عبر منشور أو يسقط على الماء نرى ألوان الطيف كلها. وضوء الشمس مكون من موجات كهرومغناطيسية كثيرة بأطوال موجية مختلفة كل منها ينتج لونًا مختلفًا من ألوان قوس قزح.

ولأن أشياء مثل المنشور أو قطرات الماء تحني الضوء بدرجات مختلفة،

واعتمادًا على الطول الموجي يمكن تقسيم ضوء الشمس إلى ألوان مختلفة كما هو مبين في الشكل رقم 6ـ1. الأطوال الموجية للضوء المرئي وهي ألوان قوس قزح التي يمكننا رؤيتها بالعين المجردة تتراوح بين 0.7 ميكرون بالنسبة إلى الضوء الأحمر ـ وهو أطولها – و0.4 ميكرون بالنسبة إلى الضوء البنفسجي وهو أقصرها. ومن ثم فالضوء المرئي يتألف من موجات إلكترومغناطيسية لها أطوال موجية تتراوح بين 0.4 و0.7 ميكرون.

رغم ذلك توجد موجات إلكترومغناطيسية خارج نطاق ألوان قوس قزح في ضوء الشمس، حتى وإن تعذرت رؤيتها بالعين البشرية المجردة. الجزء الذي يتمتع بطول موجي يزيد على الطول الموجي للضوء الأحمر ـ إذ يتجاوز 0.7 ميكرون ـ يطلق عليه «الأشعة دون الحمراء» وتلك الموجات الإلكترومغناطيسية توجد خارج الحافة الحمراء لقوس قزح. الجزء ذو الطول الموجي الأقصر من الطول الموجي للضوء البنفسجي- إذ يقل عن 0.4 ميكرون ـ يطلق عليه «الأشعة فوق البنفسجية»، وتلك الموجات الإلكترومغناطيسية توجد خارج الإطار البنفسجي لقوس قزح. الطاقة التي يحتويها كل من أجزاء ضوء الشمس



الشكل رقم 6ـ1: الأطوال الموجية لضوء الشمس

التي تشع على الأرض من الفضاء الخارجي تتألف من 9٪ أشعة فوق البنفسجية و47٪ ضوء مرئي و44٪ أشعة دون الحمراء. الأشعة فوق البنفسجية تمتصها طبقة الأوزون في طبقة الاستراتوسفير ـ الطبقة العليا من الغلاف الجوي ـ لذا لا يصل إلى سطح الأرض من هذه الأشعة إلا قدر ضئيل.

جودة طاقة الضوء ـ التي يمكن اعتبارها تدفقًا لجزيئات الطاقة التي تسمى «فوتونات» ـ يتحدد بالطول الموجي. ويمكننا اعتبار الضوء ذي الطول الموجي القصير تدفقًا لجزيئات من الضوء تحمل كميات كبيرة من الطاقة، واعتبار الضوء ذي الطول الموجي الطويل تدفقًا لجزيئات من الضوء تحمل كميات ضئيلة من الطاقة. على سبيل المثال بغض النظر عن مدة تعرضك للأشعة تحت الحمراء لن تحصل على سمرة البشرة، والسبب في ذلك أن طاقة فوتون واحد من الأشعة دون الحمراء ليست كافية لإحداث التفاعل الكيميائي لمادة الميلانين الصبغية والتي تتسبب في إكساب بشرتك السمرة. إذا وقفت أمام موقد ساخن أو سخان كهربي لفترة طويلة قد تحترق، لكن بشرتك لن تكتسب السمرة. فطاقة الفوتونات فوق البنفسجية لازمة كي يحدث تفاعل السمرة هذا. على ذات المنوال الفوتونات التي تحمل على الأقل طاقة الضوء المرئي ضرورية لإحداث التفاعل لفصل مكونات الماء، وهو أمر يستحيل فعله بالأشعة تحت الحمراء. علاوة على ذلك وكما قد نتوقع فإن فوتونات الضوء ضرورية لتفاعلات البناء الضوئي ـ المعروف أيضًا باسم التمثيل الضوئي ـ والأشعة تحت الحمراء لا تكفي. لذا لا يمكن للنباتات أن تنمو في غرفة محرومة من الضوء المرئي، حتى وإن كان هناك مصدر قوي للأشعة تحت الحمراء مثل مصباح تدفئة. وختامًا الطول الموجي للضوء يحدد أيضًا الجهد الأقصى لتوليد الطاقة الكهربية من خلية شمسية. وباستخدام الضوء المرئي يمكن توليد كهرباء بجهد يزيد على 1.5 فولت.

والخلاصة أن ضوء الشمس المرئي يمكنه فصل مكونات الماء أو إحداث تفاعلات البناء ـ التمثيل الضوئي ـ وبه يمكننا بناء خلايا شمسية تتمتع بجهد طاقة كافٍ لتغطية احتياجاتنا من الكهرباء. ولأن نصف طاقة ضوء الشمس تقريبًا

في شكل ضوء مرئي، فمن الواضح أن ضوء الشمس مصدر طاقة ذو جودة عالية يمكن استخدامه في مجموعة واسعة من احتياجات الطاقة.

القوة القصوى للسيارة الشمسية لا تتجاوز قوة حصانين:

أكبر مشكلة تتعلق بضوء الشمس هي انخفاض الكثافة، وكما رأينا في الجزء السابق فإن كثافة ضوء الشمس خارج الغلاف الجوي تبلغ 1.37 كيلو واط/ متر مربع، ولكن نحو ثلاثين في المائة من تلك الطاقة تمتصها السحب والغبار ولا تصل إلى سطح الأرض. وعندما نضيف تأثير فصول السنة وتعاقب الليل والنهار والأحوال الجوية وما إلى ذلك، فإن كثافة ضوء الشمس في اليابان على سبيل المثال لا تزيد على 200 واط / متر مربع.

هل بوسعنا صنع سيارة لا تعتمد إلا على خلايا الطاقة الشمسية؟ إذا أمكننا ذلك فسنكون قد قطعنا شوطًا طويلًا على طريق تخفيف مشكلة موارد الطاقة. في الواقع هناك سباق للسيارات الشمسية يُعقد منذ عام 1987م، وهو ما يعطينا سببًا للأمل. لكن حتى الفائزون في السباق لا يمكنهم إنتاج القدرة الحصانية المطلوبة لظروف القيادة المعتادة. فإذا غطينا سيارة كبيرة من سقفها حتى غطاء محركها بخلايا شمسية تعمل بكفاءة تبلغ 15٪ مثل تلك المتوافرة حاليًا في الأسواق وتحت أكبر كثافة للإشعاع الشمسي في ظهيرة يوم في منتصف فصل الصيف فقد نحصل على قوة دفع تعادل حصانين، وفي ظل معدل أشعة الشمس المتوسط لن نحصل سوى على قوة دفع تعادل 0.4 حصان. ليس هذا فحسب، ففي ظل ظروف مناخية معينة مثل تلك الأيام الغائمة أو الممطرة سينخفض معدل القوة أكثر وبالطبع لا يمكن للخلايا الشمسية أن تنتج أي قوة دفع ليلًا. وعند المقارنة بمحرك تقليدي بقوة مائة حصان فإن السيارات الشمسية لا تصمد في المقارنة حتى في ظل أفضل الظروف. في سباق السيارات الشمسية تجد سيارات نحيلة مصنّعة من مواد خفيفة الوزن وخلايا شمسية محملة على هياكل أشبه بأجنحة ضخمة، ومع ذلك تبدو السيارات وكأنها تسير باسترخاء عبر مضمار السباق.

احتمالات إنتاج السيارات الشمسية على نطاق تجاري محدودة،

والطائرات التجارية التي تعمل بالطاقة الشمسية تكاد تكون ضربًا من المستحيل. وحتى محطات الطاقة الشمسية ذات الخلايا الثابتة تصعب إقامتها؛ لأنها تتطلب مساحة شاسعة. كل هذه المشكلات نجمت عن انخفاض كثافة ضوء الشمس إضافة إلى التقلبات السريعة بسبب السحب وعوامل أخرى. هذه هي العقبات الأساسية المتعلقة بضوء الشمس عندما ننظر إليه باعتباره مصدرًا للطاقة. كي نستخدم ضوء الشمس مصدرًا للطاقة نحتاج إلى مساحة واسعة لجمع الطاقة وطريقة لتخزينها عندما تضعف أشعة الشمس. ثمة تقنيتان تبشران بمستقبل واعد لتجاوز هذا النوع من المشكلات وهما الكتلة الحيوية وتوليد الكهرباء من الطاقة الشمسية.

رأينا أن أقصى كفاءة نظرية لتحويل ضوء الشمس إلى كهرباء أو شغل تبلغ 95٪. ولأن انخفاض الكثافة يمثل المشكلة الرئيسية في ضوء الشمس ينبغي لنا أن نحاول الاقتراب قدر المستطاع من هذه الكفاءة النظرية كي نتمكن من تقليل المساحة اللازمة لجمع أشعة الشمس. لنحاول في الأجزاء التالية استكشاف شكل الكفاءة التي يمكن تحقيقها فعليًّا باستخدام تقنيات الكتلة الحيوية وتوليد الكهرباء باستخدام الطاقة الشمسية.

الكتلة الحيوية تمثل نسبة خمسة في المائة من ضوء الشمس امتصتها أجسام خاصة في خلايا النبات يطلق عليها البلاستيدات الخضراء، وضوء الشمس الممتص يمنح طاقته للإلكترونات داخل البلاستيدات الخضراء. التمثيل الضوئي هو عملية استخدام الإلكترونات لتكوين الفركتوز ـ سكر الفاكهة ـ من ثاني أكسيد الكربون والمياه، وهذا يحدث عبر الكثير من الخطوات تشمل تفاعلات إنزيمية وأيونية. والفركتوز هو نوع من أنواع الكربوهيدرات، وهو مركب كيميائي يتألف من الكربون والمياه. من ناحية الطاقة فإن الفركتوز يشبه الكربون، ما يعني أن محتواه من الطاقة الكيميائية يشبه الفحم. كفاءة التمثيل الضوئي كبيرة، إذ إن كافة الإلكترونات التي امتصت ضوء الشمس تستخدم، غير أن هذا لا يعني أن كل طاقة أشعة الشمس يمكن استخدامها. وهناك سببان

رئيسان لهذا وأصلهما كما رأينا آنفًا أن ضوء الشمس مركب من أطوال موجية مختلفة.

السبب الأول كما أوضحنا سابقًا في هذا الفصل هو أن فوتونات الأشعة تحت الحمراء أصغر من أن تمتصها البلاستيدات الخضراء في النبات، وعليه فإن نسبة 44٪ من طاقة ضوء الشمس لا يمكن استخدامها في عملية التمثيل الضوئي. والسبب الثاني هو أن البلاستيدات الخضراء لا يمكنها استخدام طاقة بخلاف طاقة فوتون يعادل فوتون ضوء أحمر. طاقة فوتونات الضوء الزائدة التي يتجاوز قدر الطاقة فيها مقدار الطاقة في الضوء الأحمر مثل الأزرق والبنفسجي ينتهي الحال بها وقد تحولت إلى حرارة. واختصارًا نقول لا تستطيع البلاستيدات الخضراء امتصاص فوتونات من ضوء الشمس سوى تلك التي يكون طولها الموجي في حدود الضوء المرئي، أضف إلى ذلك أن الأحمر هو الطول الموجي الوحيد للضوء المثالي لعملية التمثيل الضوئي.

نتيجة الكفاءة دون المثالية لاستخدام طاقة الأطوال الموجية لضوء الشمس بخلاف الضوء الأحمر وعدم القدرة على استخدام الضوء دون الأحمر بالكلية فإن الكفاءة القصوى للتمثيل الضوئي تنخفض إلى أقل من 40٪، وعلاوة على ذلك تتراجع الكفاءة أكثر إلى ما دون العشرة في المائة عن طريق فقدان الطاقة خلال خطوات التفاعل الكثيرة المفضية لإنتاج الفركتوز. ثمة أمر آخر هو أن الضوء المرئي من الشمس لا يصل كله إلى البلاستيدات الخضراء. إذا امتصت الأوراق كل الضوء المرئي فإنها ستبدو سوداء، لكنها في الوقع تظهر خضراء، وهو ما يعني أن الضوء الأخضر قد انعكس على سطحها. كل هذا مع عدة عوامل أخرى يقلل كفاءة عملية التمثيل الضوئي لنجد أن الكفاءة النظرية لعملية التمثيل الضوئي لا تتجاوز ثمانية في المائة.

الكربوهيدرات التي تنتجها عملية التمثيل الضوئي من ضوء الشمس تتراكم داخل جسد النبات بوصفها «كتلة حيوية». النبات يستهلك نحو نصف الكتلة الحيوية بذاته خلال التنفس. علاوة على ذلك فالنباتات لا تنمو خلال

الفترة من الربيع إلى الصيف، وتبقى خاملة خلال فصلي الخريف والشتاء. بعد أخذ كل هذه العوامل في الاعتبار يمكن القول إن الكفاءة القصوى للكتلة الحيوية من حيث تلك الفترة القصيرة من العام التي يمكن خلالها تجميع أشعة الشمس ككتلة حيوية قابلة للتجميع للاستخدام الآدمي تقل في النهاية عن واحد في المائة.

على سبيل المثال، الأرز محصول يستخدم ضوء الشمس بكفاءة عالية نسبيًّا.

الأوراق الرقيقة والسيقان تنمو معًا بكثافة، ومن ثم تُمتص تقريبًا كل أشعة الشمس الساقطة على حقل الأرز. الأرز محصول عالي الإنتاجية تبلغ طاقته الإنتاجية عشرة أطنان للهكتار (وحدة قياس تساوي عشرة آلاف متر) وإذا ما أدرجنا الأوراق والسيقان فإن تلك الإنتاجية ترتفع إلى نحو عشرين طنًّا للهكتار. والكفاءة الكلية، باعتبارها نسبة القيمة المطلقة من الطاقة التي يمكن الحصول عليها من هذه الكتلة الحيوية وطاقة ضوء الشمس الذي يسطع على حقل الأرز خلال عام، تبلغ 0.2٪.

فترة النمو في حالة الأرز المزروع في مناطق معتدلة تمتد من الربيع إلى الصيف فقط، ومن ثم لا يمكن جمع الطاقة الشمسية طوال العام. في المقابل نجد أن موسم الزراعة في المناطق المدارية يستمر طوال العام. على سبيل المثال، دعونا ننظر كيف يزرع قصب السكر في البرازيل. البلد تغمره أشعة الشمس طوال العام ـ كما لو أن السنة بأكملها فصل صيف طويل ـ لذا لا يجد المزارع نفسه مقيدًّا بموسم زراعة يمتد فقط من الربيع للخريف.

وما يحدث أن المحصول يظل في الأرض حتى ينضج ثم يُحصَد بغض النظر عن التوقيت. بل إن أحد أقاليم البرازيل يمارس عملية زراعة مستمرة تدوم عامًا ونصف العام. ومتوسط الناتج لإقليم كهذا عند تحويله إلى معدل سنوي يبلغ خمسين طنًّا للهكتار. ويقال إن متوسط الناتج قد يرتفع إلى تسعين طنًّا إذا ما استُخدم الري في هذه الحالة ستكون كفاءة إنتاج الكتلة الحيوية أقل قليلًا من

واحد في المائة، وربما يمكننا اعتبار هذه النسبة قيمة واقعية مطلقة لكفاءة إنتاج الكتلة الحيوية على الأرض.

وماذا عن إنتاجية النباتات المائية؟ بعض أنواع الطحالب الخضراء مثل طحلب المياه العذبة الذي يشتهر بأنه يستهلك كميات ضئيلة للغاية من نواتج عملية التمثيل الضوئي وبحسب نتيجة تَوَصَّلَ لها أحد الأبحاث يمكن تحقيق كفاءة إنتاج من الكتلة الحيوية تقارب خمسة في المائة بزراعة طحلب المياه العذبة في المياه في ظل ظروف تغذية مثالية وسطوع للشمس. والأرجح أن قيمة الخمسة في المائة هذه هي الكفاءة القصوى التي يمكن ترويجها تجاريًّا لإنتاجية الكتلة الحيوية خلال العقود القليلة المقبلة.

طرق توليد الطاقة الشمسية الحرارية:

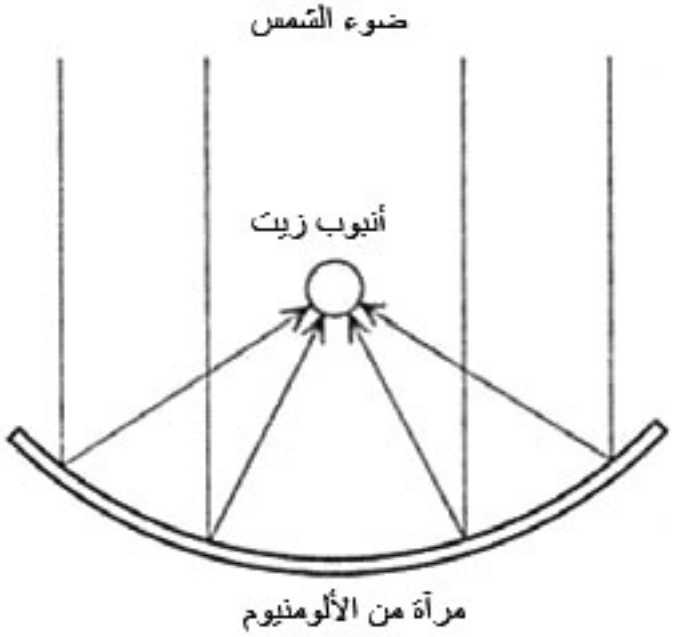
هناك طريقتان تبدوان واعدتين لتوليد الكهرباء من ضوء الشمس في القرن الحادي والعشرين، هما توليد الطاقة الحرارية باستخدام ذات مبادئ محطات توليد الكهرباء الحرارية والتوليد المباشر للطاقة من ضوء الشمس باستخدام الخلايا الضوئية.

توليد الطاقة الشمسية الحرارية يتضمن استخدام ضوء الشمس في تحويل المياه إلى بخار لتدوير التوربين. وهناك أشكال متعددة لفعل هذا تخضع للدراسة حاليًّا. ومن أمثلة ذلك ما يتضمن تسخين زيت التدفئة واستخدامه في التبخير. كما هو موضح في الشكل رقم 6–2 في محور المرآة المقعرة المصنوعة من ورقة رقيقة من الألومنيوم ثُبِّتَ أنبوب شفاف يتدفق عبره الزيت، ويُسخَّن بواسطة ضوء الشمس المركز. وتكمن الفكرة في أن ضوء الشمس الذي ركَّزته المرآة المقعرة يُجمَع لمحطة توليد الكهرباء باستخدام النفط. إذا حددنا كفاءة توليد الطاقة بأنها ذلك الجزء من ضوء الشمس الذي انعكس على المرآة المقعرة وتحول إلى كهرباء، فمن الممكن الحصول على كفاءة تصل إلى عشرين في المائة على الأقل.

وإذا ما تمكنا من رفع درجة حرارة الزيت أكثر يمكننا زيادة الكفاءة أكثر من ذلك.

وهناك طريقة أخرى تبدو واعـدة في الوقت الراهن تعتمد على تقنية تستخدم برج تركيز ضوء يطلق عليه «هليوستات»، في هذه الطريقة يثبت عدد كبير من المرايا في المنطقة المحيطة بالبرج، الضوء المنعكس يركَّز لنقطة التجميع في الجزء الأعلى من البرج، والمياه تُحوَّل إلى بخار لتوليد الطاقة. ويُتوقع تحقيق كفاءة توليد للطاقة باستخدام هذا الأسلوب لا تقل عن 30٪.

العقبة الكؤود أمام توليد الطاقة الشمسية الحرارية تكمن في أنها تستخدم أشعة الشمس المباشرة فحسب، فلا يمكن تطبيقها أو استخدامها مع أشعة الشمس المنتشرة، وإذا ما حَجَبت سحابةٌ ضوءَ الشمس وقلّت أشعة الشمس المباشرة بشدة فسيتعذر جمع الأشعة المنعكسة في حالتي النقطة المحورية للمرآة المقعرة ونقطة التجميع في برج «هليوستات»؛ لذا قد تكون مسألة توليد طاقة الشمس الحرارية تقنية فعالة في الصحاري حيث تقل السحب التي قد تحجب أشعة الشمس المباشرة، لكن في المناطق ذات الكثافة السكانية المرتفعة التي تتسم باحتياجات ضخمة للطاقة فإن عدد المواقع الملائمة لهذه التقنية قليل.



الشكل رقم 6ـ2: محطة طاقة شمسية حرارية تستخدم مرآة مقعرة لتركيز ضوء الشمس

الخلايا الشمسية... كفاءة تبلغ 40٪

الشكل رقم 6ـ3 يوضح مجموعة من الخلايا الشمسية مثبتة على سطح منزل، أي منزل عادي يمكنه أن يحقق الاكتفاء الذاتي تقريبًا من حيث استخدامه للكهرباء بهذا النوع من الخلايا. آلية توليد الخلايا الشمسية للكهرباء تبدأ عندما يمتص السيليكون أو أي مادة أخرى شبه موصلة للكهرباء ضوء الشمس. والآلية المتبعة حتى هذه النقطة تماثل الخطوات الأولى للتمثيل الضوئي عندما تمتص البلاستيدات الخضراء الضوء.

لكن في الخلايا الشمسية تُسحب هذه الإلكترونات مباشرة في صورة تيار كهربي، في حين أنها في التمثيل الضوئي تُستخدم في دفع التفاعلات الكيميائية لإنتاج الكربوهيدرات.

رأينا أن 95٪ من طاقة ضوء الشمس يمكن نظريًّا تحويلها إلى كهرباء ومن ثم فإن الكفاءة النظرية للخلايا الشمسية هي 95٪. غير أن تلك الكفاءة تتراجع تراجعًا كبيرًا عند التطبيق العملي. ومن أسباب ذلك أن الكفاءة تتراجع في الخطوات الأولى، حيث يمتص السيليكون الإلكترونات لذات غرض عملية التمثيل الضوئي. ومرجع ذلك أن الشمس ليس لها طول موجي واحد، وليس بالإمكان استخدام كافة الأطـوال الموجية على الوجه الأمثل. والسيليكون يستطيع امتصاص الإشعاع الإلكترومغناطيسي بطول موجي يبلغ واحد ميكرون أو أقل، والذي يتضمن جزءًا من الأشعة تحت الحمراء والضوء المرئي والأشعة فوق البنفسجية. غير أن معظم الأشعة تحت الحمراء يتجاوز طولها الموجي واحد ميكرون، وهذه الأشعة لا يمكن استخدامها. علاوة على ذلك، وبذات الطريقة التي رأيناها في التمثيل الضوئي حتى الفوتونات ذات الضوء عالي الطاقة يمكن فقط استخدام الطاقة الناتجة عن فوتون أشعة تحت الحمراء لا يزيد طولها الموجي على ميكرون واحد.

ونتيجة لهذه العوامل لا يمكن تحقيق كفاءة تزيد على أربعين في المائة باستخدام آليات الخلايا الشمسية التقليدية (بالرغم من وجود تكنولوجيا لتركيز

ضوء الشمس لتحقيق معدلات كفاءة أعلى بكثير). علاوة على ذلك، عندما نضيف عوامل فقد أخرى مثل الشوائب العالقة بالسيليكون وعدم كفاءة جمع الإلكترونات فإن كفاءة الخلية المتاحة في السوق حاليًا تتراجع إلى ما يتراوح بين 15٪ و 20٪. ومع ذلك لأن الإلكترونات التي امتصت طاقة الضوء يمكن استخراجها مباشرة في صورة تيار كهربي، فإن كفاءة الخلايا الشمسية أضخم بكثير من عملية التمثيل الضوئي التي تشمل الكثير من خطوات التفاعل الكيميائي في إنتاج الكربوهيدرات.

من الأساليب التي تبدو واعدة مستقبلًا في رفع كفاءة الخلايا الشمسية الخلايا الترادفية (خلايا ضوئية جهدية متعددة الوصلات). بدلًا من الاقتصار على استخدام السيليكون تُصنع الخلايا الترادفية بوضع طبقات من مجموعة من المواد معًا كي تستوعب أكبر قدر ممكن من مجموعة كبيرة من الأطوال الموجية لضوء الشمس. إذا أمكن تصنيع خلية شمسية باستخدام مجموعة متصلة من المواد بشكل ترادفي بطريقة تستوعب كافة الأطوال الموجية لضوء الشمس بطريقة نموذجية، فإن الكفاءة المثالية ستبلغ 95٪.

على سبيل المثال، خلايا السيليكون الشمسية الحالية التي تبلغ كفاءتها

الشكل رقم 6ـ3: خلايا شمسية مثبتة على سطح منزل (بإذن من مؤسسة كيوسيرا للطاقة الشمسية)

15٪ مصنوعة من السليكون البللوري، لكن إذا وضعنا طبقة من السيليكون غير المتبلور على السطح فقد ترتفع الكفاءة إلى نحو 17٪. الكفاءة القصوى حاليًا للخلايا الشمسية تبلغ 24.4٪ للسيليكون، و33.3٪ عند استخدام مجموعة من أشباه الموصلات، وأكثر من 40٪ في الخلايا الضوئية التركيزية الأكثر تقدمًا.

هل ابتكار تكنولوجيا جديدة يتطلب قدرًا كبيرًا من الطاقة؟:

مما يَعيبُ الناسُ على الخلايا الشمسية قولهم: «إن إنتاج الخلايا الشمسية يتطلب قدرًا هائلًا من الطاقة، وسيستغرق تعويض هذه الطاقة مدة عشرين عامًا». ولكن دعواهم هذه غير صحيحة.

إن فكرة استخدام نظام طاقة مثل الخلايا الشمسية لتوفير الطاقة تعتمد على فرضية أن مقدار الطاقة الذي ينتجه النظام سيكون بديلًا لقدر مستهلك من موارد الطاقة التقليدية مثل الوقود الأحفوري بأنواعه وهو مقدار أضخم بكثير من مقدار موارد الطاقة اللازمة لبناء النظام في المقام الأول. طول المدة الزمنية التي يجب تشغيل أي نظام طاقة خلالها لتعويض الطاقة المستهلكة خلال فترة بناء النظام يطلق عليها «مدة استرداد الطاقة». وهنا سنلقي نظرة على مدة استرداد الطاقة بالنسبة إلى الخلايا الشمسية.

الخلايا الشمسية تُصنع من مجموعة متنوعة من المواد. قوة الخلية يوفرها إطارها المصنوع من ألومنيوم سطح الخلية تحميه طبقة من الزجاج، والجزء المعني بتوليد الطاقة في الخلية مصنوع من مادة شبه موصلة للكهرباء مثل السيليكون. أضف إلى ذلك أنه كي تتمكن من التغلب على عدم التوازن في توليد الطاقة بين الليل والنهار وبين فترات سطوع الشمس وفترات سقوط المطر، فإن الأمر يتطلب آلية ما لتخزين الكهرباء المولَّدة أو لتبادل الطاقة مع شركة طاقة محلية. غير أنه بعد وضع قائمة بكل المواد والعمليات الداخلة في بناء الخلايا الشمسية ابتداء من التنقيب عن الموارد إلى تصنيع طبقة السيليكون الرقيقة وعملية تجميع الخلية وتقييمها جميعًا خَلُصَتْ دراسة أجرتها الجمعية اليابانية للهندسة الكيميائية، إلى أنه بالنسبة إلى الخلايا التي تُصَنَّع باستخدام التكنولوجيا

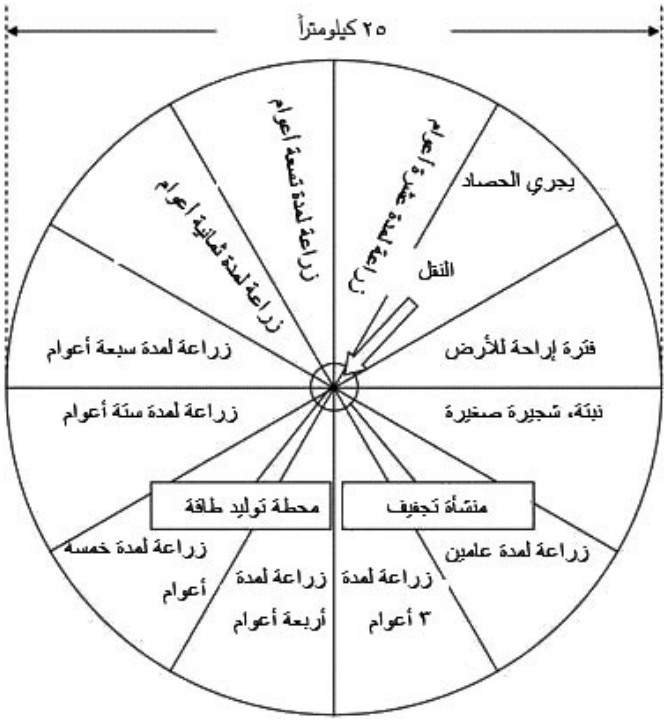
الحالية وتثبَّت فوق الأسطح في اليابان لا تتجاوز مدة استرداد الطاقة عامين فحسب.

مقارنة بين الخلايا الشمسية والكتلة الحيوية:

من بين أنواع تقنيات استخدام الطاقة المتجددة أظهرت تكنولوجيا الخلايا الشمسية والكتلة الحيوية إمكانات واعدة باعتبارها موارد للطاقة المتجددة في المستقبل. وكلتاهما تتمتعان بخصائصَ مختلفةٍ اختلافًا كبيرًا. فيما يتعلق بكفاءة الطاقة، تتفوق الخلايا الشمسية على تكنولوجيا الكتلة الحيوية، ولقد رأينا كيف أن زراعة قصب السكر في البرازيل في ظل ظروف مثالية من حيث ضوء الشمس والري تَنْتُج عنها كفاءة مقدارها واحد في المائة. وإذا كنا نقدر أن خلايا السيليكون الشمسية المتوافرة في الأسواق ستكون قادرة على تحقيق كفاءة تبلغ عشرين في المائة فالفارق بينهما سيبلغ عشرين مِثْلًا.

وهذا يعني أنه كي نحصل على ذات مقدار الطاقة فإن واحدًا على عشرين من المساحة سيكون كافيًا إذا استخدمنا الخلايا الشمسية.

أما من منظور وقت استرداد الطاقة فإن الكتلة الحيوية تكون لها اليد العليا. الشكل رقم 6ـ4 يوضح مخطط مفهوم لنظام تُزرع فيه أشجار الكافور (الكينا) وتستخدم ككتلة حيوية في غرب أستراليا. منطقة دائرية من الأرض يبلغ قطرها خمسة وعشرين كيلو مترًا تقسَّم إلى اثني عشر قطاعًا مثل الساعة. ويقام في قلبها موقع تجفيف ومحطة توليد طاقة. كبديل يمكن إقامة محطة كيميائية مكان محطة الطاقة لتصنيع الميثانول أو زيت الوقود الذي يمكن استخدامه. من بين القطاعات الاثني عشر يظل أحد عشر قطاعًا مزروعًا، وكل عام يُحصَد قطاع واحد للحصول على الكتلة الحيوية التي تُجمع في موقع التجفيف في المركز. بهذا المعدل يستطيع النظام إنتاج مقدار من زيت الوقود سنويًّا يعادل 150 ألف طن من النفط الخام، أو إذا ما استخدم النظام لتوليد الكهرباء فسوف تبلغ سعته الإنتاجية مائة ألف كيلو واط، وهو ما يعادل إنتاجية محطة طاقة متوسطة الحجم تعمل بالفحم. وقد صُمم هذا النظام وقُيِّم على أساس أن عمليات الغرس والزراعة والحصاد



الشكل رقم 6-4: نظام استخدام الكتلة الحيوية

تتم كلها ميكانيكيًّا مع استخدام كميات ملائمة من المخصِّبات. وبحسب ذلك التقييم، وبغض النظر عن شكل الطاقة النهائي الذي ينتج، فإن وقت استرداد الطاقة يتراوح بين خمسة وخمسة وسبعين يومًا. لذا يمكن استرداد الطاقة المستثمرة في نظام الكتلة الحيوية هذا في مدة زمنية أقصر مقارنة بالخلايا الشمسية المثبتة فوق الأسطح والتي رأينا أنها قد تستغرق عامين. ولأن الاستثمار الأولي في إنتاج الكتلة الحيوية يمكن استرداده بهذه السرعة فإن هذه التكنولوجيا ربما تلائم التطبيقات السريعة أكثر من الخلايا الشمسية.

الفوارق الرئيسة بين الكتلة الحيوية بوصفها تكنولوجيا أقل كفاءة لكن أسهل كثيرًا في التطبيق، والخلايا الشمسية بوصفها تكنولوجيا أكثر كفاءة لكن أكثر كلفة وأكثر صعوبة في بداية التشغيل كلها توحي بنهج تُستخدم فيه الكتلة

الحيوية لتسهيل الانتقال إلى الخلايا الشمسية. الأراضي التي تخصص لإنتاج الكتلة الحيوية وتحويلها إلى وقود يمكن استبدالها تدريجيًّا بالخلايا الشمسية التي قد تزيد إنتاج الطاقة في كل وحدة مساحة بما يزيد على عشرين مِثْلًا.

3 ـ الطاقة الكهرومائية وطاقة الرياح

إمكانات ضخمة ومحدودة:

بوجه عام تتباين تقييمات موارد الطاقة المتجددة تباينًا كبيرًا حسب كيفية إجراء التقييم. على سبيل المثال الحد الأقصى لمقدار موارد الطاقة الكهرومائية وطاقة الرياح يمكن تقديره من توازن الطاقة على مستوى عالمي، والحد الأدنى لمقدار الموارد التي نعرف على وجه اليقين أنها موجودة، يمكن تحديده بجمع نتائج إحصاءات فردية لكل موقع مورد. غير أن الفارق بين هاتين القيمتين هائل.

فحجم مَوْرد مياه يولد طاقة كهرومائية يمثل حجم طاقة وضعه، والتي تعادل مقدار المياه مضروبة في ارتفاع سقوطها. ومعدل هطول الأمطار حول العالم يقارب المتر الواحد سنويًّا. فإذا ما اعتبرنا أن هذه الأمطار تسقط من ارتفاع ألف متر في المتوسط فإن مقدار موارد توليد الطاقة الكهرومائية ـ إذا جُمعت كل مياه الأمطار على هذا الارتفاع ـ ستكون أكثر من ضِعف الاستهلاك العالمي الحالي للطاقة.

غير أن تجميع هذا القدر من موارد الطاقة الكهرومائية سيتطلب عملًا متطرفًا مثل جمع الأمطار في ملاءة بلاستيكية تغطي سماء الأرض، وتسقط هذه الأمطار عبر توربين طوله ألف متر لتوليد الكهرباء. إذا أخذنا الجزء الذي يسقط على الأراضي الجافة فحسب، فالقيمة تصبح الربع وهو ما يعادل نصف الاستهلاك العالمي من الطاقة. من ناحية أخرى عند جمع نتائج إحصاءات معدلات تدفق وارتفاعات كل الأنهار المعروفة حول العالم نجد أن إجمالي موارد الطاقة الكهرومائية غير المستغلة المتبقية يبدو معادلًا تقريبًا لموارد الطاقة الكهرومائية المستغلة (أحد التقديرات يفيد بأن موارد الطاقة الكهرومائية

المحتملة ذات الجدوى الاقتصادية تبلغ 9400 تيرا واط/ ساعة، وهو ما يعادل أربعة أمثال موارد الطاقة الكهرومائية الحالية) والتي تنتج خمسة في المائة من إجمالي كميات الطاقة المستهلكة.

ومن ثم فهناك فارق يتجاوز الضِّعف بين تقدير طاقة الوضع في الأمطار التي تسقط على الأرض الجافة وتقدير موارد المياه من الإحصاءات. ويصعب تصور أن هناك أي أنهار ضخمة تجري على سطح الأرض ولم تُكتشف بعد، لذا لعله يجدر بنا أن نتخذ التقديرات القائمة على الإحصاءات الخاصة بموارد المياه غير المستغلة أساسًا للقرارات المتعلقة بالطاقة الكهرومائية.

إذا ما أدرجنا الرياح الغربية ورياح أخرى قوية تهب على ارتفاعات كبيرة فإن الموارد الطبيعية لطاقة الرياح تجاوز قيمة طاقتها طاقة الموارد المائية. غير أن مقدار طاقة الرياح يتراجع كثيرًا عندما نحد من ارتفاع موارد الرياح. بالنسبة إلى ارتفاع منشآت توليد طاقة الرياح الحالية فإن مقدار موارد الرياح يعادل تقريبًا مستوى الاستهلاك العالمي من الطاقة، بل إن هذا مقدار كبير من موارد الطاقة. لكن بالنظر إلى تقنيات مولدات الكهرباء التي تعمل بطاقة الرياح، المتوافرة حاليًا وعدم عمل تلك المولدات عندما تضْعُف الرياح وعندما تتجاوز قوة هبات الرياح قدرات تصميم المولد يتعين على الجهة المشغلة لتلك المولدات إطفاؤها. نتيجة لذلك تعمل المولدات بنسبة تتراوح بين سبعين وثمانين في المائة من الوقت في المتوسط، وحتى في وقت عملها لا تعمل معظم الوقت بكفاءة إنتاج الطاقة القصوى. في الحقيقة توربين الرياح الذي ينتج ألف كيلو واط لن ينتج في واقع الأمر سوى نحو عشرين في المائة من طاقته الإنتاجية القصوى سنويًّا. علاوة على ذلك عندما نأخذ في الاعتبار كافة الظروف اللازمة لتوليد الكهرباء من طاقة الرياح حاليًا مثل ثبات قوة الرياح، وأن يكون عدد السكان منخفضًا، وعدم بُعد تلك المولدات عن المنطقة التي تحتاج إلى الطاقة لن يتضح عدد المواقع الملائمة الموجودة بالفعل. ولم تتوفر بعد بيانات يمكن الاعتماد على دقتها مثل نتائج إحصاءات الطاقة الكهرومائية.

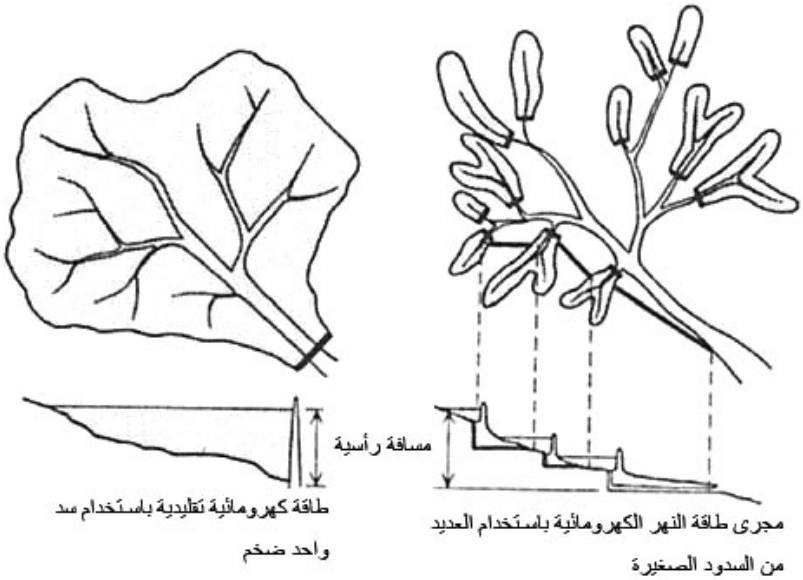
عمليات التدوير الطبيعية مركزة:

الطاقة الكهرومائية طاقة متجددة ممتازة فهي طاقة نظيفة ويمكن تحويلها بكفاءة مائة في المائة تقريبًا إلى كهرباء كما رأينا في الفصل الثاني. وهذه الفوائد تنتج عن استخدام مياه جُمِّعَتْ من مساحة كبيرة عبر مدة زمنية طويلة نسبيًّا. ومن ثم فإن المشكلات الكبرى المتعلقة بالطاقة الشمسية، والتي رأيناها في هذا الفصل، والمتمثلة في انخفاض الكثافة والتقلبات السريعة زمنيًّا لا نواجهها مع عملية تدوير المياه. ورغم أن الرياح لا يمكن جمعها خلف سد فإنها تستفيد أيضًا من دورة الهواء الذي يستطيع جمع طاقة الرياح الحركية في مساحة واسعة، ويوجهها نحو موقع توربين الرياح.

لكن ثمة مشكلة حقيقية وكبيرة ترتبط بتطوير الطاقة الكهرومائية تكمن في أن أراضي لها قيمتها ستغمرها المياه. وانظر على سبيل المثال إلى «سد الممرات الثلاثة» في الصين، وهو أكبر سد هيدروليكي في العالم بني على نهر اليانجتسي. وهو سد ضخم بدأت أعمال البناء فيه عام 1994م على أن يُفرَغ من بنائه عام 2011م. وستبلغ الطاقة الإنتاجية للسد عند اكتماله 22500000 كيلو واط وهو ما يتجاوز 2٪ من إجمالي توليد الطاقة في الصين، وتشير تقارير إلى أن 660 كيلو مترًا مربعًا من الأراضي غمرتها المياه نتيجة إنشاء هذا السد وأن 1130000 شخص أجبروا على النزوح. ومن طرق تخفيف حدة مشكلة كهذه بناء عدد كبير من السدود الصغيرة، كما هو موضح في الشكل رقم 6ـ5. ولْنتذكر أن الطاقة الكهرومائية تنتج الكهرباء من طاقة الوضع في المياه، والتي يحددها ناتج مقدار المياه وارتفاعه. لذا بما أننا نجمع ذات مقدار المياه على ذات المسافة العمودية ببناء عدد كبير من السدود الصغيرة في منطقة تجميع المياه المتدفقة في ذات الموقع الذي كان يُبنى فيه سد واحد ضخم، يمكننا توليد ذات القدر من الكهرباء رغم أن مساحة الأرض التي تتدفق عليها المياه أقل بكثير. وهذه الطريقة أسهل أيضًا في التطبيق بكلفة أقل.

4 – طاقة حرارة باطن الأرض وطاقة المد

لنا أن نتخيل توليد طاقة حرارة باطن الأرض بأن نتصور حفر ثقب عميق في باطن الأرض ثم دفن أنبوب صلب على شكل حرف (يو) يصل إلى الطبقة الساخنة تحت الأرض، عندما نضخ المياه من أحد طرفي الأنبوب فستتحول إلى بخار خلال رحلتها إلى باطن الأرض وفي طريق ظهورها مجددًا من الطرف الآخر، وهذا البخار يمكن استخدامه لتشغيل التوربينات وتوليد الكهرباء. في الوقت الراهن لا يوجد سوى عدد محدود من التطبيقات لهذه التكنولوجيا، والسبب الرئيس وراء ذلك يكمن في أن الحرارة القريبة من سطح الأرض فقط هي التي يمكن استغلالها بشكل اقتصادي. الأماكن التي تقترب طاقة حرارة باطن الأرض فيها من سطح الأرض هي أماكن الينابيع الحارة والحمم تتدفق منها بسهولة أكبر. وأماكن كهذه غالبًا ما تكون مواقع متنزهات عامة ومناطق جذب سياحي يصعب تطويرها، ومن ثم فإن استخدام طاقة حرارة باطن الأرض لن يتوسع بسرعة.



الشكل رقم 6–5: الطاقة الكهرومائية التقليدية من سد واحد مقارنة بمجرى طاقة النهر الكهرومائية باستخدام العديد من السدود
ملاحظة: المنطقة المظللة توضح الأرض التي غمرها السد

في المقابل نجد أن مقدار الطاقة التي يحويها باطن الأرض هائل، فإذا ما أمكننا التوصل إلى طريقة للانتفاع بتلك الطاقة، فإن مقدار موارد الحرارة الأرضية بمقدوره أن يكون منافسًا لطاقة الشمس. لقد طُرِحَت الكثير من الأفكار التي تدور حول تقنيات استغلال حرارة الأرض مثل توليد الطاقة باستخدام الصخور مرتفعة الحرارة وسبل الوصول إلى موارد الطاقة الحرارية العميقة في جوف الأرض بتكلفة مُرضية. غير أنه لم توضع بعد أساليب لتنفيذ تلك الأفكار. ومن أمثلة الطرق الملموسة التي اقتُرِحَت لتوليد الطاقة باستخدام الصخور مرتفعة الحرارة تتمثل في دفق المياه من أنبوب من الصلب تحت الأرض تحت ضغوط شديدة. والمياه المدفوعة بضغط شديد تُحطم الصخور مرتفعة الحرارة تحت الأرض وتسخن المياه باتصالها بقطع الحجارة، ثم تجمع المياه بعد ذلك تحت ضغط مرتفع ودرجة حرارة مرتفعة أيضًا من موقع مختلف على السطح، حيث تُستخدم في توليد الكهرباء في محطة توليد كهرباء حرارية. وكي تستخلص الحرارة من الصخور الضخمة يجب تكسيرها إلى قطع صخرية صغيرة بما يكفي بحيث تكون مساحة الاتصال بين المياه وشظايا الصخور كافية. وهناك تجارب تجرى الآن، وثمة تقارير تتحدث عن نتائجَ واعدةٍ. غير أن تطوير التقنية لا يزال في مرحلة دراسات بحث الجدوى، ولم تبلغ بعد مستوى يمكن للمرء عنده القول إن التوقعات تطورت بما يكفي لتبلغ مرحلة التطبيق العملي.

انحسار وتدفق المد الناجم عن جاذبية القمر والشمس يمكن استخدامه للحصول على الطاقة. كل ما نحتاج إليه هو بناء بوابة مفيض عند مدخل خليج مائي. فنفتح بوابة المفيض عندما يرتفع المد، ونسمح له بالدخول إلى الخليج ونجبر المياه على التجمع داخل الخليج كي تعود إلى المحيط عبر مولدات مماثلة لتلك التي تُستخدم في محطات الطاقة الكهرومائية.

إحدى محطات توليد الكهرباء التي تعتمد على هذا النوع من توليد كهرباء المد تعمل منذ عام 1967م في مدينة رانس بفرنسا. وتبلغ القدرة الإنتاجية لهذه المحطة 260 كيلو واط، وهو ما يعادل تقريبًا حجم محطة طاقة كهرومائية

صغيرة. لكن بسبب كثرة الخصائص والمواصفات اللازمة في أي منطقة ساحلية كي تكون ملائمة لهذا النوع من تقنيات توليد الكهرباء مثل أمواج المد الضخمة والخلجان ذات المداخل الضيقة يصعب العثور على المواقع المناسبة؛ لذا ربما لا يمكننا توقُّع أن تقدم لنا هذه التكنولوجيا الكثير.

رأينا في هذا الفصل أن طاقة الشمس وباطن الأرض موجودتان بكميات غير محدودة فعليًّا، وأن جودة تلك الطاقة مرتفعة أيضًا. ولكن طاقة الشمس يصعب استغلالها بسبب كثافتها المنخفضة وعدم استقرارها. كما أنه قد ابتُكِرَ عددٌ محدودٌ من الأساليب التي يمكن الاعتماد عليها لاستغلال الطاقة الحركية في باطن الأرض بما يكفي للتطبيقات التجارية. ربما تكون الطرق الوحيدة التي يمكن الاعتماد عليها في تجاوز مشكلات الكثافة وعدم الثبات ويمكن نشرها على نطاق واسع في القرن الحادي والعشرين هي الخلايا الشمسية وتوليد الطاقة الحرارية الشمسية والكتلة الحيوية لا البيولوجية وتوليد الطاقة من حرارة باطن الأرض. ورغم أن التكنولوجيا المتاحة حاليًا لا تزال مكلفة ويصعب تسويقها تجاريًّا، فإن من المؤكد أن تكنولوجيا لا فائقة تلائم مجتمع إعادة تدوير المواد في المستقبل ستظهر في مستقبل ليس منا ببعيد. ومع ذلك كي يتحقق هذا الاحتمال يتعين علينا أن نستثمر جهودنا في البحث والتطوير في خيارات التكنولوجيا الواعدة الموجودة اليوم.

إن ابتكار تكنولوجيا ونظم يمكنها توليد كميات كبيرة من الطاقة وبذات الجودة والتكلفة التي نحصل عليها اليوم من موارد الوقود الأحفوري أمر سيستغرق بعض الوقت. ومهمة الاستغناء عن معظم مصادر الوقود الأحفوري لتحل محلها طاقة متجددة ستستغرق على الأرجح الفترة المتبقية حتى نهاية القرن الحادي والعشرين. النفط وربما كل أنواع الوقود الأحفوري التي نعتمد عليها اليوم ستستنفد تمامًا بهذا المعدل الزمني. وعليه يجب علينا مع الإسراع بوتيرة تطوير الطاقة المتجددة أن نعمل على تقليل استهلاك الوقود الأحفوري كي نوفر وقتًا لتوسيع التطبيق العملي ونطاق التكنولوجيا التي تعتمد على الطاقة المتجددة.

الفصل السابع
السبيل إلى استدامة كوكب الأرض

في هذا الفصل سنلخص الأفكار التي طرحناها في الفصول السابقة ونستخدمها في وضع خارطة طريق لـ «رؤيتنا للعالم عام 2050»، لتحقيق وجود بشري مستدام على سطح كوكب الأرض. وخلال وضعنا لتلك الرؤية سنلقي نظرة نقدية على متطلبات المجتمع البشري عام 2015م كيف ستكون. وستمنحنا تلك المتطلبات البنية التحتية اللازمة لدعم البشرية كلها على الأرض في عام 2050م. بعدها سنرى كيف يمكننا تحقيق هذه البنية التحتية عن طريق التكنولوجيا وتنميةٍ حَسَنَةِ التنسيق في الدول المتقدمة والنامية على السواء.

ولنقدِّم وصفًا كميًّا لتلك الرؤية نحن بحاجة إلى اختيار عام أساس ننطلق منه في مناقشاتنا، ولقد اخترنا لذلك عام 1995م. وقد اخترنا ذاك العام استنادًا إلى وفرة البيانات، وكذا الحدث الاستثنائي الذي وقع في أواخر التسعينيات ألا وهو ميلاد الشخص رقم ستة مليارات من سكان كوكبنا. ولعلنا لو اخترنا العام الأول من الألفية الجديدة أو العام الأخير من الألفية المنصرمة لربما كان وقعه في الذاكرة أقوى، غير أن كثيرًا من النقاش حول تحقيق هدف الأرض المستدامة يركز على اتفاقية كيوتو لتقليل انبعاثات ثاني أكسيد الكربون. وقد اتخذت اتفاقية كيوتو ـ التي سنلقي عليها نظرة فاحصة ـ اتخذت من عام 1990م عام أساس. ونحن هنا قسمنا الفارق واعتمدنا عام 1995م عام أساس.

1 ـ أهمية اتفاقية كيوتو

حتمية الاحتباس الحراري:

في ديسمبر/ كانون الأول من عام 1997م عُقِد المؤتمر الثالث للأطراف ـ الدورة الثالثة لمؤتمر الأطراف المعنية بمعاهدة الأمم المتحدة الإطارية للتغير المناخي ـ في كيوتو باليابان، وتبنى المشاركون اتفاقية كيوتو باعتبارها إطارًا لتقليص انبعاثات غاز ثاني أكسيد الكربون، وكان التركيز منصبًّا بشكل خاص على الدول المتقدمة. وخلاصة الاتفاقية تنص على أنه بحلول عام 2010م على أوروبا والولايات المتحدة واليابان أن تقلص جميعًا معدلات انبعاثات ثاني أكسيد الكربون المسجلة لديها في عام 1990م بنسبة 8٪ لأوروبا و7٪ للولايات المتحدة و6٪ لليابان.

وقد أعرب كثير من الخبراء عن اعتراضهم على اتفاقية كيوتو، فمنهم من قال: «إن النسب المستهدفة متواضعة للغاية.»، ومنهم من قال: «إن الإجراءات المرنة مثل تجارة الانبعاثات ستقوض الأثر الفعلي لتقليص الانبعاثات.»، ومنهم من قال: «إن اتفاقية كيوتو سيكون لها مردود عكسي على النمو الاقتصادي.» فما مدى صحة تلك الانتقادات؟ قد رأينا في الفصل الأول أن ظاهرة الاحتباس الحراري حقيقة واقعة، وأنه حتى لو تمكنا من تقليل معدلات الانبعاثات وصولًا لتلك المسجلة عام 1990م فإن الاحتباس الحراري سيوجِد مشكلات خطيرة بحلول منتصف القرن الحادي والعشرين. وتقليل نسب انبعاثات ثاني أكسيد الكربون في أوروبا والولايات المتحدة واليابان بنسب ضئيلة لن يكفي لمنع وقوع مشكلات الاحتباس الحراري التي تلوح في الأفق. ومدى فعالية تجارة الانبعاثات يثير أيضًا أسئلة خطيرة. وأخيرًا فاستنادًا إلى الآليات المستخدمة في تنفيذ اتفاقية كيوتو لا يمكننا أن نضمن أنه لن يكون لها مردود عكسي على نمو الاقتصاد العالمي.

رغم ذلك لا عذر يبرر لنا أن نقف مكتوفي الأيدي لا نحرك ساكنًا. إذا طبقت إجراءات تقليل انبعاثات ثاني أكسيد الكربون التي ينادي بها هذا الكتاب، فإن

نسب تقليل الانبعاثات المستهدفة في اتفاقية كيوتو يمكن تحقيقها دون أن يمس ذلك بالنمو الاقتصادي إلا بقدر يسير. كقاعدة أساسية يمكننا فهم تقليص انبعاثات ثاني أكسيد الكربون على المدى القصير على أنه يعني خفض استخدام الطاقة. وقد رأينا في الفصول السابقة أنه لا تزال هناك إمكانات ضخمة للحد من استهلاك الطاقة في «صناعة الأغراض» وممارسة «حياتنا اليومية». أضف إلى ذلك أن خفض الاستهلاك ذاك سيوفر أموالًا أيضًا في قطاع التصنيع وفي القطاع الخاص أيضًا.

إضافة إلى إسهامها الضئيل وإن كان واضحًا في تخفيف حدة الاحتباس الحراري، فإن اتفاقية كيوتو تجسد رمزًا قويًّا. حتى الآن سار النشاط الإنساني على نهج يركز فقط على التوسع، وعليه فقد زاد استهلاك الطاقة زيادة مطردة. لذا تعد اتفاقية كيوتو خطوة هائلة تمثل إجماعًا بين دول منها الولايات المتحدة أنه يتعين علينا إحداث بعض التغييرات على مسار التوسع المتسارع هذا.

لكن كما رأينا في الشكل رقم 1ـ1 وحتى بعد الاتفاق على اتفاقية كيوتو فإن نسبة ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي استمرت في التزايد. ويبدو أنه من المستبعد أن يتحقق ذلك الخفض المتواضع الذي نصت عليه اتفاقية كيوتو بحلول الموعد النهائي الذي حددته عام 2010م. وإذا ما استمر الأمر على هذا المنوال فعلينا أن نواجه احتمال زيادة حتمية هائلة لمعدل الاحتباس الحراري خلال القرن الحادي والعشرين.

فجوة بين العالم المتقدم والعالم النامي:

نجاح اتفاقية كيوتو اعتمد على مواقف اتخذتها الولايات المتحدة أكبرُ مستهلك للطاقة في العالم في ذلك الوقت، ومواقف دول نامية يمكن التنبؤ بأن يشهد طلبها للطاقة في المستقبل زيادة ضخمة. والولايات المتحدة التي تستهلك ربع إنتاج الطاقة العالمي جعلت من الطاقة منخفضة التكلفة استراتيجية وطنية. فسعر البنزين في الولايات المتحدة خلال تسعينيات القرن العشرين كان ثلاثين سنتًا للتر، وسعر الكهرباء للاستخدام الصناعي كان أربعة سنتات تقريبًا للكيلو واط/ ساعة. وبالمقارنة كانت تكلفة البنزين في اليابان ومعظم دول منظمة

التعاون الاقتصادي والتنمية في أوروبا تقارب دولارًا واحدًا، وتتجاوز تكلفة الكهرباء في اليابان عشرة سنتات للكيلو واط/ ساعة. وبأسعار الطاقة المتدنية هذه دعمت الولايات المتحدة التصنيع وشجعت على استخدام السيارات.

لكن بدعوة الولايات المتحدة للمشاركة في مناقشات سبل خفض انبعاثات ثاني أكسيد الكربون أملت الدول المشاركة في مؤتمر كيوتو ـ ومنها اليابان وأوروبا ـ في الضغط على الولايات المتحدة للتعهد بخفض نسب انبعاثاتها. وللأسف رغم أن البيت الأبيض ذاته كان يقف في صف البيئة، فإن القادة الأمريكيين لم يكونوا واثقين في دعم الشعب الأمريكي لخفض استهلاك الطاقة. ولتجنب ردة فعل داخلية عنيفة اشترطت الولايات المتحدة لمشاركتها في اتفاقية كيوتو أن تدرج فيها الدول النامية باعتبار أن معظم الزيادة المنتظرة مستقبلًا في انبعاثات ثاني أكسيد الكربون يتوقع أن تحدث في تلك البلدان.

ولكن الرد الذي طرحته الدول النامية كان مفحمًا. فنسبة 75٪ من إجمالي انبعاثات ثاني أكسيد الكربون عالميًا تأتي من الدول المتقدمة، في حين أن الدول النامية التي تضم 75٪ من سكان العالم لا تنتج سوى 25٪ من إجمالي انبعاثات ثاني أكسيد الكربون. وبات واضحًا أنه لا يمكن توقع أن تتحمل الدول النامية مسؤولية نسب انبعاثات ثاني أكسيد الكربون الراهنة. علاوة على ذلك يجب أن تزيد تلك الدول استهلاكها للطاقة مستقبلًا إن أرادت رفع مستويات معيشة شعوبها.

ورغم أن هذه الزيادة في استهلاك الطاقة ستصاحبها زيادة لا يمكن تجنبها في انبعاثات ثاني أكسيد الكربون، فإن الدول النامية لا يمكن إجبارها على الإبقاء على مستوى معيشة أدنى من الدول المتقدمة، والزيادة الحتمية في انبعاثات ثاني أكسيد الكربون تتبدى أكثر عندما نفكر في أهمية استمرار النمو الاقتصادي في الدول النامية بالنسبة إلى اقتصادات باقي دول العالم.

في التاسع عشر من يوليو/ تموز عام 1999م نشر موقع وزارة التجارة الأمريكية الإلكتروني خبرًا مفاده أن تعداد سكان الأرض بلغ ستة مليارات نسمة. ومع مطلع عام 2008م بلغ هذا العدد 6.6 مليار نسمة. ويتوقع أن يصل العدد نحو

ثمانية مليارات بحلول عام 2025م ونحو تسعة مليارات بحلول عام 2050م. وقد بلغ تعداد السكان في اليابان وأوروبا ومعظم بلدان العالم المتقدم ذروته أو اقترب.

لذلك فإن معظم الزيادة التي ستطرأ على سكان العالم ـ وهي زيادة تصل إلى ثلاثة مليارات نسمة بحلول عام 2050م ـ ستحدث في الدول النامية.

وكما أشرنا آنفًا في الفصل الثاني فإن تعداد السكان العالمي الحالي، والذي يزيد على 6.5 مليار نسمة يستهلك 7.5 مليار طن من الموارد سنويًّا، ما يعني أن متوسط استهلاك الوقود الأحفوري يزيد قليلًا على طن واحد للفرد. في المقابل يبلغ معدل استخدام الوقود الأحفوري لكل فرد في اليابان وبريطانيا وألمانيا نحو 2.7 طن. وفي الولايات المتحدة ترتفع المعدلات إلى 5.5 طن للفرد، أي ما يزيد على ضِعف المتوسط في الدول المتقدمة الأخرى. والمعدل في اليابان ودول منظمة الاقتصادي والتنمية في الاتحاد الأوروبي يقارب 2.4 طن، وهي قيمة تمثل الدول المتقدمة بخلاف الولايات المتحدة، ومن ثم إذا افترضنا أن 7.5 مليار نسمة ـ وهو عدد السكان العالم المتوقع في عام 2050م أن يقيموا في الدول النامية ـ سيستهلكون وقودًا أحفوريًّا بهذا المعدل فإن متوسط استهلاك الوقود الأحفوري سيرتفع إلى ما يقارب 18 مليار طن سنويًّا في الدول النامية وحدها. حتى وإن افترضنا أن متوسط 4.5 مليار طن الذي تستهلكه بلدان العالم المتقدم لن يزيد على الإطلاق، فإن معدل إجمالي الاستهلاك العالمي للوقود الأحفوري سيناهز 23 مليار طن. هذا المعدل يزيد بنسبة أربعة أمثال تقريبًا على المعدل الحالي لاستهلاك الوقود الأحفوري وبنحو ثلاثة أمثال إجمالي استهلاك الطاقة السنوي اليوم بما في ذلك الطاقة الكهرومائية والطاقة النووية.

رأينا أن نسبة احتياطيات النفط المؤكدة تكفي أربعين عامًا مقارنة بمعدل الاستهلاك السنوي الحالي. إذا زاد استهلاكنا للنفط بما يعادل ثلاثة أو أربعة أمثال هذا المعدل، فإن كل الاحتياطيات المعروفة من النفط تقريبًا ستكون قد استنفدت تمامًا بحلول عام 2050م.

وماذا عن أنواع الوقود الأحفوري الأخرى؟

ثمة أمل ... لكن لا تتوقع الكثير!

هناك آراء كثيرة تتحدث عن العمر الافتراضي لموارد الطاقة. وهناك من يقول إن احتياطيات الفحم تكفي مائة وخمسين عامًا اعتبارًا من عام 2007م، وبعض الخبراء يزعم أنه لا داعي للقلق. ولكن من تنبأ في المائة والخمسين عامًا تلك اعتمد في ذلك على مستويات الاستهلاك الحالية للفحم وهي مستويات أقل بكثير من مستويات استهلاك النفط. لكن إذا ما افترضنا أن الفحم سيكون بديل النفط لدى استنفاد موارد هذا الأخير، فإن العمر الافتراضي لاحتياطيات الفحم سيكون أقصر كثيرًا بطبيعة الحال. فمثلًا إذا كانت الزيادة التي توقعناها هنا في استهلاك الطاقة بمعدل أربعة أمثال المعدل الراهن سيغطيها الفحم تغطية كاملة فإن الفحم سيستنفد بالكامل في غضون عقدين لا أكثر، والأهم من ذلك يجب ألا ننسى أن انبعاثات ثاني أكسيد الكربون من الفحم تزيد بمعدل 1.5 في وحدة الطاقة الواحدة مقارنة بمعدل الانبعاثات الكربونية الناجمة عن استهلاك النفط.

كثيرون يثقون بالغاز الطبيعي بديلًا للنفط. والمكون الأساسي للغاز الطبيعي هو الميثان. ويتردد أن هيدريد الميثان ـ وهو مركب أشبه بالثلج يتكون نتيجة امتزاج الماء مع الميثان ـ موجود بكميات هائلة في قاع المحيطات وفي تربة سيبيريا المتجمدة. ورغم أن الكثير من احتياطيات هيدريد الميثان باتت مؤكدة فإن عددًا محدودًا من الدراسات أجري على مقدار الطاقة التي ستُستهلك لاستخلاص وتحويل تلك المادة إلى طاقة قابلة للاستخدام. لكن ما من شك في أننا إذا ما أردنا استخدام مستخلص الميثان من مادة ثلجية في قاع المحيط، فإن ذلك سيستهلك من الطاقة أكثر مما نستهلكه في التنقيب عن الفحم واستخراج النفط والغاز من حقول النفط والغاز البحرية.

أضف إلى ذلك أن الميثان أيضًا من الغازات المسببة لظاهرة الاحتباس الحراري (الغازات الدفيئة) التي تستهدفها اتفاقية كيوتو، بل إن ناتج الميثان من الغازات الدفيئة يزيد بمعدل عشرين مِثْلًا مقارنة بثاني أكسيد الكربون في

وحدة الكتلة الواحدة. وثمة مخاوف من إطلاق الميثان في الغلاف الجوي بعد استخلاص هيدريد الميثان لتتفاقم ظاهرة الاحتباس الحراري.

وأخيرًا هناك فرضية غير مؤكدة تقول بوجود نوع غير أحفوري ـ غير ناتج عن التحجر ـ من الميثان. وتتحدث تلك الفرضية عن وجود جيوب لا تنضب من الميثان الذي تكون من الماء وثاني أكسيد الكربون بشكل مباشر ـ منذ زمن بعيد ـ على أعماق كبيرة تحت الأرض.

وأظهرت التجارب المعملية أن الماء إذا وُجِدَ وتعايش جنبًا إلى جنب مع ثاني أكسيد الكربون في وجود معدن مثل الحديد، فإن الميثان قد يتكون في ظل توفر كم كبير من الضغط والحرارة. لذا يمكن بالفعل أن تكون هذه الاحتياطيات من الميثان موجودة لكن لا يوجد أي برهان بعد على وجودها، كما لم يكتشف أي منها في أعمال التنقيب الاستكشافي العديدة التي أجريت. وسيكون من الغباء المراهنة بمستقبل البشرية على احتمال ثبوت هذه النظرية.

يجب علينا أن نفترض أن كافة موارد الوقود الأحفوري ستكون موارد نادرة مع اقتراب عام 2050م. وعلينا أن نلتزم بتلك الاتفاقية التي أبرمت في كيوتو ليس فقط لأنها اتفاقية عالمية، ولكن لأنها تمثل أيضًا خطوة أولى ضرورية على طريق التخطيط لخفض إضافي في انبعاثات ثاني أكسيد الكربون واستهلاك الوقود الأحفوري في المستقبل. ومؤشرات الاحتباس الحراري واستنفاد الوقود وكميات النفايات الهائلة شديدة الوضوح بالفعل. ولا يمكننا نفي احتمال أننا نسير نحو كارثة محتملة في منتصف القرن الحادي والعشرين.

2 ـ العالم عام 2050: خارطة طريق جديدة لاستدامة الأرض

ثلاثة شروط مسبقة:

حسنًا! فلنحاول إيجاد طريق للخروج من هذا الموقف المُهْلِك. وسنطلق على هذا الطريق اسم «رؤيتنا للعالم عام 2050». لكن أولًا علينا أن نضع عددًا من الشروط المسبقة لرحلتنا هذه.

الشرط الأول، هو ضرورة أن نضمن للدول النامية الحق في الانتقال إلى العصرية والحداثة. لا أحد في العالم المتقدم يمكنه القول عن قناعة إن مواطني العالم النامي ينبغي لهم الإبقاء على مستويات معيشتهم الحالية كما هي.

قد يقول بعضهم إن سكان البلدان النامية يُستدرجون لتبني الحضارة المعاصرة، تستهلك كميات ضخمة من الطاقة، ولكن هذا قول لا يكاد لا يقنع أحدًا، خاصة إذا ما كان من يقول به من يتمتعون بالرفاهية ليرضى آخرون بحياة الفقر.

الشرط الثاني، هو أن الحفاظ على الطاقة الضروري لتحقيق رؤيتنا تلك لا يمكن أن يرتكز على طموحات غير واقعية من أناس تشهد أساليب حياتهم تحولات جذرية. والحفاظ على الطاقة الضروري لتحقيق رؤيتنا تلك يمكن تقسيمه إلى توفير الطاقة عبر تغييرات في نمط الحياة، وتوفير ناتج عن زيادة الكفاءة التي وفرتها التكنولوجيا المتطورة. في الفصلين الثالث والرابع رأينا احتمالات توفير الطاقة عن طريق تحسين التكنولوجيا، إلا أن الأكثر شيوعًا بالنسبة إلى مناقشة حول سبل الحفاظ على الطاقة البدء بالتوصية بإجراء تغييرات في أسلوب الحياة. ورغم أن الهدف الأساس لهذا الكتاب هو إيضاح قدرة التكنولوجيا على مساعدتنا في الوصول إلى استدامة الأرض، دعونا ننظر الآن وفي عجالة إلى الوفر المحتمل في الطاقة من وراء تغيير أسلوب الحياة.

كثيرون يعتقدون أن هناك ما يعيب المجتمعات التي تطورت في القرن الأخير، المجتمعات التي تشجع الاستهلاك. هل ضروري حقًّا أن نشغِّل مكيفات الهواء بأقصى طاقتها في الصيف؟ هل من المنطقي حقًّا أن تعطينا المتاجر كل تلك الأكياس البلاستيكية والتي يكون مصيرها القمامة في نهاية المطاف؟ كثير من الناس يرى أن تغييرات ضخمة في أسلوب الحياة باتت ضرورية. وتوفير الطاقة عن طريق إحداث تغييرات في أسلوب الحياة من شأنه أن يساعد بالطبع على خفض استهلاك الطاقة.

توفير الطاقة بنسبة عشرة في المائة عن طريق إحداث تغييرات في أسلوب الحياة على سبيل المثال سيقلل الاستهلاك بنسبة عشرة في المائة ومن ثم استهلاك

الوقود الأحفوري بأنواعه وانبعاثات ثاني أكسيد الكربون بذات النسبة تقريبًا.

تغيير آخر مهم في أسلوب الحياة يتمثل في تقليص حجم النفايات. وينبغي أن نكون قادرين على عقد اتفاقيات مع المصنّعين والموزعين وتجار التجزئة والمستهلكين أيضًا لتقليص عمليات التعبئة المبالغ فيها، والحد من أعمال النسخ التي لا طائل من تحتها. إذا كنا نؤمن بالحفاظ على الطاقة فقد نبدأ في استخدام كلا وجهي الورق وقد نحظر قيادة السيارات للأغراض الشخصية وسط المدن. سبل كهذه لخفض استهلاك الطاقة يمكن سلوكها، وفي رؤيتنا للعالم عام 2050 نفترض أن تلك التغييرات في أنماط الحياة ستمثل إسهامًا في توفير الطاقة. غير أنه من الخطر الاعتماد كثيرًا على أثر هذه التغييرات.

لقد رأينا أن زيادة استهلاك الطاقة التي ستشهدها الدول النامية قد تتجاوز معدل استهلاك الحالي للطاقة بواقع ثلاثة أمثال. فمن غير الواقعي أن نتوقع تحقيق الاستدامة عن طريق وفر الطاقة وحده. لا بد من تضافر جهودنا في مجال توفير الطاقة عن طريق إحداث تغييرات في أسلوب حياتنا بطرق لزيادة كفاءة استهلاك الطاقة في «صناعة الأغـراض» وممارسة «حياتنا اليومية» وذلك عن طريق التكنولوجيا.

الشرط المسبق الثالث، هو ـ وكما رأينا في الفصل السادس ـ أن احتمالات نجاحنا في استبدال الوقود الأحفوري بطاقة متجددة بحلول عام 2050م للأسف تكاد تكون منعدمة. كثير من الناس يعلق طموحات وآمالًا كبارًا على الطاقة المتجددة.

لكن بعيدًا عن الطاقة الكهرومائية واستخدام الأخشاب وقودًا في الدول النامية فإن إسهام الطاقة المتجددة في إجمالي حجم الطاقة المستهلك اليوم يعادل 1٪، وهو ما لا يكفي حتى ليكون أساسًا لاعتماد واسع النطاق على الطاقة المتجددة بحلول عام 2050م. وتكمن المشكلة في صعوبة وضع نظام يمكنه تحويل مصدر طاقة متغير ومنتشر في نطاق محدود إلى أشكال طاقة ملائمة للاستخدام مثل الكهرباء ووقود السيارات التي يمكننا استخدامها متى شئنا. لذا

يجب علينا أن نواجه الحقيقة، وهي أننا وبحلول عام 2050م سنجد أنفسنا ما زلنا معتمدين بشكل أو بآخر على الوقود الأحفوري بأنواعه.

المفاهيم الأساسية:

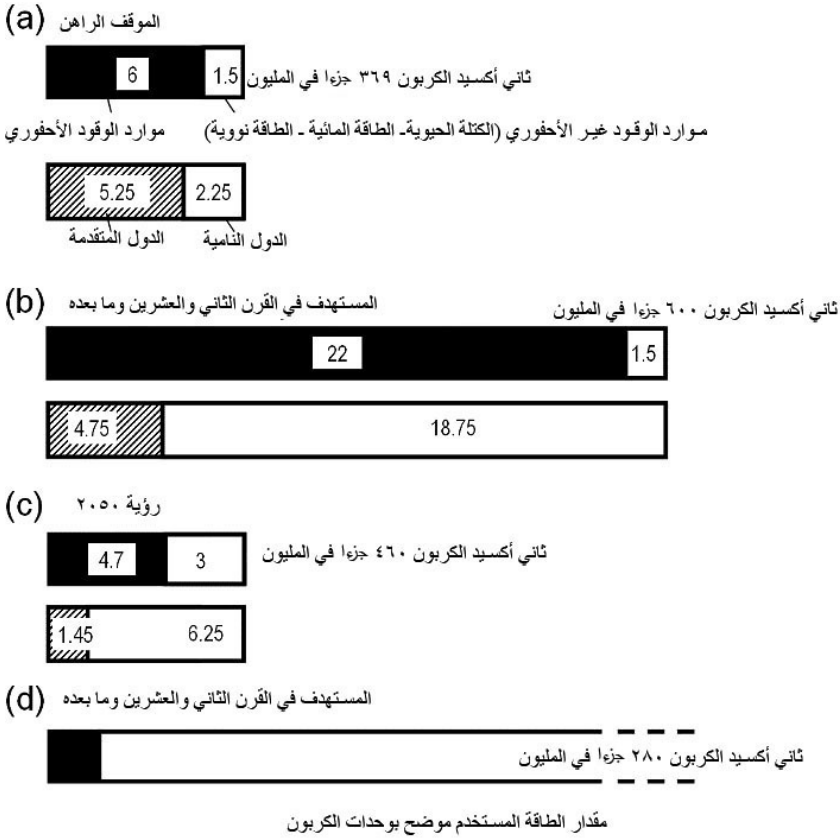
الشكل رقم 7ـ1 يوضح معدلات استخدام الطاقة في ظل عدة تصورات. الموقف في عام الأساس 1995م يظهر كما هو موضح في التصور (أ). في عام 1995م استهلكنا موارد طاقة تقارب 7.5 مليار طن من المكافئ الكربوني. وهذا يشمل ستة مليارات طن من الوقود الأحفوري، إضافة إلى 1.5 مليار طن من الوقود غير الأحفوري، وكان معظم ذلك من الأخشاب والطاقة الكهرومائية والطاقة النووية. في المستطيل الأعلى من الشكل (أ) يمثل الجزء الداكن نسبة الستة مليارات طن من الوقود الأحفوري، والجزء الفاتح يظهر إسهام مصادر الوقود غير الأحفوري.

رأينا فيما مضى أن 75٪ من سكان العالم يعيشون في البلدان النامية، وأن 4.5 مليار نسمة يستهلكون 25٪ فحسب من إجمالي موارد الوقود الأحفوري: أي 1.5 مليار طن فحسب. كتقدير تقريبي سنعتبر أن نصف إجمالي الطاقة غير الأحفورية نحو 0.75 مليار طن من المكافئ الكربوني يستخدم في الدول النامية (ومعظم ذلك يكون في صورة كتلة حيوية وطاقة كهرومائية) والنصف الثاني يُستخدم في الدول المتقدمة (ومعظم ذلك يكون في صورة طاقة كهرومائية وطاقة نووية). ومن ثم فإن 1.5 مليار نسمة في العالم المتقدم يستهلكون نحو 5.25 مليار طن من موارد الطاقة، في حين أن 4.5 مليار نسمة في العالم النامي يستهلكون منها نحو 2.25 مليار طن. وهذا معناه أن معدل استخدام للطاقة يبلغ 3.5 طن لكل شخص في العالم المتقدم مقابل 0.4 طن لكل شخص في العالم النامي.

ويبلغ متوسط استخدام الوقود الأحفوري لكل فرد 3.0 في الدول المتقدمة مقابل 0.3 في الدول النامية. في المستطيل الأدنى من الشكل للتصور (أ) الجزء المخطط يمثل 5.25 مليار طن من موارد الطاقة في شكل مكافئ

كربوني استخدمته الدول المتقدمة، والجزء الأبيض يوضح الـ 2.25 مليار طن من الطاقة استخدمته الدول النامية.

إذا ما بلغ تعداد السكان المتوقع في الدول النامية عام 2050م والمقدر بـ 7.5 مليار نسمة مستويات استهلاك الطاقة مساوية لتلك الموجودة في الدول المتقدمة اليوم (باستثناء الولايات المتحدة) فسنرى أن 18 مليار طن من الوقود الأحفوري ستكون لازمة لتغطية الطلب في تلك الدول. وسنفترض أن مقدار



الشكل رقم 7–1: تصورات الطاقة ونسب ثاني أكسيد الكربون

ملاحظة: في كل تصور يوضح المستطيل الأعلى توزيع استهلاك الطاقة بين موارد الوقود الأحفوري وموارد الطاقة غير الأحفورية والمستطيل الأدنى يوضح توزيع استهلاك الطاقة بين الدول النامية والدول المتقدمة.

طاقة الوقود غير الأحفوري الذي سيُستخدم عام 2050م سيكون كما هو اليوم. ومن ثم سيكون معدل استخدام الطاقة لكل فرد في الدول النامية هو 2.5 طن وهو معدل أقل بكثير من متوسط استهلاك الفرد في الدول المتقدمة، والذي يبلغ 3.3 طن للفرد. إذا ظل مستوى استهلاك الطاقة في الدول المتقدمة، كما كان في عام 1995م ـ أي ما يعادل 5.25 مليار طن من الوقود الأحفوري ـ وزاد الطلب على الطاقة في الدول النامية ليبلغ 18 مليار طن من الوقود الأحفوري، إضافة إلى 0.75 مليار طن من طاقة الوقود غير الأحفوري المستخدم اليوم، فإن إجمالي حجم استهلاك الطاقة سنويًّا على الكوكب سيبلغ 24 مليار طن من مكافئ الوقود الأحفوري. حتى وإن قلص سكان العالم المتقدم استهلاكهم للوقود الأحفوري عن المعدل الحالي ـ ثلاثة أطنان للفرد ـ إلى متوسط 2.4 طن للفرد استجابة لتوصيات منظمة التعاون الاقتصادي والتنمية عن طريق الجهود المكثفة لتوفير الطاقة فإنهم سيستهلكون نحو أربعة مليارات من الوقود الأحفوري، ما يعني إجمالي استهلاك من الوقود الأحفوري يبلغ 22 مليار طن سنويًّا ليصل إجمالي استهلاك الطاقة سنويًّا إلى 32.5 مليار طن. وهذا يعادل ثلاثة أمثال مقدار الطاقة المستخدمة اليوم ويمثله التصور (ب) في الشكل.

رأينا أنه عند استخدام الطاقة لغرض أو وظيفة ما فإن كفاءة الطاقة تتباين تباينًا ملحوظًا بحسب التكنولوجيا المستخدَمة. على سبيل المثال قيادة سيارة مسافة عشرة كيلو مترات يتطلب مقدارًا مختلفًا من الطاقة اعتمادًا على ما إذا كانت السيارة تعمل بمحرك احتراق تقليدي أم محرك هجين أم بخلية طاقة كهربية. فإذا زادت الكفاءة فإن قطع ذات المسافة تلك سيكون بمقدار أقل كثيرًا من الطاقة. ومقدار 32.5 مليار طن في التصور (ب) هو متوسط استهلاك الطاقة المتوقع عام 2050م استنادًا إلى تكنولوجيا اليوم والأفكار السائدة. إذا أمكننا زيادة كفاءة الطاقة زيادة كبيرة يمكننا أن نؤدي ذات العدد من الأعمال بطاقة أقل. حتى وإن تضاعفت احتياجاتنا لأعمال قائمة على المحركات ثلاث مرات بحلول عام 2050م وإذا تضاعفت الكفاءة في أداء تلك الأعمال ثلاث مرات أيضًا يمكننا

مواكبة الطلب المتزايد على العمل المعني مع الحفاظ على استهلاك الطاقة عند معدلات عام 1995م.

لكن حتى إذا استطعنا الحفاظ على معدل استهلاك الطاقة العالمي عند معدل عام 1995م إذا ما واصلنا الاعتماد على الوقود الأحفوري مصدرًا لتلك الطاقة، فإن مشكلات الاحتباس الحرارية ونضوب احتياطيات الوقود الأحفوري ستظل دون حل. ولمعالجة هذه المشكلات نحتاج إلى إدخال أكبر قدر ممكن من الطاقة المتجددة إلى المعادلة بحلول عام 2050م. إذا نجحنا في إيجاد قدر من الطاقة المتجددة يساوي مقدار الوقود غير الأحفوري المستخدم اليوم وهو ما يعادل نحو 1.5 مليار طن من المكافئ الكربوني، فإن مقدار الوقود الأحفوري الذي يُستهلك كل عام سينخفض إلى 4.7 مليار طن، وهو ما يزيد قليلًا على ثلاثة الأرباع مقارنة بمعدلات عام 1995م.

والتصور (ج) في الشكل رقم 7ـ1 يوضح المفهوم الأساسي لرؤيتنا للعالم عام 2050. أولًا رغم أن إجمالي الأعمال المطلوبة في العالم والمرتبطة بالطاقة سيزداد بمعدل ثلاثة أمثال مقارنة بعام الأساس ـ 1995م ـ الموضح في التصور (أ) وسببه الأساسي هو التحديث في الدول النامية التي سيشهد تعداد سكانها زيادة من 4.5 مليار نسمة إلى 7.5 مليار، فإننا سنضاعف كفاءة استهلاك الطاقة ثلاث مرات للوفاء بذلك.

نتيجة لذلك؛ فإن معدل استهلاك للطاقة سيقل عن طن واحد من المكافئ الكربوني للفرد، سواء في الدول المتقدمة أو الدول النامية، وسيظل إجمالي استهلاك الطاقة كما هو اليوم تقريبًا. ثانيًا، بتوفير قدر من الطاقة المتجددة معادل لمقدار الوقود غير الأحفوري الذي يُنتج حاليًا سيقل استهلاك الوقود الأحفوري بأنواعه إلى 75٪ تقريبًا مما كان عليه عام 1995م.

والتصور (د) يتخيل الوضع في القرن الثاني والعشرين، حيث سيكون قدر ضئيل من الوقود الأحفوري يُستخدم مع مقدار أكبر بكثير من الطاقة المتجددة أكبر حتى من ذلك الذي يظهر في التصور (ج). وباتباع ذلك النهج الذي رسمته

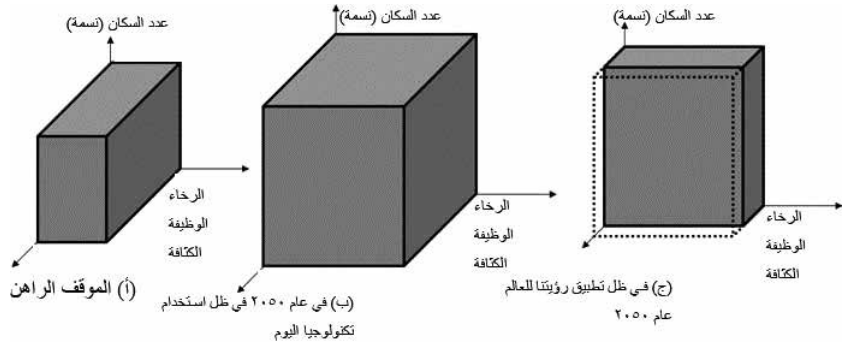
رؤيتنا هذه يمكننا تحويل ذلك التصور إلى واقع عن طريق مواصلة خفض استهلاك الوقود الأحفوري وزيادة استخدام الطاقة المتجددة خلال النصف الثاني من القرن الحادي والعشرين.

والشكل رقم 7–2 يوضح طريقة أخرى للنظر إلى التصورات الثلاثة الرئيسية في الشكل رقم 7–1. في الفصل الأول قدمنا معادلة لاستدامة الوجود البشري على الأرض، حيث أثر البشر في الأرض يعادل ما ينتجه أولئك البشر، ورخاء أولئك البشر يقاس بوظائف المنتجات والخدمات التي يستهلكها كل فرد وأثر توفير وحدة وظيفة واحدة على الأرض مثل كم موارد الطاقة المستهلك.

في الشكل رقم 7–2 عرضنا التصورات (أ) و(ب) و(ج) على شكل صناديق ثلاثية الأبعاد يمثل حجم كل منها تأثير الحضارة الإنسانية على الأرض. في التصور (أ) السكان أقل والرخاء قليل، والسبب في ذلك هو انخفاض مستوى المعيشة في الدول النامية. غير أن الكثافة وهي مضاد كفاءة الطاقة كانت مرتفعة ومن ثم فالأثر البشري ككل على الأرض ضخم. في التصور (ب) و(ج) زاد تعداد السكان بواقع خمسين في المائة تقريبًا، فيما تضاعف مستوى الرخاء. الفارق أنه في حين يتساوى معدل الكثافة في التصورين (أ) و(ب) فإنه يعادل الثلث في التصور (ج). في الحقيقة حجم الصندوق الممتد إلى الخط المنقط في التصور (ج) هو تقريبًا ذات حجم الصندوق في التصور (أ). علاوة على ذلك عندما نفكر في تقديم موارد طاقة الوقود غير الأحفوري في ظل رؤيتنا للعالم عام 2050 فإن التأثير الفعلي على الأرض من حيث استهلاك موارد الوقود الأحفوري هو فقط حجم الصندوق الرمادي في التصور (ج). وهذه طريقة أخرى للنظر إلى الرؤية التي نطرحها.

مفترق طرق:

الزيادة في نسبة ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي تتناسب تقريبًا مع حجم انبعاثات ثاني أكسيد الكربون الناتج عن النشاط البشري. ونسبة ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي تزيد حاليًا بمعدل جزأين في المليون. لذا إذا



الشكل رقم 7ـ2: أثر البشر على الأرض في كل تصور من التصورات الثلاثة

ما استمرت انبعاثات ثاني أكسيد الكربون بهذا المعدل ـ حتى دون التفكير في نمو أعداد سكان والنمو الاقتصادي في بلدان العالم النامي ـ فإن معدل الزيادة سيتجاوز مائة جزء في المليون، وعليه سترتفع نسبة ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي عام 2050م إلى أكثر من 469 جزءًا في المليون مقارنة بنسبة 369 جزءًا في المليون المسجلة عام 1995م.

فلنستخدم هذا التقريب لتقدير نسبة ثاني أكسيد الكربون في التصور (ب) من الشكل رقم 7ـ1. إذا افترضنا أن معدل استهلاك الوقود الأحفوري السنوي سيزيد بشكل مطرد من ستة مليارات طن عام 1995م إلى نحو 22 مليار طن عام 2050م، فبعملية حسابية بسيطة سيتضح أن هذا التركيز سيبلغ 600 جزء في المليون تقريبًا، وهذه القيمة تتجاوز ضعف معدلات ما قبل عصر الصناعة. في المقابل في حالة التصور (ج) ـ حيث يبلغ معدل استهلاك الوقود الأحفوري بأنواعه في عام 2050م ثلاثة أرباع ما كان عليه عام 1995م ـ سيكون التركيز 460 جزءًا في المليون. وبالرغم أن معدل التركيز هذا أقل بكثير من 600 جزء في المليون الوارد في التصور (ب) فإنه لا يزال أضخم بكثير أيضًا من معدل 369 جزءًا في المليون المسجل عام 1995م. فهل يتعين علينا حقًّا القبول بهذا باعتباره أدنى مستوى يمكننا أن نتطلع إلى تحقيقه؟ في الحقيقة القيمة أدنى قليلًا من معدل 469 جزءًا في المليون التي ستنتج إذا ما استمر الوضع على ما هو عليه.

سيبدو الأمر وكأننا لم نفعل الكثير لتحسين الوضع. ولنتذكر أن معدل استهلاك الفرد للوقود الأحفوري بأنواعه في عام 2050م سيقل إلى 75٪ مقارنة بمعدل استهلاك 1995م ومن ثم فإن معدل زيادة نسبة ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي ستتراجع نسبيًّا بعد عام 2050م.

في هذه المرحلة إذا تمكنا من الانتقال إلى التصور (د) فستتمكن من إبطاء زيادة نسبة ثاني أكسيد الكربون أكثر، وفي النهاية ستبدأ نسبته في التراجع، حيث تمتص المحيطات ثاني أكسيد الكربون من الغلاف الجوي؛ لذا رغم أنه قد يستحيل تجنب الاحتباس الحراري تجنبًا تامًا جراء تزايد نسبة ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي فإننا ـ إذا نجحنا في تحقيق رؤيتنا للعالم عام 2050 ـ سنتمكن من تمهيد الطريق لتقليل انبعاثات ثاني أكسيد الكربون في المستقبل، ومن ثم نصل إلى نسبة مستقرة من ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي ونهاية لتزايد ظاهرة الاحتباس الحراري بحلول القرن الثاني والعشرين.

واضح أن أحد العوامل المهمة في مستقبل الأرض هو زيادة تعداد السكان. غير أنه مع ارتفاع معدلات الدخل في الدول النامية لدرجة تتماشى مع مستويات الدخل في الدول المتقدمة، فإن من المتوقع أن تتباطأ معدلات نمو الزيادة السكانية.

وهذه العلاقة بين معدل الدخل ومعدل الزيادة السكانية أكدتها التجارب. لذا إذا وصل العالم النامي البالغ عددهم 7.5 مليار نسمة بحلول 2050م إلى مستوى معيشي مقارب للمستوى الذي تعيشه الدول المتقدمة اليوم، فإن تعداد سكان العالم ينبغي أن يبدأ في التراجع.

عندما ينظر أحفادنا إلى تاريخ هذا القرن سيعتبرون دون شك عام 2050م قفزة هائلة. هل سينتشر نمط حياة الإنتاج الكثيف والاستهلاك الكثيف ليصل إلى الدول النامية؛ ليتسبب في استهلاك للطاقة يتجاوز ثلاثة أمثال معدل الاستهلاك اليوم؟ هل ستغطي النفايات وجه الأرض؟ هل ستزيد نسبة ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي لتتجاوز ضِعف قيمتها في عصر ما قبل الصناعة؟ أم هل

سنتمكن نحن ـ عن طريق إعادة تدوير نفاياتنا وزيادة كفاءة استهلاكنا للطاقة ثلاث مرات ومضاعفة استخدامنا للطاقة المتجددة مع إحداث تغييرات معتدلة في نمط حياتنا ـ من إحراز النجاح في إيجاد مسار لمجتمع بشري مستدام بحلول القرن الثاني والعشرين؟ مفترق الطرق أمامنا سيُحدد عبر أي طريق يمكن تحقيق هذه القفزة.

3 ـ تحويل رؤيتنا للعالم عام 2050 إلى واقع ملموس

تتضمن رؤيتنا تلك ثلاثة أجزاء أساسية: زيادةً بمعدل ثلاثة أمثال في كفاءة استخدام الطاقة، وزيادةً بمقدار المِثْلين في استخدام الطاقة المتجددة، وتحولًا لنظام إعادة التدوير. والآن لننظر إلى كيفية تحقيق تلك الشروط بحلول عام 2050م.

(1) زيادة بمقدار ثلاثة أمثال في كفاءة استخدام الطاقة

تقليل مقدار الطاقة المستخدم في المواصلات والمنازل والمكاتب إلى الربع:

أولًا يمكننا تقليل مقدار البنزين الـذي تستخدمه السيارات إلى ربع المقدار الذي كان يُستخدم عام 1995م. وقد رأينا أن بمقدورنا خفض استهلاك الطاقة بنسبة 75٪ بتقليل وزن السيارة واستخدام محركات هجينة لذا فإن ذلك سيكون كافيًا. في الحقيقة اعتبارًا من عام 2007م أدى ظهور سيارات جديدة هجينة؛ على الطرق إلى تقليل استهلاك الطاقة بنحو 50٪ مقارنة بسيارات 1995م. فيمكننا دمج هذه التكنولوجيا مع طرق لتقليل الاحتكاك مثل تصميم أنواع جديدة من الإطارات أو ربما يمكننا استخدام خلايا الوقود مصدرًا للطاقة. وأيًّا ما يكون شكل المزيج الذي نستخدمه فإن تقليل معدل استهلاك الطاقة في سيارات الركاب للربع بحلول عام 2050م ينبغي أن يكون هدفًا قابلًا للتحقيق. وذات التحسينات في الكفاءة يمكن تحقيقها لمَرْكبات أخرى مثل الحافلات والشاحنات. إذا اعتبرنا أن متوسط عمر حياة المَرْكبات يبلغ عشر سنوات فإن الجيل الرابع من السيارات سيكون قد انطلق من خطوط الإنتاج بحلول عام

2050م. ومن ثم ينبغي أن يكون ممكنًا تحويل كل السيارات العاملة إلى معدل كفاءة استهلاك الوقود هذا بحلول عام 2050م.

يمكننا إحداث تحسن مشابه في كفاءة استهلاك الطاقة في المنازل والمكاتب. شكل الطاقة الرئيس الذي يستخدم هنا هو الكهرباء. وبالنظر إلى البيانات التي ناقشناها حول استخدام الطاقة في اليابان حتى وإن اعتبرنا أن معدل كفاءة محطات توليد الكهرباء الحرارية في اليابان الآن يبلغ 43٪ (باستخدام قيمة التدفئة العالية) يظل ثلثا موارد الطاقة المستهلكة في اليابان عبر أعمال «الحياة اليومية» في المكاتب والمنازل تُستخدم في صورة كهرباء. وعلاوة على ذلك، هامش إجمالي الطاقة المستخدم في صورة كهرباء آخذ في التزايد كل عام، لذا يمكننا تقدير أنه بحلول عام 2050م سيكون نحو ثمانين في المائة من إجمالي موارد الطاقة المستخدمة في المكاتب والمنازل سيُستخدم في صورة كهرباء. لذا عندما ننظر إلى الحفاظ على الطاقة في أعمال «الحياة اليومية» في المنازل والمكاتب سيكون من المنطقي أن نفترض أن كل هذه الطاقة تأتي من الكهرباء.

يمكننا مضاعفة كفاءة مكيفات الهواء وأجهزة التدفئة ثلاث مرات بزيادة كفاءة المكابس وتقليل تباينات الحرارة في أجهزة التدفئة. ومع إجراء إضافي مثل زيادة عزل المنازل يمكننا زيادة كفاءة التدفئة والتبريد بشكل عام خمس مرات. الثلاجات هي الأخرى مضخات حرارية. ورغم أن فقدان بعض الكفاءة عند فتح وإغلاق الثلاجات على سبيل المثال أمر لا يمكن تجنبه ينبغي أن نكون قادرين على زيادة كفاءتها أيضًا. في الواقع لقد تمكنا بالفعل من مضاعفة كفاءة الثلاجات ثلاث مرات خلال الفترة 1995م – 2005م بالعزل المفرغ وتقنيات خفض استهلاك الطاقة عند فتح الثلاجات باستخدام أجهزة استشعار وتقسيم الثلاجات إلى أكثر من جزء واستخدام أكثر من باب. بالنسبة إلى الإضاءة يمكننا تطوير أجهزة ثنائية باعثة للضوء تعمل بكفاءة تزيد على ضِعف مصابيح الفلوريسنت. ثم بتقليل الاعتماد على اللمبات المتوهجة شديدة الهدر للطاقة يمكننا زيادة كفاءة إضاءة المنازل والمكاتب ثلاثة أمثال. ورغم أن أحجام أجهزة التلفاز ستزداد

يمكننا عن طريق استخدام تكنولوجيا لا تستهلك الكثير من الطاقة مثل شاشات عرض الكريستال السائل LCD وأشباه الموصلات أن نضاعف كفاءة استهلاك أجهزة التلفاز للطاقة.

وقد يكون الحفاظ على الطاقة أصعب مع أجهزة منزلية أخرى مثل المكانس الكهربية وأواني طهي الأرز الكهربية وأفران الميكروويف، لكن لأن أجهزة كهذه تُستخدم لفترات قصيرة نسبيًّا فإن إجمالي حجم الطاقة الذي تستهلكه ليس كبيرًا.

فإذا ما أجريت كل هذه التحسينات في الكفاءة في المنازل والمكاتب، فلنا أن نتوقع خفض استهلاك الطاقة بنسبة 60٪ مقارنة بمعدلات 1995م.

وعلى الجانب الآخر يمكننا تقليل مقدار الوقود الأحفوري الذي تستهلكه كل وحدة كهرباء تستخدمها هذه الأجهزة بتحسين كفاءة محطة توليد الكهرباء في توليد الكهرباء. في رؤيتنا للعالم عام 2050 سيكون هدفنا خفض استهلاك الوقود الأحفوري بهذه الطريقة بمعدل الثلث. ويمكننا تحقيق هذا بزيادة كفاءة محطات توليد الكهرباء من معدل 38٪ عام 1995م إلى مستوى 57٪ عام 2050م. ورغم أن دورة حياة محطات توليد الكهرباء الكهربية طويلة يمكننا افتراض أنه بحلول عام 2050م ستكون حتى أحدث محطات توليد الكهرباء الحالية قد استُبدلت. لدينا بالفعل محطات توليد طاقة ذات دورة مركبة ـ تعتمد على توربينات غازية وبخارية معًا بكفاءة توليد كهرباء تبلغ 53٪ ـ. فإذا حققت أفضل محطات توليد الكهرباء عام 2050م كفاءات تصل إلى 65٪ وكانت أكثر محطات توليد الكهرباء تقدمًا في العالم اليوم، والتي تولد كهرباء بكفاءة تتراوح بين 50 و53 في المائة هي أقدم محطات التوليد المتبقية عام 2050م، فإن هذا من شأنه أن يرفع معدل الكفاءة إلى 57٪. ونلاحظ هنا ـ كما كان في الفصول السابقة ـ أن كفاءات محطات توليد الكهرباء الحرارية هذه كلها فيما يتعلق بالقيمة الحرارية العليا.

إمكانية أخرى لزيادة الكفاءة تكمن في أن نظم الكهرباء الموزعة ستنتشر

على نطاق واسع. على سبيل المثال بحلول عام 2050م قد تتوفر خلايا وقود بكفاءة تبلغ خمسين في المائة في تحويل الوقود إلى كهرباء. ولأن خلايا الوقود تنتج أيضًا حرارة يمكن الاستفادة منها، فهي تصلح لتوليد الحرارة والطاقة في المنشآت الفردية. وكبديل توجد تقنيات أخرى لتوليد الكهرباء على نطاق محدود مثل دمج توربينات غازية وتوربينات بخارية، والتي قد تتطور لتخرج نظم توليد مشترك عالية الكفاءة. عندما تتحول قيمة الحرارة إلى كهرباء وتضاف إلى ناتج النظام قد يكون من الممكن استخدام مثل أنظمة التوليد المشترك هذه لتحقيق كفاءة كلية تصل إلى توليد طاقة كهربية بكفاءة 57٪.

وإذا دمجنا نتائج خفض استهلاك الطاقة بنسبة 60٪ (عبر زيادة كفاءة استهلاك الأجهزة الكهربية المنزلية) مع نتائج زيادة كفاءة استهلاك الوقود الأحفوري بنسبة 33٪ (عبر زيادة كفاءة توليد الكهرباء) فسنجد أن استهلاك الوقود الأحفوري لتوليد الكهرباء لاستخدام المنازل والمباني الإدارية يمكن خفضه بالفعل إلى نحو 25٪ من معدل الاستهلاك اليوم.

خفض الطاقة المستهلكة في إنتاج المواد إلى الثلث:

بمقدورنا خفض إجمالي الطاقة المستهلك في إنتاج المواد، خاصة المعادن عن طريق مزيج من إعادة التدوير وتطوير تكنولوجيا جديدة ونقل التكنولوجيا. أولًا يمكننا خفض استهلاك الطاقة بتوسيع دائرة إعادة تدوير مواد مختلفة نستخدمها إذا واصلنا الإنتاج بالمعدل الراهن من الموارد الطبيعية دون تغيير بحلول عام 2050م قد نصل لمرحلة في المستقبل نجد فيها أنفسنا ننتج كل المواد الأساسية الأكثر أهمية باستخدام الخردة، لكن نسبة الإنتاج من موارد طبيعية ستقل في واقع الأمر مع زيادة تراكم المنتج البشري والتوسع في إعادة التدوير؛ لذا ربما لن نصل إلى نقطة التشبع الكامل بحلول عام 2050م.

فلنفترض أنه بحلول عام 2050م ستمثل الخردة نسبة 80٪ من المواد المستخدمة في صنع منتجات جديدة. بإنتاج 80٪ من الحديد من معادن معاد

تدويرها بدلًا من الحديد الخام، وبصهر المعادن المعاد تدويرها في أفران تعمل بالوقود الأحفوري عوضًا عن الكهرباء يمكننا خفض استهلاك الطاقة لإنتاج كل وحدة حديد لثلث معدل الاستهلاك عام 1995م. حتى الآن يمكن إنتاج الألومنيوم من مواد معاد تدويرها باستخدام عُشر الطاقة اللازمة لإنتاج الألومنيوم من خام البوكسيت. لذا حتى وإن لم تتحسن كفاءة إعادة تدوير الألومنيوم على الإطلاق، فإن إجمالي الطاقة المستهلك في إنتاج الألومنيوم سينخفض إلى الربع تقريبًا مقارنة بما كان عليه الوضع في عام 1995م.

ووفق رؤيتنا للعالم عام 2050 سنعيد تدوير مواد بخلاف المعادن مثل الخرسانة والزجاج والبلاستيك والـورق. ومخلفات الورق والبلاستيك التي تحللت لدرجة لا تصلح معها لإعادة التدوير يمكن إعادة استخدامها وقودًا لإنتاج الكهرباء. وإعادة تدوير تلك المواد ستستهلك قدرًا أقل من الطاقة مقارنة بالإنتاج من موارد طبيعية رغم أن قدر الوفر سيكون أقل إذا ما قورن بالوفر الناتج في حالة إعادة تدوير المعادن.

رغم ذلك ينبغي أن نتمكن ـ عن طريق إعادة التدوير ـ من خفض الطاقة المستهلكة في إنتاج البضائع غير المعدنية لنسبة 80٪ مقارنة بمعدلات استهلاك 1995م.

بتقدير الكميات النسبية للمنتجات المعدنية وغير المعدنية التي ستنتج عام 2050م نقدّر أنه عن طريق هذه الزيادات في معدلات إعادة تدوير المواد الأساسية يمكننا خفض الطاقة المستخدمة في إنتاج البضائع إلى 70٪ من معدل الطاقة عام 1995م.

والطريقة الثانية لخفض الطاقة المستهلكة في إنتاج المواد الأساسية تتمثل في تحسين تكنولوجيا التصنيع، سواء من مواد خام أو مواد معاد تدويرها. ورفع كفاءة أكثر تقنيات اليوم تقدمًا بنحو 30٪ هدف مقبول منطقيًّا، وتحقيقه سيؤدي إلى خفض إجمالي الطاقة المستهلك في التصنيع إلى 70٪ من إجمالي حجم الطاقة المستهلك اليوم.

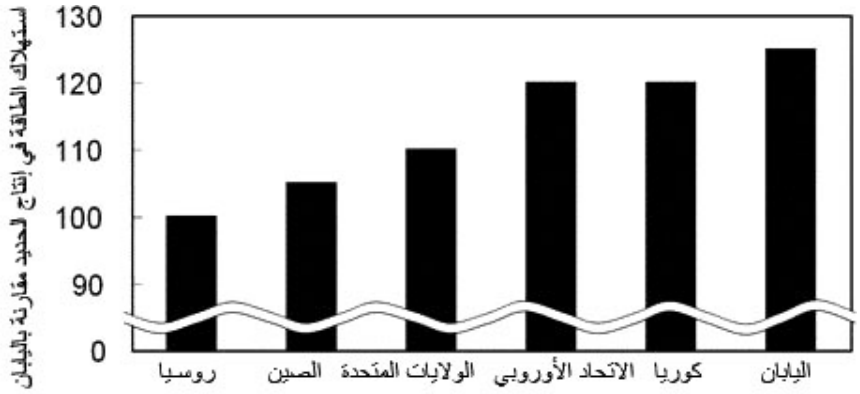
تفاوت كفاءة استهلاك الطاقة بين الدول:

أما الطريقة الثالثة لخفض الطاقة المستهلكة في إنتاج المواد الأساسية فتتمثل في نقل التكنولوجيا من الدول التي تمتلك أكثر عمليات الإنتاج تقدمًا إلى الدول التي تستخدم تكنولوجيا قديمة مهدرة للطاقة.

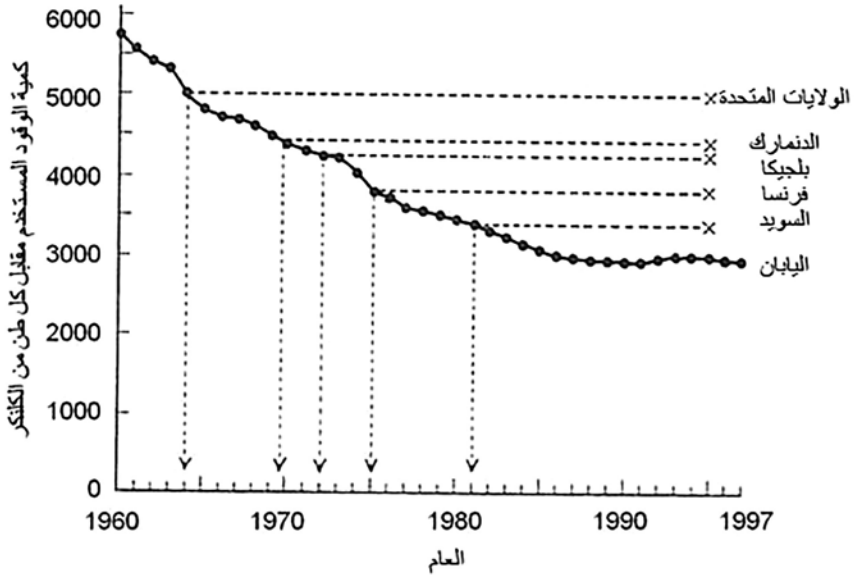
وسنرى هنا أن آثار نقل الطاقة ضخمة، ويمكن الاعتماد عليها أيضًا.

حتى هذه النقطة كانت معظم الأرقام والرسوم الإيضاحية في هذا الكتاب توضح كفاءات «صناعة الأغراض» وتوليد الكهرباء عن طريق محطات طاقة تعمل بالوقود الأحفوري تتعلق بشكل أساسي بالتقنيات التي تتبناها اليابان. وربما يكون من أسباب ذلك سهولة حصولي على المعلومات من وطني اليابان، لكن السبب الآخر وراء ذلك يرجع إلى أن الكثير من الأساليب التكنولوجية في اليابان هي الأكثر كفاءة في استهلاك الطاقة في العالم بأسره. ومن ثم منحتني الأرقام والإحصاءات اليابانية فرصة لتقديم نماذج لأعلى مستويات الكفاءة في استهلاك الطاقة. إن قدر الطاقة المستهلك في الإنتاج يتباين بشكل كبير بحسب البلد المنتج. في الشكل رقم 7ـ3 على سبيل المثال، نرى أن الطاقة المستهلكة لإنتاج طن واحد من الصلب من خام الحديد تتباين بنسبة تصل إلى 25٪ بين اليابان ذات الكفاءة الأعلى في الاستهلاك، ودول أخرى يقل فيها استهلاك الطاقة مثل الصين وروسيا، بل والولايات المتحدة.

والشكل رقم 7 ـ 4 يوضح رسمًا بيانيًّا لمقدار الطاقة المستهلكة في اليابان لصناعة طن واحد من الأسمنت ومدى تغير ذلك القدر من الطاقة من عام 1960م حتى 1995م. والرسم البياني يقدم مقارنات أيضًا بين كفاءة استهلاك الطاقة في صناعة الأسمنت في دول أخرى. بين عامي 1960م و1995م تراجع قدر الطاقة المستهلك في تصنيع طن واحد من الأسمنت بنسبة خمسين في المائة. بالمقارنة مع اليابان نجد أن معظم الدول الأخرى كانت تستخدم مقدارًا أكبر بكثير من الطاقة عام 1995م لإنتاج طن واحد من الأسمنت. والولايات المتحدة على وجه التحديد تستهلك طاقة تزيد بنسبة تبلغ 1.7 مقارنة باليابان وقت وضع ذاك الرسم



الشكل رقم 7ـ3: مقارنة معدلات استهلاك وحدات الطاقة في إنتاج الحديد في أكبر الدول المنتجة للحديد مقارنة باليابان (المصدر: الاتحاد الياباني لصناعة الحديد والصلب)



الشكل رقم 7ـ4: معدلات استهلاك وحدات الطاقة في صناعة الأسمنت في اليابان من عام 1960م إلى عام 1997م ووضع عدة بلدان عام 1995م (المصدر: رابطة مصانع الأسمنت في اليابان)

البياني. ومن ثم فإن كفاءة الطاقة في التكنولوجيا الأمريكية عام 1995م في صناعة الأسمنت تتوافق مع نظيرتها في اليابان عام 1964م.

هذا الفارق في استهلاك الطاقة يمثل انعكاسًا يسيرًا للمعدل الذي أدخلت

به الدولة تكنولوجيا جديدة للحفاظ على الطاقة. في حالة الأسمنت يوضح الفارق إلى أي مدى استخدمت التقنيات التي توفر الطاقة مثل تكنولوجيا التسخين المسبق للمسحوق المعلق والأحدث منها التسخين المسبق الجديد للمسحوق المعلق. وهذه الأنواع من التكنولوجيا تستعيد الطاقة استعادة كاملة عند حرق الفحم على درجات حرارة مرتفعة باستخدام غاز ذي حرارة مرتفعة ينبعث من أفران الاحتراق لتسخين الفحم المسحوق الذي يُغذَّى به الفرن. مصطلح «المسحوق المعلق» مشتق من أسلوب تعليق هذا الفحم في الهواء بواسطة الغاز مرتفع الحرارة القادم من أسفل لدى استعادة الحرارة. بحلول عام 1995م كانت نسبة 87٪ من مصانع الأسمنت في اليابان تستخدم تكنولوجيا «التعليق» هذه. في الولايات المتحدة يكاد ينعدم وجود مصانع تستخدم أيًّا من التقنيتين.

بإدخال تكنولوجيا «التسخين المسبق للمسحوق المعلق» أو نسختها الأحدث ـ الموجودة بالفعل في اليابان ـ إلى صناعة الأسمنت في الولايات المتحدة والاتحاد الأوروبي يمكننا الحفاظ على الطاقة. وتعويض رأس المال المستثمر في تجهيز مصانع الأسمنت للعمل بهذه التكنولوجيا سيحدث في غضون سنوات قليلة. والسبب الوحيد وراء عدم إدخال هذه التكنولوجيا بالفعل هو العلاقة السلبية حاليًا بين الاستثمار وعوائده في كثير من البلدان.

إن نقل التكنولوجيا لن يؤدي إلى تخفيض محتمل في استهلاك الطاقة فحسب، بل سيكون له مردود أفضل في عوائد الاستثمار على المستوى العالمي. كل ما يلزم للاستفادة من نقل التكنولوجيا هو توفير رأس المال اللازم لإعادة تأهيل المصانع بالتكنولوجيا الجديدة، غير أن تحسين التقنيات الجديدة تمامًا يتطلب ضخ استثمارات ضخمة في مجالي البحث والتطوير.

ولأننا عندما نبتكر تكنولوجيا جديدة لخفض الانبعاثات نتعامل في البداية مع تلك الانبعاثات التي تكون السيطرة عليها أسهل ما يكون، فإن عائد الاستثمار في مثل تلك الأبحاث سيتقلص حتميًّا مع مرور الوقت. وبالرغم من

بقاء احتمالية لزيادة كفاءة استهلاك الطاقة في إنتاج المواد والخدمات الأساسية عن طريق تحسين التكنولوجيا، فإن الفجوات بين تقنيات اليوم الأكثر تقدمًا في الإنتاج والقيود النظرية ليست بدرجة ضخامة إمكانية تحسين كفاءة النقل والتشغيل في المنازل والمكاتب.

استخدام الطاقة في بعض البلدان اليوم يتسم بعدم كفاءة واضح. ففي الدول التي نتجت عن انهيار الاتحاد السوفييتي السابق على سبيل المثال، ورغم تدني مستويات المعيشة كثيرًا، فإن معدل استهلاك الطاقة لكل فرد يعادل تقريبًا معدل الاستهلاك في اليابان.

ومن ثم بتحسين التكنولوجيا فإن تلك الدول ينبغي أن تكون قادرة على تحقيق ذات مستوى المعيشة الذي تتمتع به الدول المتقدمة دون زيادة مستوى استهلاك الطاقة الحالي على الإطلاق.

وبرفع كفاءة استهلاك الطاقة على المستوى العالمي لمستوى أكثر أشكال التكنولوجيا تقدمًا يمكننا تقليص استهلاك الطاقة بنسبة قد تصل إلى 30٪ ومن ثم خفض إجمالي الطاقة اللازمة «لصناعة الأغراض» لنسبة 70٪ مقارنة بالمعدلات الحالية.

إذا دمجنا آثار الأساليب الثلاثة لخفض استهلاك الطاقة في إنتاج المواد ـ إعادة التدوير وتحسين التكنولوجيا ونقل التكنولوجيا ـ سترى أنه سيمكن خفض مقدار الطاقة المستهلك في إنتاج بضائع مادية إلى 0.7 + 0.7+ 0.7 أو ما يعادل الثلث تقريبًا.

وتلخيصًا لما سبق نقول: في رؤيتنا للعالم عام 2050 سنتمكن من تقليص حجم الطاقة المستهلك في النقل إلى ربع معدل الاستهلاك الحالي والطاقة المستهلكة في المنازل والمكاتب إلى ربع معدل الاستهلاك الحالي أيضًا، والطاقة المستهلكة في «صناعة الأغراض» إلى ثلث المعدل الراهن، والطاقة المستهلكة في قطاعات صناعية أخرى ـ مثل البناء والأجهزة المنزلية والآلات الثقيلة ـ إلى النصف. وعند أخذ نسب الطاقة المستخدمة في الحسبان فإن الوفر

الناتج يعني أننا نستخدم أقل من ثلث الطاقة التي نستهلكها اليوم. وبعبارة أخرى، عن طريق تنفيذ ما سبق ذكره يمكننا زيادة كفاءة استخدام الطاقة ثلاثة أمثال، وهذا ما تقول به رؤيتنا للعالم عام 2050.

مستقبل خفض استهلاك الطاقة:

لعلكم لاحظتم أن هدف الخفض بالنسبة إلى النقل وتشغيل الأجهزة المنزلية والمكاتب أضخم بكثير مقارنة بأهداف الخفض في «صناعة الأغراض». إضافة إلى ذلك فإن الوفر الذي قدرنا أنه سيأتي عن طريق تحسينات تطرأ على التكنولوجيا يبلغ 30٪ فحسب، أما النسبة المتبقية فستأتي من إعادة التدوير ونقل التكنولوجيا.

وتتباين الاحتمالات النظرية لخفض استهلاك الطاقة في تصنيع الصلب وقيادة السيارات. وكما أوضحنا في الفصل الخامس، عند تصنيع الحديد من خام الحديد يجب أن نعتمد على الطاقة لإزاحة ذرات الأكسجين المرتبطة بالحديد في المادة الخام. وهذه الطاقة تعادل حاليًا ثلث إجمالي الطاقة التي تستهلكها مصانع الحديد. ويمكننا اعتبار هذه الطاقة طاقة داخلية «مدمجة» في حديد الصب الناتج، أو قل إن الحديد الصب الذي ينتجه مصنع الحديد يحتوي بطبيعته على طاقة تعادل 200 إلى 600 كيلو جرام من الوقود الأحفوري الذي يستخدم حاليًا لإنتاج طن واحد من الحديد. أما الثلثان المتبقيان من الطاقة «فيُفْقَدان» في عملية تصنيعه، ومن ثم فقدرة الاختزال في صنع الحديد لا تتجاوز 400 كيلو جرام من الوقود الأحفوري لكل طن من الحديد.

رأينا في الفصل الثالث أن الحد الأدنى اللازم من الطاقة نظريًّا هو الصفر. وهذا يعني أن الخفض المحتمل لقيادة السيارات هو مقدار الوقود بأكمله. لذا من الواضح أن الخفض المحتمل بالنسبة إلى النقل أضخم بكثير من الخفض المحتمل في إنتاج الحديد.

أضف إلى ذلك أن الطاقة تمثل هامشًا أصغر في التكلفة الإجمالية «لصناعة الأغراض» مقارنة بتكلفتها في النقل أو تشغيل الأجهزة والإنارة في

المنازل والمكاتب. والسبب كالتالي: حتى الآن لم يكن هناك طلب قوي على كفاءة استخدام الطاقة في منتجات مثل الثلاجات ومكيفات الهواء والسيارات. وكان العامل الأكثر تأثيرًا وأهمية في إيجاد ميزة تنافسية لمثل تلك المنتجات هو التصميم والأداء. وكلفة استهلاك الكهرباء في أي منزل تقليدي كانت في نطاق ألف دولار سنويًّا، وهو ما لم يمثل محفزًا قويًّا للحفاظ على الطاقة.

في المقابل لا تمثل تفضيلات المستهلك مشكلة ما في عمليات التصميم «لصناعة الأغراض». فالمستهلك عادة لا يهتم ولا ينشغل بالعملية المستخدمة في إنتاج الحديد المستخدم في تصنيع السيارة ما دام أداء السيارة لم يتأثر. لذا كان التحكم في تكاليف الطاقة (مع تحسين كفاءة تحويل المواد الخام إلى منتجات) دومًا يمثل أحد العوامل الكبرى في تقليل كلفة تصنيع المنتجات. ولهذا السبب تستثمر شركات التصنيع قدرًا ضخمًا من مواردها المالية في البحث والتطوير وتحسين أداء المنشآت، وتصبو إلى زيادة كفاءة الطاقة كي تحافظ على هامش تفوقها التنافسي.

خلاصة ما سبق أن رؤيتنا للعالم عام 2050 تتضمن طموحات أكبر فيما يتعلق بالحفاظ على الطاقة في أعمال «حياتنا اليومية» مثل النقل وتشغيل المنازل وذلك لسببين: أولهما: أن الثغرة بين استخدام الطاقة الحالي والقيود النظرية أضخم في حالة نشاطات الحياة اليومية، ما يقدم مزيدًا من الفرص للحفاظ على الطاقة، وثانيهما: أن معظم جهود الحفاظ على الطاقة حتى الآن كانت في نطاق «صناعة الأغراض»، ما يعني أنه من الراجح أن يكون عائد جهود المزيد من الحفاظ على الطاقة أقل ما يكون.

(2) إقامة نظام لإعادة تدوير للمواد

المعادن والخرسانة

في عام 2050م ربما لن نكون قد حققنا التحول الكامل من استخدام الوقود الأحفوري للطاقة المتجددة، كما أن مصنَّعات البشر لن تكون قد بلغت مرحلة التشبع الكامل هي الأخرى، غير أنه بحلول 2050م سنكون بحاجة إلى

إقامة منصة إطلاق تدفعنا باتجاه حالة التحول النهائي والكامل من استخدام الوقود الأحفوري وتشبع مصنَّعات البشر بحلول نهاية القرن المقبل.

لنلق نظرة على دورة حياة الحديد في رؤيتنا للعالم عام 2050. مع اقتراب الحديد المتراكم من درجة التشبع، فإن مقدار خام الحديد المختزل سيقل، وعليه فإن كم الحديد المتراكم الذي يبلغ خمسة وثلاثين مليار طن ـ وهو ذات المقدار الذي كان من الممكن أن يظهر إذا ظلت نسب الإنتاج الحالية من الحديد الخام والتي تبلغ تسعمائة مليون طن سنويًّا دون تغيير ـ لن يتحقق. مقدار الحديد المتراكم يتوقع أن يقارب الثلاثين مليار طن بحلول عام 2050م. إذا ظلت دورة حياة المنتج بعد ثلاثين عامًا كما هي اليوم فسيَنتج مليار طن من الحديد الخردة كل عام.

سنستخدم حديد الخردة من دون الخبث ـ النفايات ـ التي تلقى في مكبات القمامة مع مائتي مليون طن من الحديد الخام للحديد الجديد، ومن ثم فإن العالم سينتج 1.2 مليار طن من الحديد سنويًّا بحلول عام 2050م، ولكن الفارق يكمن في أن 85٪ من هذا الإنتاج جاءت من الخردة. دعونا نعتبر أن متوسط الاستهلاك العالمي من الفحم لكل طن حديد هو خمسمائة كيلو جرام في حالة الحديد الذي ينتج في أفران الصهر جراء التقدم التكنولوجي الذي أدى إلى تقليل استهلاك الفحم بنسبة 100 كيلو جرام و150 كيلو جرامًا في حالة إنتاج الحديد من الخردة. فإجمالي استهلاك الفحم لإنتاج الحديد سيكون ساعتها 250 مليون طن سنويًّا. ورغم أن مقدار الإنتاج لن يتغير فإن استهلاك الفحم سيتراجع إلى ثلث المقدار الذي يُستهلك حاليًا تقريبًا، والذي كما رأينا في الشكل رقم 6ـ1 يبلغ نحو سبعمائة مليون طن سنويًّا. هذا نموذج ملموس لأثر الزيادة الثلاثية في كفاءة الطاقة لإنتاج الحديد بسبب إعادة التدوير ونقل التكنولوجيا وتطوير التكنولوجيا التي ناقشناها في الجزء السابق.

بعد تراكم مقدار الحديد في المدن والطرق والمنتجات المعمرة الأخرى ليصل إلى نحو 39 مليار طن ستتولد لدينا خردة كافية كل عام، بحيث يمكن إنتاج الحديد اللازم من الخردة. علاوة على ذلك، عندما يستبدل كل

الوقود الأحفوري بمصادر طاقة متجددة فإن كل الطاقة اللازمة لإنتاج الحديد من الخردة ستكون من موارد متجددة. هذا هو الشكل النهائي لدورة حياة الحديد التي ينبغي أن نخطط لتحقيقها في القرن الثاني والعشرين. إن رؤيتنا للعالم عام 2050 تختلف عن هذا الشكل النهائي، ولكن مقارنة بالواقع هي أقرب بكثير. والفوارق تكمن في أنه لا يزال هناك نوعٌ بحاجة إلى استخراج خام الحديد والوقود الأحفوري، كما أن بعض نفايات الحديد لا تزال تتجمع في مكبات النفايات في الحقيقة ستظل دومًا بعض النفايات تتولد في شكل حديد خردة غير قابل للاستخدام وغير قابل لإعادة التدوير. في الفصل التالي سنلقي نظرة على كيفية تعاملنا مع هذا المقدار البسيط من النفايات غير القابلة لإعادة التدوير حتى في ظل رؤيتنا للعالم عام 2050.

والآن لننظر في دورة حياة الخرسانة. رغم أن فضلات الخرسانة التي تنتج على سبيل المثال من هدم المنشآت تُستخدم حاليًا في تطبيقات أخرى أقل شأنًا كمواد رصف الطرق، فإننا نرى أنه مع تزايد كم الفضلات الخرسانية يتزايد الهامش الذي ينتهي به الحال في مكبات النفايات. في عام 2050م يتوقع ـ كما هو الحال مع الحديد ـ أن يبلغ معدل تراكم الخرسانة من ثلاثة إلى خمسة أمثال الكم الحالي، وبطبيعة الحال سيزداد حجم نفايات الخرسانة بشكل نسبي. لقد تضاعف إنتاج العالم من الخرسانة تقريبًا خلال الفترة 1995م ـ 2007م، والسبب الرئيسي في ذلك هو زيادة الناتج في الصين. وللحيلولة دون دفن كوكب الأرض في نفاياته الخرسانية من الضروري أن نضع نظام إعادة تدوير يكاد يكون مثاليًّا للخرسانة. ومن سبل ذلك ابتكار تكنولوجيا لسحق الخرسانة، حيث تطحن فضلات الخرسانة بدرجة نعومة كافية تجعلها أشبه ما يكون بالمسحوق كي يتسنى استعادة المادة الخام اللازمة لإنتاج الأسمنت.

الورق والبلاستيك:

مقارنة بالحديد والخرسانة فإن مواد مثل الورق والبلاستيك، والتي تستخدم في منتجات ذات دورة حياة أقصر بكثير، ستُختزل إلى كميات تراكمية

أصغر بكثير. لذا ينبغي أن نصل بمواد كهذه إلى حالة قريبة من إعادة التدوير الكاملة حتى بحلول عام 2050م.

نصف الورق الذي يستخدم اليوم يعاد تدويره بالفعل، ومعظم ما تبقى يُلقى في مكبات النفايات، حيث ينتهي به الحال مطلقًا في الغلاف الجوي في شكل ثاني أكسيد الكربون. في عام 2050م وبزيادة معدل إعادة التدوير سيدخل ثلثا مقدار الورق المستخدم في صورة مواد خام في عملية تصنيع ورق جديد، وثلث واحد فقط سيُستخدم وقودًا. وسيتعين علينا أن نقطع مقدارًا كافيًا من الأشجار عوضًا عن ذلك الثلث من فضلات الورق، التي استُخدمت كوقود كي نحافظ على معدلات الإنتاج السنوية من الورق وسنعيد زراعة الأشجار بذات معدل قطعها. وبحلول عام 2050م سنكون قد طورنا ألوانًا من التكنولوجيا لتصنيع الورق تمكننا من إنتاج طن ورق مقابل 200 كيلو جرام من الكربون فحسب – بتحسن يعادل 70٪ مقارنة بالتكنولوجيا المستخدمة حاليًا. وثلث مقدار الورق المستعمل سيتحول إلى وقود يدخل في صناعة الورق، وبتحويل هذا المقدار إلى وحدات كربون سنجد أن هذا المقدار من الطاقة مناسب تمامًا لإنتاج ورق جديد من الثلثين المتبقيين من الورق المستعمل. وبالنظر إلى دورة حياة الورق هذه ككل نرى أن الغابات يعاد تشجيرها إضافة إلى عدم استهلاك وقود أحفوري على الإطلاق ومن ثم فإن نسبة ثاني أكسيد الكربون لن تزيد. وهذا نموذج لدورة إعادة تدوير مثالية.

أما مستقبل تكنولوجيا تصنيع المنتجات الكيميائية والممثلة هنا بالبلاستيك فيصعب التنبؤ به. ورغم أن كل أنواع البلاستيك تنتج حاليًا من النفط فيمكن القول إنه ما دام هناك مصدر للكربون والهيدروجين فمن الممكن تخليق البلاستيك من مواد خام بخلاف النفط. ومن البدائل المحتملة للنفط كخام لتصنيع المواد البلاستيكية الكتلة الحيوية. على سبيل المثال عملية تصنيع العديد من المنتجات الكيميائية من خلط أول أكسيد الكربون والهيدروجين مع الكتلة الحيوية باعتبارها المادة الخام يطلق عليها كيمياء (C1)، ذلك أن أول أكسيد الكربون هو المادة الخام الأساسية مع ذرة واحدة من الكربون هذه العملية

مجدية وممكنة من الناحية التكنولوجية. كما أن الباحثين في يومنا هذا يطورون طرقًا لزراعة نباتات تنتج المادة الخام للمنتجات البلاستيكية عن طريق تقنيات التكنولوجيا الحيوية.

كافة الاحتمالات ترجح أن المجتمع سيواصل طلب مجموعة واسعة من المنتجات الكيميائية التي تتسم بالكفاءة البالغة في الأداء. فعلينا أن نضع نظامًا يمد المجتمع بمواد يمكنها تلبية هذه المتطلبات، مواد تصلح لإعادة التدوير، مواد تتمتع بكفاءة احتراق مثالية عندما تبلغ نهاية دورة حياتها وتُستخدم وقودًا دون أن تفرض أي تهديد بإطلاق مواد سامة مثل الديوكسينات، أو تمثل وسيط اضطرابات طوال دورة حياتها.

وتلخيصًا لما سبق نقول: كل مادة من المواد الأساسية من معادن وخزف وورق وبلاستيك ستكون لها في ظل رؤيتنا للعالم عام 2050 دورة حياة لها مواصفاتها الخاصة.

لكن بالمقارنة بالوقت الراهن، كل دورة حياة شهدناها هنا تسهم في تخفيض العوامل التي تتداخل مع دورات محيطنا الحيوي ـ مقدار انبعاثات ثاني أكسيد الكربون، ومقدار النفايات التي تلقى في المكبات، ومقدار الموارد الجوفية التي يستخرجها ـ وعليه فإن كلًا منها بمقدورها أن تشكل جزءًا من مرحلة متوسطة ملائمة لتحقيق الهدف النهائي وهو مجتمع إعادة تدوير مثالي.

(3) تطوير الطاقة المتجددة

الهدف مضاعفة الكم الحالي

كما هو موضح في الشكل رقم 7ـ2 فإننا سنتمكن في رؤيتنا للعالم عام 2050 من تقليل استخدام الوقود الأحفوري بأنواعه لثلاثة أرباع الإجمالي الذي يُستخدم اليوم. وهذا الخفض ضروري للغاية كي نتحكم في الاحتباس الحراري الناتج عن انبعاثات ثاني أكسيد الكربون. ولتحقيق هذا الخفض مع توفير ذات مقدار الطاقة التي تتوافر اليوم سنقدم إمدادًا من مكافئ الطاقة لربع معدل

الاستهلاك الحالي من الوقود الأحفوري عن طريق تطوير الطاقة المتجددة. ولأن موارد الطاقة المتجددة التي نقدمها لا تَنتج عنها أي انبعاثات كربونية، وعليه فإن انبعاثات ثاني أكسيد الكربون ستنخفض بذات قدر الطاقة المتجددة التي سيُستعان بها أي بنسبة 25٪.

الطاقة الكهرومائية توفر بالفعل 5٪ من الطلب العالمي على الطاقة. كفاءة التحويل إلى الكهرباء من الطاقة الكهرومائية مرتفعة، لذا ما دمنا اهتممنا بعدم التسبب في مشكلات بيئية أخرى مثل غمر مساحات واسعة من الأراضي ستظل الطاقة الكهرومائية مثالية من حيث كونها مصدرًا للطاقة. لذا في رؤيتنا للعالم عام 2050 سنبتكر مصادر طاقة كهرومائية جديدة بمعدل يشابه المعدل الحالي. كما أننا سنبتكر تطبيقات تعتمد على الطاقة الكهربية التي ستولدها هذه الطاقة الكهرومائية مثل مصانع لإنتاج الألومنيوم القريبة من محطات الطاقة الكهرومائية، كما سنوزع محطات الطاقة الكهرومائية كي تفي بالزيادة في الطلب على الطاقة الكهربية في الدول النامية. تطور الطاقة الكهرومائية في آيسلندا كمصدر طاقة لإنتاج الألومنيوم قد يصلح نموذجًا جيدًا لذلك.

هناك قضية أخرى مهمة تتعلق بتدوير المواد، هي مشكلة ما ينبغي عمله مع الكتلة الحيوية التي تهدَر حاليًا. والورق المستعمل من تلك النماذج التي اطلعنا عليها بالفعل، غير أن أنواعًا أخرى من الكتلة الحيوية تهدَر وبكميات ضخمة. وفي الحقول بعد انتهاء حصاد الخريف نمر أحيانًا بمشهد حرق القش هذا بالأساس أشبه «بحرق آبار النفط». وتشير التقديرات إلى أن ما يعادل مليارى طن من المكافئ الكربوني من فضلات الكتلة الحيوية تتولد من الزراعة والحراجة حول العالم. حتى لو تمكنا من حُسْنِ استغلال نصف طاقة الكتلة الحيوية فيمكننا في المستقبل استبدال ما يعادل مليار طن من الوقود الأحفوري بها.

إذا وضعنا نظامًا للجمع والاستخدام الكفء والفعال لفضلات المدن ـ وهو أمر نحن بحاجة إليه بالفعل على أي حال أو لمخلفات الزراعة والحراجة التي رأينا أنها قد تمثل مـوردًا مهمًا ـ فمثل هذا النظام يمكن أن يدخل حيز

الاستخدام على الفور. يمكننا أيضًا أن نقيم مزارع طاقة حيوية على الأراضي المتاحة مثل الحقول المهملة وتطوير تسعمائة مليون طن من إنتاج الكتلة الحيوية أو ما يعادل 15٪ من استهلاك الوقود الأحفوري الذي سُجِّل في عام 1995م. بالطبع يجب علينا أن نتوخى الحذر كي لا نقلل طاقة العالم الإنتاجية من المحاصيل الغذائية، وأن تكون لدينا رؤية مشتركة مثل رؤيتنا للعالم عام 2050 من شأنها أن تساعدنا في تحقيق ذلك عن طريق إيضاح بدائل كل اختيار متاح لجميع الأطراف المعنية.

ينبغي أن تكون هناك إمكانية لتطوير طاقة شمسية كافية لإنتاج كهرباء تعادل 200 مليون طن من الوقود الأحفوري أو ما يعادل 3٪ من استهلاك الوقود الأحفوري.

يمكننا أيضًا أن نواصل تطوير طاقة الرياح وطاقة حرارة باطن الأرض والحرص على عدم إحداث مشكلات بيئية. في رؤيتنا للعالم عام 2050 سنتحرك للدفع بتطوير كافة أنواع الطاقة المتجددة، وذلك عن طريق رسم مخطط لتحسين تكنولوجيا الطاقة عن طريق البحث العلمي وعن طريق تكوين بنية تحتية تصنيعية لتمكين هذه التكنولوجيا من الانتشار في المجتمع كله.

خلاصة ما سبق أننا سنستهدف تحقيق التطور الجديد في طاقة كهرومائية تعادل 5٪ من معدل استهلاك الوقود الأحفوري الراهن وكتلة حيوية مثل مخلفات الزراعة والحراجة ونفايات المدن بما يعادل 15٪ وخلايا طاقة شمسية بما يعادل 3٪ إضافة إلى ما يعادل 2٪ من معدل استهلاك الوقود الأحفوري حاليًا من مصادر طاقة متجددة أخرى مثل طاقة الرياح وطاقة حرارة باطن الأرض. هذا كله يوفر لنا 25٪ من إجمالي استهلاك الوقود الأحفوري عام 1995م أو 1.5 مليار طن من الوقود الأحفوري سيُستبدل بمصادر طاقة متجددة في رؤيتنا للعالم عام 2050.

إن هامش توليد الطاقة من الخلايا الشمسية في رؤيتنا للعالم عام 2050 لا يزيد على 3٪ وهو هامش إسهام منخفض للغاية مقارنة بالكتلة الحيوية وحتى

الطاقة الكهرومائية. لماذا لا نستهدف تحقيق المزيد؟ السبب هو أنه حتى إذا ما تحققت التكنولوجيا فإننا على الأرجح لن نتمكن من تطوير إجمالي الطاقة الناتجة عن الخلايا الشمسية في 2050م بالقدر الذي يتجاوز 3٪ من إجمالي الطلب العالمي على الطاقة بكثير. كقاعدة عامة الأمر يستغرق وقتًا طويلًا للانتقال من مرحلة تطوير تكنولوجيا طاقة إلى نشر تلك التكنولوجيا للسوق.

تكنولوجيا الخلايا الشمسية تحديدًا من شأنها أنها تتطلب استثمارًا أوليًّا ضخمًا، وتكاد تكاليف تشغيلها تكون معدومة. بعد تصنيع الخلايا وتركيبها ليس هناك من تكاليف أخرى إضافية، والخلية ستسدد التكاليف بذاتها في نهاية المطاف. ولكن التكاليف الأولية لتصنيع وتركيب الخلايا لا تزال ضخمة.

في المقابل رغم أن تكلفة الاستثمار في أنظمة طاقة الكتلة الحيوية متدنية فإن تكاليف أخرى تطرأ عند جمع تلك الكتلة الحيوية وتحويلها إلى طاقة سهلة الاستخدام مثل الكهرباء. علاوة على ذلك رغم أن من المتوقع أن تبلغ كفاءة الخلايا الشمسية التي تنتج على نطاق تجاري نحو أربعين في المائة، فقد رأينا في الفصل السادس أن حدود طاقة الكتلة الحيوية لا تتجاوز 5٪. لذا رغم أن طاقة الكتلة الحيوية يمكن استخدامها على الفور بسبب تدني كلفة الاستثمار، فإن احتمالات أن تؤدي دورًا كبيرًا في المستقبل محدودة للغاية مقارنة بالخلايا الشمسية.

وهذا يمثل أحد الطرق المهمة للتمييز بين الأنواع المختلفة لتكنولوجيا الطاقة المتجددة.

يمكننا البدء في تأسيس بنية تحتية للطاقة الشمسية بتثبيت الخلايا الشمسية على أسطح مباني المدن ومنها نتوسع في تطوير الطاقة الشمسية إلى تطبيقات أخرى. عن طريق الدورة التي تدفع فيها زيادة الطلب التقدم التكنولوجي ومن ثم ستتحسن التكنولوجيا، وبالتدريج سترسخ لدينا البنية التحتية للخلية الشمسية وتصنيعها بدرجة تمهد الطريق أمام إسهام أكبر بكثير للطاقة الشمسية في النصف الثاني من القرن الحادي والعشرين. بشكل عام نحن في رؤيتنا للعالم عام 2050 بحاجة إلى

التخطيط لنوع مصنَّعات البشر التي ينبغي أن نرسخها في البنية الاجتماعية التحتية. ولأن تكنولوجيا خلايا الطاقة الشمسية تتسم بتكلفة أولية مرتفعة تكاد تكون منعدمة بعد التشغيل مع توقع عدم إسهامها إسهامًا كبيرًا في رؤيتنا للعالم عام 2050 يتعين علينا العمل على تمهيد الساحة لإسهام أكبر يأتي في مرحلة لاحقة.

نحو مجتمع يبرع في إعادة التدوير:

رأينا في الأجـزاء السابقة كيف يمكن التحرك باتجاه تأسيس مجتمع مستدام قادر على إعادة التدوير بشكل مثالي اعتبارًا من النصف الثاني من القرن الحادي والعشرين باستخدام رؤيتنا للعالم عام 2050 كخارطة طريق. علاوة على ذلك وبدلًا من مجرد الوصول إلى مرحلة الاستدامة سيكون مجتمعًا يسمح لنا بالتوسع في أنماط حياتنا أكثر. والاستهلاك العالمي من الطاقة سيكون بذات القدر الذي نستهلكه اليوم تقريبًا عندما نحقق هذا الهدف متوسط المدى لرؤيتنا للعالم عام 2050 وهذا يعادل فقط واحدًا على عشرة آلاف من إجمالي طاقة الشمس التي تشع على كوكب الأرض. إن كلًا من طاقة الكتلة الحيوية والطاقة الشمسية لهما القدرة على الوفاء باحتياجاتنا من الطاقة اليوم؛ لذا هناك متسع لزيادة استخدامنا للطاقة عن طريق تطوير هذه الموارد. وما نحتاج إلى فعله في رؤيتنا للعالم عام 2050 هو التحرك نحو التخلي عن الوقود الأحفوري بأنواعه وتسريع وتيرة تقديم تكنولوجيا الطاقة والمتجددة وإعادة التدوير.

عبر تكنولوجيا حَسَنة التخطيط لتحويل الأرض إلى كوكب مستدام سنتمكن في النهاية من توفير قدر أكبر بكثير من الطاقة ليغطي الاستهلاك الآدمي مقارنة بما نوفره الآن. على سبيل المثال باستغلال نسبة اثنين على عشرة آلاف من طاقة الشمس سنتمكن من استخدام ضِعف قدر الطاقة الذي نستخدمه الآن. السيارات الكهربية التي تعمل دون أي عوادم على الإطلاق والمنازل المجهزة بأنظمة تدفئة وتبريد مريحة المحيطات الصحية والجميلة والغابات المتاخمة للمدن الكبيرة، كلها ستحافظ على استخدام مصادر طاقة متجددة، كل هذا يجعل من رؤيتنا أكثر من مجرد حلم.

الفصل الثامن

مدى نجاح التعاون بين المجتمع والتكنولوجيا

قدمنا في الفصل السابق رؤيتنا للعالم عام 2050، باعتبارها خارطة طريق لاستدامة الأرض. وفي الفصول التي سبقته حاولنا إيضاح أن هذه الرؤية يمكن تحويلها إلى واقع شريطة أن يتعاون العلماء وقادة الصناعة وصانعو السياسات حول العالم لابتكار تقنيات استدامة ووضعها موضع التنفيذ ونشرها.

ولكن هذه الرؤية تتطلب أيضًا دعم الجماهير ومشاركتها. على سبيل المثال، سيكون من المستحيل أن نصنع منتجات جديدة من النفايات بدون تعاون المواطنين في إعادة التدوير، ودون إيجاد بنية تحتية لفصل القمامة وجمعها. وفي هذا الفصل سنناقش المشكلات التي تنجم لحظة الاتصال بين التكنولوجيا والمجتمع وكيفية معالجة تلك المشكلات.

1 – تكوين بنية تحتية شاملة لإعادة تدوير المواد في المجتمع

أهمية الفصل عند جمع القمامة:

طريقة جمع قمامة المنازل تحدِّد هل ستكون موردًا أم عبئًا على البيئة. رأينا أن الورق المستعمل يمكن أن يَصْلُح أن يكون مادة خامًّا لإنتاج الورق مجددًّا، والبلاستيك المستخدم يصلح هو الآخر أن يكون مادة خامًّا لإنتاج البلاستيك. لكن رغم أن مزيجًا من البلاستيك والـورق قد يصلح مصدرًا مفيدًا للطاقة

فإن ذات المزيج لا يمكن استخدامه مادةً خامًّا. علاوة على ذلك إذا اختلطت فضلات الطعام مع الورق والبلاستيك، فإن ذلك المزيج لا يمكن استخدامه مصدرًا للطاقة. فإذا حاولنا مثلًا حرق مزيج من نفايات الورق والبلاستيك والطعام لتوليد الكهرباء، فإن الحرارة ستفقد مع الماء المتبخر في بقايا الطعام. ومن ثم لن تتجاوز كفاءة توليد الطاقة عشرة في المائة، وهذه النسبة من الكهرباء ستُستخدم في تشغيل محطة التوليد ذاتها.

كثير من نظم إعادة التدوير المستخدمة اليوم ليست مصممة لإنتاج مواد عالية الجودة. وإنتاج مواد عالية الجودة من إعادة التدوير أمر يتطلب نظامًا متكاملًا يشمل الفصل خلال جمع القمامة، بل وربما إعادة تصميم المنتج كي يكون فصل المواد خلال إعادة التدوير أسهل. وإذا مزجنا ألوان رسام معًا فإن كل الألوان البراقة ستتحول إلى اللون الرمادي. وبالمثل إذا لم نفصل ألوان الزجاج المختلفة التي نستخدمها في حياتنا اليومية عند إعادة التدوير فإن لون المنتجات المعاد تدويرها سيكون أقرب إلى درجة داكنة من الرمادي. وإذا أردنا الحفاظ على تنوع ألوان الزجاج في المنتجات المعاد تدويرها يتعين علينا أن نبتكر نظام جمع قمامة وتقنية إعادة تدوير ملائمين. غير أن الاختيار بين الاهتمام بمشكلة نظام الفصل المعقد أو الاكتفاء بلون واحد للزجاج، هو خيار يتعين على كل مجتمع تبنبيه.

عندما كنت في سويسرا لاحظت أنهم وضعوا حاويات معدنية عملاقة في مواقع متعددة لإعادة التدوير. فالسويسريون يفصلون مهملاتهم الزجاجية والورقية والبلاستيكية ويضعونها في تلك الحاويات. يُفصَل الزجاج في ثلاث حاويات مختلفة تبعًا للونه: الشفاف والأخضر والبني بعد جمع الزجاج يُسحَق ثم تزال الشوائب مثل القطع المعدنية. ثم يذاب الزجاج المطحون ثم يعاد تشكيله ليخرج في صورة منتجات جديدة. ولا حاجة إلى تقسيم الزجاج حسب شكل العبوة أو حجمها، لكن كي تخرج منتجات معادة تدويرها بألوان معينة يجب جمع كل لون من الزجاج وحده.

طريقة أخرى لإعادة تدوير الزجاج تتمثل في إعادة استخدامه كما هو. وهذا ما يحدث مع زجاجات الجعة في اليابان وهي حالة تُستخدم غالبًا نموذجًا لإعادة التدوير. صحيح أنها تتطلب جهدًا إضافيًّا لكن هذا الشكل من أشكال إعادة التدوير يستهلك طاقة أقل مع الحفاظ على لون المنتج الأصلي وجودته.

هناك الكثير من الطرق لإعادة التدوير. وللإبقاء على أسلوب حياتنا الحالي كما هو، يجب على كل مجتمع أن ينشئ نظام إعادة تدوير يجمع بين أساليب إعادة تدوير مختلفة، بحيث يخدم احتياجات ذلك المجتمع على الوجه الأفضل. على سبيل المثال نظام إعادة تدوير للمنتجات الزجاجية قد يعيد استخدام زجاجات الجعة ومنتجات زجاجية معيارية أخرى كما هي، ويفصل باقي منتجات الزجاج إلى عدة ألوان مختلفة تُصهَر ثم تحوَّل إلى منتجات زجاجية جديدة، واستخدام الموارد الطبيعية في تصنيع المنتجات التي تتطلب أفضل جودة ممكنة فحسب مثل أواني الزهور والتحف والزخارف التي تصنع من البللور.

حد أدنى من انبعاثات النفايات:

تصور الزجاج الذي وصفناه آنفًا ـ حيث تَخْرُج كل المنتجات الزجاجية المعاد تدويرها بلون رمادي داكن إذا لم تُفصَل فضلات الزجاج تبعًا للونها ـ ينطبق على مواد أخرى مثل المعادن والبلاستيك. لقد رأينا كيف أنه نتيجة «تشبع مصنَّعات البشر» سيكون هناك في النهاية ما يكفي من الخردة لصنع كل المنتجات المعدنية التي يحتاجها المجتمع. ومن ثم فإن مجتمعًا يتبنى ثقافة إعادة التدوير سيظل يعيد تدوير المعادن دون توقف. لكن إذا لم نجد حلًا للشوائب والمواد المضافة للمعادن فستتراكم مع كل عملية إعادة تدوير، لدرجة أنه لن تبقى سوى معادن معاد تدويرها وجودتها متدنية.

في منتجات البلاستيك اليوم نحصل على مواصفات الجمال والقوة والإحكام بمزج أنواع مختلفة من المُرَكَّبات الكيميائية أو وضع عدة طبقات من مواد بلاستيكية مختلفة. لكن إذا ما أعيد تدوير كل أنواع البلاستيك مع بعضها

بعضًا دون الفصل بينها وفق مُرَكَّباتها الكيميائية المختلفة، فلا يمكننا حينها توقع إخراج منتج معاد تدويره يتمتع بذات جودة المنتج الأصلي. في أفضل الأحوال سنتمكن من استخدام البلاستيك المعاد تدويره في إنتاج أشياء مثل أصص الزرع ومقاعد المتنزهات ومواد حشو مقاعد السيارات.

وفي ظل المجتمعات التي تتبنى ثقافة إعادة التدوير، كي نَحُول دون تراجع جودة المواد من التدني يجب علينا ـ إضافة إلى فصل مواد القمامة خلال مرحلة الجمع ـ أن نفعل كل ما بوسعنا لمنع امتزاج المواد المختلفة من البداية. وكما سنكتشف في الجزء اللاحق من هذا الفصل، يمكننا منع امتزاج المواد ووضع معايير للمنتجات وتطوير مواد جديدة ذات أداء فائق دون أن تمتزج مع مواد أخرى. رغم ذلك ـ وبغض النظر عن كم الجهد المبذول في تصميم مواد جديدة لتجنب مسألة الامتزاج، وبغض النظر عن حجم الاستثمار الذي نضخه في نظام فصل جيد لإعادة التدوير ـ سيبقى قدر ما من الشوائب يدخل في المنتج المعاد تدويره. لذا يتعين علينا أيضًا أن نبتكر ألوانًا من التكنولوجيا تزيد من نقاء المواد المعاد؛ تدويرها حتى تصل إلى مستوى المنتجات التي نحصل عليها حاليًا من الموارد الطبيعية بإزالة الشوائب وبمقدار ضئيل من الطاقة.

أخيرًا، رغم أننا ينبغي أن نكون قادرين على جمع معظم مواد النفايات بمستوى نقاء يُمَكِّننا من إعادة تدويرها، ستظل هناك لا محالة بعض النفايات التي لا يمكن إعادة تدويرها مثل المعادن شديدة الصدأ أو الخرسانة المتحللة. وعلى الأرجح سنواصل السعي للحصول على بعض المواد من الموارد الطبيعية، خاصة للمنتجات التي تتطلب أعلى درجة نقاء مثل البللور أو زجاج الرصاص. لكن ما دام الحد الأدنى من مواد النفايات، لم يصل لدرجة أقل من أن يعاد تصنيعها، وظلّ كم الموارد الطبيعية اللازمة لإخراج منتجات تتمتع بأعلى درجات الجودة لا يتجاوز عمليات إعادة تجديد الأرض طويلة الأمد، فمن الممكن الحفاظ على بقاء واستدامة المجتمع الذي بلغ مستوى التشبع من مصنَّعات البشر مع الحفاظ على جودة المنتجات المستخدمة في المجتمع ككل.

تصميم المنتج وتوحيد معاييره:

كي ينجح مجتمع إعادة التدوير سنحتاج على الأرجح إلى وضع قواعد لتصميم الكثير من المنتجات. على سبيل المثال نسبة كبيرة من زجاجات الشرب ـ التي تصنع من بلاستيك «البولي إيثيلين تريفثاليت» أو المعروف اختصارًا بـ PET ـ يعاد تدويرها حاليًا.

لكن لأن أغطية هذه الزجاجات تُصنع غالبًا من نوع مختلف من البلاستيك أو حتى من المعدن فإن نسبة شوائب كبيرة تبقى في البلاستيك المعاد تدويره. ويمكننا أن نشترط أن تصنع أغطية الزجاجات المصنوعة من مادة PET من ذات المادة. بالمثل الحديد والألومنيوم يمكن إعادة تدويرهما بكفاءة إذا ما فُصل أحدهما عن الآخر، أما إذا اختلطا فإن إعادة التدوير تصبح أكثر صعوبة.

لذا قد يكون من الملائم حظر استخدام أخلاط الحديد والألومنيوم في منتج واحد.

وابتكار تكنولوجيا جديدة للمواد قد يجعل فصل المواد أسهل. على سبيل المثال، يمكننا أن نستثمر في ابتكار مركَّب كيميائي واحد يتمتع تقريبًا بذات مواصفات قوة الأداء التي يتمتع بها البلاستيك اليوم والمصنوع من عدة مُرَكَّبات كيميائية، ما يجعله مزيجًا يصعب إعادة تدويره.

ومن الأمثلة الواعدة ابتكار مواد جديدة تعالج سطح المعادن مثل الحديد والألومنيوم تتبخر عند انصهار المعدن. مثلًا الزنك الذي يُستخدم لمعالجة سطح الحديد يتبخر عند صهر الحديد لإعادة استخدامه؛ لذا نجد نسب شوائب الزنك المتراكمة ضئيلة للغاية. والزنك يمكن فصله بسهولة عن الحديد بمجرد أن يتبخر؛ لذا يمكن إعادة تدويره هو الآخر. وفي المقابل نجد أن القصدير الذي يُستخدم أيضًا في ذات عملية معالجة السطح لا يتبخر عند درجة حرارة انصهار الحديد. لذا فمن الضروري التوصل إلى طريقة أخرى لإزالة شوائب القصدير عن الحديد المعاد تدويره. نعم! ابتكار هذه التقنيات صعب، ولكنه ليس مستحيلًا.

توحيد معايير هذه المواصفات للمنتجات والمواد سييسر إعادة التدوير.

وفي صناعة السيارات نجد أن مواصفات ما يُضاف إلى الصلب عند تصنيع هيكل السيارة أو مكونات الزجاج الأمامي تختلف من مصنع لآخر. وبالرغم من قدرة عمليات التصنيع الراهنة على إيجاد مواد من مواردَ طبيعيةٍ تفي بكل تلك المواصفات المختلفة، فإن إعادة تدوير مواد من الخردة الناتجة ستستهلك قدرًا زائدًا من الطاقة، لكن بتوحيد معايير هذه المواصفات سنزيد من كفاءة إعادة التدوير زيادة عظيمة.

اختيار النطاق المثالي:

من المبادئ الأساسية التي يجب أن تقوم عليها بنيتنا التحتية لإعادة تدوير المواد «أثر نطاق» التصنيع. وكما أوضحنا في الفصل الخامس، إعادة التدوير بوجه عام تستهلك قدرًا أقل من الطاقة مقارنة بإنتاج البضائع من موارد طبيعية. لكن إذا كنا سنجمع الزجاج ثم نسحقه ثم نصهره ثم نشكِّل به منتجات جديدة في كل حي أو بلدة، فإن تطبيق هذا على نطاق صغير يعني استهلاكًا للطاقة يفتقر إلى الكفاءة. هناك الكثير من المواقف المشابهة، حيث تقل الكفاءة إذا كان النطاق محدودًا.

فإذا كان الزجاج سيُصهر في أفران صغيرة فإن كميات ضخمة من الوقود الزائد ستُستهلك مع فقدان الحرارة عن طريق جدران الفرن. وفي الأفران الضخمة نجد أن الحرارة لا تتسرب بذات السهولة، لذا لا نحتاج إلا إلى مقدار وقود كافٍ لتوفير حرارة الصهر.

والعامل الحاسم هنا هو مساحة سطح الفرن مقسومة على الحجم، وهو ما يطلق عليه «مساحة السطح المحددة». يزداد حجم أي شكل منتظم مثل الكرة بمعدل أسرع من مساحة سطحه الخارجي. لذا مساحة السطح المحددة أقل بالنسبة إلى فرن ضخم مقارنة بفرن صغير، ومساحة سطح محدودة صغيرة تعني فقدانًا أقل للحرارة من خلال جدران الفرن. أيضًا تكلفة معدات مثل الأفران والمفاعلات مقابل سعة كل وحدة إنتاج تتناسب طرديًّا بوجه عام مع مساحة السطح المحددة. ومرجع ذلك أنه في حين يتناسب مقدار المواد المستخدمة

لبناء الفرن طرديًّا مع مساحة سطحه، فإن سعة الفرن تتناسب طرديًّا مع حجمه. لذا الفرن الضخم بسعته الكبرى من حيث عدد وحدات المواد المستخدمة في البناء ليس فقط أكثر كفاءة في التشغيل، بل أيضًا أكثر وفرًا في الإنشاء.

الصناعات التحويلية ـ مثل مصانع الزجاج والحديد والصلب ومصانع البتروكيماويات ـ واصلت زيادة حجم مصانعها لاستغلال آثار النطاق تلك بالنسبة إلى كفاءة تكاليف الطاقة والمعدات. وذات آثار النطاق تنطبق على إنتاج المواد عن طريق إعادة التدوير. وكقاعدة عامة فإن أحجام مصانع اليوم التي تصنع مادة ما ربما تكون هدفًا مناسبًا لمصانع تعمل في مجال إعادة تدوير ذات المادة. على سبيل المثال ـ وبغض النظر عن أصل الزجاج، سواء اعتمد على موارد طبيعية أو من زجاج معاد تدويره ـ مقدار الطاقة المستهلكة خلال الصهر والتشكيل سيقل إذا زاد النطاق.

لكن هناك بعض المواقف التي لا يكون فيها النطاق الأكبر أفضل. كيفية التعامل مع فضلات الطعام مشكلة كبرى يتعين علينا أن نعالجها كي نحقق عملية التدوير الشاملة للمواد واللازمة لمجتمع مستدام. فضلات الطعام قد تعوق إعادة التدوير، إذ إنها قد تمثل مصدرًا لتلوث المادة المطلوب إعادة تدويرها؛ وذلك لأنها تتسبب في تكون مواد كيميائية سامة ذات قاعدة من الكلور عن طريق حرق الكلور في الملح وعن طريق تقليل كفاءة توليد الكهرباء جراء المحتوى المائي الزائد. فضلات الطعام تحتوي على محتوى مائي كبير؛ لذا يمكننا جمع هذه الفضلات ومعالجتها بكفاءة أكبر إذا ما تمكنا من إزالة المحتوى المائي. والأسهل والأكثر كفاءة هنا هو إزالة الماء من فضلات الطعام على نطاق محدود، إذ إنه عند تقسيم الفضلات إلى كميات صغيرة تكون مساحة سطحها المحددة أكبر.

في المنزل يمكن إزالة الماء من فضلات الطعام بسهولة بتجفيفه في صندوق سماد يسخن بالطاقة الشمسية أو تدويره داخل مجفف أو استخدام أي طريقة أخرى محدودة. بإزالة الماء من فضلات الطعام في مكان ظهور تلك

الفضلات سنوفر الطاقة بنقل فضلات طعام جافة لإعادة تدويرها، لأنها أخف وأسهل في التعامل.

والمضخات الحرارية نموذج آخر للحصول على كفاءة أفضل على نطاق محدود. كفاءة المضخات الحرارية مثل أجهزة التكييف المنزلية ليست بالضرورة أقل كفاءة من تلك المستخدمة في المنشآت الضخمة. لقد رأينا أن من العوامل الأساسية التي تحدد كفاءة أي مضخة حرارية كفاءة نقل الحرارة بين وحدات التدفئة والتبريد والهواء. واستخدام الكثير من وحدات المضخات الحرارية الداخلية والخارجية مثل أجهزة التكييف المنزلية قد يؤدي إلى مساحة نقل أكبر للحرارة. لذا قد يكون استخدام وحدة تكييف فردية في كل غرفة من غرف منزلك على الأقل بذات درجة كفاءة الاعتماد على وحدة تكييف مركزية، خاصة إذا ما أخذنا في الاعتبار أن الوحدة المركزية ستوزع الحرارة أو البرودة في كافة أرجاء المنزل بما في ذلك الغرف غير المستخدمة.

ما يجب أن نتذكره دومًا هو أن العمليات التي تتطلب مساحة مثل التجفيف والتبريد يمكن تنفيذها على نطاق محدود، لكن العمليات التي تتطلب حجمًا مثل الصهر والتفاعلات الكيميائية ينبغي أن تنفذ على نطاق واسع. بمعنى آخر عندما نريد تقليل فاقد الحرارة في عملية ما ينبغي لنا أن نجري تلك العملية على نطاق واسع، لكن إذا أردنا أن نزيد كفاءة نقل الحرارة فقد يكون من المفيد إجراء تلك العملية على نطاق محدود. علينا أن نتبنى هذا النهج مبدأ أساسيًّا عند صياغة خطة شاملة لتدوير المواد.

نظام شبكي لجمع الكتلة الحيوية:

إن إنشاء البنى التحتية في مجتمع لتسهيل تدوير المواد أمر له أهميته في مجالات أخرى بخلاف إعادة التدوير. على سبيل المثال نحن بحاجة إلى نظام جمع كي نستخدم مخلفات الزراعة والحراجة ككتلة حيوية لإنتاج الطاقة. وكي نتمكن من حرق الكتلة الحيوية بكفاءة لتوليد كهرباء سنحتاج إلى نظام تجفيف.

ولأن التجفيف يتطلب مساحة سطح فلن يكون مجديًا أن تجفف مخلفات

الكتلة الحيوية على نطاق واسع بعد تجميع كميات ضخمة من المخلفات في موقع واحد. فالأفضل أن نستخدم طاقة الشمس لتجفيف المخلفات، حيث تنتج ـ في حقل أو ورشة تقطيع أخشاب. بعدها يمكننا جمع المخلفات على مراحل تبدأ بنقطة تجميع يَنقل إليها منتجو الكتلة الحيوية المخلفات عن طريق مسافة مساوية تقريبًا للمسافة التي ينقلون المحاصيل بعد حصادها. ومن نقاط التجميع الأولية هذه يمكن جمع الكتلة الحيوية المجففة ونقلها إلى نقاط تجميع وسيطة وهكذا. ونقل القش المهلهل وقشر الغلال يهدر الطاقة بسبب حجم المادة الضخم.

ويمكن توفير الطاقة بكبس المخلفات ثم تحويلها إلى كتل تَشْغَل مساحة محدودة وأسهل في النقل والتعامل. والموقع المثالي لتثبيت معدات الكبس هو نقاط التجميع الوسيطة. أخيرًا علينا إقامة محطة توليد طاقة عند المرحلة الأخيرة؛ لأن توليد الكهرباء بحرق الكتلة الحيوية عملية تستفيد من التشغيل واسع النطاق.

الكتلة الحيوية المضغوطة في شكل كتل يطلق عليها «وقود مستخلص من النفايات» وتتمتع بقيمة وقود قريبة من الفحم. علاوة على ذلك، فإن محتوى الملوثات مثل الكبريت أدنى بطبيعة الحال في وقود الكتلة الحيوية بأنواعه مقارنة بالوقود الأحفوري. وبالنظر إلى مستويات التكنولوجيا الحالية يمكن القول إننا نستطيع جمع كتلة حيوية بمتوسط كاف. والمفترض أن تحويلها إلى أشكال طاقة ملائمة مثل الكهرباء أو وقود السيارات لن يكون عسيرًا.

لكن من المهم للغاية هنا أن يقام النظام برضا المزارعين وأطراف معنية أخرى فيما يتعلق بعوامل وسائل النقل وإقامة وتجهيز نقاط التجميع وكذلك توزيع التكاليف. والتعاون هو الحد الفاصل بين حصاد مقدار ضخم من الطاقة الطبيعية وإيجاد حقل نفط آخر يحترق هباء.

الإنتاج في القرن العشرين كان عبارة عن تدفق أحادي الاتجاه من الموارد الطبيعية لمصنَّعات البشر التي تُطرح في الأسواق. وبسبب هذا التدفق أحادي الاتجاه كانت التقنيات تُبتكر ابتكارًا مستقلًا في كل محطة. لكن إذا كنا نفكر

في التحول لإنتاج البضائع من منتجات معاد تدويرها، فذلك يوجب مشاركة التكنولوجيا عن طريق نظام مجتمعي ضخم، نظام يشمل توحيد معايير مصنَّعات البشر وتصميم نظم لجمع النفايات وابتكار أساليب لإعادة التدوير. ولأن أي مجتمع يعيد تدوير المواد بكفاءة يعتمد على التعاون من الضروري وجود علاقة حسنة بين المجتمع والتكنولوجيا.

2 – دفع السوق للعمل لمصلحة الاستدامة

هل بوسعنا ترك الأمور لليد الخفية للسوق الحرة؟

بعد انتهاء الحرب الباردة بين العالم الرأسمالي والعالم الشيوعي، ترك انكشاف أمر الاقتصادات المخططة في أعقاب انهيار الاتحاد السوفييتي ترك انطباعًا بأن مبادئ السوق أو «اليد الخفية» كانت تسود كافة النظم الاقتصادية الأخرى. في اليابان كان الناس ينادون بإلغاء سيطرة الدولة. غالبًا ما يبدو أن كل مشكلاتنا ستحل إذا ما ألغينا كافة القوانين التنظيمية.

لكن إذا كنا في وضع يوجِب على سكان العالم بأسره الاستجابة برؤية طويلة المدى لمشكلات البيئة والطاقة التي تهدد بتقويض دعائم الحضارة، فهل بوسعنا ترك القرارات «ليد السوق الخفية» وحدها؟ على الأرجح لا. ما دامت المؤسسات تتصرف بمنظور قصير المدى فإن مبادئ السوق الحرة لن تحقق مستوى التعاون اللازم لتحقيق استدامة واسعة النطاق وطويلة المدى.

من المشكلات أن كثيرًا من التداعيات السلبية لأعمال الإنسان مثل انبعاثات ثاني أكسيد الكربون الناتجة عن النقل لا تقدر تكلفتها المالية كما ينبغي كي تعمل آليات السوق. أخيراً أثيرت مخاوف كثيرة إزاء التكاليف البيئية لشراء بضائع تُنتَج في دول بعيدة. هناك الكثير من الأمثلة المشابهة، حيث تظهر الأعباء الزائدة على كوكبنا نتيجة للتفاوت بين الأسعار والتكاليف البيئية.

إذا نظرنا إلى التدوير العالمي للحديد فستتضح المشكلة. ففي اليابان وفي بداية الازدهار الاقتصادي في القرن العشرين كان حديد الخردة يُستورَد.

لكن كنتيجة للنمو الاقتصادي السريع تراكمت مصنَّعات البشر المصنوعة من الحديد وتزايد كم الخردة المتراكمة داخليًّا، وفي عام 1992م تجاوز حجم صادرات حديد الخردة حجم الواردات. وحاليًا تصدِّر اليابان 7.6 مليون طن لكنها لا تزال تستورد 180 ألف طن. أما في الولايات المتحدة فالموقف أكثر تطرفًا. فمنذ خمسينيات القرن العشرين كانت الولايات المتحدة مصدرًا لخردة الحديد فحسب، لكن منذ السبعينيات بدأت الولايات المتحدة أيضًا في استيراد مقدار كبير من الحديد الخردة. في عام 2007م ورغم أن الولايات المتحدة كانت تصدِّر 14.9 مليون طن من الحديد الخردة لكنها كانت تستورد منه أيضًا 4.8 مليون طن.

إذًا ما سر ضرورة تصدير واستيراد الحديد الخردة بدلًا من تصدير الفارق فحسب؟ السبب يرتبط بطبيعة منتجات الحديد في البلدين. في الولايات المتحدة واليابان الطلب ضخم على الحديد عالي الأداء، ومن ثم فإن الحديد الخردة مرتفع الجودة مطلوب مثل القطع غير المستخدمة. من ناحية أخرى تتولد خردة الحديد من مصنَّعات البشر التي بلغت نهاية عمرها الافتراضي وغالبًا ما تكون صدئة، بل وربما تكون متصلة بقطع خرسانة وتحتوي على الكثير من الشوائب المختلفة لذا لا يسهل استخدامها في المنتجات عالية الجودة حيث يجب التحكم بدقة في التركيب والهيكل. نتيجة لذلك أصبحت الخردة متدنية الجودة، متوافرة بفائض كبير في الولايات المتحدة واليابان، لذا فهي تصدَّر. في الدول النامية لا تزال هناك حاجة إلى المواد الهيكلية التي يمكن تصنيعها من الخردة الرخيصة، ومن ثم هناك طلب حتى على الحديد الخردة متدني الجودة.

لكن كما رأينا في هذا الكتاب في نهاية المطاف ستتولد لدينا كميات أضخم بكثير من حديد الخردة متدني الجودة من منتجات بشرية في بلدان حول العالم، وسيظهر فائض من الخردة متدنية الجودة في كافة أنحاء العالم. وعلى الجانب الآخر سيزداد الطلب على الخردة عالية الجودة، حيث ستبدأ الدول النامية في تصنيع منتجات تتسم بارتفاع مستوى الأداء، ما سيؤدي إلى نقص في

الحديد الخردة عالي الجودة. في تلك المرحلة كيف ستستجيب مصانع الحديد والصلب؟ لو كنا في مكان المسؤولين التنفيذيين في تلك المصانع لكنا اخترنا دون شك مواصلة خفض كميات خام الحديد في أفران الصهر. بدلًا من التعامل مع المهمة الشاقة المتمثلة في معالجة الخردة متدنية الجودة لإنتاج منتج يتسم بمستوى أداء مرتفع سيكون استخدام حديد الصب الذي يتميز بدرجة نقاء كبيرة المصنوع من خام الحديد ـ الذي لا تزال احتياطياته كبيرة حتى الآن ـ اختيارًا اقتصاديًّا على المدى القريب. ويبرز هذا المثال أننا إذا تركنا أمر إنتاج الحديد ليد السوق الخفية دون أي شكل من أشكال القواعد المنظمة فإن عمليات تدوير الحديد لن تكتمل. كي نحقق فكرة المجتمع الذي يتبنى ثقافة إعادة التدوير يجب أن يتأثر السوق لدرجة تصبح معها إعادة التدوير مفيدة اقتصاديًا.

توجيه السوق:

رأينا في الفصل السابق أن الصناعات التحويلية حققت خفضًا هائلًا في استخدام الطاقة خلال العقود القليلة الماضية. ونتيجة لذلك صار هامش تكلفة الطاقة من التكلفة الإجمالية في الصناعات اليابانية لا يتجاوز عشرين في المائة بالنسبة إلى أكثر الصناعات استهلاكًا للطاقة ألا وهي صناعة الأسمنت. ويبلغ معدل الاستهلاك بالنسبة إلى الكيماويات 15٪، وللحديد والصلب 14٪، وللورق واللب 6٪. لذلك تراجع الدافع الاقتصادي للاستثمار في مجال الحفاظ على الطاقة تراجعًا كبيرًا.

وما دامت أسعار الوقود الأحفوري متدنية كما هي اليوم، فلن يكون مفيدًا للصناعات على الأرجح أن تستثمر في مجال الحفاظ على الطاقة.

على الجانب الآخر، لا يمكن أن نتوقع من العامة أن تصير لهم عادات تتعلق بالحفاظ على الطاقة على نطاق واسع في ظل نظام الأسعار المعمول به حاليًا. فسيارة تسير مسافة عشرة كيلو مترات بلتر وقود واحد، وقائد سيارة يقود بمتوسط عشرة آلاف كيلو متر في العام ويدفع دولارًا واحدًا مقابل كل لتر بنزين سينفق في العام ألف دولار على الوقود. فإذا قرر هذا الشخص شراء

سيارة هجينة بكفاءة استهلاك وقود أفضل بنسبة خمسين في المائة فسيوفر سنويًّا خمسمائة دولار. والسيارات الهجينة اليوم يفوق سعرها سعر السيارات التقليدية بمواصفات مماثلة بخمسة آلاف دولار؛ لذا فالأمر يستغرق عشر سنوات إضافية من وفر الوقود كي تعوض قيمة فارق السعر بين السيارتين. ولأن معظم الناس يحتفظون بسياراتهم لمدة تفوق عشر سنوات فليس من محفز اقتصادي قوي لشراء سيارة تستهلك الطاقة بكفاءة. ونتيجة لذلك نجد أن من يشتري السيارات ذات الكفاءة في استهلاك الطاقة هو بالأساس مستهلك يهتم بأمر البيئة وليس مستهلكًا يستجيب لقوى السوق.

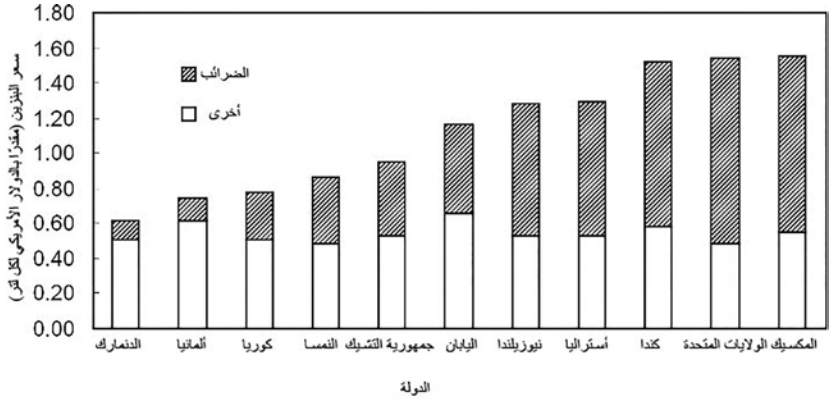
من طرق دفع السوق نحو الحفاظ على الطاقة زيادة الضرائب المفروضة على الطاقة. وكما هو موضح في الشكل رقم 8ـ1، قيمة الضريبة على البنزين المبيع في اليابان اليوم تتجاوز الخمسين سنتًا لكل لتر من البنزين. دول أخرى كثيرة تفرض نسب ضرائب مشابهة لذلك، بل وأعلى من ذلك على البنزين. وعلى النقيض نجد أن قيمة الضريبة المفروضة على البنزين في الولايات المتحدة لا تتجاوز 13 في المائة لكل لتر. وهذا المعدل الضريبي المتدني هو السبب في تلك الفوارق الضخمة بين أسعار البنزين الأمريكي والياباني/ الأوروبي الموضحة في الشكل رقم 8ـ1.

حتى ضرائب البنزين المفروضة في اليابان اليوم لا تمثل محفزًا كافيًا لشراء سيارات تتمتع بالكفاءة في استهلاك الوقود لأسباب اقتصادية لا أكثر.

لذا نبحث الآن عن طرق أكثر مباشرة لدفع السوق نحو الحفاظ على الطاقة. ومن تلك الطرق «Top Runner»، حيث تفرض الضريبة على السيارة تبعًا لمقدار الوقود الذي تستهلكه مع اتخاذ أقل السيارات استهلاكًا للطاقة معيارَ قياس. وتصلح هذه الطريقة كسياسة لتشجيع الحفاظ على الطاقة. غير أن المقترَح الياباني بتبني تلك الضريبة قوبل بمقاومة قوية في الاتحاد الأوروبي الذي يفضل مواطنوه السيارات ذات الكفاءة الأقل في استهلاك الوقود. ولم يتبنَّ الاتحاد الأوروبي نظام تلك الضريبة إلا أخيرًا وبعد سنوات عدة من المفاوضات.

حتى في الاتحاد الأوروبـي الذي أدى دورًا قياديًّا في التفاوض حول السيطرة على انبعاثات ثاني أكسيد الكربون في الجلسة الثالثة لمؤتمر الأطراف المشاركة في اتفاقية الأمم المتحدة الإطارية بشأن تغير المناخ (COP 3) عندما تبلغ المناقشات نقطة تأثير السياسات تأثيرًا مباشرًا في الصناعات المحلية، غالبًا ما تغير الحكومات مواقفها. غالبًا ما تكون المصلحة الوطنية عقبة أمام مناقشة المشكلات البيئية العالمية: الفوائد طويلة المدى للإنسانية يمكن أن تتضارب ـ وهي بالفعل تتضارب ـ مع المصالح قريبة المدى لدى كل دولة. ولكن كفاءة السيارات المتزايدة في استهلاك الطاقة باتت أمرًا حيويًّا للوفاء بأهداف اتفاقية كيوتو، وكذا لتحقيق هدف استدامة الأرض؛ لذا يجب تبني الاتفاقيات القابلة للتطبيق وإدخالها حيز التنفيذ.

بالمثل استخدام مصادر الطاقة المتجددة سيتزايد ببطء إذا ترك لقوى السوق الحرة. وكثير من خيارات الطاقة المتجددة تتطلب استثمارًا أوليًّا باهظ الثمن. على سبيل المثال، تركيب خلايا شمسية لتغطية احتياجات منزل واحد من الكهرباء يتكلف نحو عشرين ألف دولار. ففي ظل أسعار الكهرباء الحالية قد يستغرق الأمر سنوات كثيرة من مالك المنزل لاستعادة استثماره في تكاليف تركيب الخلايا الشمسية عن طريق الوفر الناتج من الكهرباء. لكننا رأينا أن الطاقة اللازمة



الشكل رقم 8–1: فارق أسعار البنزين بعد إضافة الضرائب في دول عدة
(المصدر: الوكالة الدولية للطاقة أسعار الطاقة والضرائب. الربع الأول من عام 2007 م)

لتصنيع الخلايا الشمسية وتركيبها يمكن استعادتها في غضون عامين، وعليه فإن تركيب الخلايا الشمسية لا بأس به من المنظور العام للحفاظ على الطاقة. وتجري دراسة وتطبيق أساليب مختلفة لجعل السوق يميل إلى تقديم الطاقة المتجددة. ومدينة آخن الألمانية مثال على ذلك، حيث رُفعت أسعار الكهرباء بنسبة واحد في المائة وخُصِّص العائد الإضافي لدعم تطوير الطاقة المتجددة.

مثال آخر في ألمانيا أيضًا هو قانون تغذية الشبكة الذي طُبِّق عام 1990م. وبمقتضى هذا القانون فإن على المرافق العامة ربط المنتجين الصغار للكهرباء المتولدة من مصادر الطاقة المتجددة بالشبكة العامة وشراء الكهرباء التي ينتجونها بأسعار قريبة من سعر البيع للعملاء. وكان الهدف من سَنِّ هذا القانون تمهيد سوق الطاقة أمام الوافد الجديد. وفي عام 2000م حل محله قانون مصدر الطاقة المتجددة. ويقضي القانون الجديد بعدم ربط أسعار الكهرباء التي تولدها تقنيات الطاقة المتجددة بأسعار التجزئة، بل تثبيتها لمدة عشرين عامًا. ومن ثم يتحرر منتجو الطاقة المتجددة من خطر العجز عن بيع الكهرباء. وهناك نظام إعادة توزيع دقيق يضمن توزيع العبء المالي بالتساوي على المستهلكين. ويمنح القانون كذلك منتجي الكهرباء المتجددة أولوية الدخول على الشبكة وحق الاتصال بها على الفور. والأسعار التي قدمها القانون الأول الممنوحة لتركيب خلايا شمسية ستخفض كل عام لتأخذ في الحسبان تناقص تكاليف الاستثمار في الطاقة المتجددة مع بلوغ التقنية مرحلة النضج.

أسلوب «ضريبة الكربون» الذي يفرض ضريبة تتناسب تناسبًا طرديًّا مباشرًا مع مقدار انبعاثات ثاني أكسيد الكربون، هو مثال آخر لآلية مستخدمة لتوجيه السوق نحو الاستدامة. وقد طبق هذا الأسلوب بالفعل في السويد وفنلندا وهولندا والدنمارك والنرويج وإيطاليا والمملكة المتحدة. وهو يدفع السوق باتجاه الاعتماد على مصادر طاقة ذات انبعاثات كربونية أقل وكثير منها يعتمد على تكنولوجيا الطاقة المتجددة. وتُظهِر نتائج عملية محاكاة حاسوبية أجراها المعهد الوطني للدراسات البيئية في اليابان أن اليابان. ستتمكن من الوفاء

بمتطلبات اتفاقية كيوتو إذا ما فرضت ضريبة قيمتها ثلاثون دولارًا على كل طن من الانبعاثات الكربونية.

ثمة مثال آخر على كيفية كبح جماح قوى الأسواق الحرة يتمثل في نظام الاتحاد الأوروبي لتبادل الانبعاثات الكربونية، والذي بدأ العمل به في عام 2005م. وهذا النظام هو أضخم برنامج تصاريح قابلة للتداول في العالم، حيث تشارك فيه ما يقارب 11500 منشأة في الدول الأعضاء في الاتحاد الأوروبي. وتُجرى حاليًا دراسات كثيرة على نواح مختلفة لنظام التداول هذا، ومنها دراسات تتعلق بالكفاءة والمساواة في توزيع التصاريح وتداعيات البرامج الاقتصادية العامة مقابل البرامج الإقليمية وآليات التعامل مع عدم ثبات الأسعار وكذا طبيعة الأهداف المختلفة وقضايا الالتزام والتنفيذ.

إن ابتكار أساليب لإصلاح النظم الاقتصادية والسياسية يخرج عن نطاق هذا الكتاب، ولكن يجدر القول إنه إذا ما تبنينا السياسات أو الإرشادات الملائمة فإن رؤيتنا للعالم عام 2050 ستكون قابلة للتحقيق دون شك.

3 ـ مشروعات تتعلق برؤيتنا للعالم عام 2050

كي ننجح في طرح نظم إعادة تدوير وطاقة متجددة، علينا أن نوجِد بنى تحتية اجتماعية ضخمة. وهذه البنى التحتية يتعين أن تكون قائمة على أبحاث تطبيقية وتستلهم مجموعة واسعة من الأفكار للوصول إلى استدامة الأرض. ولأن نظم البنى التحتية المجتمعية هذه يجب أن تتجاوز أطر الصناعة، فإن وضع هذه النظم يجب ألا يترك بيد الشركات. بل يتعين علينا اللجوء إلى مؤسسات أخرى في المجتمع مثل الحكومات والوكالات الدولية والمنظمات غير الهادفة للربح والجامعات كي تقود تلك المشروعات. ويجب أن تتعاون هذه المؤسسات مع الشركات في تخطيط مشروعات البنى التحتية المجتمعية اللازمة لإيجاد مجتمع مستدام وترويجها وتنفيذها.

ما هي طبيعة المشروعات التي نحتاج إليها لتحقيق رؤيتنا للعالم عام 2050؟

تصميم نظم عملاقة معقدة:

كنموذج لنظام مجتمعي شامل يصلح لرؤيتنا للعالم عام 2050 إليكم تصميمًا فرضيًّا لكيفية تأسيس مجتمع يتبنى ثقافة إعادة تدوير المواد.

أولًا لكل مادة أساسية يجب أن نصمم نظامًا لتدويرها يقلل نسب تراجع جودة المادة خلال التدوير قدر المستطاع.

بالنسبة إلى الحديد يمكننا أن نصمم إطارًا عامًا يشمل فصل وتجميع حديد الخردة الذي ينتج عندما تصل المنتجات مثل المنشآت والسيارات إلى نهاية عمرها الافتراضي، وعملية إعادة تدوير تزيل أكبر قدر ممكن من الشوائب باستخدام قدر معقول من الطاقة، ونظام معلومات لمراقبة وتوصيل بيانات المقدار الذي يمكن إنتاجه عند كل مستوى من مستويات الجودة. لكن عند تطبيقنا لهذا النظام سنكتشف أننا لن نحقق نجاحًا إذا ما قَصَرْنا هذا التصميم على شركات الحديد والصلب وحدها، ذلك أن هناك مشكلاتٍ ستظهر مثل كيفية التنسيق مع صناعات أخرى منها البناء وتصنيع السيارات وكيفية تحفيز المواطنين على فصل القمامة التي يتخلصون منها، وكيفية ترتيب أمر جمع النفايات ونقلها. وحتى بعد حل هذه المشكلات يجب أن نتتبع كيف ستستكمل المادة الأساسية ـ الحديد ـ دورتها في المجتمع، ونقدر كيف ستتوزع الإضافات والشوائب مثل الفوسفور والنحاس والزنك والقصدير والنيكل على منتجات الحديد المختلفة.

بعد ذلك يجب أن نصمم عملية مشابهة للألومنيوم والأسمنت والبلاستيك وكل المواد الأساسية الأخرى. عادة ما تتركب المنتجات المصنعة من مواد كثيرة؛ لذا سيكون من الضروري تعديل كميات المواد المختلفة المستخدمة في كل منتج. على سبيل المثال يجب أن نضع قواعد تنظيم استخدام المواد التي تعوق إعادة تدوير الحديد مرتفع الجودة. وتلك القواعد يجب أن تشمل حتى المواد الأخرى المضافة التي تُستخدم في المنتج إلى جانب الحديد. على سبيل المثال إذا كان الزجاج يستخدم كمادة لطلاء حواجز الاصطدام المصنوعة من

الصلب ـ حال كون هذا الزجاج يحتوي على النحاس ـ فإن النحاس سيمتزج بالحديد عند صهر هذا الحاجز. أيضًا بالنسبة إلى المواد الثقيلة منخفضة التكلفة مثل الخرسانة من الضروري تقليل تكاليف النقل؛ لذا يجب أن نخطط أين وكيف سنفصل الخرسانة عن مواد أخرى لتقليل التكلفة وزيادة الكفاءة. يجب أن نصمم مواصفات للمنتجات وأساليب إعادة التدوير وكذا أساليب للجمع، وهـذه الأساليب يجب التنسيق بينها بطريقة لا تتمخض سوى عن تضارب محدود. علاوة على ذلك يجب أن نضع تصورًا لكيفية تحويل هذه المواصفات والأساليب إلى واقع ملموس. يجب علينا أيضًا وبشكل خاص أن نحدد متى نلجأ إلى الآليات التنظيمية؛ ومتى نستخدم الدعم، ومتى نعتمد على السوق الحرة.

المجتمع الذي يتبنى ثقافة إعادة التدوير أكثر تعقيدًا بكثير من مجتمع الإنتاج الشامل/ التوليد الهائل للمخلفات الذي نعيش فيه اليوم. ولا يسعنا أن نأمل في تحقيق نظام معقد كهذا بالاكتفاء برفع شعارات رنانة. سنكون بحاجة إلى رؤية وقيادة قوية كي يتسنى لدوائر المجتمع أن تنسق جهودها الجماعية لإيجاد المجتمع المستدام.

يجب علينا سد فجوة الاتصال بين أطـراف المجتمع وإيجاد أدوات تصميم كي تساعد تلك الأطراف على تحسين أداء النظام العام عن طريق توصيل أفكارهم واحتياجاتهم. وسنتناول تلك التحديات في الجزء الأخير من هذا الكتاب.

إن تصميم مجتمع يتبنى ثقافة إعادة تدوير المواد مشروع يجب علينا الاضطلاع به على الفور كي نصل إلى الهدف الذي تسعى رؤيتنا للعالم عام 2050 إلى تحقيقه. في المقابل رغم أننا لا نتوقع أن تكون لتقنيات مثل الخلايا الشمسية إسهامات ضخمة بحلول عام 2050م يجب علينا تشجيع وتطوير أبحاث تلك التقنيات الآن. فالتقنيات التي لا يُتوقع لها الانتشار إلا بعد 2050م لن يكون لها مردود اقتصادي عاجل؛ لذا لا يمكن أن نأتمن عليها السوق الحرة، بل يجب أن يرعاها المجتمع ككل.

نظام لتصنيع الخلايا الشمسية على نطاق واسع وبكفاءة كبيرة:

في عام 1998م كان عدد الخلايا الشمسية المثبتة فوق أسطح المنازل في اليابان يقارب عشرة آلاف خلية شمسية. وبحلول عام 2007م زاد العدد ليتجاوز أربعمائة ألف خلية شمسية. وتبلغ قدرة كل خلية في المتوسط نحو 3.5 كيلو واط، لذا فإن السعة القصوى لتوليد الطاقة تبلغ 1400000 كيلو واط. لكن مقدار الطاقة الناتج هذا لا يتحقق إلا عندما تكون الشمس في أسطع حالاتها وأقواها. وكي نقارن بين قدرات توليد الطاقة من الخلايا الشمسية ومحطات توليد الكهرباء الحرارية يجب أن نأخذ في الحسبان التباين اليومي والموسمي في قوة ضوء الشمس. حساب متوسط الطاقة التي تولدها الخلايا الشمسية بهذه الطريقة يقلل الحد الأقصى للقدرة الإنتاجية إلى العُشر تقريبًا. لذا إذا كان إجمالي توليد الكهرباء في اليابان اليوم يبلغ نحو 200 مليون كيلو واط فإن أقل من واحد على الألف من هذا الإجمالي توفره الخلايا الشمسية.

وبتركيب ألواح الخلايا الشمسية على كافة الأسطح في اليابان سنتمكن من توفير أكثر من 20٪ من الطلب الحالي على الكهرباء أو ما يعادل 6٪ من إجمالي الطلب على الطاقة.

لكن حتى لو تمكنا من زيادة القدرة الحالية على إنتاج الخلايا الشمسية سنويًّا بمعدل مائة مِثْل، فإن الأمر سيستغرق أكثر من مائة عام لإنتاج هذا العدد من الخلايا. وهناك مشكلة أخرى تتمثل في أن هناك عجزًا في فائض السيليكون عالي النقاء وهو المادة الخام لتصنيع الخلايا الشمسية. حتى الآن تصنع الخلايا الشمسية باستخدام فائض السيليكون شديد النقاء الذي يصنع لتطبيقات أشباه الموصلات، لكن هذا الفائض استُنفد. وحتى ظهور وفر بديل من السيليكون عالي النقاء سيكون من الصعب زيادة إنتاج الخلايا الشمسية. وهذا أحد أسباب تثبيت إسهام الخلايا الشمسية عند نسبة 3٪ في رؤيتنا للعالم عام 2050. لكن إذا ابتكرنا صناعة لإنتاج حتى هذا المقدار المحدود من الخلايا الشمسية فسنعزز موقف الطاقة الشمسية باعتبارها مصدر طاقة رئيسًا في النصف الثاني من القرن العشرين.

خلايا السيليكون هي أكثر الخلايا الشمسية شيوعًا في السوق اليوم وتصنَّع بتحويل المادة الخام ـ أكسيد السيليكون ـ إلى سيليكون نقي يُحوَّل بدوره بعد ذلك إلى طبقة رقيقة للغاية لا يتجاوز سمكها عدة ميكرونات. و بعد ذلك توضع طبقة السيليكون الرقيقة هذه داخل إطار مصنوع من الألومنيوم والزجاج. وعملية تحويل أكسيد السيليكون إلى سيليكون نقي لا تتم حاليًا إلا في دول تتدنى فيها أسعار الكهرباء. بعد ذلك تصنِّع شركات المنتجات الكيميائية وشركات إنتاج الصلب السيليكون شديد النقاء من السيليكون الخام في حين تصنِّع شركات الأجهزة الكهربائية الخلايا الشمسية. ومن المبادئ الأساسية لزيادة الكفاءة التي شهدناها في صناعة الحديد والصلب التصنيع المتكامل. وذات المبدأ يمكن تطبيقه على تصنيع الخلايا الشمسية. فإذا تكاملت الخطوات ابتداء من تنقية السيليكون الخام وحتى إنتاج الخلايا الشمسية في عملية واحدة متصلة، فإن كفاءة الطاقة وكفاءة استخدام المواد الخام ستزداد زيادة كبيرة.

في الحقيقة أظهرت رسالة لنيل درجة الدكتوراه قُدِّمت لجامعة طوكيو عام 1999م أنه بتكامل عملية التصنيع يمكن خفض أسعار الخلايا الشمسية لأقل من قيمتها في ذلك الوقت.

استغلال المناطق القطبية والفضاء الخارجي:

كما رأينا في الفصل السادس أن أكبر مشكلات طاقة الرياح تكمن في استقرارها، لكن لو كانت مزارع الرياح في القطب الشمالي أو الجنوبي فربما لن تواجه مثل هذه المشكلة. قرب القطبين ثمة رياح يطلق عليها «كتابا» تهب من المناطق القطبية على المناطق المحيطة. ومثلها مثل الرياح التجارية في خطوط العرض المنخفضة والصناعية الغربية في خطوط العرض الوسطى. تعتبر رياح كتابا ظاهرة عالمية النطاق ناتجة عن طاقة الشمس ودوران الأرض. وعلى عكس الرياح الإقليمية التي تهب بشكل متقطع، نجد أن هذه الرياح العالمية ثابتة. ورغم أن الإنسان حتى الآن لم يتمكن من الاستفادة من رياح كتابا ـ ولذا تتبدد في نهاية

المطاف ـ فإنه يتردد أن هذا المصدر لديه القدرة على توفير الطاقة التي تحتاجها الحضارة الإنسانية اليوم.

في الدول المتقدمة الأماكن التي تصلح لتثبيت ألواح الخلايا الشمسية بخلاف أسطح المنازل قليلة، ويصعب توليد طاقة كافية للإسهام بشكل فعال في إجمالي إمدادات الطاقة على المستوى الوطني. لذا يدرس الباحثون أساليب إقامة محطات طاقة شمسية في الصحارى، بل وحتى على سطح الأقمار الصناعية التي تدور حول الأرض. وإقامة محطات طاقة في أماكن نائية يثير مشكلة كيفية نقل الكهرباء للأماكن التي تحتاج إلى تلك الطاقة.

والموصلات الفائقة تبدو واعدة في تحقيق فكرة إقامة شبكة عالمية بخطوط نقل عالية القدرة. والباحثون يدرسون أيضًا سبل نقل الطاقة الكهربية بشكل اقتصادي في شكل وقود مثل الهيدروجين أو الميثان.

قد يكون من السهل استخدام مصادر الطاقة المتجددة غير المستغلة في المناطق التي يقل فيها الانتشار البشري. غير أن إنتاج الكهرباء في أماكن نائية مثل المناطق القطبية والصحارى يثير قضايا أخرى يتعين التعامل معها مثل قضايا القانون الدولي والثقافة المحلية. وبمجرد وضع خطة للإفادة من مصادر الطاقة هذه، فإن الخطوة التالية يجب أن تكون إيجاد اتفاق دولي بين كل الدول ذات الصلة لنقل تلك الخطة إلى مرحلة التجارب. ولن يتسنى الانتقال إلى مرحلة التنفيذ الكامل إلا بعد جمع ما يكفي من الأدلة التي تظهر أن الخطة ستفيد كافة الدول ذات الصلة دون أي آثار جانبية سلبية.

بالطبع يمكن اقتراح نظم أخرى واسعة النطاق إضافة إلى تلك النظم التي وصفناها آنفًا. وليس من السهل اختيار أي من هذه النظم كي نستثمر فيه. لكن هناك أمر واحد مؤكد: إذا ما ظللنا نترك مثل تلك القرارات للخبراء والمسؤولين الحكوميين ورجال الأعمال ـ الذين يشكلون هامشًا ضئيلًا للغاية في المجتمع ـ فقد تكون النتيجة مختلفة عن المصلحة العامة للمجتمع ككل. الخطط التي تصاغ دون التفكير دراسة لعدد من المناظير غالبًا ما تكون معيبة وقاصرة، بل

إن القرار الذي قد يبدو سليمًا في ظل ظروف معينة قد لا يتمخض عن النتائج المخطط لها إن لم يكن هناك تعاون واسع النطاق.

ولنوجد هذا التعاون الواسع علينا أن نقيم منتدى أو حلقة نقاش لتبادل الأفكار وصولًا إلى اتفاق عام. ومنتدى كهذا يجب أن يعتمد على أكثر التقنيات تقدمًا لجمع الأفكار واستكشافها من زوايا مختلفة. يجب ألا نقيِّم التداعيات المتوقعة لأي خطة فحسب، بل أيضًا أي تداعيات أخرى محتملة غير متوقعة ربما باستخدام تجارب محدودة النطاق ونماذج محاكاة حاسوبية. والسبيل الوحيد لتوحيد كلمة المجتمع في هذا الشأن هو النظر التام والدقيق في العديد من الأفكار في ذاك المنتدى. في الجزء الأخير من هذا الكتاب دعونا نرى ما هو اللازم لتأسيس منتدى كهذا.

تصميم منزل كومي ياما:

لكن أولًا أود أن أخبركم بأمر مشروع آخر عن الاستدامة مشروع أصغر قليلًا وبالنسبة إليّ قريب جدًّا من منزلي بالمعنى الحرفي. كان مشروع إعادة تصميم منزلي. قبل خمس سنوات قررت أن أبني منزلًا جديدًا، وجعلت هدفي أن أرى إلى أي مدى يمكنني تقليل مقدار الطاقة الذي استهلكته في ممارسة «حياتي اليومية». من القرارات الأولى لدى بناء منزلي الجديد كان قرار تجهيزه بخلايا شمسية مثبتة فوق سطحه. في ذلك الوقت كان نظام الخلايا الشمسية الكافي لتوليد طاقة بقدرة 3.6 كيلو واط يتكلف 2360000 ين ياباني (أو نحو عشرين ألف دولار). لكن حتى في عام 2002م كانت الحكومة اليابانية تقدم دعمًا لملاك المنازل الذين يستخدمون الخلايا الشمسية. لذا نلت خصمًا بقيمة 360000 ين، فجاءت التكلفة الفعلية نحو 17 ألف دولار أمريكي.

– وإلى جانب ألـواح الخلايا الشمسية تلك المثبتة على سطح المنزل أضفت نظام تكييف هواء عالي الكفاءة بمعامل أداء مقداره أربعة، ومضخة حرارة لحوض استحمامي بمعامل أداء يقارب الثلاثة، ونظام عزل بكفاءة 1.4 واط لكل متر مربع لكل درجة مئوية من الحرارة. واشتريت أجهزة جديدة تتمتع بكفاءة عالية

في استهلاك الطاقة. وكل هذه الاستثمارات الإضافية في الحفاظ على الطاقة كلفتني زيادة قدرها 1240000 ين ياباني، أو ما يعادل نحو عشرة آلاف دولار. نتيجة لذلك احتاج منزلي الجديد إلى أقل من نصف مقدار الطاقة التي كان منزلي القديم يحتاجها وألواح الخلايا الشمسية توفر أكثر من ثلثي الطاقة اللازمة. ومن ثم فإن منزلي الجديد الذي تبلغ مساحته 207 أقدام مربعة يحتاج فقط إلى سدس قدر الطاقة التي كان منزلي القديم يسحبها من شبكة الكهرباء ـ أقل من ثلاثة آلاف كيلو واط/ ساعة سنويًّا. وهناك خطوة أخرى اتخذتها لتقليل انبعاثاتي الكربونية، وهي أني تخليت عن سيارتي من طراز تويوتا سيدان لأشتري سيارة تويوتا بريوس جديدة. وكلفتني سيارتي الجديدة الهجينة تلك 679000 ين ياباني أكثر من مثيلتها من طراز تويوتا كورولا (أقل من ستة آلاف دولار أمريكي بقليل).

وبتعديل نمط قيادتي قليلًا بمساعدة واجهة أجهزة القياس التي يسهل التعامل معها في السيارة الجديدة قللت استهلاكي من البنزين إلى الثلث. نتيجة لذلك هبط إجمالي ما أستخدمه من الطاقة من 20800 كيلو واط/ ساعة سنويًّا عام 2002م إلى 400 كيلو واط/ ساعة سنويًّا عام 2008م. وإجمالي التكلفة لم يتجاوز 3770000 ين ياباني، أو ما يعادل ثلاثة وثلاثين ألف دولار أمريكي.

4 ـ إعادة بناء العلاقة بين التكنولوجيا والمجتمع

مشكلة الديوكسينات:

وضع خطة قائمة على الطاقة وإعادة التدوير لإقامة حضارة مستدامة على الأرض، أمر يتطلب أن نضع نموذجًا لنظام معقد تتفاعل فيه عناصر متعددة عن طريق الكثير من العلاقات المتشابكة. ومن المستبعد أن يكون هناك حل واحد مثالي. بل سيتعين علينا الاختيار من بين العديد من الحلول التي يبدو كل واحد منها مثاليًّا تقريبًا، لكن تشوبه جوانب بعينها.

ولنقدم على ذلك مثالًا. دعونا ننظر في تعقيد مشكلة الديوكسينات. «الديوكسين» لفظ عام يطلق على مجموعة من المُرَكَّبات الكيميائية المسرطنة

لها هيكل جزيئي معقد تحتوي على الكلور، إضافة إلى الكربون والهيدروجين والأكسجين الموجودة في مـواد مثل الكربوهيدرات. وأحيانًا ما تنبعث الديوكسينات عند حرق القمامة. لكن إذا كانت القمامة تحرق في درجة حرارة عالية بما يكفي فإن الديوكسينات لن تتشكل.

ونظرًا لاحتواء الديوكسينات على الكلور فإنها لن تتكون إلا إذا كان هناك كلور في القمامة وقت الاحتراق. ومن مصادر الكلور في القمامة هو مادة الـ PVC، وهو نوع من أنواع البلاستيك يدخل في استخدامات كثيرة.

ومن مصادر الكلور الأغطية البلاستيكية المستخدمة في لف المنتجات الغذائية، والتي لها تركيب جزيئي مشابه. وأخيرًا أثير جدل حديث حول حظر استخدام هذه المواد البلاستيكية، لكن حتى لو أوقفنا إنتاج الـ PVC ستتكون الديوكسينات. والسبب في ذلك هو فضلات الطعام التي تحتوي على مصدر للكلور ألا وهو كلوريد الصوديوم أي ملح الطعام. لذا إذا أردنا التخلص من كافة مصادر الكلور فسيتعين علينا إبعاد فضلات الطعام عن محارق النفايات والقمامة.

ولو حظرنا مادة الـ PVC لإبعاد الكلور عن محارق القمامة، فستظهر مشكلة أخرى تتمثل في أننا سنواجه نقصًا في الصودا الكاوية. ذلك أن الكلور ينتج عن طريق التحليل الكهربي لكلوريد الصوديوم. وخلال التحليل الكهربائي لكلوريد الصوديوم ينتج الكلور عند الأنود وتنتج الصودا الكاوية عند الكاثود. ونظرًا لأن مادة الـ PVC هي أحد الاستخدامات التجارية الأساسية للكلور، فإن الطلب على الكلور سيختفي لو حُظرت مادة الـ PVC. ومن ثم لن يصبح التحليل الكهربائي لكلوريد الصوديوم مجديًا اقتصاديًا وسيتضاءل عرض الصودا الكاوية. ولأن الصودا الكاوية لها العديد من الاستخدامات المهمة مثل صنع الصابون وتحييد مياه الصرف الصحي فإن هذا النقص سيُحدِث مشكلة.

إذا كان حظر مادة الـ PVC سيثير مشكلة فلنا أن ننظر في التخلي عن محارق القمامة الموجودة حاليًا لنستخدم أخرى تتحمل درجات احتراق مرتفعة

ومن ثم نتمكن من حرق القمامة التي تحتوي على مادة الـ PVC وفضلات طعام دون إطلاق للديوكسينات. لكن هل هذا حقًّا هو الخيار الأفضل؟ إذا فكرت في السؤال من منظور الرؤية التي يتبناها هذا الكتاب، فربما تسأل ما إذا كان ينبغي أن نستخدم وقودًا أحفوريًّا أو كهرباء لحرق قمامة تحتوي على مصادر طاقة لها قيمتها مثل البلاستيك والـورق في درجة حـرارة مرتفعة فقط لمنع تكوُّن الديوكسينات. فقد رأينا كيف أن حرق القمامة ليس طريقة فعالة في إنتاج الكهرباء.

فكيف لنا أن نحل مشكلة الديوكسينات هذه؟ رأينا في الفصول السابقة أنه من الممكن إيجاد نظام كفء في استخدام الطاقة لإعادة تدوير المواد يمكنه إعادة استخدام نفايات مثل الورق والبلاستيك إما بإعادة تدويره وإما بتحويله إلى وقود. والسر يكمن في فصل تلك المواد عن فضلات الطعام وأشكال القمامة الأخرى. إذا فُصِلَ البلاستيك عن باقي القمامة في مرحلة التجميع، فإن فضلات البلاستيك هذه ـ حتى وإن امتزجت بمادة الـ PVC ـ لا تَصْعُب معالجتها.

وهناك تقنيات متاحة بالفعل تستخدم المعالجة الحرارية للتخلص من الكلور ثم استخدام الفضلات والنفايات المعالجة بديلًا للفحم في أفران الصهر. فيمكن إذًا توفير موارد وقود أحفوري تعادل مقدار نفايات القمامة مع الحيلولة في الوقت ذاته دون تكون الديوكسينات التي تشكل خطرًا. وهذا المثال يوحي بأننا بتقييم دقيق لطريقة إدارتنا لمواردنا بما في ذلك نفاياتنا يمكننا تحويل رؤيتنا للعالم عام 2050 إلى حقيقة ملموسة.

والتخلص من القمامة في اليابان حاليًا أصبح مسؤولية المحليات.

مـاذا لو اتخذت إحـدى المحليات إجـراءات للسيطرة على انبعاثات الديوكسينات بتحسين المحارق الموجودة في نطاق نفوذها؟ قرار كهذا في حد ذاته ليس فكرة سيئة، لكن إذا ما نظرنا من حيث كفاءة استخدام الطاقة فسنجد أنه بعيد كل البعد عن القرار المثالي. ما اكتشفناه هو أن خيارًا قد يبدو لا بأس به على نطاق محدود ـ في نطاق بلدية واحدة مثلًا ـ ربما يقوض دعائم مشروع

إقامة نظام واسع النطاق قد يكون أفضل منه. وفي مجتمعنا الحاضر تتشابك المشكلات ومصالح أبناء المجتمع بطريقة معقدة؛ لدرجة أن أصحاب القرار غالبًا ما يرجحون كفة حلول دون المستوى هذا مع فرض حسن نواياهم. فيجب أن ننظر إلى كل مشكلة من عدة زوايا، ونتخذ قرارات تضع في الحسبان كل الجوانب المتعلقة، من الصورة العامة ونزولًا إلى التفاصيل الدقيقة. وكي يتسنى لنا فعل ذلك يجب علينا أن نقِيم بنية تحتية اجتماعية لتوحيد الكلمة بناء على مناقشات ـ يشارك فيها أكبر عدد ممكن من الأطراف المعنية.

هيكلة المعرفة ومكان النقاش:

كي نحول رؤيتنا للعالم عام 2050 إلى واقع لا بد لنا أن نبتكر تكنولوجيا جديدة ونطرحها للتطبيق.

ولا نبالغ إن قلنا إنه لا سبيل إلى استدامة الأرض إلا في ظل وجود علاقة حسنة بين المجتمع والتكنولوجيا.

غير أن بعض الناس أخيرًا باتوا ينظرون إلى التكنولوجيا باعتبارها بابَ شرٍّ فتحه العلماء على الإنسانية، فانطلقت منه الشرور تنشر البؤس والدمار في ربوع الأرض. وعندما نتذكر أن العلم كان المفتاح لظهور القنبلة الذرية وأسهم في دمار النظم البيئية، بل ومنحنا القوة للتلاعب بالحياة الإنسانية، ساعتها يمكننا أن نفهم سبب هذه النظرة وذاك التصور.

لذا كي نمهد الطريق أمام رؤيتنا للعالم عام 2050 يتعين على العلماء والمهندسين أن يأخذوا زمام المبادرة في إطلاق حوار مع المجتمع حول التكنولوجيا. في هذا الحوار يجب أن نضمن مستوى راقيًا من الشفافية بشأن النتائج العلمية، ويجب أيضًا أن نُطلع المجتمع بكل أمانة ووضوح على النتائج التي توصلت إليها الأبحاث وعلى التبعات المرجحة لابتكار تقنيات مختلفة بغية تحقيق هدف استدامة الأرض.

وهنا أود أن أطلعكم على تجربة إفصاح عام بشأن التكنولوجيا كنت طرفًا

فيها قبل عدة سنوات. في أوائل تسعينيات القرن الماضي موَّلت الحكومة اليابانية مشروعًا لابتكار برنامج حاسوبي لحساب تكلفة الخلايا الشمسية ومدد استرداد الطاقة المستنفدة في إنتاج تلك الخلايا. وكان من الشروط المسبقة للمشروع إطلاع الشعب على كل النتائج معًا، والكشف أيضًا عن الأساليب التي استُخدمت للوصول إلى تلك النتائج. وعلى مدار عام أجريت مناقشات في المقر العام للجنة بحثية في الجمعية اليابانية للهندسة الكيميائية. وفي ضوء تلك المناقشات وضعنا أسلوبًا لحساب مدة استرداد الطاقة المستهلكة في تطوير الخلايا الشمسية وأعلنا كافة الافتراضات والأساليب الحسابية. وأي شخص كان لديه سؤال حول الافتراضات أو الأرقام المستخدمة في الحسابات كان بمقدوره تغيير القيم ذات الصلة وإعادة حساب مدة استرداد الطاقة. في الحقيقة كان أحد الخبراء قد خَلُصَ في تقريره الأساسي إلى أن المدة اللازمة لاسترداد الطاقة تبلغ خمس سنوات، وقد استخدم برنامجًا حاسوبيًّا من إنتاج المشروع كي يتحقق من أرقامه، وانتهى إلى الموافقة على أن مدة عامين كافية تقريبًا. وهذا المثال يوضح كيف يمكن أن يصبح البرنامج منصة للوصول إلى إجماع بشأن مشكلة غاية في التعقيد مثل حساب كلفة ومدد استرداد الطاقة المستهلكة في إنتاج الخلايا الشمسية.

وشبكة الإنترنت دون شك ستؤدي دورًا مهمًا في تسهيل عملية الإفصاح عن البحث والتطوير، إذ أصبحت بالفعل وسيلة عامة تعتمد عليها المعاهد البحثية بل وحتى الشركات الخاصة في نشر معلومات عن النشاطات البحثية وابتكار المنتجات. ورغم أن امتلاك موقع إلكتروني يحتوي على هذه المعلومات أمر يتطلب جهدًا كبيرًا، فإن الخبرة أظهرت أن الفائدة من حيث الحفاظ على الصورة العامة للشركة يفوق في أهميته حساب التكاليف. وهناك مثال آخر، فقد استخدمت مجموعة من باحثي جامعة طوكيو تكنولوجيا الذكاء الاصطناعي والإنترنت في تطوير منصة على الشبكة تسمح للعلماء بإضافة دلالات وصفية ذات تنسيقات خاصة لمطبوعاتهم العلمية يمكن قراءتها بواسطة محرك بحث حاسوبي. تلك الدلالات الوصفية الحاسوبية الخاصة تعمل «كشفرة» تساعد

محركات البحث ونظم استدعاء معرفي أخرى على الإنترنت في الربط بفعالية أكبر بين الاحتياجات المعرفية والأبحاث المتوافرة. ورغم أن المنصات الحاسوبية لا تزال في طور التجربة فإن الآمال منعقدة على أن يؤدي نجاحها إلى نشر نتائج البحث العلمي بطريقة تمكن أبناء المجتمع من الاطلاع عليها بشكل فوري. فعلى سبيل المثال أي شخص عادي مهتم بمعرفة المزيد عن أحدث أبحاث الخلايا الشمسية يمكنه الاعتماد على قدرات الحاسوب في «ترجمة» التعبيرات والمصطلحات العلمية إلى لغة يستطيع القارئ العادي فهمها.

نموذج آخر لتضييق الهوة بين الباحثين والمجتمع يمكن أن نراه في مشروع خفض غازات الاحتباس الحراري في طوكيو للنصف. دُشِّنَ هذا المشروع عام 1996م بهدف وضع خطة لتقليص معدل انبعاثات الغازات المسببة للاحتباس الحراري في مدينة طوكيو للنصف. وكان الأعضاء الأساسيون في ذاك المشروع باحثين وأساتذة من كلية الهندسة بجامعة طوكيو، وكانوا يتعاونون مع باحثين من معهد ماساشوستس للتكنولوجيا المعهد الفيدرالي السويسري للتكنولوجيا وكذا جامعات ومعاهد بحثية في اليابان وأنحاء العالم. وكان الهدف الأساسي من المشروع تقييم إمكانية مزج تقنيات وسياسات لتقليل حجم انبعاثات الغازات المسببة للاحتباس الحراري الناتجة عن عدد كبير من العوامل، منها السيارات والقطارات والمنازل والمكاتب ومحارق القمامة ومواقع البناء والمصانع مع التركيز على آثار التفاعل بين تلك التقنيات والسياسات المختلفة.

هذا المشروع كان له هدف آخر مهم هو تطوير وتنفيذ أساليب لنقل المعلومات اللازمة للبحث في النظم المعقدة الخاصة بمدينة بحجم طوكيو. وكما هو موضح في الموقع الإلكتروني الخاص بالمشروع http://www.thp.t.u-tokyo.ac.jp/thp_en إضافة إلى الخروج بخطة شاملة لتقليص انبعاثات ثاني أكسيد الكربون في طوكيو فإن الباحثين المشاركين في المشروع يناقشون أيضًا كيف يمكن نشر الأساليب المستخدمة لتبادل المعلومات تبادلًا فعالًا بين المهندسين والخبراء في مختلف التخصصات العلمية والتكنولوجية كي تتسع

دائرة النقاش بين كافة المهتمين بموضوع الدراسة بمن في ذلك المواطن العادي وصناع السياسة والخبراء.

لقد بات جليًّا في السنوات الأخيرة أننا بحاجة إلى نظام أكاديمي جديد ـ علم استدامة ـ لمعالجة القضايا سالفة الذكر بطريقة أكثر تنظيمًا ومنهجية. هذا التعاون البحثي والتعليمي بين جامعة طوكيو ومعهد ماساشوستس للتكنولوجيا والمعهد الفيدرالي السويسري للتكنولوجيا وجامعة شالمر للتكنولوجيا في سويسرا، تحت مظلة التحالف العالمي من أجل الاستدامة، يمثل أحد النماذج الحية على هذا العلم. في عام 2005م وبدعم من حكومة اليابان تأسس «النظام البحثي المتكامل لعلم الاستدامة» في الجامعات والمؤسسات البحثية في أنحاء اليابان بما في ذلك جامعة طوكيو. وهذا النظام يهدف إلى تكوين شبكة في اليابان لتنسيق أبحاث علم الاستدامة وتدريسه. وقد بدأ هذا النظام برنامجًا يناقش قضايا الاستدامة تتصدره ثلاثة مشروعات رئيسة: «إجراءات مضادة مستدامة للاحتباس الحراري العالمي» و«إيجاد مجتمع آسيوي يتبنى ثقافة إعادة تدوير المواد» و«تصور الاستدامة العالمية وتطويرها مع التركيز على إصلاح النظام الاجتماعي الاقتصادي ودور العلوم والتكنولوجيا». جامعة طوكيو بدأت أيضًا برنامجًا جديدًا لتخريج دفعات من المتخصصين في علم الاستدامة يركز على تدريبات ومشروعات تساعد الطلاب على التمكن من مجموعة متنوعة من المهارات الأكاديمية والمعارف العملية اللازمة كي يتولوا دفة قيادة جهود بناء مجتمع عالمي مستدام.

نتيجة للتخصصية المعرفية أصبح فهم وإدراك كل خبير حتى في مجال واحد من مجالات العلوم أو التكنولوجيا محدودًا للغاية. والأمر يستحق أن نتوقف عنده قليلًا لنفكر في سبب حدوث ذلك. لقد سمعنا عن رجال النهضة العظماء (أشخاص أصبحوا مفكرين عظماء بما أنفقوا من وقت موارد خلال عصر النهضة وكانوا جميعًا من الرجال مع استثناءات محدودة) أمثال ليوناردو دا فينشي وجاليليو جاليلي وبنيامين فرانكلين جميعهم كانوا أساتذة في مجموعة

كبيرة من العلوم والفنون في الوقت ذاته. قد يقول بعضهم إن نشاطنا الذهني فتر في العصور الحديثة. غير أن الأمر لا يتعلق بتراجع قدرات الإنسان المعاصر الذهنية على معالجة المعلومات مقارنة بالفلاسفة اليونانيين أو رجال عصر النهضة. بل مرجع هذا هو تلك الزيادة الضخمة في المعرفة المتراكمة التي اتسعت بوتيرة متسارعة من ناحية بسبب ذلك التوجه لتقسيم العلوم إلى مجالات دقيقة منذ عهد إسحاق نيوتن تلك الزيادة المعرفية الهائلة كفيلة بأن ترهق حتى أعظم العباقرة المعاصرين. أما اليوم حتى أكثر المثقفين اجتهادًا وتفانيًا لا يتمنى أكثر من تحصيل هامش طفيف من ذلك المخزون المعرفي البشري الهائل طوال حياته.

ولو كان أرسطو أو سو سونج على قيد الحياة اليوم لاستشعرا أن بحر المعرفة اليوم صار عصيًّا على أمهر البحارة والغواصين.

إليكم مثالًا واحدًا لا أكثر. لعلكم تتذكرون مشكلة الصفرين التي سبقت قدوم عام 2000م عندما انتشرت مخاوف من أن تحدث عمليات حاسوبية خاطئة عندما تتغير الساعات داخل أجهزة الحاسوب القديمة من 31 ديسمبر/كانون الأول 1999م إلى الأول من يناير/كانون الثاني عام 2000م. لعلنا اليوم نسترجع حالة التخبط والذعر التي انتابتنا في الشهور الأخيرة من عام 1999م ببعض الحرج، لكن في ذلك الوقت كان الهلع حقيقيًّا. داني هيليس، وهو مخترع ومغامر ومؤلف أمريكي، كان له هذا التعقيب على طبيعة المشكلة الحقيقية:

«قول من يقول بانهيار العالم بسبب مشكلة الصفرين ما هو إلا أسطورة بكل ما تحمله الكلمة من معان.

إنها أكذوبة تتناقلها الألسنة تحمل في ثناياها حقيقة هائلة ... ليس ثمة خبير حقيقي، كل ما هنالك أشخاص قاصرو المعرفة لا يدركون من الأحجية إلا تلك الأجزاء الصغيرة التي تقع عليها أعينهم.

أما الصورة العامة فهي لغز يحيرنا، والطامة هنا أن ما من أحد يعرف حقيقة الأمر».

كلام داني هيليس هذا يجسد الصعوبة الراهنة المتمثلة في «تعقيد المشكلات الاجتماعية والأقسام الفرعية لمجالات المعرفة، وكل منهما يزداد يومًا بعد يوم». يجب أن نتوصل إلى طريقة تمكننا من فهم الصورة الكبرى للمشكلات التي نواجهها اليوم.

حسنًا وما المطلوب كي نفعل ذلك؟ الخطوة الأولى هي تنظيم واسع النطاق للمعرفة. من المشكلات التي تزيد من صعوبة الوصول للمعرفة المتخصصة الطريقة المشفرة المستخدمة في التعبير في كل مجال معرفي. مع اتساع المعرفة البشرية وضع المتخصصون في كل علم مفرداتهم الخاصة لتوصيل نتائج بحثهم العلمي إلى غيرهم. وفي الوقت ذاته نجد أن من يكتبون في المطبوعات والدوريات العلمية يسلمون أن قراءهم ملمون بمجموعة ضخمة ومتزايدة من المصطلحات المتخصصة والافتراضات الضمنية.

«هيكلة المعرفة» تعني إيضاح المعارف المتخصصة في مجالات محددة لأي شخص من خارج ذلك الوسط المعرفي بربط الأفكار في هذا المجال بالمعرفة الإنسانية العامة. عندما ينشر العلماء معلومة ما يأملون في أن تساعد على تحقيق هدف استدامة الأرض أو الوفاء بأي حاجة اجتماعية أخرى عليهم أن يقللوا من استخدام المصطلحات المعقدة في أبحاثهم. وبهذا وحده سيتمكن أبناء المجتمع من فهم تلك المعرفة وتحويلها إلى أفعال. ويجب أن تقع تلك المسؤولية على عاتق كل من يعملون في كل تخصص. لكن حتى في المجالات المرتبطة معًا نجد أن ذات المصطلحات قد تُستخدم للتعبير عن مفاهيمَ مختلفةٍ تمامًا؛ لذا تجد أن مهندس الكهرباء على سبيل المثال قد يفسر بحثًا كتبه فيزيائي بأسلوب مختلف تمامًا عن مقصود الكاتب. ولجعل تلك المعارف أكثر تنظيمًا وأكثر تداولًا على المتخصصين أن يضعوا تعريفاتٍ واضحةً بلغة رجل الشارع للمصطلحات التي طوروها في حقول معارفهم المتخصصة. ويجب أن يحدث هذا بالتوازي مع نشر نتائج الأبحاث المتخصصة. ومعظم التخصصات العلمية لها رابطة أو جمعية أو أكثر تمثلها، حيث يجتمع أعضاء ذلك التخصص لتبادل

الأفكار المتعلقة بتخصصهم. وهذه الجمعيات الأكاديمية قد تكون مكانًا ملائمًا للعلماء والمتخصصين الآخرين ليحددوا وجه ارتباط عملهم بمجالات المعرفة الأخرى. وكي يصف المتخصصون وصفًا واضحًا كيف ترتبط المعرفة في كل مجال بالمعرفة في مجالات أخرى، يتعين عليهم أن يركزوا على المعنى على مستوى الحقل المعرفي ككل بدلًا من أن يغرقوا أنفسهم في التفاصيل الدقيقة.

وقد يسهِّل الحاسوب مهمة هيكلة المعرفة هذه. بذات الطريقة التي وُضعت بها خوارزميات الحاسوب لترجمة نصوص من لغات متباينة مثل الإنجليزية واليابانية قد يكون ممكنًا تطوير تقنية تعتمد على الحاسوب لترجمة المواد التي يكتبها خبراء لوصف معارفهم مثل الأبحاث المنشورة في الدوريات المتخصصة، من مجال مثل الهندسة الكيميائية إلى مجال آخر مثل الاقتصاد. لكن إذا كان للحاسوب أن يؤدي دور المترجم الفوري، فعلى المتخصصين أن يعدوا أوصافًا دلالية للمعرفة التي ينشرونها بطرق يمكن للحاسوب أن يفهمها بأكبر قدر ممكن من السهولة والدقة. وبقدر ما نسعى إلى عدم تحميل المترجم البشري عبء مصطلحات متخصصة وتعبيرات غير مألوفة فإن تلك الأوصاف يجب أن تتجنب غموض التعبيرات البشرية التي من شأنها أن تربك برنامج الترجمة الحاسوبي.

خطوة أخرى على طريق إدراك «الصورة العامة» وراء النطاق العام مشكلات المجتمع المعقدة تكمن في التوصل لطريقة لتخزين المعرفة المنظمة بأسلوب يمكن للناس الوصول إليه بسهولة. لنفترض أننا أردنا تقديم أحدث ما توصلت إليه معرفة الخبراء حول حالة الاحتباس الحراري الآن، والدور الذي أدته الخلايا الشمسية، والمدة التي استغرقتها تلك الخلايا لاسترداد فاقد الطاقة خلال مرحلة إنتاج الخلايا. ولنفترض أيضًا أننا نريد تقديم هذه المعرفة بطريقة يسهل على أي شخص الاطلاع عليها كي يقرر ما إذا كان سيستثمر في نظام خلايا الطاقة الشمسية أم لا. هذه المعرفة ينبغي أن تقدم بطريقة يتكامل فيها كل مجال معرفي ذي صلة مع العنوان المعرفي العام: كيف يمكن للاستثمار في

نظم الخلايا الشمسية أن يساعد في تخفيف ظاهرة الاحتباس الحراري. وبتقديم هذه المعرفة عن طريق موقع إلكتروني بطريقة تسمح بإبداء الرأي وتفاعل نشط يستطيع أي شخص قد يكون لديه سؤال عما يقرأ أن يتقصى إجابة هذا السؤال بالتفاعل مباشرة مع الموقع الإلكتروني. والعديد من المواقع الإلكترونية المثيرة للاهتمام تقدم المعرفة المتخصصة بهذه الطريقة. يجب أن نواصل تطوير البنية التحتية للحاسوب وأدوات البرامج الحاسوبية، بحيث تسمح للخبراء بمشاركة معارفهم المتخصصة بأنفسهم في نسق متكامل يسهل الاطلاع عليه دون عناء.

ما نقدمه في هذا الكتاب من تحليل ورؤية يمثل محاولة لإلقاء نظرة شاملة على نظام أعمال الإنسان داخل المحيط الحيوي للأرض واستخدام تلك النظرة الشاملة إطارَ عملٍ للتخطيط لكيفية استخدام البشر للتكنولوجيا استخدامًا حكيمًا لضمان استدامة الأرض. بالتأكيد لم يتضمن هذا الكتاب كافة التفاصيل المتعلقة بكل نشاط بشري، وكل تكنولوجيا يمكن إدراجها في خطة لتحقيق هدف استدامة الأرض. ولأعطيكم ولو مثالًا واحدًا على ذلك أقول لا شك أن خبراء النقل وهندسة وسائل المواصلات لديهم من التفاصيل التي تتعلق بتصميم وإنتاج سيارات تتسم بالكفاءة في استهلاك الطاقة ما يفوق بمراحل ما لدى مؤلفيْ هذا الكتاب. وبناء مستقبل مستدام للأرض سيتطلب ولا شك معرفة تفصيلية بالتقنيات والأعمال الإنسانية وعمل النظم الطبيعية. لكننا نعتقد أن ما نحتاجه الآن هو رؤية واضحة وشاملة لكيفية ارتباط أعمالنا والتقنيات التي تحدد كيفية أداء تلك الأعمال بالأرض ككل. بمجرد أن تتكون لدينا رؤية مشتركة للإطار العام يمكننا بعدها التركيز على التفاصيل الدقيقة مع الالتفات دومًا لكيفية تأثير تلك التفاصيل في نظام النشاطات البشرية ككل، وتضمينات تلك التفاصيل على استدامة الحياة البشرية على الأرض.

حاشية

هناك الكثير من الأسباب التي دفعتني للاضطلاع بمهمة تأليف كتاب يقترح رؤية شاملة لكوكب مستدام.

بالطبع يأتي في المقام الأول إيماني القوي بضرورته. إذ يبدو أن الحكومات وشركات الأعمال والأفراد اليوم كل يتخذ موقفه الخاص، ويتحرك دون أي تنسيق مع أي طرف آخر، بالضبط مثل النظر إلى لوحة تنقيطية ليس لها فكرة رئيسة أو موضوع. وأعتقد أن السبب وراء حالة الانفصال بين أفراد المجتمع الرئيسيين هو عدم وجود «صورة عامة» مشتركة تجمع بينهم. ما نحتاجه الآن ليس تجميع التفاصيل، بل صورة عامة تقوم على التفكير في أعمال الإنسان واستجابة الأرض في الوقت ذاته.

الدافع الثاني لتأليف هذا الكتاب ينبع من ثقتي المتزايدة أن من الممكن تكوين صورة عامة يمكن أن يتشارك فيها باحثون يتمتعون بخبرات في مجالات مختلفة، أو حتى أشخاص ليست لهم خبرة معرفية محددة. وهذه الصورة العامة ستفترض عددًا محددًا من المبادئ الأساسية فحسب، مثل قانون حفظ الكتلة (قانون بقاء المادة) وقانون حفظ الطاقة.

كان هدفي من تأليف هذا الكتاب هو توصيل هذه الصورة العامة المشتركة؛ لذا تجنبت استخدام تعبيرات متخصصة. وغالبًا ما أتحدث مع أناس

من مجتمعات مختلفة عن قضايا البيئة والعقبة الكؤود في التواصل معهم هو اختلاف التعبيرات المستخدمة. ذلك أن عدم فهم تعبير واحد أو كلمة أو معادلة أو مفهوم متخصص، يعني استحالة فهم الفكرة المراد توصيلها.

العشوائية على سبيل المثال مفهوم أساسي في مجال الديناميكا الحرارية والطاقة، لكن في الحقيقة عدد محدود فقط حتى بين الخبراء في التكنولوجيا يدركون معناه الحقيقي. لكن يمكن مناقشة مبادئ كفاءة الطاقة دون الخوض في تفاصيل تلك العشوائية. وهذا هو المنهج الذي حاولت السير عليه في هذا الكتاب.

إن القرن الحادي والعشرين هو القرن الذي ستحدد فيه البشرية مستقبل الأرض والمجتمع. لذا يجب ألا نسمح للمجتمع أن يتكون لديه فهمٌ مغلوطٌ للعلم والتكنولوجيا بعد أن تعاظمت قواهما تعاظمًا هائلًا.

لكن حتى اليوم هناك الكثير من صور سوء الفهم التي تمر دون أن تجد من يوضحها أو يناقشها.

قد تكون من العقبات التي تقف أمام فهم النتائج والتطورات الجديدة في العلم والتكنولوجيا، حرص الخبراء على جعل أعمالهم تبدو صعبة قدر المستطاع. عندما ألقيت محاضرة خلال حفل لم شمل منذ عدة سنوات، قال لي صديق: «لقد فوجئت عندما أدركت مدى بساطة ما يقوم به أساتذة الجامعة». بالطبع لم يسرني أن أسمع من يصف عملي بأنه «بسيط» لكن ما المغزى من الحديث بلغة لا يفهمها أحد؟ لكن حتى دون ذلك الحرص من بعض العلماء لجعل الأمور تبدو أصعب، نجد أنفسنا اليوم في مواجهة صعوبة أساسية ناشئة عن التعقيد المتزايد الذي يطرأ على المشكلات التي يتعين علينا معالجتها والزيادة المتزامنة في أقسام مجالات الخبرة. لهذا السبب أقول إن مسؤولية الخبراء في تفسير مجالات تخصصهم وخبراتهم مهمة للغاية. وبوسعنا ترك التفاصيل لخبراء المجال، لكن من الضروري التسامي على تخصصات ومجالات الخبرة الفردية لتحقيق فهم الهيكل الأساسي العام.

الدافع الثالث لقرار تأليفي لهذا الكتاب هو دعم عدد غير محدود من

الأصدقاء والمعارف. فاليوم وبخلاف أيام الفلاسفة اليونانيين القدماء لا يستطيع أحد الإلمام بالمعرفة الإنسانية كلها. فقد تجاوز القدر المعرفي المتوافر قدرة البشر على معالجة المعلومات. وإذا كنت سأتحدث عن رؤية عامة فلن أتمكن بأي حال من الأحـوال تجنب التطرق لمجالات خبرة خـارج نطاق خبرتي الشخصية. لكن حتى لو كنت أنا شخصيًّا عاجزًا عن فهم تفاصيل ما في كل فرع من تلك الفروع فقد أتمكن من تكوين صورة عامة مفيدة. وإدراكي أنني أستطيع الحصول على معلومات دقيقة عن طريق شبكة تتجاوز مجالات الخبرة والحدود الوطنية كان عاملًا حاسمًا في الاضطلاع بهذه المهمة الصعبة.

هذه هي الأسباب التي حفزتني لطرح رؤية عامة لاستدامة الأرض. ولا محيص من وجود بعض الأخطاء في تفاصيل هذه الصورة العامة. ولا بد لنا أن نتعلم من أوجه النقد التي طرحها الخبراء في مجالات كثيرة. إننا إذ نعرض رؤيتنا للعالم عام 2050 للنقد والتعديل وإضافة المزيد من التفاصيل، سنتمكن من تكوين صورة عامة أفضل. آمل بحق أن يتحقق ذلك.

رغم أنني قدمت رؤيتنا للعالم عام 2050 صورةً عامة، فإن هذه الرؤية تركز على المواد والطاقة. ولقد تعمدت إغفال مشكلة أسلوب الحياة ،ونادرًا ما تطرقت للموضوعات المتعلقة بالأعراف الاجتماعية. وحتى بعدما قَصَرْتُ دراستي على المواد والطاقة اضطررت إلى حذف أجزاء كان علي حذفها. على سبيل المثال هذا الكتاب لم يناقش القضايا المرتبطة باستدامة الزراعة. كما رأينا في الشكل رقم 1ـ3 منذ منتصف القرن العشرين زاد الإنتاج الزراعي بشكل مطرد دون أي مؤشر على التباطؤ. في المقابل شهد العالم كوارث مثل جريان التربة المتشبعة بالماء وتدهورها، وأخيرًا يجري ترويج الزراعة العضوية كإجراء مضاد لحل تلك المشكلات. لكن يبدو أن المناقشات ـ إن وجدت ـ قليلة حول قدرة الزراعة العضوية على توفير كميات كافية من الطعام لتغطية احتياجات سكان الكوكب. كما أنني لم أناقش القضايا المتعلقة بالمياه أو الحفاظ على فصائل الكائنات في هذا الكتاب.

لا يكفي أن تكون لدينا هذه الرؤية الشاملة فحسب، إن أردنا توحيد الكلمة، لنتبنى إجراءات بعينها كي نحقق مفهوم المجتمع المستدام. لكن هذه الرؤية مع أدوات المساعدة في هيكلة وتبادل المعرفة قد تشكل نقطة بداية لبناء إجماع مجتمعي حقيقي بتوفير أرضيةِ تفاهمٍ مشتركٍ يفضي إلى تأسيس منتدى عالمي أو نقطة لقاء للتحاور والتعاون الواضح عن طريق الإنترنت. وبإقامة نقط اللقاء تلك آمل أن نتمكن من إعادة بناء علاقة حسنة بين التكنولوجيا والمجتمع، وبذا نرسم مسارًا لاستدامة الأرض.

هناك عمل سينمائي يحمل اسم «على الشاطئ». في المشهد الأخير من هذا الفيلم وعندما تكون البشرية على شفا الانقراض في أعقاب حرب نووية وبين أوراق الشجر الجافة التي تتطاير باهتياج في رياح عاصفة، يظهر شاهد قبر في كنيسة كتب عليه «أخي! لا يزال هناك متسع من الوقت». هذه العبارة تنطبق أيضًا على فكرة استدامة الأرض. لن تفوتنا الفرصة بعدُ إنْ خطونا الخطوة الأولى الآن!

هيروشي كومي ياما

نبذة عن مؤلفيْ الكتاب

في أبريل/نيسان 2005م أصبح هيروشي كومي ياما الرئيس الثامن والعشرين لجامعة طوكيو. وهو متخصص في الهندسة الكيميائية والهندسة الكونية وهيكلة المعرفة. وقد نال درجات البكالوريوس والماجستير والدكتوراه في الهندسة من جامعة طوكيو. خلال الفترة من عام 1973 إلى عام 1974م نال درجة زمالة ما بعد الدكتوراه في جامعة كاليفورنيا في ديفيز.

وفي عام 1988م أصبح أستاذًا في قسم نظم الهندسة الكيميائية في جامعة طوكيو. وبعد أن تولى منصب عميد كلية الهندسة خلال الفترة 2000م- 2002م عُيِّنَ نائبًا لرئيس جامعة طوكيو في 2003م، ثم نائبًا لرئيسها التنفيذي في 2004م.

وعندما تولى رئاسة الجامعة أعلن عن خطة عمل جامعة طوكيو، ملخصًا فيها المبادرات الرئيسة لتحقيق حلم «جامعة طوكيو تصبو إلى ذروة المعرفة العالمية في مقدمة السباق مع الزمن». علاوة على ذلك أنشأ مشروعات جديدة لإصلاح جامعة طوكيو عن طريق محاولات لتحقيق «هيكلة المعرفة» وتبادل المعرفة تبادلًا «مستقلًا وغير مركزي وتعاونيًّا في الوقت ذاته».

ستيفن كرينز أستاذ مساعد في برنامج تكامل العلوم التابع لشعبة تنسيق المشروعات في جامعة طوكيو. وهو متخصص في التقنيات القائمة على

الإنترنت لتبادل المعرفة بين الخبراء ونظم التعاون بالوكالة وتكامل النماذج. وقد حصل على درجة البكالوريوس من كلية أوبرلين بولاية أوهايو الأمريكية، ثم درجتي الماجستير والدكتوراه في الهندسة الكيميائية من جامعة طوكيو.

كتب أخرى باللغة اليابانية

(In Japanese)		
Sokudoron (Rate processes)	Asakura	1990
Chikyu ondanka mondai handobukku (Handbook of global warming)	IPC	1990
CVD handbukku (CVD handbook) *translated into Korean (1993)	Asakura	1991
Biryushi handobukku (Microparticle handbook)	Asakura	1991
Chikyu kankyo no tameno chikyu kogaku nyumon (Primer of global engineering for global environment)	Ohmsha	1992
Chikyu kankyo no tameno kagakugijutsu nyumon (Primer of chemical technologies for global environment)	Ohmsha	1992
Chikyu ondanka mondai ni kotaeru (Answering the global warming problem)	University of Tokyo Press	1995
Hannou kogaku (Reaction engineering)	Baifukan	1995
Nyumon netsurikigaku (Introduction to thermodynamics)	Baifukan	1996
Chikyu jizoku no gijutsu (Technologies for global sustainability) *translated into Chinese (2006)	Iwanami	1999
Taiyokou hatsuden kogaku (Photovoltaic engineering)	Nikkei BP	2002
Biomass Nippon (Biomass Japan) *translated into Chinese (2005)	Nikkan Kogyo Shinbun	2003
Ugoke! Nippon (Move it Japan!)	Nikkei BP	2003

Chishiki no kozoka (Structuring knowledge) *translated into Chinese (2005) and Korean (2008)	Open Knowledge	2004
Todai no koto oshiemasu (I will tell you about the University of Tokyo)	President	2007
Kadai senshinkoku Nihon (Japan as a forerunner for addressing emerging problems in the world)	Chuokoron-Shinsya	2007
Sustainability he no chosen (Taking on the challenge of sustainability)	Iwanami	2007
Chishiki no kozoka koen (Lectures on structuring knowledge)	Open Knowledge	2007
(In English)		
Equilibrium and reaction rate. In: Tominaga H، Tamaki M (eds) Chemical reaction and reactor design	Wiley	1997
New techniques to produce functional materials: chemical vapor deposition. In: Garside J، Furusaki S (eds) The expanding world of chemical engineering	Gordon and Breach Science	1994
Global sustainability and the role of Asia. In: Sasaki T (ed) Nature and human communities	Springer	2004