

# منابع و راه کارهای انرژی پایدار برای مقابله با تغییرات آب و هوایی

تالیف:

دکتر مارک دیسندورف

دانشیار دانشگاه نیوساوت ولز استرالیا

ترجمه:

دکتر محمدرضا آقا براهیمی

دانشیار دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر دانشگاه بیرجند

فریده فرهادی

مربی دانشکده ادبیات و علوم انسانی دانشگاه بیرجند



# منابع و راهکارهای انرژی پایدار

برای مقابله با

## تغییرات آب و هوایی

تالیف:

دکتر مارک دیسندورف

دانشیار دانشگاه نیوساوت ولز استرالیا

ترجمه:

دکتر محمدرضا آقاابراهیمی

دانشیار دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر دانشگاه بیرجند

فریده فرهادی

مربی دانشکده ادبیات و علوم انسانی دانشگاه بیرجند

سازمان انتشارات جهاد دانشگاهی

۱۳۹۴

سرشناسه	:
عنوان و نام پدیدآور	:
مشخصات نشر	:
مشخصات ظاهری	:
شابک	:
وضعیت فهرست نویسی	:
یادداشت	:
شناسه افزوده	:
شناسه افزوده	:
شماره کتابشناسی ملی	:

## منابع و راه کارهای انرژی پایدار برای مقابله با تغییرات آب و هوایی

تالیف: مارک دیسندورف

ترجمه: محمدرضا آقاابراهیمی و فریده فرهادی

ناشر: سازمان انتشارات جهاد دانشگاهی

چاپ: اول - ۱۳۹۴

شمارگان:

قیمت: ۱۷۰۰۰ تومان

شابک:

این اثر، مشمول قانون حمایت مؤلفان و مصنفان و هنرمندان مصوب ۱۳۴۸ است، هر کسی تمام یا قسمتی از این اثر را بدون اجازه مؤلف (ناشر) نشر یا پخش یا عرضه نماید مورد پیگرد قانونی قرار خواهد گرفت.



سازمان انتشارات

نشانی سازمان انتشارات: تهران - خیابان انقلاب اسلامی - خیابان فخررازی - خیابان شهدای ژاندارمری - پلاک ۷۲، تلفن: ۶۶۹۵۲۹۴۸  
مرکز پخش:

خیابان انقلاب - بین فلسطین و چهارراه ولیعصر - جنب مؤسسه نمایشگاه‌های فرهنگی ایران - تلفن: ۶-۶۶۴۸۷۶۲۵

پایگاه اطلاع‌رسانی: [www.isba.ir](http://www.isba.ir) پست الکترونیکی: [info@isba.ir](mailto:info@isba.ir) فروشگاه اینترنتی: [www.Jdbook.ir](http://www.Jdbook.ir)

## فهرست

صفحه	عنوان
۵.....	یادداشت مترجمین و معرفی نویسنده .....
۷.....	یادداشتی از ایان لوهه .....
۱۱.....	سپاسگزاری .....
۱۳.....	پیش گفتار .....
<b>۲۷.....</b>	<b>بخش اول: مفاهیم بنیادین و سناریوها.....</b>
۲۹.....	فصل ۱- انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای .....
۵۷.....	فصل ۲- منابع و فناوری‌های انرژی .....
۹۹.....	فصل ۳- سناریوهای انرژی پایدار .....
<b>۱۴۹.....</b>	<b>بخش دوم: کدام فناوری‌ها پایدار هستند؟ .....</b>
۱۴۱.....	فصل ۴- صرفه‌جویی در مصرف انرژی .....
۱۶۷.....	فصل ۵- آثار فناوری‌های انرژی تجدیدپذیر .....
۱۹۵.....	فصل ۶- آیا انرژی هسته‌ای یک راه‌حل است؟ .....
۲۴۳.....	فصل ۷- حمل و نقل و شکل شهری .....
<b>۲۷۱.....</b>	<b>بخش سوم: سیاست‌ها، راه‌بردها، جنبه‌های سیاسی و اقدامات .....</b>
۲۷۳.....	فصل ۸- سیاست‌های کلی برای گذار بزرگ .....
۳۱۱.....	فصل ۹- سیاست‌های هدف‌گذاری شده برای انرژی تجدیدپذیر .....
۳۴۷.....	فصل ۱۰- چه کسی محرک گذار بزرگ خواهد بود؟ .....

۳۶۳	..... فصل ۱۱ - اقدامات شهروندان
۳۸۷	..... فصل ۱۲ - نتیجه گیری
۳۹۵	..... پیوست - آنچه که شما می توانید انجام دهید
۴۰۳	..... منابعی برای مطالعه بیشتر
۴۰۷	..... واژه نامه فارسی به انگلیسی
۴۱۵	..... واژه نامه انگلیسی به فارسی
۴۲۳	..... جداول توان های ۱۰ و یکاها

## یادداشت مترجمین و معرفی نویسنده

کتاب حاضر ترجمه اثر بسیار ارزشمند دکتر مارک دیسندورف<sup>۱</sup>، دانشیار و معاون مؤسسه مطالعات زیست‌محیطی دانشگاه نیوساوت ولز<sup>۲</sup> در سیدنی استرالیا، است که در سال ۲۰۱۴ میلادی توسط مؤسسه انتشارات دانشگاه نیوساوت ولز<sup>۳</sup> منتشر شده است. دکتر دیسندورف در حال حاضر مشغول پژوهش بر روی سناریوهای مرتبط با استفاده صددرصدی از انرژی برقی تجدیدپذیر در استرالیاست. از آثار منتشرشده قبلی او می‌توان به "راه‌حلهایی برای کاهش گازهای گلخانه‌ای با استفاده از انرژی پایدار"<sup>۴</sup> (۲۰۰۷) و "اقدام آب و هوایی: دستورالعمل کارزار برای راه‌حلهای کاهش گازهای گلخانه‌ای"<sup>۵</sup> (۲۰۰۹) اشاره کرد.

نویسنده در ۳ بخش کلی، شامل ۱۲ فصل، به ارائه گنجینه ارزشمندی از اطلاعات در خصوص منابع و راه‌کارهای انرژی پایدار پرداخته و طیف وسیعی از مطالب، از جمله مباحث مربوط به انرژی و گرمایش جهانی، مفاهیم بنیادین در خصوص تولید انرژی الکتریکی از منابع مختلف فسیلی و تجدیدپذیر، فناوری‌های انرژی موجود و وضعیت فعلی و آینده آنان، انرژی هسته‌ای، اقتصاد انرژی، حمل و نقل و شکل شهری، روش‌های صرفه‌جویی در مصرف انرژی و افزایش بهره‌وری انرژی در بخش ساختمان و مسکن، سناریوهای عملی برای آینده صنعت برق، نقش و جایگاه شرکت‌های تعاونی و سازمان‌های مردم‌نهاد در افزایش بهره‌وری انرژی و گسترش تولید و توزیع انرژی‌های تجدیدپذیر، سیاست‌های مورد نیاز برای گذار از مصرف سوخت‌های فسیلی به انرژی‌های تجدیدپذیر، زمینه‌های موجود برای اقدامات قانونمدارانه و غیرخوشونت‌آمیز شهروندان، به‌طور فردی و جمعی و به منظور ترغیب سیاستمداران به اتخاذ سیاست‌های اصولی و متعهدانه در زمینه حفاظت محیط زیست، و ... را سخاوتمندانه در اختیار خواننده مشتاق گذاشته و مطالب هر فصل را نیز با معرفی تعداد پرشماری از مراجع و منابع معتبر غنی‌تر کرده است.

در کتاب اصلی، همه منابع و یادداشت‌های کتاب در فصل مستقلی در انتهای کتاب آمده‌اند. در ترجمه کتاب، اما، به دلیل شمار زیاد منابع و به منظور آسان‌سازی دسترسی خوانندگان، منابع و

---

1 Mark Diesendorf

2 Institute of Environmental Studies, University of New South Wales

3 University of New South Wales Press

4 Greenhouse Solutions with Sustainable Energy

5 Climate Action: A campaign manual for greenhouse solutions

یادداشت‌های هر فصل به پایان همان فصل منتقل شده‌اند. وبسایت‌های معرفی شده در منابع کتاب همگی در تاریخ ۳۰ آگوست ۲۰۱۳ در شکل مورد استفاده در دسترس بوده‌اند.

تهیه نسخه اصلی کتاب، به دلیل محدودیت‌های ناشی از تحریم‌های نوشته و نانوشته بانکی و تجاری علیه ایران، با دشواری‌هایی مواجه بود که با کمک سرکار خانم مهندس الهام زاهد، دانشجوی سابق دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر دانشگاه بیرجند و دانشجوی وقت دوره کارشناسی ارشد دانشگاه RMIT ملبورن (استرالیا)، بر این دشواری‌ها غلبه شد. مترجمین از این بابت سپاسگزار خانم مهندس زاهد هستند.

بخش عمده‌ای از امور مربوط به ترجمه این کتاب در طی یک فرصت مطالعاتی سه‌ماهه در تابستان ۱۳۹۴ و در دانشکده مهندسی دانشگاه مانی‌توبا (کانادا) انجام گردید. آقای دکتر میثم امیری، دانشجوی سابق دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر دانشگاه بیرجند و پژوهشگر فعلی دانشکده مهندسی دانشگاه مانی‌توبا، در فراهم آوردن فضایی آرام و مناسب برای این کار سنگین و زمان‌بر کمک شایانی به مترجمین نمودند. مترجمین کمال امتنان خود را از آقای دکتر امیری نیز اعلام می‌دارند.

کار دشوار و طاقت‌فرسای تایپ حدود ۴۵۰ صفحه متن دست‌نویس ترجمه کتاب توسط خانم مهندس سپیده آقاابراهیمی و آقای علیرضا آقاابراهیمی، با دقتی فراوان و سلیقه‌ای تحسین‌برانگیز، انجام شده است. مترجمین مراتب تشکر عمیق خود را به این دو نیز ابراز می‌دارند.

در پایان، مترجمین کتاب امیدوارند که مطالب آن، علاوه بر استفاده در مراکز دانشگاهی و پژوهشی، بیش‌تر و پیش‌تر مورد توجه دقیق و تامل عمیق کارشناسان، تصمیم‌سازان و تصمیم‌گیرندگان اصلی در بخش‌های انرژی، اقتصاد، محیط زیست، حمل و نقل شهری و بین‌شهری، شهرسازی و مسکن میهن عزیزمان، ایران، قرار گیرد. بی‌تردید، چالش‌های مهیب زیست‌محیطی و اقتصادی ناشی از پدیده گرمایش جهانی کشور و تمدن چندین‌هزارساله ما را نیز به شدت تهدید می‌کنند و توجه به آنچه که در کتاب حاضر، با صرف زمان بسیار طولانی و انرژی فراوان، توسط نویسنده جمع‌آوری و تبیین شده است، به فضل الهی، دربرگیرنده راه‌حل‌های علمی و منطقی برای مقابله سریع و موثر با این چالش‌ها خواهد بود. انه ولی التوفیق.

**محمد رضا آقاابراهیمی**

**فریده فرهادی**

## یادداشتی از ایان لووه

کتاب حاضر دستورالعملی برای آینده بهتر است و به ما یادآوری می‌کند که موتور توسعه بی‌سابقه اقتصادی در طول قرن بیستم میلادی به وسیله انرژی ارزان و فراوان تغذیه می‌شد. جهان امروزین، اما، به طور کلی متفاوت است. تحلیل‌گران در حدود ۵۰ سال قبل اثبات نمودند که تولید سنتی نفت در اوایل قرن بیست و یکم میلادی به اوج خود می‌رسد. منبع انرژی‌ای که امروزه تقریباً کل حمل و نقل ما را به حرکت در می‌آورد به صورت پیوسته‌ای گران‌تر شده و بروز وقفه در عرضه انرژی کاملاً محتمل خواهد بود. در نتیجه، آینده کوتاه مدت نیازمند نگرش جدیدی به مقوله حمل و نقل خواهد بود. چالش دوم بر سر راه مصرف انرژی در آینده، تغییرات آب و هوایی جهانی است. سوزاندن سوخت‌های فسیلی توسط بشر موجب بروز مشکلات جدی برای همه جوامع انسانی و نیز پیامدهای عمیقی برای طبیعت شده است. "گزارش ارزیابی هزاره" هشدار داده است که ما با نرخ شتابدار در حال از دست دادن گونه‌های مختلف جانوری هستیم، چرا که عوامل مخرب از بین رفتن زیست‌گاه‌ها، وارد کردن گونه‌های جدید به زیست‌گاه‌ها و آلودگی شیمیایی توسط تغییرات آب و هوایی تقویت شده‌اند. این گزارش تصریح کرده است که ما ممکن است که بین ۱۰ تا ۳۰ درصد از همه گونه‌های پستاندار، پرنده و دوزیست را در قرن حاضر از دست بدهیم. این‌ها پیامدهای هشدار دهنده‌ای هستند که یک پاسخ هماهنگ بین‌المللی را طلب می‌کنند.

در همین حال، سامانه اقتصادی جهانی همچنان بازتاب دهنده آثار بحران مالی جهانی سال ۲۰۰۸ است. مجمع جهانی اقتصاد<sup>۳</sup> دریافته است که مشکلات مرتبط با سوخت، غذا و امور مالی سه علامت هشدار دهنده هستند که نشان می‌دهند سامانه موجود اقتصادی پایدار نیست.

ما امروز در حال مشاهده نتایجی هستیم که بیش از ۴۰ سال قبل برای "باشگاه رم"<sup>۴</sup> مدل‌سازی شده بود. گزارش آنان، موسوم به "محدودیت‌های توسعه"<sup>۵</sup> پیش‌بینی کرده بود که تداوم روند توسعه موجود موجب فروپاشی زیست محیطی، اجتماعی و اقتصادی در دهه‌های ابتدایی تا میانی قرن حاضر خواهد شد. همان‌طور که گزارش‌های موجود در "مجموعه گزارش‌های سازمان ملل متحد در زمینه

1 The Millennium Assessment Report

2 2008 Global Financial Crisis

3 The World Economic Forum

۴ باشگاه رم (Club of Rome) یک اندیشکده جهانی مستقر در ایتالیاست که در سال ۱۹۶۸ میلادی بنیادگذاری شده و به مجموعه‌ای از مسائل سیاسی بین‌المللی می‌پردازد. (مترجمین)

5 Limits to Growth

چشم انداز محیط زیست جهانی<sup>۱</sup> از ۱۵ سال قبل هشدار داده اند، رویکرد کنونی پایدار نیست و در نتیجه، "هیچ کاری انجام ندادن" جزو گزینه‌های ما نمی‌تواند باشد.

کتاب حاضر نشان می‌دهد که راه‌حل‌های واقع‌گرایانه و دارای صرفه اقتصادی وجود دارند و ما می‌توانیم به سرعت به سمت سامانه‌های عرضه انرژی‌های تجدیدپذیر حرکت کنیم. علاوه بر این، ما می‌توانیم به نحو چشمگیری بازده تبدیل انرژی به کالاها و خدمات را بهبود بخشیم. ما در سطحی از رفاه مادی زندگی می‌کنیم که پدربزرگ‌های ما تنها می‌توانستند آن را در رویاهای خویش مشاهده کنند و این همه، به مدد جریان‌های عظیم انرژی ممکن شده است. مصرف کل انرژی در استرالیا معادل آن است که هر استرالیایی به‌طور پیوسته حدود ۶ کیلووات انرژی مصرف کند، و این معادل انرژی‌ای است که برای راندن یک خودروی کوچک توسط هر استرالیایی و به صورت شبانه روزی کافی است. انرژی تنها خانه‌های ما را روشن نمی‌کند، آب مصرفی ما را گرم نمی‌کند و وسایل نقلیه ما را به حرکت در نمی‌آورد؛ انرژی یک ورودی حیاتی برای فراهم آوردن غذای ما، آب آشامیدنی ما، مسکن ما، لباس ما و به‌طور کلی همه جنبه‌های زندگی امروزی است. ما در واقع به خود انرژی‌نیازی نداریم؛ آن‌چنان که آموری لوینز<sup>۲</sup> گفته است: ما به دوش آب گرم و نوشیدنی خنک نیاز داریم! ما سطحی از رفاه مادی را انتظار داریم که از طریق استفاده از انرژی حاصل شده است.

چالش فنی و سیاسی موجود، پیدا کردن روش‌هایی برای فراهم آوردن نیازهای مادی ماست، بدون آن‌که موجب نابود شدن منابع تجدیدناپذیر، آلوده ساختن محیط زیست و ایجاد تغییرات در آب و هوا بشوند. کتاب حاضر نشان می‌دهد که یک آینده پاک از نظر فنی و اقتصادی قابل دسترسی است و زندگی در سطح رفاه مادی که ما امروزه از آن بهره‌مند هستیم با استفاده از نصف یا کمتر از نصف میزان مصرف انرژی فعلی امکان‌پذیر است. ما می‌توانیم همه انرژی مورد نیازمان را از ترکیبی از فناوری‌های عرضه انرژی تجدیدپذیر، با استفاده از منابع مستقیم و غیرمستقیم انرژی خورشیدی که تا میلیاردها سال پایان نخواهند یافت، به دست آوریم. کاستن از آثار منفی زیست محیطی ناشی از مصرف انرژی تنها یکی از تغییرات اضطراری است که باید انجام دهیم، اما این گام دشوار اول است چرا که اغلب نیازهای ما را انرژی فراهم می‌آورد. علاوه بر این، این یک گام اساسی در مسیری به سمت آینده‌ای است که می‌تواند حقیقتاً پایدار باشد.

1 United Nations series on the Global Environmental Outlook

2 Amory Lovins

آینده جایی نیست که ما به آن می‌رویم، بلکه چیزی است که همه ما در حال خلق آن هستیم. در هر زمان مشخص، آینده‌های محتمل زیادی وجود دارند. از میان طیف وسیع گزینه‌ها، ما باید سعی کنیم آینده‌ای را بسازیم که حداقل به‌طور اصولی پایدار باشد. در حال حاضر ما خواسته‌های خود را به گونه‌ای ارضا می‌کنیم که شمار گزینه‌های ممکن برای نسل‌های بعدی را، از طریق نابودسازی منابع، کاهش می‌دهد. ما در واقع در حال دزدی از نوادگان خود هستیم. همچنین، ما نیازهای خود را به روش‌هایی برآورده می‌سازیم که آب و هوای جهانی را به شدت تغییر می‌دهد و فروپاشی تمدن بشری را تسریع می‌کند. این یک رویکرد غیرمسئولانه و مجرمانه است، اما رویکردی است که ما در حال حاضر اتخاذ کرده‌ایم. کتاب حاضر نشان می‌دهد که یک آینده بهتر امکان‌پذیر است. این یک فراخوان برای اقدام و راهنمایی برای زندگی مسئولانه است.

### ایان لووه<sup>۱</sup>

استاد بازنشسته دانشکده علوم دانشگاه گریفیث<sup>۲</sup>

و رئیس بنیاد حفظ استرالیا<sup>۳</sup>

---

1 Ian Lowe

2 Griffith University

3 Australian Conservation Foundation



## سپاسگزاری

من از Ben Elliston و Iain MacGill به خاطر نظرات ارزشمندشان در باره برخی از بخش‌های کتاب تشکر می‌کنم. من همچنین از Johannes Luetz به خاطر یافتن برخی منابع کمیاب کتاب؛ Franziska Mey به خاطر فراهم آوردن مراجع و اطلاعات مربوط به تعاونی‌های انرژی در آلمان؛ Peter Newman به خاطر ارسال پیش‌نویس برخی از مقالاتش در زمینه حمل و نقل و شکل شهری؛ و Frank Stilwell به خاطر تبیین پاره‌ای از مفاهیم بنیادین اقتصاد سپاسگزارم. محتوای کتاب حاضر توسط این داده‌ها پر بارتر شده است، اما، مسئولیت نظرات بیان شده در این کتاب، خطاها و از قلم-افتادگی‌های احتمالی بر عهده خود من است.

من از Khanam Virjee، دبیرمسئول در انتشارات Routledge-Earthscan، به خاطر قبول کتابم در شرکت انتشاراتی‌اش ممنونم. من از کار کردن با Jane McCreadie، Heather Cam و Elspeth Menzies و Uthpala Gunethilak در انتشارات New South Publishing لذت بردم. ویراستار کتاب، Jessica Perini، توصیه‌های عالمانه‌ای برای بهبود محتوای کتاب و نگارش متن آن داشت. Yvonne Lee برخی از نمودارهای خام مرا به شکل‌های حرفه‌ای تبدیل کرد. Sue Midgley همواره در برقراری ارتباط بین من و برخی از مشارکت‌کنندگان در تهیه کتاب مفید بود. همچنین، از Ben Eliston به خاطر شکل ۲-۴؛ از شرکت ACS Cobra/ESTELA<sup>1</sup> به خاطر تصویر نیروگاه خورشیدی Andasol 1 (شکل ۲-۵ الف) و اجازه چاپ آن؛ از Toresol Energy به خاطر اجازه چاپ تصویر نیروگاه خورشیدی Gemasolar (شکل ۲-۵ ب)؛ از Mark Cooper به خاطر شکل ۲-۶؛ و از Peter Newman به خاطر شکل ۷-۱ سپاسگزارم. من این کتاب را به پسرانم، Thor، Danny و Joey و نوه‌هایم Bede، Asha و Oliver تقدیم می‌کنم.

---

1 [www.estelasolar.eu](http://www.estelasolar.eu)



## پیش‌گفتار

در ده سال اخیر ... قوی‌ترین، و از نظر فناوری، پیشرفته‌ترین جامعه در تاریخ بشر ... با بحران‌هایی مهیب و ظاهراً حل‌نشدنی مواجه شده است. ابتدا، تهدید زیست‌محیطی برای ادامه حیات رخ نمود؛ سپس کمبود ظاهری انرژی؛ و اینک سقوط غیرمنتظره اقتصاد. این بحران‌ها معمولاً به عنوان مصیبت‌هایی جدا از هم در نظر گرفته می‌شوند که هر کدام از آن‌ها باید براساس شرایط خودش درمان شود: ناهنجاری‌های زیست-محیطی از طریق کنترل آلاینده‌ها؛ بحران انرژی از طریق یافتن منابع جدید انرژی و ابداع راه‌های جدید برای حفاظت از آن؛ بحران اقتصادی از طریق کنترل قیمت‌ها، مالیات‌ها و نرخ بهره. [۱]

### باری کامونر<sup>۱</sup>

در طول چند میلیون سال گذشته، سیاره ما شرایط زیست‌محیطی عالی برای پرورش نوع بشر و توسعه جوامع بشری فراهم ساخته است. اما، همچنان که جوامع ما از وضعیت شکارچی-گردآورنده<sup>۲</sup> به وضعیت صنعتی تکامل یافتند، ما نیز به نحوی فزاینده به سامانه‌ای که به‌طور کامل به آن وابسته‌ایم، یعنی زیست‌کره<sup>۳</sup> (در برگیرنده همه انواع حیات بر روی زمین) و اجزای غیر زنده آن، آسیب رسانده‌ایم. ما شدیداً هوا، زمین، آبراه‌ها، سایر گونه‌ها و هم‌نوعان خویش را تحت فشار قرار داده‌ایم. می‌توان بحث کرد که عظیم‌ترین و مخرب‌ترین تغییرات، همانی است که ما بر سر آب و هوا آورده‌ایم. انتشار گازهای گلخانه‌ای<sup>۴</sup> (GHGs) از طریق سوزاندن سوخت‌های فسیلی و جنگل‌زدایی و تحمیل سامانه‌های مخرب کشاورزی به جای آن‌ها ما را در مسیری قرار داده است که می‌تواند تا سال ۲۱۰۰ میلادی سیاره ما را تا ۴ درجه سانتی‌گراد (یا بیشتر) بالاتر از متوسط دوران ماقبل صنعتی گرم کند و تغییرات شگرفی در الگوهای بارندگی به وجود آورد. آثار منفی این فرایند عبارتند از: خشکسالی‌های بیشتر و شدیدتر، امواج گرمایی، آتش‌سوزی‌های جنگلی و سیل، بالا آمدن سطح آب‌های دریاها و آسیب رساندن به زیرساخت‌های ساحلی، از دست دادن تنوع زیستی، از جمله از بین

1 Barry Commoner

2 Hunter-Gatherer

3 Biosphere

4 Greenhouse Gasses

رفتن حیات دریایی در اثر اسیدی شدن اقیانوس‌ها و مرگ صخره‌های مرجانی، کاهش تولید جهانی غذا و احتمالاً افزایش تعداد طوفان‌های سهمگین. اغلب این آثار منفی هم‌اینک قابل مشاهده‌اند [۲]. علاوه بر این، آلودگی محلی و منطقه‌ای هوا یک پیامد جدی زیست‌محیطی و بهداشتی سوزاندن سوخت‌های فسیلی است [۳]. ممکن است تصور کنید که استفاده از فیلترها برای کاهش آلاینده‌های منتشرشده توسط نیروگاه‌ها و مبدل‌های کاتالیزوری برای کاهش آلاینده‌های تولیدی خودروها تا حدودی به این مشکل پاسخ می‌دهد. اما، پیشرفت‌های فناوری در این زمینه‌ها توسط رشد عظیم تعداد نیروگاه‌ها و خودروها خنثی شده‌اند. افت کیفیت زمین توسط معادن زغال‌سنگ روباز و در اثر تراشیدن قلّه‌تپه‌ها و کوه‌ها بسیار جدی است [۴]. حتی معادن زیرزمینی زغال‌سنگ نیز می‌توانند آثار زیست‌محیطی ویرانگری بر سطح زمین داشته باشند، به عنوان مثال وقتی که استخراج از دیواره‌های بزرگ زغال‌سنگ<sup>۱</sup> موجب فرونشست زمین می‌شود [۵].

در دهه ۱۹۶۰ میلادی، امنیت انرژی یک نگرانی جدی بود، و این زمانی بود که اوج اکتشافات منابع جهانی نفت پشت سر گذاشته شد. این موضوع در سال ۱۹۷۱، زمانی که ایالات متحده آمریکا اوج استخراج نفت خود را از سر گذراند، جدی‌تر نیز شد. سطح نسبتاً پایین استخراج نفت در استرالیا در سال ۲۰۰۰ میلادی به اوج خود رسید. امروزه، اغلب کشورهای عمده تولیدکننده نفت اوج تولید خود را پشت سر گذارده‌اند و این موضوع چنین دلالت می‌کند که اوج تولید جهانی نفت قریب الوقوع بوده و پس از آن نرخ تولید نفت دارای سیر نزولی خواهد بود [۶]. در همین حال، مصرف نفت توسط اقتصادهای دارای رشد بالا، خصوصاً چین و هندوستان، با نرخی بسیار بیشتر از نرخ رشد تولید داخلی آن‌ها در حال افزایش است. در نتیجه، وقتی که اقتصادها از بحران مالی جهانی (GFC) فاصله بگیرند و رشد مصرف دوباره آغاز شود، این امکان وجود دارد که قیمت‌ها به شدت افزایش یابند. نبرد برای تسلط بر منابع رو به کاهش نفت خاورمیانه تا بدینجا هزینه‌های هنگفتی، هم به صورت خسارات جانی مردم آن منطقه و هم به شکل بار مالی مداخلات نظامی آمریکا، به دنبال داشته است. ادعاهای اخیر روزنامه نگاری به نام جرج مونبیو<sup>۲</sup> و دیگران، مبنی بر اینکه اوج قیمت‌های نفت متعلق به گذشته است [۷]، بر پذیرش بی‌چون و چرای یک تحلیل معیوب از سوی آنان استوار است [۸].

1 Longwall Coal Mining  
2 George Monbiot

آیا سایر فناوری های سوخت های فسیلی ما را از گزند قیمت های بالای نفت محافظت نمی کنند؟ هیچ جایگزین ارزان و سهل الوصولی برای نفت خام معمول، که دارای چگالی انرژی حجمی مشابهی باشد، وجود ندارد (رک جدول ۷-۲). به استثنای گاز طبیعی و احتمالاً گاز متان استخراج شده از معادن زغال سنگ<sup>۱</sup>، سایر سوخت های جایگزین فسیلی [۹] همگی دارای مقادیر مشابه یا بالاتری از گازهای گلخانه ای منتشر شده و آثار منفی زیست محیطی هستند. مخاطرات زیست محیطی و آثار منفی اقتصادی ناشی از استخراج آب از چاه های عمیق تا همین جا در خلیج مکزیکو مشاهده شده اند [۱۰]. جدا از اشباع موقت بازار گاز شیل<sup>۲</sup> در ایالات متحده آمریکا، جایگزین های سوخت های نفتی همگی گران ترند و در نتیجه، هزینه های حمل و نقل، مواد غذایی، پلاستیک و غیره را افزایش خواهند داد. علاوه بر این، مطالعات اخیر نشان می دهند که اوج جهانی تولید زغال سنگ احتمالاً قبل از سال ۲۰۵۰ میلادی اتفاق خواهد افتاد [۱۱]. بنابراین، حتی اگر نیروگاه های زغال سنگی مجهز به سامانه های به دام اندازی و ذخیره سازی کربن<sup>۳</sup> (CCS) هم در نهایت وارد بازار شوند، ممکن است سوخت ارزان قیمت کافی برای بهره برداری از آنان وجود نداشته باشد.

بحران اقتصادی پس از جنگ جهانی دوم، که باری کامونر به آن اشاره می کند، در مقابل بحران مالی جهانی سال ۲۰۰۸ میلادی بدین سو، ناچیز جلوه می کند. در زمان نگارش کتاب حاضر، این بحران هنوز آثار منفی شدیدی، از نقطه نظر نرخ بیکاری و دستمزدهای رو به کاهش، در اسپانیا، پرتغال، ایتالیا، یونان، ایرلند، ایسلند و ایالات متحده آمریکا به دنبال دارد.

بنابراین، همه بحران های جهانی که کامونر در سال ۱۹۷۶ میلادی شناسایی کرده است، اینک بسیار عمیق تر شده اند. این واقعیت دلالت بر این دارد که همه پیشرفت های فناورانه، هرچند که لازم هستند، اما برای حل مشکلات به هم تنیده انرژی، محیط زیست و اقتصاد کافی نیستند. حفر چاه های عمیق تر، تغییرات آب و هوایی ساخته دست بشر و سایر آثار منفی ناشی از استفاده از سوخت های فسیلی همگی عوارض و پیامدهای سه نیروی محرکه بنیادین، یعنی جمعیت، سرانه بالای مصرف (که گاهگاهی "وفور" نامیده می شود) و فناوری نامناسب، هستند.

1 Coal Seam Methane

2 Shale Gas

3 Carbon Capture and Storage

### نیروهای محرکه تغییرات آب و هوایی

در یک سطح، ما می‌توانیم نیروهای محرکه تغییرات آب و هوایی ساخته دست بشر را بر حسب یک تساوی ریاضی ساده، که در یادداشت ۱-۱ اثبات شده است، درک کنیم:

$$\text{تأثیر فناوری} \times \text{سرانه مصرف} \times \text{جمعیت} = \text{دی اکسید کربن منتشرشده}$$

با استفاده از این رابطه، می‌توانیم دریابیم که حجم گازهای منتشره کل در اثر تولید انرژی در ایالات متحده آمریکا، به دلیل جمعیت زیاد (۳۱۶ میلیون نفر در سال ۲۰۱۳ میلادی) و درصد بسیار بالای سوخت‌های فسیلی در سبد انرژی آن کشور، بسیار زیاد است. حجم گازهای منتشرشده کل توسط چین نیز، علیرغم آن که متوسط مصرف سرانه آن کشور پایین است، بسیار بالاست و این به دلیل جمعیت بسیار بالا (حدود ۱۳۰۰ میلیون نفر) و سهم زیاد سوخت‌های فسیلی، خصوصاً زغال‌سنگ، در سبد انرژی آن کشور است. حجم کل گازهای منتشره توسط استرالیا، در مقایسه با آمریکا و چین، بسیار پایین‌تر است و این به دلیل جمعیت نسبتاً کم استرالیا (۲۳ میلیون نفر در سال ۲۰۱۳) است. در عین حال، میزان سرانه نه چندان رشک‌برانگیز و رکوردشکن انتشار گازهای گلخانه‌ای توسط استرالیا بالاترین میزان در میان کشورهای صنعتی است و این به خاطر استفاده بسیار زیاد از زغال‌سنگ برای تولید الکتریسیته است.

بنابراین، تساوی ساده بالا به ما کمک می‌کند تا بحث در مورد اینکه کدام یک از نیروهای محرکه تغییرات آب و هوایی - جمعیت، سرانه مصرف و انتخاب فناوری - مهم‌ترند را به نتیجه برسانیم. بسته به شرایط، هر یک از این عوامل می‌توانند عامل غالب باشند. در کشورهای ثروتمند، رشد مصرف سرانه، همراه با فناوری‌های آلاینده، معمولاً عامل غالب است، در حالی که رشد جمعیت، اگر وجود داشته باشد، یک محرکه ثانویه است. در کشورهای فقیرتر، رشد جمعیت، همراه با فناوری‌های آلاینده، معمولاً مشکل اصلی است و رشد اقتصادی در بین طبقه ثروتمندتر جامعه می‌تواند یک محرکه ثانویه باشد. این تساوی از این نظر هم مفید است که نشان می‌دهد که می‌توان انتشار دی اکسید کربن را با هدف قرار دادن هر یک از نیروهای محرکه مورد نظر و با استفاده از مجموعه جدایی از سیاست‌ها کاهش داد: عامل جمعیت از طریق سیاست‌های جمعیتی غیر اجباری (فصل ۸، "توقف بدون اجبار رشد جمعیت")؛ عامل سرانه مصرف انرژی از طریق برنامه‌هایی برای تقویت فرهنگ

صرفه جویی در مصرف انرژی و مصرف کارآمد انرژی (فصل ۴)؛ و عامل فناوری از طریق برنامه‌هایی برای تقویت مصرف کارآمد انرژی و استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر<sup>۱</sup> (RE) (فصل‌های ۲، ۴ و ۵).

#### یادداشت ۱-۱ - تفکیک آثار زیست محیطی

بباید میزان انتشار گاز دی اکسید کربن (CO<sub>2</sub>) را C در نظر گیریم که در اثر تولید انرژی به میزان E و جمعیت P حاصل شده و شاخصی از آثار زیست محیطی تغییرات آب و هوایی است. مصرف سرانه انرژی E/P است و تأثیر فناوری را می‌توان بر اساس کربن منتشر شده به ازای هر واحد انرژی مصرفی، C/E، سنجید. اینک، می‌توان میزان انتشار گاز دی اکسید کربن را به سه عامل تجزیه کرد:

$$C = P \times (E/P) \times (C/E) \quad (\text{معادله ۱-۱})$$

واضح است که تساوی بالا برقرار است، چرا که می‌توان P ها و E ها را حذف کرد تا به تساوی C = C رسید. اگر هر یک از عوامل طرف راست تساوی بالا - جمعیت، سرانه مصرف یا تأثیر فناوری - را دو برابر کنیم، آنگاه میزان انتشار دی اکسید کربن هم دو برابر می‌شود. اگر هر سه عامل دو برابر شوند، آنگاه میزان انتشار دی اکسید کربن در عدد  $2 \times 2 \times 2 = 8$  ضرب می‌شود. تساوی بالا حالت خاصی از تساوی مشهور ابداع شده توسط یک متخصص محیط زیست به نام Paul Ehrlich و فیزیک‌دانی به نام John Holdren است:

$$I = P \times A \times T \quad (\text{معادله ۲-۱})$$

که تأثیر زیست محیطی I را با حاصل ضرب سه عامل جمعیت، P، و فور (میزان سرانه مصرف)، A و تأثیر فناوری، T، برابر می‌سازد. در این حالت کلی، مصرف معمولاً بر اساس تولید ناخالص داخلی داده شده و برحسب پول بیان می‌شود.

#### دانش اقلیم‌شناسی مستحکم است

به عنوان دانشگری که در امر انتقال علوم تجربی به عموم، و همین‌طور به پژوهش‌های علمی و فناوری در زمینه سامانه‌های انرژی مشغول هستم، من اغلب پیشنهادهایی از برخی از اعضای جامعه دریافت می‌کنم که بر اساس آن‌ها، ماشین‌های معجزه‌گری ساخته می‌شوند که به‌طور همیشگی به تولید

انرژی مفید از هیچ مشغول خواهند بود. اگر وقت داشته باشم، به آن‌ها پاسخ می‌دهم که اختراع ایشان قانون پایستگی انرژی<sup>۱</sup>، که یکی از بنیادی‌ترین قوانین فیزیک است، را نقض می‌کند (رک فصل ۱). هرچند علوم تجربی حرف‌های کمی در مورد زیبایی، عشق و اخلاق برای ما دارند، اما بهترین چهارچوب برای درک ساختار و نحوه فعالیت سامانه‌های طبیعی به شمار می‌روند. بر اساس مشاهدات و آزمایش‌های سخت ملال آور، دانشمندان قوانین بنیادین طبیعت را کشف کرده، از آن‌ها برای انجام پیش‌گویی استفاده کرده، پیش‌گویی‌ها را به بوتۀ آزمون گذاشته و در نتیجه، حدود اعتبار این قوانین را شناسایی کرده‌اند. به عنوان مثال، فیزیکدان نظری، آلبرت انشتین، نشان داده است که قانون پایستگی انرژی را باید برای اجسامی که با سرعت‌هایی نزدیک به سرعت نور حرکت می‌کنند اصلاح کرد، به گونه‌ای که این قانون به قانون پایستگی جرم-انرژی<sup>۲</sup> تبدیل می‌شود. سایر دانشمندان نشان داده‌اند که اصلاحات مشابهی در مقیاس ذرات بنیادین مورد نیازند. اما قانون اولیه برای شرایط طبیعی مورد تجربه بشر معتبر باقی می‌ماند. دانشمندان زیادی وقت، تلاش و ابتکار زیادی را صرف می‌کنند تا راه‌هایی جایگزین برای تفسیر مشاهدات بیابند. آن‌ها خود را شکاکانی اصیل می‌پندارند. در عین حال، آن‌ها اغلب ترجیح می‌دهند که زمان زیادی را صرف زیر سؤال بردن نتایجی که به خوبی اثبات شده‌اند نکنند، مگر آن که دلایل متقنی بر مبنای مشاهدات قابل تکرار وجود داشته باشد.

به عنوان یک انسان، اکثریت عظیم دانشمندان علاقه‌ای ندارند که به عنوان عناصری افراطی یا بیش از حد هشداردهنده شناخته شوند. بنابراین، در اظهار نظرهای عمومی در مورد یک مسئله تمایل دارند که محتاط و محافظه کار باشند. به عنوان مثال، در ارائه نتایج مدل‌های بسیار دقیق و پیچیده خود برای سامانه‌های اقلیمی زمین، دانشمندان محیط زیست به ندرت بیان می‌کنند که این مدل‌ها تنها یکی از چندین بازخورد مثبت<sup>۳</sup> (رک واژه نامه)، که گرمایش جهانی<sup>۴</sup> ناشی از تمرکز فزاینده گازهای گلخانه‌ای در جو را تقویت می‌کنند، در نظر می‌گیرند. بازخوردهای مثبت زیر همین الان قابل مشاهده‌اند:

- ذوب شدن یخ‌های قطبی موجب کاسته شدن بازتابش نور خورشید از زمین و در نتیجه تشدید گرمایش جهانی می‌شود.

1 The Law of Conservation of Energy

2 The Law of Conservation of Mass-Energy

3 Positive Feedback

4 Global Warming

- ذوب شدن یخچال‌های موجود موجب آزاد شدن گازهای گلخانه‌ای متان و دی‌اکسید کربن و در نتیجه تشدید گرمایش جهانی می‌شود.
  - گرم شدن اقیانوس منجمد شمالی موجب آزاد سازی متان و در نتیجه تشدید گرمایش جهانی می‌شود.
  - گرم شدن خاک‌ها موجب آزاد سازی دی‌اکسید کربن و در نتیجه تشدید گرمایش جهانی می‌شود.
  - گرمایش جهانی موجب افزایش تعداد و شدت آتش‌سوزی‌های جنگلی شده و در نتیجه از طریق آزاد سازی دی‌اکسید کربن، گرمایش را تشدید می‌کند.
  - گرم شدن جو موجب نگهداری مقدار بیشتری بخار آب در آن می‌شود. بخار آب یکی از گازهای گلخانه‌ای است که گرمایش جهانی را تشدید می‌کند.
- در حال حاضر، به دلیل نبود داده‌های کمی در مقیاس جهانی، تنها آخرین بازخورد مثبت در لیست بالا در مدل‌های اقلیم‌شناختی منظور می‌شود. همچنین، بازخوردهای منفی بسیار اندکی تاکنون شناخته شده‌اند.
- در مباحث عمومی پیرامون تغییرات آب و هوایی، بسیاری از افرادی که علوم تجربی را رد می‌کنند و ادعا می‌کنند که شکاک هستند، در واقع انکارکنندگان شواهد متقن علمی هستند. آن‌ها نمی‌توانند تفسیر جایگزینی برای داده‌هایی که از بوتهٔ آزمون‌های سخت علمی درآمده‌اند ارائه کنند. یک شکاک واقعی، که عضوی از جامعه است، فرض نمی‌کند که مدل‌های آب و هوایی در نشان دادن تغییرات آب و هوایی جهانی اغراق می‌کنند. برعکس، او حداقل بایستی بپذیرد که این مدل‌ها تغییرات آب و هوایی را کمتر از آنچه که هستند نشان می‌دهند.
- در کتاب حاضر، که به منابع و راه‌کارهای انرژی پایدار اختصاص دارد، فرصت کافی وجود ندارد تا نقدی بر افسانه‌های بسیاری که توسط انکارکنندگان علوم اقلیمی<sup>۱</sup> ساخته و پرداخته شده‌اند عرضه شود. دانشمندان این افسانه‌ها را بررسی کرده و آن‌ها را بارها و بارها رد کرده‌اند. این ردیه‌ها در وبگاه‌های Skeptical Science [۱۲] و Real Climate [۱۳] آمده‌اند.
- درست همان‌طور که کارآگاه‌ها و متخصصین پزشکی قانونی به وسیلهٔ اثر انگشتی که در محل وقوع جنایت باقی مانده است اقدام به شناسایی مجرم می‌کنند، اقلیم‌شناسان نیز مسئولیت انسان در

تغییرات آب و هوایی را از طریق "اثر انگشت" مشاهده شده طی مشاهدات مستقل تعیین کرده‌اند. بعضی از عناصر این اثر انگشت عبارتند از:

- گرمایش متوسط سطح زمین، اقیانوس و جو (سطح پایینی جو).
- خنک شدن استراتوسفر.
- دماهای حداقل شبانه که سریعتر از حداکثرهای روزانه در حال افزایش‌اند.
- زمستان‌های شمالی که سریع‌تر از تابستان‌های شمالی در حال گرم‌تر شدن هستند.
- تشعشعات خورشیدی ثابت در طول ۵۰ سال گذشته، جدای از چرخه خورشیدی شناخته‌شده ۱۱ ساله.
- گرمایش سریعتر سطح خاک در مقایسه با سطح اقیانوس.
- گرمایش سریعتر عرض‌های جغرافیایی بالاتر (به ویژه شمالگان و جنوبگان) در مقایسه با مناطق استوایی.

انکارکنندگان علوم اقلیمی هیچ مکانیزم معتبر جایگزینی در مقایسه با علوم اقلیمی ندارند تا این مشاهدات را توجیه کنند. به ویژه، تغییرات در انرژی خروجی خورشید یا فعالیت‌های آتشفشانی هرگز نمی‌توانند این مشاهدات را تفسیر کنند. "هیأت بین‌دولتی برای تغییرات آب و هوایی" (IPCC) بیان می‌کند که در طول ۵۰ سال گذشته "سرجمع محرکه‌های خورشیدی و آتشفشانی احتمالاً موجب سرمایش شده، نه گرمایش" [۱۴]. شواهد دال بر این که گرمایش جهانی پدیده‌ای است واقعی، ساخته دست بشر و ادامه دار، بیش از حدی است که بتوان آن‌ها را انکار کرد. به عنوان پیامد بازخوردهای مثبت نوظهور و نرخ بالای انتشار گازهای گلخانه‌ای، گرمایش جهانی را باید به صورت اضطراری کاهش داد.

### خودتان حساب کنید!

از زمان انقلاب صنعتی، تمرکز گاز دی اکسید کربن در جو زمین از حدود ۲۸۰ بخش در میلیون<sup>۱</sup> به ۴۰۰ بخش در میلیون، یا در حدود ۴۳ درصد بیشتر، افزایش یافته است. در نتیجه، درجه حرارت متوسط سطح زمین به حدود ۰/۸ درجه سانتی‌گراد بالاتر از درجه حرارت قبل از دوران

1 The Intergovernmental Panel on Climate Change  
2 Parts Per Million (PPM)

صنعتی افزایش یافته است. در عین حال، هنوز به نقطه‌ای از تعادل نرسیده‌ایم که حتی اگر انتشار گازهای گلخانه‌ای همین امروز به گونه‌ای متوقف شود، درجه حرارت به افزایش خود ادامه بدهد تا جایی که به حدود ۱/۳ درجه سانتی‌گراد بیشتر از سطح دوران ماقبل صنعتی برسد (با این فرض که آلودگی هوا، که تأثیری سرمایه‌داری دارد، ثابت باقی بماند)، یا اگر آلودگی هوا کاهش یابد، احتمالاً به حدود ۲/۴ درجه سانتی‌گراد بالاتر از سطح دوران ماقبل صنعتی برسد [۱۵]. روند موجود انتشار گازهای گلخانه‌ای سیاره ما را در مسیری قرار داده است که درجه حرارت آن تا قبل از پایان قرن حاضر حداقل ۴ درجه سانتی‌گراد گرم‌تر خواهد شد [۱۶]. هدف مورد توافق جهانی در کنفرانس تغییرات آب و هوایی سازمان ملل متحد در کنه‌هاگ در سال ۲۰۰۹ آن است که میانگین افزایش درجه حرارت جهانی را زیر ۲ درجه سانتی‌گراد نگه دارد، هرچند که این هدف نیز الزاماً موجب اجتناب از تغییرات خطرناک آب و هوایی نخواهد شد.

چقدر گاز دی‌اکسید کربن می‌توانیم منتشر کنیم و هنوز زیر هدف افزایش ۲ درجه‌ای در درجه حرارت جهانی باقی بمانیم؟ گروهی از دانشمندان موسسه تحقیقات اقلیمی پوستاند<sup>۱</sup> و چندین دانشگاه دیگر محاسبه کرده‌اند که ۲۵ درصد احتمال دارد که از هدف دو درجه سانتی‌گراد افزایش دما گذر کنیم، اگر بتوانیم سرجمع انتشار گاز دی‌اکسید کربن را در طول دوره ۲۰۰۰ تا ۲۰۵۰ میلادی به ۱۰۰۰ گیگاتن (Gt) محدود سازیم (یک گیگاتن، یک میلیارد تن است) [۱۷]. در طول دوره ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۳ میلادی تقریباً نیمی از این میزان به اتمسفر تحویل داده شده است! با فرض ثابت ماندن نرخ انتشار دی‌اکسید کربن به میزان ۳۶/۳ گیگاتن در سال، باقی‌مانده این میزان مجاز نیز تنها طی ۱۴ سال منتشر خواهد شد! به قول نویسنده و فعال زیست محیطی بیل مک کین<sup>۲</sup>، "خودتان حساب کنید!" [۱۸]. محاسبات بالا، افزایش نرخ سالانه انتشار دی‌اکسید کربن در آینده یا انتشار گازهای گلخانه‌ای به غیر از دی‌اکسید کربن را در نظر نمی‌گیرد.

اگر منابع موجود سوخت‌های فسیلی، که معادل حدود ۲۸۰۰ گیگاتن گاز دی‌اکسید کربن است، سوزانده شوند، به شدت از حد تعیین شده بالا فراتر خواهیم رفت. علیرغم این واقعیت، چندین کشور در حال توسعه ذخایر عظیم سوخت‌های فسیلی هستند. چین دارای بالاترین حجم تولید زغال-سنگ در جهان است؛ کانادا در حال استخراج نفت از میدان عظیمی از لایه‌های نفت شنی است؛

1 Postdam Institute for Climate Impact Research  
2 Bill McKibben

ایالات متحده آمریکا در حال استخراج گاز از شیل است؛ و استرالیا، که همین حالا بزرگ‌ترین صادر کننده زغال‌سنگ جهان است، در حال برنامه ریزی برای افزایش صادرات زغال سنگ و نیز صادرات گاز متان حاصل از معادن زغال سنگ در مقیاس بالاست. واضح است که نیاز به متوقف ساختن این روال‌ها و سایر برنامه‌های خطرناک مشابه، نیازی است بسیار اضطراری.

### چه کسی مسئول تغییرات آب و هوایی است؟

تا حدودی، همه ما به دلیل استفاده از سوخت‌های فسیلی و محصولات و خدماتی که از آنها مشتق می‌شوند، مسئول انتشار گازهای گلخانه‌ای هستیم. در عین حال، مجرمان اصلی عبارتند از شرکت‌هایی که شدت انرژی بالایی دارند (در ادامه در مورد آن‌ها بحث خواهد شد) و افرادی که از سطح رفاه بالایی برخوردارند، بدین معنی که سرانه مصرف انرژی آن‌ها بسیار بالاست و در جوامعی زندگی می‌کنند که فناوری‌ها و فعالیت‌هایی با سطح تولید گازهای گلخانه‌ای بسیار بالا دارند [۱۹]. این فناوری‌ها و فعالیت‌ها شامل سوزاندن سوخت‌های فسیلی، زندگی و کار در ساختمان‌هایی با بهره‌وری انرژی پایین، از بین بردن جنگل‌های بومی و خوردن محصولات دامی شامل گوشت گاو و گوسفند می‌شوند. در عین حال، ما باید در خصوص سرزنش کردن افراد محتاط باشیم، چرا که اغلب مردم، در مقایسه با نهادهای اجتماعی و فرهنگ‌های موجود و گزینه‌های فناوری در دسترسشان، کنترل محدودی بر میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای خود دارند.

شرکت‌های بزرگ، نیروهای قدرتمندی در شکل‌دهی به اقتصاد، از طریق لابی کردن با دولت‌ها و دامن زدن به تقاضای مصرف از طریق تبلیغات تجاری، هستند. آن‌ها موجب رشد مصرف سرانه از طریق تحریک حس آزمندی انسان‌ها و بهره‌گیری از عدم امنیت روانی آن‌ها می‌شوند. آن‌ها با دولت‌ها لابی می‌کنند تا سیاست‌های افزایش جمعیت را، با هدف فراهم کردن نیروی کار ارزان و تقویت برخی صنایع خاص، مانند ساخت مسکن و تولید کالاهای مصرفی، تصویب و به اجرا در آورند. آن‌ها همچنین کثیف‌ترین فناوری‌ها، از نقطه نظر انتشار گازهای گلخانه‌ای، را مورد حمایت قرار می‌دهند، چرا که این قبیل فناوری‌ها معمولاً ارزان‌ترین فناوری‌ها هم هستند. آن‌ها معمولاً با هرگونه اقداماتی در خصوص منظور کردن هزینه‌های زیست محیطی و بهداشتی محصولات و خدماتشان در قیمت نهایی این محصولات و خدمات مخالفت می‌کنند. در استرالیا بزرگ‌ترین صنایع

تولید کننده گازهای گلخانه‌ای در مصاحبه‌ای با گی پی‌رس<sup>۱</sup>، که در آن موقع دانشجوی دکتری بود، با افتخار اعلام کردند که مقررات دولت در ارتباط با انرژی و اقلیم را آن‌ها نوشته‌اند و خودشان را "مافیای گلخانه‌ای"<sup>۲</sup> نامیدند [۲۰]. زیربنای سه محرکه انتشار گازهای گلخانه‌ای - رشد جمعیت، رشد مصرف سرانه و فناوری های کثیف - البته عبارتند از حرص، شهوت برای ثروت و قدرت، فرهنگ (از جمله فرهنگ مصرف گرایی)، سیستم اقتصادی‌ای که رشد و سفته‌بازی را تشویق می‌کند، و ناامنی ناشی از حکمرانی بد و یک سیستم بی ثبات اقتصادی. هرچند ما نمی‌توانیم حرص را، به عنوان یک خصوصیت بنیادین انسانی، حذف کنیم، با سیاست‌های صحیح می‌توانیم فرهنگ و سیستم اقتصادی‌ای که آن را تشویق و حمایت می‌کند و بدان مجال خودنمایی در مقیاس های ملی و بین‌المللی می‌دهد را تغییر دهیم. با سیاست‌های مناسب، ما می‌توانیم انجام دادن کار صحیح را برای افراد و شرکت‌ها ساده‌تر سازیم. یک چالش اساسی، متقاعد ساختن دولت‌ها در این زمینه است که منفعت بیشتر مردم همیشه برابر با منفعت شرکت‌های بزرگ نیست و اینکه دولت‌ها باید در جهت منافع مردم عمل کنند. در حال حاضر، شرکت‌هایی که تولید کنندگان بزرگ گازهای گلخانه‌ای هستند میلیون‌ها دلار صرف لابی-گری و تبلیغات رسانه‌ای می‌کنند. این تبلیغات رسانه‌ای، واقعیت تغییرات آب و هوایی ساخته دست بشر را نفی می‌کنند [۲۱] و این تصور غلط را القاء می‌کنند که بهره‌وری انرژی و استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر نمی‌توانند نیازهای انرژی یک جامعه صنعتی را برآورده سازند. کتاب حاضر، این تصور غلط را به چالش می‌کشد.

## ساختار کتاب

در کتاب حاضر، من قصد دارم نشان دهم که یک آینده پایدار انرژی، از نقطه نظر زیست محیطی و مبتنی بر استفاده کارآمد از منابع انرژی تجدیدپذیر، حتی اگر ما محدود به همین فناوری‌های موجود امروزی باشیم، امکان‌پذیر است. علاوه بر این، من شواهدی ارائه خواهم کرد که گذار به یک آینده انرژی پایدار، یا "گذار بزرگ"<sup>۳</sup>، با در نظر گرفتن هزینه‌های مربوط به ادامه مصرف سوخت‌های فسیلی، از نظر اقتصادی قابل قبول و در دسترس است. هرچند روند تحقیق و توسعه موجود برای بهبود

1 Guy Pearse

2 Greenhouse Mafia

3 Great Transition

فناوری‌ها و کاهش هزینه آن‌ها همیشه ضروری است، اما موانع اصلی بر سر راه این گذار نه علمی هستند، نه فنی و نه اقتصادی. این موانع، سیاسی و فرهنگی و مبتنی بر ایدئولوژی‌های غیر واقع بینانه جویای رشد بی پایان اقتصادی و جمعیتی و جوامع مصرف زده هستند. هدف اصلی کتاب حاضر نشان دادن آن است که گذار به یک سامانه انرژی که از نظر زیست‌محیطی پایدار و از نظر اجتماعی عادلانه و در دسترس باشد امکان‌پذیر است. علاوه بر این، سعی می‌شود برخی نظریه‌ها برای متحول ساختن سیستم اقتصادی و پایان دادن به رشد جمعیت نیز بیان شوند.

بخش اول این کتاب به مباحث مقدماتی انرژی می‌پردازد: منابع انرژی؛ قوانین بنیادین فیزیک در ارتباط با تبدیل انرژی از شکلی به شکلی دیگر؛ و سناریوهایی برای گذار لازم به آینده انرژی پایدار. این بخش، مفهوم توسعه پایدار از نظر محیط زیست و عادلانه از نظر اجتماعی را معرفی کرده و ثابت می‌کند که تنها سامانه انرژی سازگار با این شکل از توسعه، سامانه‌ای است که مبتنی بر استفاده کارآمد از منابع انرژی تجدیدپذیر باشد.

بخش دوم، به جزئیات فناوری‌ها و سامانه‌های عرضه و مصرف انرژی که می‌توانند مبنای یک آینده انرژی پایدار را فراهم سازند، و نیز یک سامانه کم‌کربن بحث برانگیز، که می‌تواند انحرافی از آن مسیر باشد، می‌پردازد. این بخش آثار زیست‌محیطی، اجتماعی و اقتصادی این فناوری‌ها را مورد بحث قرار می‌دهد.

در بخش سوم، سیاست‌های مورد نیاز برای متحول ساختن سامانه‌های انرژی، یعنی انجام گذار بزرگ و ساختن جامعه‌ای بهتر و پایدارتر؛ موانع تغییر؛ و بازیگران و سهام‌دارانی که باید محرک این گذار باشند، یعنی دولت‌ها، شرکت‌ها و جامعه به‌طور کلی، مورد بحث قرار می‌گیرند. و در نهایت، کتاب به چالش مربوط به تقویت جنبش اجتماعی موجود می‌پردازد. جنبشی که باید بازیگران اصلی را تحت فشار قرار دهد و به آن‌ها کمک کند تا اقدامات مورد نیاز را، هم از طریق راه‌کارهای مستقیم و هم از طریق ایجاد یک فرهنگ جدید در خصوص پایداری زیست‌محیطی، اجتماعی و اقتصادی، به انجام رسانند.

## منابع و یادداشت‌های فصل

- 1 Commoner, B (1976) *The Poverty of Power: Energy and the economic crisis*, Knopf, New York, p 1.

- 2 Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (2013/2014 in press) *IPCC Fifth Assessment Report*, IPCC, <[www.ipcc.ch](http://www.ipcc.ch)>; Potsdam Institute for Climate Impact Research and Climate Analytics (2012) *Turn Down the Heat: Why a 4°C warmer world should be avoided*, World Bank, Washington, DC.
- 3 DARA (2012) *Climate Vulnerability Monitor: A guide to the cold calculus of a hot planet*, 2nd ed, <<http://daraint.org/climate-vulnerability-monitor/climate-vulnerability-monitor-2012/report>>; Gohlke, J, Thomas, R, Woodward, A et al. (2011) Estimating the global public health implications of electricity and coal consumption, *Environmental Health Perspectives*, 119: 821–26.
- 4 Burns, SLS (2005) *Bringing Down the Mountains: The impact of mountain top removal surface coal mining on south west Virginia communities, 1970–2004*, PhD thesis, West Virginia University, <[http://wvuscholar.wvu.edu:8881/exlibris/dtl/d3\\_1/apache\\_media/L2V4bGlicmlzL2R0bC9kM18xL2FwYWNoZV9tZWRpYS8yMDY4NQ°.pdf](http://wvuscholar.wvu.edu:8881/exlibris/dtl/d3_1/apache_media/L2V4bGlicmlzL2R0bC9kM18xL2FwYWNoZV9tZWRpYS8yMDY4NQ°.pdf)>.
- 5 Kay, D, Barbato, J, Brassington, G et al. (2006) Impacts of Longwall Mining to Rivers and Cliffs in the Southern Coalfield, Coal Operators Conference, <<http://ro.uow.edu.au/cgi/viewcontent.cgi?article=1058&context=coal>>.
- 6 Aleklett, K, Hook, M, Jakobsson, K et al. (2010) The peak of the oil age: Analysing the world oil production Reference Scenario in World Energy Outlook 2008, *Energy Policy*, 38: 1398–414; Association for the Study of Peak Oil and Gas <[www.peakoil.net](http://www.peakoil.net)>.
- 7 Monbiot, G (2012) False summit, <[www.monbiot.com/2012/07/02/false-summit](http://www.monbiot.com/2012/07/02/false-summit)>. Monbiot's article is based on an uncritical acceptance of the report Maugeri, L (2012) *Oil: The next revolution*, Discussion Paper #2012/10, Harvard Kennedy School, <<http://belfercenter.ksg.harvard.edu/files/Oil-%20The%20Next%20Revolution.pdf>>.
- 8 Severe flaws in Maugeri's argument have been identified by Sorrell, S and McGlade, C (2012) Commentary on Maugeri's decline rate assumptions, *Oil Depletion Analysis Centre*, <[www.odac-info.org/sites/default/files/Maugeris-decline-rate-assumptions-commentary-rev1.pdf](http://www.odac-info.org/sites/default/files/Maugeris-decline-rate-assumptions-commentary-rev1.pdf)>, based partly on Sorrell, S, Spiers, J, Bentley, R et al. (2012) Shaping the global oil peak: A review of the evidence on field sizes, *Energy*, 37: 709–24.
9. نفت و گاز غیرمعارف را می توان از شیل، شن های نفتی، معادن زغال سنگ و نیز از تبدیل خود زغال سنگ به سوخت مایع دست آورد.
- 10 Aldhous, P, McKenna, P and Stier, C (2010) Gulf leak: Biggest spill may not be biggest disaster, *New Scientist*, <[www.newscientist.com/special/deepwater-horizon-oil-spill](http://www.newscientist.com/special/deepwater-horizon-oil-spill)>.
- 11 Energy Watch Group (2007) *Coal: Resources and future production*, EWG paper 1/2007, <[www.energywatchgroup.org/fileadmin/global/pdf/EWG\\_Report\\_Coal\\_10-07-2007ms.pdf](http://www.energywatchgroup.org/fileadmin/global/pdf/EWG_Report_Coal_10-07-2007ms.pdf)>; Mohr, SH and Evans, GM (2009) Forecasting coal production until 2100, *Fuel*, 88: 2059–67.

- 12 Skeptical Science <[www.skepticalscience.com](http://www.skepticalscience.com)>.
  - 13 Real Climate <[www.realclimate.org](http://www.realclimate.org)>.
  - 14 IPCC (2007) *Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Synthesis Report, IPCC, Geneva.
  - 15 Ramanathan, V and Feng, Y (2008) On avoiding dangerous anthropogenic interference with the climate system: Formidable challenges ahead, *PNAS*, 105: 14245–250.
  - 16 Potsdam Institute (2012).
  - 17 Meinshausen, M, Meinshausen, N, Hare, W et al. (2009) Greenhouse-gas emission targets for limiting global warming to 2°C, *Nature*, 458: 1158–62.
  - 18 McKibben, B (2012) Global warming's terrifying new math, *Rolling Stone*, 19 July, <[www.rollingstone.com/politics/news/global-warmings-terrifying-new-math-20120719](http://www.rollingstone.com/politics/news/global-warmings-terrifying-new-math-20120719)>; see also Do the Math <<http://math.350.org>>.
۱۹. در این کتاب، از عبارت "فناوری" در یک مفهوم عمومی و گسترده استفاده شده است که شامل سخت-افزار، نرم‌افزار (چگونگی استفاده از سخت‌افزار) و ضوابط سازمانی/اداری مرتبط با سخت‌افزار می‌شود. بهره‌گیری از زمین نیز در این مفهوم "فناوری" نهفته است.
- 20 Pearse, G (2007) *High and Dry*, Viking, Melbourne. See also Pearse's website <[www.guypearse.com](http://www.guypearse.com)>.
  - 21 Oreskes, N and Conway, EM (2010) *Merchants of Doubt: How a handful of scientists obscured the truth on issues from tobacco smoke to global warming*, Bloomsbury Press, New York; Washington, H and Cook, J (2011) *Climate Change Denial: Heads in the sand*, Earthscan, London.

# بخش اول

مفاهیم بنیادین و سناریوها



## فصل ۱

# انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای

بدون انرژی، هیچ چیز هرگز تغییر نمی‌کند، هیچ چیز هرگز اتفاق نمی‌افتد. شاید بتوان

گفت انرژی عامل‌اعلای تغییر است؛ مادر همه عوامل تغییر. [۱]

دیو واتسون<sup>۱</sup>

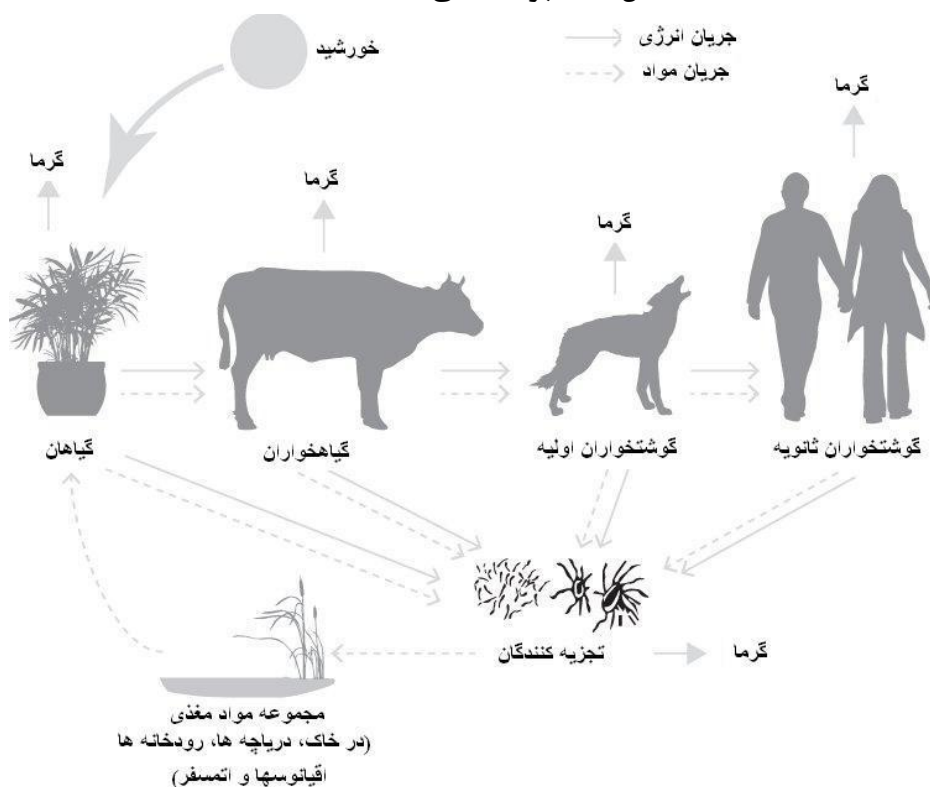
انرژی خورشیدی نیروی حیات بخش سیاره ماست: به حیات گیاهی و حیوانی انرژی می‌بخشد و چرخه‌های طبیعی عظیمی که برای ما اکسیژن، آب آشامیدنی، مواد غذایی ضروری و اقلیم مناسب برای زیست فراهم می‌آورند را به گردش درمی‌آورد. همچنان که مردمان از زندگی به سبک شکارچی-گردآورنده فاصله گرفته و به اعضای یک جامعه صنعتی تبدیل شده‌اند، مصرف انرژی آن‌ها نیز به صورت فزاینده‌ای زیاد شده و سوخت‌های فسیلی در این میان نقش غالبی را بازی کرده‌اند. از زمان انقلاب صنعتی، این سوخت‌ها منافع بسیاری را برای ما به ارمغان آورده‌اند، اما اینک زمان آن فرا-رسیده است که این سوخت‌ها را با انواع بهتری از منابع انرژی، که بتوانند همان خدمات یا خدماتی مشابه را عرضه کنند، جایگزین سازیم.

برای آن دسته از خوانندگانی که دارای زمینه تخصصی در علوم یا مهندسی نیستند، این فصل اصول بنیادین فیزیک که بر تبدیل انرژی از شکلی به شکل دیگر حاکمند را معرفی می‌کند. ابتدا به روند موجود تولید و مصرف انرژی در سطح جهان نگاهی می‌افکنیم و سپس به صنعت برق، که دائماً تلاش می‌کند تعادل بین عرضه و تقاضا را برقرار سازد، خواهیم پرداخت. سپس، فناوری‌های انرژی‌ای که از نظر اقلیم شناختی پایدار و از نظر اجتماعی، حداقل تا حدودی، عادلانه هستند را معرفی می‌کنیم.

## جریان طبیعی انرژی

خورشید انرژی مورد نیاز تقریباً همه فرایندهای زیستی روی زمین را فراهم می‌کند. از تشعشعات خورشیدی که با جو زمین برخورد می‌کنند، و اغلب به صورت نور قابل مشاهده هستند، حدود سی درصد به فضا بازتابش می‌یابد و هفتاد درصد باقیمانده توسط جو، ابرها، اقیانوس‌ها و خشکی‌ها جذب می‌شود. انرژی جذب شده به صورت تشعشعات نامرئی فروسرخ (گرما) دوباره منعکس می‌شوند. اغلب این انرژی منعکس شده توسط گازهای گلخانه‌ای جو به دام می‌افتد و باعث می‌شود دمای سطح زمین در درجه حرارتی که برای زندگی و تبخیر آب و به حرکت درآوردن بادها و جریان‌های اقیانوسی مناسب است حفظ شود.

شکل ۱-۱- چرخه غذایی در طبیعت [۲]



کمتر از یک درصد از انرژی خورشیدی که به سطح زمین می‌رسد توسط فرایند فتوسنتز در گیاهان سبز به انرژی شیمیایی تبدیل می‌شود. در فرایند فتوسنتز، گاز دی‌اکسید کربن در هوا و آب از خاک یا دریا با انرژی دریافتی از خورشید واکنش انجام داده و کربوهیدرات‌هایی از قبیل گلوکز تولید کرده و به عنوان یک محصول جانبی، اکسیژن آزاد می‌کنند. بیش از نیمی از این فرایند توسط گیاهان ساکن در خشکی صورت می‌پذیرد، در حالی که باقی مانده آن در فیتوپلانکتون‌های ریز در سطح اقیانوس‌ها رخ می‌دهد. گیاهان بخشی از کربوهیدرات‌های تولیدی خود را به منظور آزاد سازی انرژی برای فعالیت‌های گوناگون مصرف می‌کنند، در حالی که باقیمانده این کربوهیدرات‌ها، در فرایندی که "تنفس"<sup>۱</sup> نام دارد و از نظر شیمیایی شبیه سوزاندن است، صرف افزایش جرم آن‌ها (زیست توده) می‌شود. در فرایند تنفس، کربوهیدرات‌ها با اکسیژن واکنش انجام داده و انرژی، دی-اکسید کربن و آب آزاد می‌کنند. در ادامه، انرژی کربوهیدرات‌های باقی مانده در گیاهان به گیاه-خوارانی که آن‌ها را می‌خورند و به گوشت‌خوارانی که گیاه-خواران را می‌خورند و به تجزیه-کنندگان - کرم‌ها، باکتری‌ها و قارچ‌ها - که در نهایت همه گونه‌ها را می‌خورند، منتقل می‌شود. در هر مرحله از این زنجیره غذایی، انرژی به صورت گرمای تلف شده به محیط زیست منتشر می‌شود (شکل ۱-۱). انرژی خورشیدی‌ای که از طریق فرایندهای سوخت و سازی (متابولیسمی) در موجودات زنده از شکلی به شکل دیگر تبدیل می‌شود، "انرژی بدنی"<sup>۲</sup> نام دارد.

## استفاده انسان از انرژی

بوم‌شناسی انسانی علم مطالعه نحوه تعامل انسان با سایر گونه‌ها و محیط زیست غیرزنده اوست. بوم‌شناس انسانی، استفن بویدن<sup>۳</sup>، و تاریخ نگار زیست محیطی، استفن دوورز<sup>۴</sup>، چهار مرحله را در بوم-شناسی انسانی معرفی می‌کنند: شکارچی-گردآورنده، کشاورزی اولیه، شهرنشینی اولیه و مرحله مدرن با مصرف انرژی بالا [۳]. جدول ۱-۱ منابع انرژی در هر مرحله را نشان می‌دهد. به جز یک مورد استثناء، شکارچی-گردآورنده‌ها جزئی از زیست‌بوم خود بودند که از طریق خوردن گیاهان و جانوران انرژی بدنی به دست می‌آوردند و سپس انرژی را به درندگان، لاشخوران،

1 Respiration  
2 Somatic Energy  
3 Stephen Boyden  
4 Stephen Dovers

تجزیه‌کنندگان و محیط زیست بازپس می‌دادند. مورد استثناء، استفاده آنان از آتش برای تکمیل انرژی بدنیشان بود. کشاورزان اولیه انرژی بدنی حیوانات را، که برای شخم زنی و حمل و نقل استفاده می‌شد، به منابع قبلی افزودند. آنان انرژی بدنی خود را با استفاده از ابزارهای ساده‌ای از قبیل اهرم، قرقره و طناب و چرخ چندین برابر کردند. کشاورزان و شهرنشینان اولیه فناوری‌های بهبود یافته‌ای را برای استفاده بیشتر از آتش، مثلاً برای ذوب کردن فلزات، ابداع کردند. کشاورزان پیشرفته‌تر و شهرنشینان اولیه انرژی باد و آب را برای آرد کردن غلات، بریدن چوب و به حرکت درآوردن ماشین‌آلات ساده به انرژی مکانیکی تبدیل کردند و حمل و نقل دریایی نیز متکی به انرژی باد و انرژی بدنی انسان بود. تا مدت‌های طولانی در قرن بیستم، حیوانات همچنان به عنوان فراهم‌آورنده اصلی نیروی محرکه توسط کشاورزان آمریکا و سایر کشورهای صنعتی استفاده می‌شدند تا اینکه تراکتورها جای آن‌ها را گرفتند.

#### جدول ۱-۱- مصرف انرژی در مراحل چهارگانه بوم‌شناسی انسانی [۳]

مرحله	منبع اولیه اصلی انرژی
۱ شکارچی-گردآورنده	انرژی بدنی انسان، چوب و سایر مواد قابل سوزاندن زیست‌توده.
۲ کشاورزی اولیه	انرژی بدنی انسان و حیوانات، چوب و سایر مواد قابل سوزاندن زیست‌توده.
۳ شهرنشینی اولیه	چوب، انرژی بدنی، مواد زیست توده قابل سوزاندن و مقداری انرژی بادی و آبی.
۴ صنعتی مدرن (قرن بیستم)	سوخت‌های فسیلی و مقداری انرژی آبی و اورانیوم که افزایش عظیمی در مصرف انرژی در مقایسه با مراحل قبلی (حدوداً ۵۰ تا ۱۰۰ برابر میزان مصرف در مرحله شکارچی-گردآوری کننده) به همراه داشت.

یک جهش عظیم در میزان مصرف انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای مربوط به آن در جریان گذار به جوامع صنعتی مدرن اتفاق افتاد. در ابتدا، چوب منبع اصلی سوخت انقلاب صنعتی بود، اما با کاسته شدن از سطح جنگل‌ها، زغال سنگ و سپس نفت و گاز طبیعی جای چوب را گرفتند. پیدایش سوخت‌های فسیلی موجب غفلت مردمان از این واقعیت گردید که انرژی طبیعی غیرتجاری، از طریق انرژی غذایی، هیزم، محصولات چوبی و گرمایش، سرمایش و روشنایی طبیعی، همچنان سهم عمده‌ای در رفاه انسان دارد. بوم‌شناسان انسانی و متخصصان محیط زیست به ما یادآوری می‌کنند که انسان دوران صنعتی برای هوا، آب و غذا همچنان به‌طور کامل وابسته به فرایندهای طبیعی است، اما به گونه‌ای زندگی می‌کند که انگار مستقل از این فرایندهاست [۴].

تاریخچهٔ جامعی از استفادهٔ بشر از انرژی، از دوران پارینه‌سنگی تا حال حاضر، در کتابی که اخیراً توسط یک فیزیکدان به نام بنت سورنسن<sup>۱</sup> منتشر شده آمده است.

### انرژی و توان چیستند؟

انرژی، به مفهومی که در کتاب حاضر مورد بحث قرار گرفته است، توسط فیزیکدانان به عنوان نیرویی که یک جسم را در یک مسافت معین به حرکت درمی‌آورد تعریف شده است. در ساده‌ترین شکل، انرژی عبارت است از نیرو ضرب در مسافت. از آنجایی که این تعریف ممکن است برای بسیاری از خوانندگان مفید نباشد، ما بر خدماتی که انرژی عرضه می‌کند متمرکز می‌شویم. انرژی، نیروی محرکهٔ فیزیکی کیهان، حیات و همه چیز است. انرژی غذای ما را فراهم می‌کند و قلب ما را به تپیدن وامی‌دارد، خانه‌های ما را در زمستان گرم، غذای ما را خنک و دوش‌های ما را داغ نگه می‌دارد. انرژی چرخ‌های صنعت و چرخ‌های وسایل نقلیه‌ای که ما را به مدرسه، کار و تعطیلات می‌برند را به گردش درمی‌آورد.

انرژی در دو دستهٔ جنبشی و پتانسیل طبقه‌بندی می‌شود. انرژی جنبشی، انرژی مربوط به حرکت است، مثل آب در حال ریزش، باد، امواج، یک لکوموتیو در حال حرکت، یا مولکول‌های متحرک آب جوش در یک ماهیتابه بر روی اجاق. انرژی پتانسیل، انرژی‌ای است که به گونه‌ای ذخیره شده است، مثل انرژی ذخیره شده در پیوندهای شیمیایی یک تکه زغال سنگ، یک باتری چراغ قوه، یا کربوهیدرات‌ها و چربی‌ها در بدن ما. یک اسکی‌باز آمادهٔ حرکت در قلهٔ کوه انرژی پتانسیل دارد. انرژی نسبت به یک دستگاه مختصات اختیاری سنجیده می‌شود: به عنوان مثال، انرژی پتانسیل اسکی-باز نسبت به ابتدای مسیر تله‌کابین سنجیده می‌شود. در عین حال، اگر اسکی‌باز قصد دارد که به کلبه-ای در درهٔ زیر مسیر تله‌کابین فرود آید، احتمالاً مفیدتر خواهد بود که انرژی پتانسیل او نسبت به کلبه سنجیده شود.

وقتی که سوخت‌های فسیلی (یا گیاهان) در اکسیژن جو سوزانده می‌شوند، انرژی، دی-اکسید کربن و آب آزاد می‌شود، درست همان طور که این اتفاق در فرایند "تنفس" توسط گیاهان و حیوانات رخ می‌دهد. برای گیاهان، مقدار دی‌اکسید کربن آزاد شده به دلیل سوزاندن توسط مقدار

1 Bent Sørensen

خالص جذب شده در طول دوران حیاتشان (یعنی تفاوت بین فتوسنتز و تنفس) متعادل می‌شود. به همین دلیل، گیاهان از نقطه نظر انتشار دی‌اکسید کربن خنثی محسوب می‌شوند، مشروط بر آن‌که نرخ انتشار دی‌اکسید کربن از طریق سوزاندن گیاهان برابر با نرخ جذب دی‌اکسید کربن از طریق کاشت مجدد آن‌ها باشد. اگر جنگل‌های انبوه پاکسازی و سوزانده شده و سپس توسط کاشت با چگالی پایین‌تری جایگزین شوند، آنگاه این تعادل از بین رفته و گازهای گلخانه‌ای انتشار می‌یابند. طبیعی است که سوزاندن سوخت‌های فسیلی، که از زیست‌توده و در دوره‌های زمانی به طول صدها میلیون سال تولید شده‌اند، منجر به بروز عدم تعادلی عظیم بین میزان انتشار و میزان جذب گازهای گلخانه‌ای می‌شود.

جدول ۱-۲ - انرژی ذخیره شده در سوخت‌ها و میزان انتشار دی‌اکسید کربن مرتبط با آنها [۶]

میزان معمول انتشار دی‌اکسید کربن (kg CO <sub>2</sub> /GJ)	میزان معمول انرژی نهفته (MJ/kg)	سوخت
۹۰	۱۰	زغال‌سنگ قهوه ای برای تولید برق
۸۸	۲۳	زغال‌سنگ سیاه برای تولید برق
۱۲۰	۲۹	کک
**	۱۶-۲۰	هیزم خشک
۷۰	۴۶	بنزین، گازوئیل، نفت سفید
**	۳۰	اتانول
**	۲۰	متانول
مقدار انتشار بستگی به میدان گازی مورد نظر دارد (به دلیل مقادیر متفاوت دی‌اکسید کربن موجود)	۵۴	گاز طبیعی مایع (LNG) در سواحل شمال غرب استرالیا *
۶۰	۵۰	گاز نفتی مایع (LPG) *
۵۲	۳۹ MJ/m <sup>3</sup>	گاز طبیعی

MJ = یک میلیون ژول، GJ = یک میلیارد ژول

\* مقادیر انتشار برای LNG و LPG، بسته به موقعیت جغرافیایی و تاریخ، اندکی متغیر است.

\*\* مقدار خالص انتشار بستگی به نوع فرایند تولید دارد

برای اندازه‌گیری انرژی، اغلب کشورها از سیستم بین‌المللی یکاها (SI)<sup>۱</sup>، که در آن طول برحسب متر (m)، جرم برحسب کیلوگرم (kg)، زمان برحسب ثانیه (s) و انرژی برحسب ژول (J) سنجیده می‌شود، استفاده می‌کنند. مقادیر معمول انرژی ذخیره شده شیمیایی در یک کیلوگرم از انواع مختلف سوخت، همراه با مقادیر دی‌اکسیدکربن منتشره در اثر سوزاندن این سوخت‌ها، در جدول ۱-۲ آمده‌اند. این مقادیر شامل انرژی صرف شده در تولید سوخت، به عنوان مثال در تبدیل زغال سنگ به کک یا پالایش نفت خام، نمی‌شوند. این "انرژی نهفته"<sup>۲</sup> در فصل ۵ (بازگشت انرژی) مورد بحث قرار خواهد گرفت. در عین حال، در جدول ۱-۲ ما تنها متوجه انرژی‌ای هستیم که از طریق سوزاندن سوخت آزاد می‌شود. زغال سنگ قهوه‌ای دارای مقدار نسبتاً پایینی از انرژی است، چرا که مقادیر زیادی آب و سایر مواد غیر سوختی در خود دارد.

جدول ۱-۳- نرخ‌های معمول مصرف انرژی توسط بزرگسالان [۳]

توان <sup>۱</sup> (W)	فعالیت
۸۰ <sup>۲</sup>	دراز کشیدن و استراحت
۱۱۵ <sup>۳</sup>	شکارچی-گردآورنده
۲۲۰	راه رفتن با سرعت ۴ کیلومتر بر ساعت، دوچرخه‌سواری با سرعت ۸ کیلومتر بر ساعت یا کار سبک خانگی
۳۵۰	راه رفتن با سرعت ۶ کیلومتر بر ساعت یا کار سنگین خانگی
۱۰۰۰	دویدن با سرعت ۱۶ کیلومتر بر ساعت (۴.۴۴ متر بر ثانیه)

(۱) مقدار دقیق انرژی مصرفی توسط یک فرد بستگی به سطح بدن فرد، جرم و جنسیت دارد.

(۲) با این فرض که فرد چند ساعتی است که غذا نخورده‌است. هضم غذا حدود ۱۰ وات به مصرف می‌افزاید.

(۳) این مقدار برای هر دو جنسیت، همه سنین و یک فعالیت روزانه معمول میانگین‌گیری شده‌است.

دانشمندان و مهندسين، نرخ تبدیل انرژی را "توان" می‌نامند [۷] و آن را برحسب وات (W)

می‌سنجند. یک وات برابر است با یک ژول بر ثانیه ( $1 \text{ W} = 1 \text{ J/s}$ ). مقادیر معمول توان خروجی

برای فعالیت‌های انسانی که توسط سوخت‌های فسیلی حمایت نشده‌اند در جدول ۱-۳ نشان داده شده-

اند. وقتی که به جای نرخ توان مصرفی توسط انسان از توان مورد استفاده در لوازم برقی و نیروگاه‌ها

1 The International SI System of Units

2 Embodied Energy

بحث می‌کنیم، توان را برحسب کیلووات، مگاوات و گیگاوات می‌سنجیم، همان گونه که در جدول ۴-۱ نشان داده شده است.

جدول ۴-۱- یکاهای توان

مثالی از تولید برق	تعریف	یکا
توان یک چراغ قوه کوچک چند وات است.	یکای اصلی توان در سیستم SI	وات (W)
توان خروجی یک جاروبرقی در حدود ۱ kW است.	یک هزار وات	کیلووات (kW)
توان نامی یک توربین بادی بزرگ ۱ MW تا ۳ MW است.	یک میلیون وات	مگاوات (MW)
توان نامی یک نیروگاه معمول زغال سنگی یا هسته‌ای	یک میلیارد وات	گیگاوات (GW)

### انرژی حفظ می‌شود

انرژی پتانسیل ذخیره شده در یک تکه زغال سنگ، در باتری چراغ قوه، در اسکی بازی که در بالای تپه آماده فرود است و در کربوهیدرات‌ها و چربی‌های بدنمان را در نظر بگیرید. اگر ما زغال-سنگ را بسوزانیم، چراغ قوه را روشن کنیم، با چوب اسکی به سمت پایین تپه فرود آییم، یا یک کیلو-متر بدویم، ما در حال تبدیل آن انرژی پتانسیل به انرژی جنبشی هستیم. مقدار انرژی پتانسیل آزاد شده برابر است با مقدار انرژی ذخیره شده. انرژی هیچ گاه تولید یا نابود نمی‌شود. این واقعیت به عنوان قانون پایستگی (بقای) انرژی یا قانون اول ترمودینامیک، که یکی از قوانین بنیادین فیزیک است، شناخته می‌شود.

بازده حرارتی<sup>۱</sup> یک فرایند تبدیل انرژی به صورت انرژی خروجی مفید تقسیم بر انرژی

ورودی تعریف و به صورت درصد بیان می‌شود:

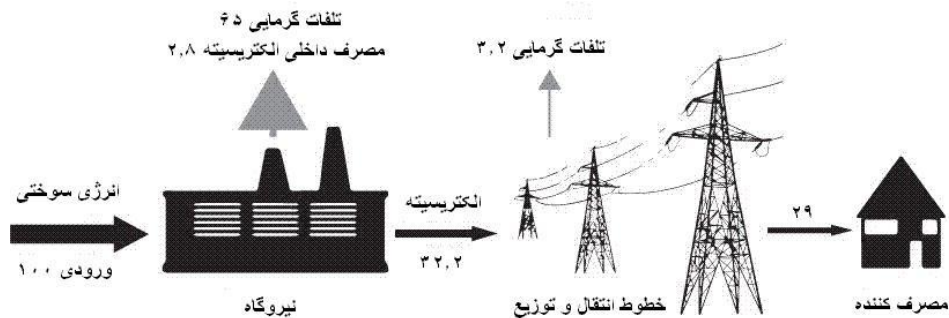
$$\text{بازده حرارتی (\%)} = \frac{100 \times \text{انرژی خروجی مفید}}{\text{انرژی ورودی}} \quad (\text{معادله ۱-۱})$$

1 Thermal Efficiency

در تعریف فوق یک عنصر قراردادی وجود دارد، چرا که ما تصمیم می‌گیریم که چه چیزی انرژی "مفید" است و چه چیزی گرمای تلف شده. به عنوان مثال، فرض کنید که یک لامپ رشته‌ای ۶۰ وات انرژی گرمایی نامرئی به میزان ۵۴ وات ( $54 \text{ J/s}$ ) تولید می‌کند. در نتیجه، بازده انرژی در تولید نور مرئی، که ما به عنوان انرژی خروجی مفید تعریف می‌کنیم، برابر است با  $0/1 = 6/60$  یا ده درصد. اما، اگر بتوانیم از بخشی از گرمای ساطع شده از لامپ نیز، مثلاً برای گرم نگه‌داشتن یک حیوان خانگی، استفاده کنیم، بازده لامپ بیشتر خواهد بود.

وقتی که زغال‌سنگ سیاه در یک نیروگاه مدرن سوزانده می‌شود، الکتریسیته با بازده حرارتی در حدود ۳۵ تا ۴۰ درصد تولید می‌شود و باقیمانده انرژی به صورت تلفات گرمایی نیروگاه از دست می‌رود. اگر بخشی از تلفات گرمایی نیروگاه بازیافت شده و برای فراهم کردن گرما برای صنایع و ساختمان‌های مجاور استفاده شود، انرژی "مفید" افزایش می‌یابد در حالی که سوخت مصرف شده تغییری نمی‌کند و در نتیجه بازده فرایند تبدیل نیز افزون‌تر می‌شود. نیروگاه‌هایی که برق و گرمای مفید را یکجا تولید می‌کنند به عنوان نیروگاه‌های تولید هم‌زمان<sup>۱</sup> شناخته می‌شوند. علاوه بر این، حدود هفت درصد الکتریسیته تولید شده به مصرف داخلی نیروگاه می‌رسد (شکل ۱-۲).

شکل ۱-۲- شارش انرژی در تولید و انتقال الکتریسیته



توجه: این نمودار مربوط به یک نیروگاه معمول با سوخت زغال‌سنگ سیاه است. اگر ۱۰۰ واحد انرژی به این نیروگاه داده شود، تنها حدود ۲۹ واحد انرژی به مصرف‌کننده می‌رسد، یعنی ۲۹٪ انرژی اولیه. این نرخ برای یک نیروگاه معمول با سوخت زغال‌سنگ قهوه‌ای بین ۲۰٪ تا ۲۵٪ است.

برای آن که بازده انرژی در یک نیروگاه با سوخت زغال‌سنگ سیاه و در سیستم انتقال و توزیع در نظر گرفته شود، بازده کلی تولید نور مرئی در یک لامپ رشته‌ای از طریق ضرب کردن همهٔ بازده‌هایی که در بالا گفته شد در یکدیگر به دست می‌آید. بنابراین بازده کلی عبارت است از  $0/029 = 0/1 \times 0/29$  یا  $2/9\%$ . معلوم است که جا برای بهبود وجود دارد!

### انرژی از بالا به پایین جاری می‌شود

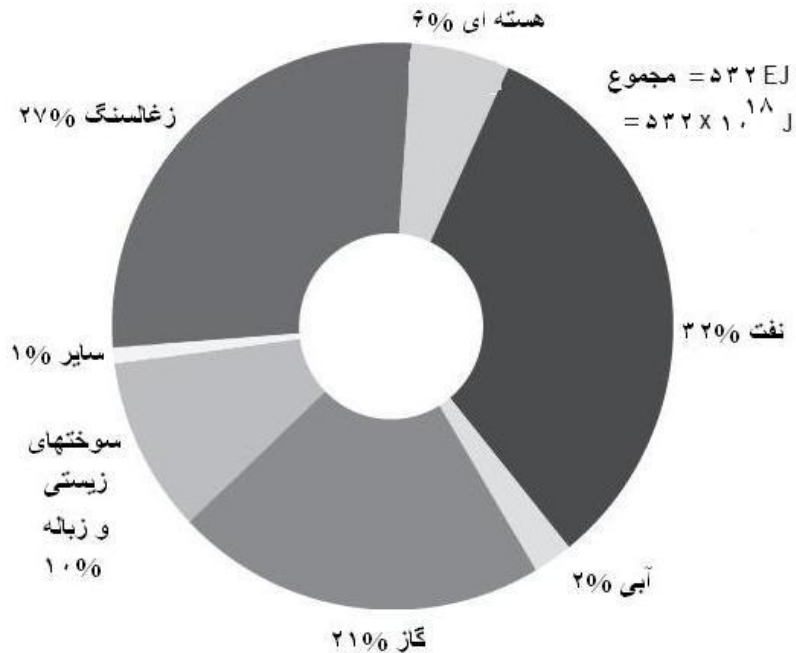
با فرض آن که تبدیل انرژی صحت دارد، وقتی که زغال‌سنگ تبدیل به خاکستر می‌شود، باتری چراغ‌قوه تخلیه می‌شود، اسکی‌باز در پایین تپه توقف می‌کند و دوندۀ نوار پایان را قطع کرده و می‌ایستد، چه بر سر انرژی می‌آید؟ پاسخ آن است که تمامی انرژی پتانسیل در نهایت تبدیل به گرمای تلف شده در درجه حرارت پایین شده و این انرژی از طریق حرکت تصادفی ملکول‌ها پراکنده می‌شود. به عنوان مثال، چنین گرمایی در اثر اصطکاک بین الکترون‌هایی که از رشته داخل لامپ عبور می‌کنند یا بین چوب‌های اسکی با برف آزاد می‌شود.

این چنین به نظر می‌رسد که وقتی انرژی از شکلی به شکلی دیگر تبدیل می‌شود، تمایل دارد که از سطحی بالاتر و با نظمی بیشتر به سمت سطحی پایین‌تر و با نظمی کمتر حرکت کند. مثال‌هایی از این موضوع عبارتند از: الکتروسیته مصرفی برای تولید آب گرم، گرمای انتقالی از یک جسم گرم به یک جسم سرد و آبی که از بالای تپه به سمت پایین جریان دارد. بنابراین، انرژی کیفیت خود را از دست داده و برای انسان کمتر مفید خواهد بود. این یک روش برای بیان قانون دوم ترمودینامیک است. از آنجایی که آنتروپی معیاری برای سنجش بی‌نظمی است، تعبیر دیگری از قانون دوم ترمودینامیک آن است که آنتروپی تمایل به افزایش دارد.

در عین حال، همان‌طور که این امکان وجود دارد که آب را، به رغم تمایل طبیعی‌اش، به بالای تپه پمپ کنیم، این امکان نیز وجود دارد که انرژی را از سطحی پایین و کم‌نظم به سطحی بالاتر و منظم‌تر "پمپ" کنیم. این فرایند بسیار کم‌بازده است، چرا که باید مقدار زیادی انرژی با کیفیت پایین در ورودی مصرف شود تا بتوان مقدار کمتری انرژی با کیفیت بالا در خروجی دریافت کرد. علاوه بر این، برای انجام چنین فرایندی مقداری انرژی با کیفیت بالا نیز مورد نیاز است.

به عنوان نمونه، مقادیر عظیمی از گرما در اقیانوس‌ها نهفته‌اند، اما این گرما در درجه حرارت‌های پایین ذخیره شده است و این بدین معنی است که این انرژی دارای کیفیت پایین است. به صورت نظری، این امکان وجود دارد که از اختلاف جزئی دما بین سطح اقیانوس و اعماق آن برای تولید الکتریسیته، که یک شکل با کیفیت بالای انرژی است، استفاده شود (همان‌طور که در فصل ۲ خواهیم دید). اما این فرایند، حتی در آب‌های استوایی که اختلاف دما بیشتر است، بسیار کم بازده است. بازده حرارتی - در بهترین حالت - در حدود چند درصد خواهد بود. در عین حال، این فناوری ممکن است برای تولید الکتریسیته در برخی از نقاط جهان، اگر انرژی با کیفیت بالای مورد نیاز برای فعال کردن فرایند و گرم کردن آب سطح دریا به جای سوخت‌های فسیلی از خورشید دریافت شود، عملی باشد. اگر سیستم تبدیل، تجدیدپذیر و ارزان قیمت باشد، آنگاه چندان مهم نیست که بازده باشد، همان‌طور که گیاهان سبز در تبدیل انرژی خورشیدی به کربوهیدرات‌ها بسیار کم بازده هستند. اما تازمانی تعداد زیادی گیاهان وجود خواهند داشت که ما انسان‌ها به حفاظت آن‌ها همت گماریم.

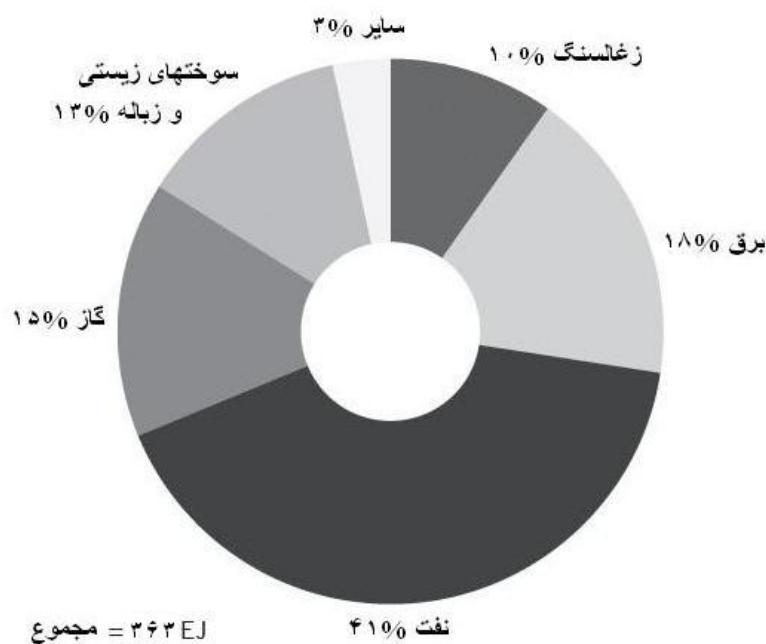
شکل ۱-۳- تولید انرژی اولیه جهان برحسب نوع سوخت در سال ۲۰۱۰ [۸]



نکته: "سایر" شامل انرژی‌های تجدیدپذیر به جز آبی، سوخت‌های زیستی و زباله می‌شود. انرژی اولیه، انرژی ذخیره‌شده در سوخت‌هایی است که از طبیعت استخراج می‌شوند، قبل از آن‌که به سایر اشکال انرژی از قبیل الکتریسیته و بنزین تبدیل شوند. انرژی اولیه شامل سوخت‌های فسیلی، اورانیوم و منابع تجدیدپذیر می‌شود.

تبدیل یک شکل از انرژی با کیفیت بالا (مثل حرکت دورانی یک توربین) به شکلی دیگر از انرژی با کیفیت بالا (مثل الکتریسیته) می‌تواند با بازده‌هایی تا حدود ۹۵٪ و در هر دو جهت صورت پذیرد. اما، از آنجایی که انرژی شیمیایی نسبت به الکتریسیته دارای کیفیت پایین‌تری است، بازده تبدیل یک نیروگاه زغال‌سوز معمول تنها در حدود ۳۶٪ است.

شکل ۱-۴- مصرف انرژی جهان برحسب نوع سوخت در سال ۲۰۱۰ [۹]



نکته: وقتی توجه ما از تولید انرژی به مصرف آن معطوف می‌شود، این بدین معنی است که در تبدیل سوخت‌های فسیلی به الکتریسیته و در پالایش نفت خام مقداری انرژی تلف شده است. زغال‌سنگ در شکل بالا زغال‌سنگی است که پس از مصرف بخش عمده زغال‌سنگ برای تولید برق باقیمانده است، این زغال-سنگ باقیمانده برای تولید گرمای صنعتی و خانگی سوزانده می‌شود.

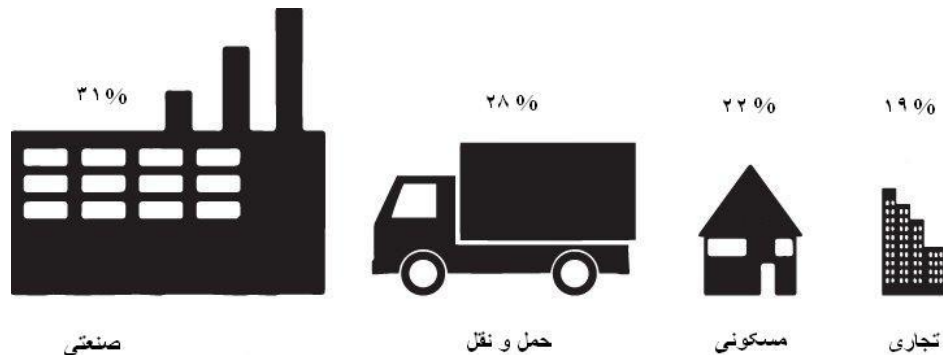
### تولید و مصرف انرژی و انتشار گازهای مرتبط با آن

سوخت‌های فسیلی - زغال‌سنگ، نفت و گاز - منابع اصلی انرژی مصرف‌شده در جهان امروزند (شکل ۱-۳). دستاورد مهم این سوخت‌ها، فراهم‌آوردن بستر لازم برای رسیدن به جامعه صنعتی امروز بود. اینک، اما، برای حفاظت از جامعه انسانی و تنوع زیستی زمین، این سوخت‌ها بایستی جایگزین شوند.

انرژی در سه شکل اصلی به مصرف‌کنندگان تحویل می‌شود: الکتریسیته، سوخت برای تولید گرمای غیر برقی و سوخت‌های مصرفی در حمل و نقل (شکل ۱-۴).

مصرف انرژی در هر یک از بخش‌های موجود، از کشوری به کشور دیگر فرق می‌کند و بستگی به نقش صنایع سنگین در اقتصاد و نیز جایگاه حمل و نقل موتوری در آن کشور دارد. در نتیجه، یک میانگین جهانی فاقد مفهوم دقیق است. به جای آن، شکل ۱-۵ تقسیم‌بندی مصرف انرژی در یک کشور بسیار صنعتی، یعنی ایالات متحده آمریکا، را نشان می‌دهد.

شکل ۱-۵ - سهم مصرف‌کنندگان نهایی از مصرف کل انرژی در آمریکا در سال ۲۰۱۱ [۱۰]

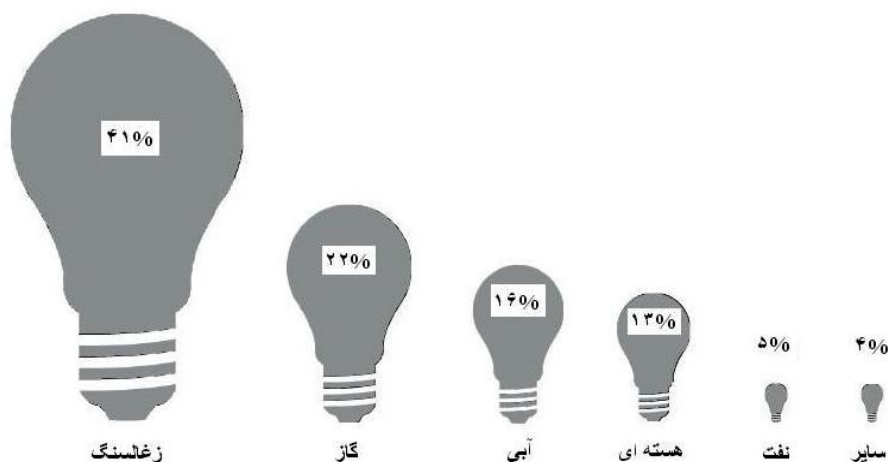


همان‌طور که انتظار می‌رود، بخش‌های صنایع و حمل و نقل بزرگ‌ترین مصرف‌کنندگان انرژی بوده و پس از آنان بخش‌های خانگی و تجاری قرار دارند.

امروزه از الکتریسیته برای لوازم خانگی، ابزارهای الکترونیکی، روشنایی، تهویه مطبوع، بخشی از گرمایش صنعتی و خانگی و بخش بزرگی از حمل و نقل ریلی و علائم مرتبط با آن استفاده می‌شود. هر کجا که زغال‌سنگ به میزان کافی در دسترس باشد - مثل لهستان، آفریقای جنوبی، استرالیا،

چین و هندوستان - از آن به عنوان سوخت اصلی برای تولید الکتریسیته استفاده می‌شود. علاوه بر این، زغال‌سنگ آلاینده‌ترین نوع سوخت، هم از نظر انتشار گاز دی‌اکسید کربن و هم از نظر آلاینده‌گی هوای محلی، است [۱۱]. خوشبختانه الکتریسیته شکلی از انرژی است که به سادگی از منابع تجدیدپذیر قابل تولید است. منابع جهانی تولید الکتریسیته در شکل ۱-۶ نشان داده شده‌اند.

شکل ۱-۶- تولید جهانی الکتریسیته برحسب نوع سوخت در سال ۲۰۱۰ [۱۲]



نکته: سهم الکتریسیته تولیدی از هسته‌ای و زغال‌سنگ در حال کاهش است، در حالی که سهم گاز و منابع تجدیدپذیر به جز آبی ("سایر") در حال افزایش است.

در مناطقی که گاز طبیعی به سادگی در دسترس است، سوخت اصلی برای گرمایش صنعتی و نیز سوخت عمده برای گرمایش خانگی به شمار می‌رود. گاز طبیعی در بین همه انواع سوخت‌های فسیلی پاکیزه‌ترین نوع، هم از نظر انتشار گاز دی‌اکسید کربن و هم از نظر آلاینده‌گی هوای محلی، است. در عین حال، مطالعات اخیر در مورد چرخه حیات گازهای انتشار یافته از گاز استخراجی از شیل<sup>۱</sup> نشان می‌دهد که این نوع گاز ممکن است از نقطه نظر انتشار گازهای گلخانه‌ای آلاینده‌تر از گاز طبیعی باشد، تا جایی که مزیت زیست محیطی چندانی بر زغال‌سنگ ندارد [۱۳]. در برخی کشورهای کمتر توسعه یافته، هنوز هم از زغال‌سنگ به‌طور گسترده‌ای برای گرمایش استفاده می‌شود. زغال‌سنگ

1 Gas from shale

همچنین برای تولید کک، که هم منبع انرژی و هم عامل کاهنده مواد شیمیایی در فرایند تولید فولاد است، مورد استفاده قرار می‌گیرد. درحالی‌که بخش عمده گرمای با درجه حرارت پایین (مانند آب-گرم و گرمایش و سرمایش فضاها) را می‌توان مستقیماً از انرژی خورشیدی دریافت کرد، تولید گرما با درجه حرارت بالا با استفاده از منابع تجدیدپذیر چالش‌برانگیزتر خواهد بود. در جهانی با تولید کربن پایین، به نظر می‌رسد بخش عمده گرما با درجه حرارت بالا باید توسط الکتریسیته تولیدی از منابع تجدیدپذیر تأمین شود.

در حال حاضر، سوخت اصلی خودروهای موتوری نفت است. الکتریسیته تجدیدپذیر گزینه عملی برای اتومبیل‌ها و کامیون‌های شهری به نظر می‌رسد، اما به دلیل ظرفیت محدود باتری‌ها، نمی‌تواند گزینه مطلوبی برای سفرهای طولانی بین شهرها یا در مناطق غیرشهری باشد. در چنین مواردی، سوخت‌های زیستی می‌توانند سهمی داشته باشند.

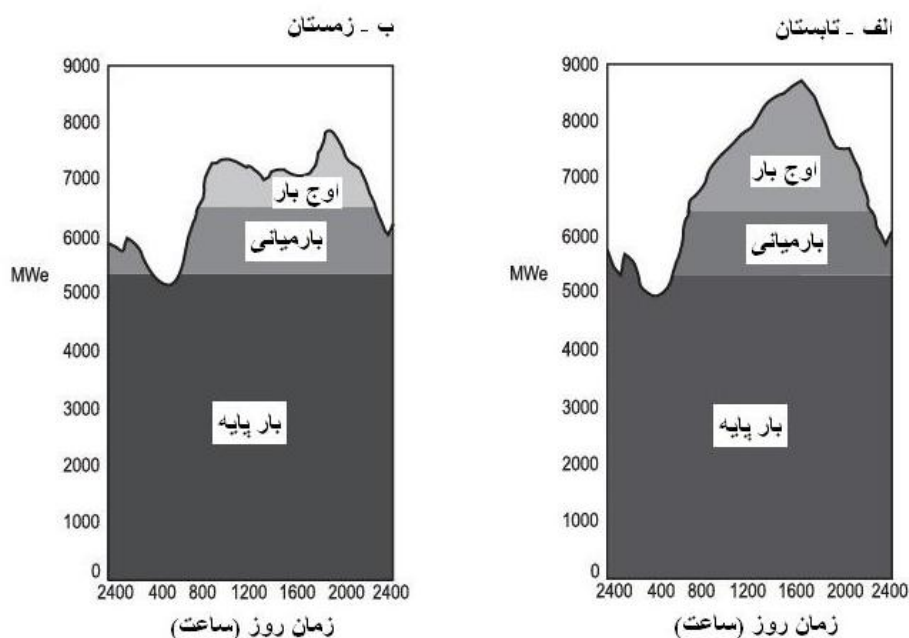
نتیجه می‌گیریم که توسعه سامانه برق جنبه مهمی از سناریوهای انرژی پایدار است. بنابراین، تبدیل صنعت برق به صنعتی مبتنی بر منابع تجدیدپذیر بایستی یک اولویت در جهت بهبود شرایط اقلیمی باشد. طبق گزارش آژانس بین‌المللی انرژی<sup>۱</sup>، در سال ۲۰۱۰ تولید الکتریسیته و گرما مجموعاً بزرگ‌ترین عامل تولید گاز دی‌اکسید کربن توسط بشر (۴۱ درصد) بوده و پس از آن نیز حمل و نقل (۲۱ درصد) قرار دارد. تقریباً سه‌چهارم مجموع تولید الکتریسیته و گرما از سوزاندن زغال‌سنگ به‌دست آمده است. حدود سه‌چهارم گازهای انتشار یافته در بخش حمل و نقل نیز مربوط به حمل و نقل جاده‌ای بوده است [۱۴]. از آنجایی که الکتریسیته کلید یک آینده انرژی پایدار است، در اینجا توجه خود را بر مبانی صنعت برق متمرکز می‌سازیم.

### متعادل سازی عرضه و تقاضا در صنعت برق

یک سامانه عرضه الکتریسیته در واقع مبتنی بر عمل دقیق و حساس برقراری تعادل بین عرضه و تقاضاست. همراه با تغییرات آب و هوا، فعالیت‌های تجاری، خروجی صنایع و فعالیت‌های خانگی، تقاضای انرژی الکتریکی نیز از زمانی به زمان دیگر در طول روز، از هفته‌ای به هفته دیگر و از فصلی به فصل بعد تغییر می‌کند. از آنجایی که ذخیره سازی انرژی الکتریکی در مقیاس‌های بزرگ هنوز هم

بسیار گران‌قیمت است، عرضه الکتریسیته در یک سامانه متعارف باید تقاضا را با درجه بالایی از دقت دنبال کند. باتری‌هایی که بتوانند نوسانات عرضه و تقاضا را در یک شبکه برق ملی کاهش دهند هنوز هم در مرحله آزمایشی یا نمایشی هستند (رک فصل ۲، "ذخیره سازی الکتریسیته تجدیدپذیر") حتی عدم تعادل‌های مختصر بین عرضه و تقاضا می‌تواند منجر به تغییرات فرکانس در جریان متناوب و آسیب رساندن به تجهیزات الکترونیکی شوند. عدم تعادل‌های بزرگتر می‌تواند موجب خاموشی‌های گسترده شوند.

شکل ۱-۷- تقاضای معمول روزانه توان بر حسب زمان روز



چالش برانگیزترین وظیفه یک سامانه عرضه انرژی الکتریکی، دنبال کردن تغییرات بزرگ و سریع تقاضا در طول یک دوره ۲۴ ساعته و هم‌زمان، حفظ قابلیت اطمینان سامانه است. شکل ۱-۷ تغییرات روزانه معمول در تقاضا، از نیمه‌شب تا نیمه‌شب بعدی، در تابستان و زمستان و در یک کشور صنعتی را نشان می‌دهد. در تابستان، معمولاً یک قله بزرگ مصرف در بعدازظهر به دلیل عملکرد سامانه‌های تهویه مطبوع رخ می‌دهد. دو قله بزرگ مصرف در زمستان نیز عمدتاً به دلیل عملکرد سامانه‌های گرمایش خانگی در حول و حوش زمان صرف صبحانه و شام پدید می‌آیند.

خطوط افقی در شکل ۱-۷، مرز بین سه نوع تقاضا، یعنی بار پایه، بار میانی و اوج بار، را مشخص می‌سازند. مقدار ثابت تقاضا بین نیمه شب و سحرگاه، که در طول ۲۴ ساعت تداوم دارد، بار پایه نام دارد؛ قله‌های بزرگ، تقاضای اوج بار نامیده می‌شوند؛ و بین این دو ناحیه به بار میانی معروف است.

در گذشته پذیرفتنی بود که هر یک از این سه نوع تقاضا با نوع خاصی از نیروگاه‌ها پاسخ داده شوند. نیروگاه‌های زغال‌سوز و هسته‌ای از نقطه نظر تغییر دادن<sup>۱</sup> سریع خروجی خود انعطاف‌ناپذیرند. این نوع نیروگاه‌ها به یک تا دو روز زمان نیاز دارند تا از حالت سرد شروع به کار کرده و به توان نامی خود برسند. پس از آن که به توان نامی خود رسیدند، این نوع نیروگاه‌ها نمی‌توانند تغییرات روزانه بار را، بدون آن که هزینه‌های کلان بهره‌برداری و نگهداری بر آن‌ها تحمیل شود، دنبال کنند. این نوع نیروگاه‌ها هزینه سرمایه‌گذاری اولیه بسیار بالا، و در صورتی که به‌طور پیوسته در توان نامی خود کار کنند، هزینه سوخت و بهره‌برداری پایینی دارند. در نتیجه، مطلوب است که این دسته از نیروگاه‌ها به‌طور پیوسته در توان نامی (حداکثر توان خروجی طراحی شده) خود کار کنند. بنابراین، طبیعی است که این نوع نیروگاه‌ها برای پاسخگویی به تقاضای بار پایه به کار گرفته شده و به عنوان "نیروگاه‌های بار پایه"<sup>۲</sup> شناخته شوند.

برای پاسخگویی به اوج تقاضا و برای جبران کاهش تولید ناشی از خروج برنامه ریزی نشده نیروگاه‌های بار پایه، از "نیروگاه‌های اوج بار"<sup>۳</sup> استفاده می‌شود. این نیروگاه‌ها را می‌توان در چند دقیقه راه‌اندازی کرد و توان خروجی آن‌ها به سرعت قابل تغییر است. دو نوع اصلی نیروگاه‌های اوج بار عبارتند از: توربین‌های گازی و نیروگاه‌های برقی مستقر در سدهای ذخیره‌ای. توربین‌های گازی مورد استفاده در تولید الکتریسیته بسیار شبیه موتورهای جت مورد استفاده در هواپیماها هستند. این توربین‌ها را می‌توان در حدود ۱۰ دقیقه از حالت سرد (خاموش) به وضعیت تولید حداکثر توان رساند. این نیروگاه‌ها هزینه سرمایه‌گذاری اولیه (دلار بر کیلو وات ظرفیت) پایینی دارند. در عین حال، هزینه‌های بهره‌برداری این نیروگاه‌ها بالاست، چرا که سوختی که می‌سوزانند - گاز طبیعی، نفت یا معادل‌های تجدیدپذیر آنان - در مقایسه با زغال‌سنگ یا اورانیوم استفاده شده در نیروگاه‌های بار پایه بسیار

---

1 Ramping

2 Base-load Power Stations

3 Peak-load Power Stations

گرانترند. در نتیجه، نیروگاه‌های اوج بار تا حد ممکن کمتر به کار گرفته می‌شوند. این نیروگاه‌ها را می‌توان به عنوان پشتوانه قابل اطمینان شبکه در نظر گرفت.

ذخیره سازی آب اصلی‌ترین روش متعارف برای ذخیره سازی غیرمستقیم الکتریسیته در مقیاس بزرگ است. هرچند میزان بارش باران اغلب به میزان چشمگیری بسته به فصل و سال تغییر می‌کند، اما یک سد بزرگ می‌تواند تا حدود زیادی این نوسانات طبیعی را جبران کند. در مناطق کمی با ذخیره سازی‌های بزرگ آب (به عنوان مثال، نروژ، ایسلند، برزیل، نیوزیلند و جزیره تاسمانی در استرالیا) می‌توان نیروگاه‌های برقایی را به عنوان نیروگاه‌های بار پایه به کار گرفت. در عین حال، در اغلب کشورها ظرفیت ذخیره سازی آب و/یا میزان بارش باران محدود است و نیروگاه‌های برقایی به عنوان نیروگاه‌های اوج بار، یا در بهترین شرایط، نیروگاه‌های بار میانی<sup>۱</sup> مورد استفاده قرار می‌گیرند. خروجی نیروگاه‌های برقایی در سدهای بزرگ را می‌توان حتی سریعتر از خروجی توربین‌های گازی تغییر داد. در عین حال، برخلاف توربین‌های گازی، نیروگاه‌های برقایی با سدهای ذخیره‌ای دارای هزینه سرمایه‌گذاری اولیه بالایی هستند. گرچه که "سوخت" این نیروگاه‌ها - آبی که ذخیره می‌کنند - به صورت رایگان توسط طبیعت تأمین می‌شود، اما بدون ظرفیت‌های عظیم ذخیره‌سازی آب، این منابع محدود را باید با صرفه‌جویی به مصرف رساند، آنگونه که انگار قیمت سوخت بالایی دارند.

جدول ۱-۵ - مشخصات انواع متعارف نیروگاه‌ها

نوع نیروگاه	سوخت	هزینه سرمایه‌گذاری (به سال شده)	هزینه بهره‌برداری (عمدتاً سوخت)	توانایی تغییر سریع توان خروجی	ضریب ظرفیت
بار پایه	زغال‌سنگ، هسته‌ای	بالا	پایین	پایین	بالا
بار میانی	زغال‌سنگ، گاز طبیعی	متوسط	متوسط	متوسط	متوسط
اوج بار	گاز طبیعی، آبی، نفت	پایین (گاز/نفت)، بالا (آبی)	بالا	بالا	پایین

نیروگاه‌های بار میانی، همان‌طور که از نام آن‌ها پیداست، از چندین نظر حد میانی نیروگاه‌های بار پایه و نیروگاه‌های اوج بار هستند. خروجی این نوع نیروگاه‌ها را می‌توان سریع‌تر از خروجی نیروگاه‌های بار پایه، اما کندتر از خروجی نیروگاه‌های اوج بار تغییر داد. قیمت سوخت آن‌ها معمولاً

1 Intermediate-load Power Stations

جایی در حد فاصل قیمت سوخت نیروگاه‌های بار پایه و اوج بار قرار دارد. هزینه سرمایه‌گذاری اولیه آن‌ها برحسب دلار بر کیلووات ظرفیت نیز بین هزینه سرمایه‌گذاری نیروگاه‌های بار پایه و اوج بار واقع می‌شود. این نیروگاه‌ها معمولاً نیروگاه‌های توربین گازی سیکل ترکیبی یا نیروگاه‌های قدیمی و کوچک زغال‌سوز، که هزینه سرمایه‌گذاری اولیه آن‌ها مستهلک شده است، هستند. یک نیروگاه سیکل ترکیبی دارای دو مرحله است - گرمای خروجی از توربین گازی برای تولید بخار در دیگ بخار مورد استفاده قرار می‌گیرد - و در نتیجه دارای بازده بالاتری در مقایسه با نیروگاه‌های تک سیکلی است. در جدول ۱-۵ مشخصات نیروگاه‌های متعارف بار پایه، بار میانی و اوج بار جمع‌بندی شده است.

هرچند یک نیروگاه زغال‌سوز، و در واقع هر نیروگاه بار پایه‌ای، به گونه‌ای طراحی شده است که به‌طور پیوسته در توان نامی خود کار کند، در عمل این اتفاق همیشه رخ نمی‌دهد. برخی از اوقات این نیروگاه‌ها به‌طور ناخواسته و به دلیل مشکلات فنی از تولید باز می‌ایستند و در پاره‌ای از مواقع برای انجام عملیات برنامه ریزی شده تعمیر و نگهداری از مدار خارج می‌شوند. زمانی که تقاضا برای الکتریسیته در شبکه بسیار پایین است، یک نیروگاه زغال‌سوز را می‌توان در توانی کمتر از توان نامی به کار گرفت [۱۵] یا می‌توان آن را از مدار خارج کرد. بنابراین، میانگین توان خروجی در طول یک دوره یک ساله همیشه کمتر از توان خروجی نامی است. "ضریب ظرفیت"<sup>۱</sup> یک نیروگاه به صورت توان میانگین خروجی نیروگاه تقسیم بر توان نامی آن (به صورت درصد) تعریف می‌شود.

$$\text{ضریب ظرفیت} = \frac{\text{توان میانگین خروجی} \times 100}{\text{توان نامی}} \quad (\text{معادله ۱-۲})$$

$$= \frac{\text{انرژی تولیدی واقعی سالانه} \times 100}{\text{انرژی تولیدی فرضی سالانه در توان نامی}}$$

بنابراین، ضریب ظرفیت از یک منظر معیاری برای سنجش عملکرد یک نیروگاه و از منظری دیگر معیاری برای سنجش اینکه نیروگاه چگونه توسط سامانه عرضه الکتریسیته مورد استفاده واقع می‌شود است. برای نیروگاه‌های بار پایه، ضریب ظرفیت میانگین معمول در طول دوره عمر کاریشان در محدوده ۶۰ تا ۹۰ درصد قرار دارد. نیروگاه‌های اوج بار، به دلیل قیمت بالای سوختشان، در

---

1 Capacity Factor

کمترین میزان ممکن به کار گرفته می‌شوند و در نتیجه، ضریب ظرفیت معمول آن‌ها در محدوده ۲ تا ۱۰ درصد واقع می‌شود. در نتیجه، برای نیروگاه‌های اوج بار (و همچنان که بعداً خواهیم دید، برای اغلب سامانه‌های انرژی تجدیدپذیر) ضریب ظرفیت معیار مناسبی برای سنجش کارآمدی نیست. نیروگاه‌های بار میانی، مطابق معمول، جایی در بین این دو واقع می‌شوند.

در یک سامانه عرضه الکتریسیته که عمدتاً مبتنی بر سوخت‌های فسیلی و/یا هسته‌ای است، ترکیب یا مخلوطی از نیروگاه‌های بار پایه، بار میانی و اوج بار منجر به حداقل هزینه سالیانه می‌شود. اگر تعداد زیادی نیروگاه‌های بار پایه در شبکه وجود داشته باشد، به دلیل حجم بالای اقساط سالیانه مربوط به سرمایه‌گذاری اولیه، مجموع هزینه‌ها افزایش می‌یابد؛ و اگر از تعداد زیادی توربین-های گازی اوج بار در شبکه استفاده شود، به دلیل استفاده زیاد از سوخت گران‌قیمت در این نیروگاه-ها، باز هم مجموع هزینه‌ها افزایش می‌یابد. برقراری تعادل مطلوب بین انواع نیروگاه‌های متعارف به گونه‌ای که ترکیب اقتصادی بهینه حاصل شود کار دشواری است، خصوصاً اگر میانگین تقاضای سالیانه از سالی به سالی دیگر به میزان چشمگیری تغییر کند. این امر مستلزم پیش‌بینی و پیش‌گویی است که می‌تواند بسیار نادقیق باشد. این محاسبات در سامانه‌های عرضه‌ای که بخش عمده‌ای از تولید آن‌ها از نوع آبی است حتی پیچیده‌تر هم می‌شود.

یک سامانه متعارف عرضه الکتریسیته به گونه‌ای طراحی می‌شود که پاسخگوی دو نوع تغییرات باشد. تغییرات قابل پیش‌بینی در شکل منحنی‌های روزانه و فصلی تقاضا و نیز توقف‌های برنامه‌ریزی شده نیروگاه‌ها برای تعمیر و نگهداری ظاهر می‌شوند. به این تغییرات از طریق طراحی یک ترکیب بهینه از نیروگاه‌های بار پایه، بار میانی و اوج بار، که دارای حداکثر توان تولیدی کافی برای پاسخگویی به حداکثر تقاضای قابل پیش‌بینی و پشتیبانی توقف‌های برنامه‌ریزی شده نیروگاه‌ها باشد، پاسخ داده می‌شود. اما یک سامانه عرضه و تقاضای الکتریسیته به‌طور کامل قابل پیش‌بینی نیست. هم عرضه و هم تقاضا می‌توانند به دلیل خرابی پیش‌بینی نشده نیروگاه‌ها و خطوط انتقال و به دلیل تغییرات پیش‌بینی نشده در مصرف، مثل وقتی که میلیون‌ها نفر در زمان پخش آگهی‌های بازرگانی در میانه یک برنامه پرتعداد تلویزیونی کتری آب را روی اجاق برقی می‌گذارند یا وقتی که به دلیل تغییرات ناگهانی دمای هوا دستگاه‌های گرمایشی یا سرمایشی را روشن می‌کنند، به صورت تصادفی تغییر کنند. البته این وقایع، بر خلاف شیر و خط با یک سکه سالم، کاملاً تصادفی نیستند و تنها درجاتی از عدم قطعیت را در خود دارند. طراحان سیستم قدرت تلاش می‌کنند تا احتمال وقوع چنین تغییراتی را

محاسبه کرده و ذخیره اضافی کافی از نیروگاه‌ها برای پاسخگویی به آن‌ها را با درجات بالایی از قطعیت در نظر گیرند.

حتی در چنین شرایطی نیز هیچ سیستم قدرتی صددرصد قابل اطمینان نیست. برای دسترسی به هدف غیر ممکن قابلیت اطمینان صددرصد، بایستی برای ظرفیت تولید ذخیره نیز ذخیره‌ای در نظر گرفت و این کار را تا بی‌نهایت ادامه داد که منجر به تحمیل هزینه بی‌نهایت بر مصرف‌کنندگان می‌شود. در نتیجه، طراحان سیستم قدرت معمولاً درصدی از قابلیت اطمینان که به لحاظ سیاسی قابل قبول بوده و شامل تعداد کمی قطعی در عرضه الکتریسیته می‌شود را برای پاسخگویی به تقاضا انتخاب می‌کنند. برای پاسخگویی به چنین الزامی، یک اقدام احتیاطی متداول عبارت است از داشتن نیروگاه‌های اوج بار اضافی در سیستم قدرت و نیز ذخیره تولید پایه کافی که گرم، و در صورتی که بزرگترین نیروگاه موجود در سیستم به‌طور پیش‌بینی نشده‌ای از مدار خارج شود، آماده وارد شدن به مدار باشد. اگر خروج پیش‌بینی نشده نیروگاهی دارای ماهیت بلندمدت باشد، می‌توان برخی از نیروگاه‌های بار پایه سرد را نیز در طی یک دوره چند روزه وارد مدار کرد. دو مداره کردن خطوط کلیدی انتقال توان نیز یک اقدام احتیاطی دیگر برای افزایش قابلیت اطمینان است.

### تأثیر انرژی متناوب تجدیدپذیر

برخی از منابع انرژی تجدیدپذیر "متناوب"، "نوسانی"، "غیر قابل مدیریت"<sup>۱</sup> یا "متغیر" محسوب می‌شوند، در حالی که برخی دیگر "غیر متناوب"، "قابل اطمینان"، "انعطاف پذیر" یا "قابل مدیریت"<sup>۲</sup> به حساب می‌آیند.

در گروه اول، منابع بادی، خورشیدی فتوولتائیک فاقد ذخیره‌ساز انرژی، نیروگاه‌های آبی جریانی و امواج قرار می‌گیرند، در حالی که در گروه دوم می‌توان به نیروگاه‌های زیست‌توده، نیروگاه‌های آبی ذخیره‌ای، زمین‌گرمایی، جزر و مد و نیروگاه‌های خورشیدی حرارتی دارای ذخیره-سازهای حرارتی بزرگ اشاره کرد. بر این نکته باید تاکید کرد که نوسانات تصادفی در منابع متغیر انرژی تجدیدپذیر تاحدودی قابل پیش‌بینی هستند، همانگونه که نوسانات تصادفی در تقاضا و عرضه

1 Non-dispatchable  
2 Dispatchable

متعارف را نیز می‌توان تاحدودی پیش‌بینی کرد. از نظر ریاضی، همه سه نوع نوسانات تصادفی را می‌توان با توزیع‌های احتمالی بیان کرد [۱۶].

وقتی که انواع متغیر منابع انرژی تجدیدپذیر وارد یک شبکه می‌شوند، در ابتدا کسر بسیار کوچکی از تولید سالانه الکتریسیته را به خود اختصاص می‌دهند. در چنین وضعیتی، نوسانات موجود در توان خروجی بادی و خورشیدی فتوولتاییک معمولاً کوچکتر از نوسانات موجود در مصرف الکتریسیته هستند و در نتیجه، این نوسانات را می‌توان به سادگی با نیروگاه‌های موجود بار میانی، اوج بار و بار پایه ذخیره پاسخ داد. بدین ترتیب، توان اندک وارد شده از نیروگاه‌های بادی و خورشیدی فتوولتاییک به شبکه را می‌توان به سادگی به عنوان تقاضای منفی در نظر گرفت. این بدین معنی است که تولید این واحد را می‌توان معادل کاهش تقاضا در زمان وزش باد یا تابش خورشید منظور کرد.

در میان مهندسين برق يك نظر سنتی این بود که گرچه که چنین نوسانات کوچکی مشکلی به حساب نمی‌آیند، اما دریافت مقادیر زیادی توان از انواع متغیر منابع انرژی تجدیدپذیر، خصوصاً بادی و فتوولتاییک، موجب به وجود آمدن تغییرات تصادفی بزرگی در سیستم قدرت شده و در نتیجه قابلیت اطمینان سامانه تولید را کاهش می‌دهد. در نتیجه، برخی معتقد بودند که ورود مقادیر زیادی توان بادی یا فتوولتاییک به سیستم قدرت یا نیازمند داشتن صد درصد ظرفیت پشتیبان توسط نیروگاه‌های متعارف است یا این کار باید تا زمان توسعه و به صرفه شدن فناوری‌های بار پایه تجدیدپذیر، از قبیل نیروگاه‌های زمین‌گرمایی یا ذخیره‌سازهای ارزان‌قیمت انرژی، به تأخیر افتد.

در عین حال، اواخر قرن بیستم و اوایل قرن بیست و یکم میلادی صحنه رشد سریع فناوری‌های انرژی تجدیدپذیر متغیر از مقادیری اندک به سطوحی بسیار قابل توجه در چندین کشور و ایالت بود. در سال ۲۰۱۲، انرژی بادی ۳۰ درصد تولید سالانه الکتریسیته در کشور دانمارک و ۲۷ درصد آن را در ایالت استرالیای جنوبی به خود اختصاص داد. هرچند در واقع چالش‌هایی در زمینه تزیق مقادیر زیادی از انرژی‌های تجدیدپذیر به شبکه برق وجود دارد اما این چالش‌ها به دشواری یا گرانی‌ای که قبلاً تصور می‌شد نیستند [۱۷]. هم تجربیات عملی و هم مدلسازی‌های دقیق کامپیوتری، که در فصل سوم مورد بحث قرار گرفته‌اند، منجر به بروز تغییراتی در چهارچوب مفهومی یک سامانه عرضه الکتریسیته شده‌اند. با انجام طراحی هوشمندانه، یک سیستم قدرت عمدتاً مبتنی بر انرژی‌های تجدیدپذیر به همان اندازه یک سامانه منطبق بر سوخت‌های فسیلی قابل اطمینان خواهد بود و در آن نیازی نیست که تقاضای پایه را به وسیله نیروگاه‌های بار پایه تأمین کرد. در حقیقت، در یک سیستم

قدرت عمدتاً مبتنی بر انرژی‌های تجدیدپذیر نیاز به هیچ نوعی از نیروگاه‌های بار پایه نیست. همچنان که با شبیه‌سازی‌های کامپیوتری در فصل سوم نشان داده شده است، نکته کلیدی عبارت است از حفظ قابلیت اطمینان کل سامانه عرضه-تقاضا در سطح مطلوب از طریق به کارگیری ترکیب مناسبی از فناوری‌های تجدیدپذیر "انعطاف پذیر" و "متغیر". منابع بادی، خورشیدی فتولتاییک و آبی جریان در صورتی که وزش باد یا تابش خورشید یا جریان آب وجود نداشته باشد قابل بهره برداری نیستند. در نتیجه، این منابع را به عنوان منابع "متغیر" و "غیر قابل مدیریت" می‌شناسند، هرچند که تا حدودی قابل پیش‌بینی هستند. در همین حال، نیروگاه‌های خورشیدی حرارتی با ذخیره‌ساز گرمایی، نیروگاه‌های آبی دارای مخزن ذخیره آب، نیروگاه‌های زمین گرمایی و توربین‌های گازی که دارای ذخیره قابل اطمینانی از سوخت، اعم از تجدیدپذیر یا فسیلی، باشند منابع "انعطاف پذیر" و "قابل مدیریت" تلقی می‌شوند.

فناوری‌های مورد نظر با جزئیات بیشتری در فصل‌های دوم و پنجم مورد بحث قرار گرفته‌اند. در اینجا، تنها به توجیه انتخاب فناوری‌های تجدیدپذیر به عنوان عناصر عرضه کننده انرژی در یک سامانه پایدار انرژی می‌پردازیم.

### سامانه انرژی پایدار از نقطه نظر بوم‌شناختی

یک سامانه انرژی پایدار از نقطه نظر بوم‌شناختی، سامانه‌ایست که با توسعه جامعه‌ای دارای عدالت اجتماعی و منطبق بر ارزش‌های بوم‌شناختی همخوانی داشته و ترجیحاً دسترسی به چنین جامعه‌ای را تسهیل نماید. یک چنین سامانه‌ای لازمه فرایند توسعه پایدار است. بهترین تعریف ارائه شده برای توسعه پایدار متعلق به کمیسیون جهانی محیط زیست و توسعه است:

*بشریت ناگزیر است که توسعه را پایدار سازد - تا اطمینان یابد که نیازهای حال برآورده می‌شوند، بدون آن‌که توانایی نسل‌های آینده در برآورده ساختن نیازهایشان در معرض مخاطره قرار گیرد. [۱۸]*

تعریف بالا بر جنبه درازمدت پایداری تأکید دارد. یک تعریف مکمل، که رابطه میان جنبه‌های بوم‌شناختی، اقتصادی و اجتماعی توسعه پایدار را تبیین می‌کند، به صورت زیر است:

توسعه پایدار، توسعه اقتصادی و اجتماعی‌ای است که محیط زیست و برابری اجتماعی

را حفظ کرده و بر غنای آن می‌افزاید. [۱۹]

این تعریف بلندپروازانه، نقطه نظری را اتخاذ می‌کند که بر مبنای آن توسعه پایدار نوعی از برقراری تعادل یا بده-بستان بین جنبه‌های زیست‌محیطی، اقتصادی و اجتماعی نیست، بلکه حفاظت از محیط زیست و برابری اجتماعی باید به عنوان قیودی بر انواع مجاز توسعه در نظر گرفته شوند. "برابری اجتماعی" در اینجا به عنوان فرصت برابر برای همگان برای دسترسی به پاره‌ای نیازهای اساسی مشخص، از قبیل غذا، سرپناه، هوا و آب پاکیزه، دسترسی به منابع اساسی انرژی و امنیت فردی، تعریف می‌شود.

در این چهارچوب، یک سامانه انرژی پایدار سامانه‌ای است شامل فناوری‌ها، قوانین، مؤسسات، سامانه آموزشی، صنایع و قیمت‌هایی که عرضه و تقاضای انرژی را برای فرایند توسعه پایدار کنترل می‌کنند و در نهایت به یک جامعه پایدار دست می‌یابند. واضح است که چنین امری بسیار فراتر از نحوه انتخاب فناوری‌ها بوده و به سامانه‌ای شامل طیف وسیعی از ابزارهای سیاستگذاری نیازمند است. در شرایط آرمانی، چنین سامانه‌ای باید:

- تأثیرات منفی بسیار اندکی بر محیط زیست، بهداشت و ایمنی داشته باشد،
- ذخایر بزرگ "سوخت" داشته باشد و در عین حال، از انرژی، مواد و سایر منابع با کارآمدی بهره‌گیری کند،
- قابل دسترس برای همگان باشد (این شرط هم برای جامعه و هم سامانه انرژی آن صادق است)،
- با کنترل مردم‌سالارانه فناوری همخوانی داشته باشد؛ و،
- اشتغال محلی ایجاد کند.

در حال حاضر، سه گروه فناوری‌های انرژی وجود دارند که یا به صورت تجاری در دسترس همگان هستند و یا حداقل در مرحله پیشرفته‌ای از آزمایش قرار دارند: گروهی که مبتنی بر سوزاندن سوخت‌های فسیلی هستند؛ گروهی که مبتنی بر شکافت هسته‌ای هستند؛ و گروهی که مبتنی بر انرژی-های تجدیدپذیر هستند. سوخت‌های فسیلی از منظر همه شرایط پایداری که در بالا ذکر شد نمره مردودی می‌گیرند. این سوخت‌ها عامل اصلی تغییرات جهانی آب و هوا هستند. یک عامل اصلی آلودگی هوا با آثار منفی شدید و گسترده بر سلامت بشر هستند؛ یک عامل چشمگیر در آلودگی منابع آب و کاهش کیفیت خاک هستند؛ منابع بسیار محدودی دارند (به ویژه نفت و زغال‌سنگ دارای

کیفیت خوب)؛ تنها به صورت نسبی ارزان هستند چرا که هزینه‌های زیست محیطی، بهداشتی، اجتماعی و برخی هزینه‌های اقتصادی آن‌ها در قیمت آن‌ها منظور نشده‌اند؛ توسط شرکت‌های بسیار بزرگ کنترل می‌شوند؛ و تعداد شغل نسبتاً کمی به ازای هر واحد انرژی تولید شده ایجاد می‌کنند. از میان سوخت‌های فسیلی که در مقیاس بزرگ استفاده می‌شوند، زغال‌سنگ دارای بیشترین میزان آسیب رسانی از منظر زیست محیطی و بهداشتی است [۲۰]. همچنین، کار در معادن زغال‌سنگ یکی از خطرناک‌ترین مشاغل، حتی در کشورهای صنعتی، به شمار می‌رود.

انرژی هسته‌ای، که با جزئیات بیشتری در فصل ششم مورد بحث قرار گرفته است، احتمال گسترش سلاح‌های هسته‌ای و در نتیجه خطر وقوع جنگ هسته‌ای را افزایش می‌دهد. منابع و مراکز تولید این نوع انرژی به‌طور بالقوه هدف بسیار مؤثری برای تروریست‌ها هستند و مراکز جمعیتی را نیز در معرض سوانح نادر، اما به شدت ویرانگر، قرار می‌دهند. این صنعت بسیار گران‌قیمت بوده و تنها به دلیل پرداخت مستمر یارانه‌های سنگین قادر به ادامه حیات تجاری خویش است. پس از بیش از نیم قرن بهره برداری تجاری از این صنعت، هنوز هیچ تأسیساتی در هیچ جای دنیا برای مدیریت دراز مدت پس‌ماندهای سطح بالای هسته‌ای وجود ندارد. حتی نشت تشعشعات سطح پایین هسته‌ای نیز آثار تجمعی منفی بهداشتی شدیدی در دوره‌ای در مقیاس صدهزار سال خواهد داشت. هرچند تولید دی-اکسیدکربن در طول دوره عمر کاری این نیروگاه‌ها فعلاً در سطح پایینی است، این وضعیت موقتی وابسته به استفاده از اورانیوم با درجه کیفیت بالا است که ذخایر آن بسیار محدودند. اگر اورانیوم با درجه کیفیت پایین با استفاده از سوخت‌های فسیلی استخراج و فراوری شود، تولید دی‌اکسیدکربن در طول دوره عمر کاری این نیروگاه‌ها معادل کسر بزرگی از میزان انتشار دی‌اکسیدکربن توسط گاز طبیعی خواهد بود. انرژی هسته‌ای تعداد بسیار کمی شغل ایجاد می‌کند و با کنترل مردم‌سالارانه همخوانی ندارد. در نتیجه، انرژی هسته‌ای نیز از منظر همه شرایط پایداری که در بالا ذکر شد مردود به حساب می‌آید.

آثار منفی استفاده از سوخت‌های فسیلی و انرژی هسته‌ای معمولاً تا حد زیادی بر مردمان فقیر و محروم فرود می‌آیند، چرا که صنایع دست اندرکار تمایل دارند تا تأسیسات پرخطر را در مجاورت جوامع کم درآمد و اقلیت احداث کنند [۲۱].

اغلب منابع انرژی تجدیدپذیر از همه آزمون‌های ذکر شده، به جز احتمالاً دسترسی ارزان، سربلند بیرون می‌آیند (موارد استثناء عبارتند از برخی از سدهای تولیدکننده برق آبی و برخی از منابع

انرژی زیستی، که می‌تواند آثار منفی شدید زیست‌محیطی، از جمله انتشار گازهای گلخانه‌ای، و نیز آثار منفی در زمینه عدالت اجتماعی داشته باشند، اگر زمین‌های مورد استفاده برای تولید غذا را به تولید سوخت اختصاص دهند - رک فصل پنجم). چندین گروه از فناوری‌های اصلی تجدیدپذیر - از جمله نیروگاه‌های بادی زمینی، آبگرمکن‌های خورشیدی، طراحی ساختمان‌های استفاده‌کننده از انرژی خورشیدی، ماژول‌های خورشیدی فتوولتائیک و پمپ‌های زمین‌گرمایی - همین الان در بسیاری از مناطق دنیا با هزینه قابل قبول در دسترس هستند. علاوه بر این، انتظار می‌رود که هزینه نیروگاه‌های خورشیدی حرارتی دارای ذخیره‌ساز حرارتی نیز با توسعه بازار آن به نصف برسد. اندازه نسبتاً کوچک اجزاء سامانه‌های خورشیدی و بادی، ساخت این اجزاء را در بسیاری از کشورها، در مقایسه با اجزاء نیروگاه‌های زغال‌سوز و هسته‌ای، عملی‌تر می‌سازد. هرچند هیچ سامانه انرژی‌ای کاملاً بی‌آسیب نیست، اما واضح است که سامانه‌هایی که مبتنی بر استفاده کارآمد از منابع تجدیدپذیر هستند می‌توانند شرایط ذکرشده برای پایداری را برآورده سازند.

### نتیجه‌گیری

جامعه صنعتی دارای نرخ مصرف انرژی‌ای در حدود ۵۰ تا ۱۰۰ برابر مصرف نیاکان شکارچی-گردآورنده ماست. این نرخ‌های بالای مصرف انرژی تحولات شدید اجتماعی-اقتصادی را امکان‌پذیر ساخته و مواهب زیادی را با خود به همراه داشته‌اند. در عین حال، عرضه این مقدار انرژی از طریق سوزاندن سوخت‌های فسیلی به سرعت در حال تغییر شرایط آب و هوایی کره زمین، آلوده سازی سیاره به روش‌های گوناگون و وابسته کردن ما به سوخت‌هایی که رو به اتمام هستند، است. افزون بر این، این روند بیش از هر گروهی، اقشار فقیر و محروم را در معرض آسیب قرار داده است. تنها راه حل این مشکلات، یک راه حل انقلابی است و عبارت است از متحول ساختن سامانه انرژی موجود به سامانه‌ای که از نظر اقلیم‌شناختی پایدار و از نظر اجتماعی عادلانه است. در حال حاضر، تنها روشی که از نظر فنی مورد تأیید قرار گرفته و به صورت تجاری (تا حد زیادی) در دسترس بوده و شرایط پایداری را برآورده می‌سازد، استفاده کارآمد از منابع انرژی تجدیدپذیر است که از این پس "انرژی پایدار" نامیده خواهد شد. ادامه این کتاب به بحث و بررسی درمورد فرصت‌ها و چالش‌های

"انتقال بزرگ" به انرژی پایدار، و نیز فناوری‌ها، سناریوهای تغییر روش، سیاست‌ها و راه‌بردهای مورد نیاز برای فعال‌سازی مردم و اقناع دولت‌ها به قبول این سیاست‌ها، اختصاص دارد.

### منابع و یادداشت‌های فصل

- 1 Watson, D (2005) *What is the definition of energy?*, FT Exploring Science and Technology, <[www.ftexploring.com/energy/definition.html](http://www.ftexploring.com/energy/definition.html)>.
- 2 Boyden, S and Dovers, S (1997) Humans in the biosphere. In: Diesendorf, M and Hamilton, C (eds) *Human Ecology Human Economy: Ideas for an ecologically sustainable future*, Allen & Unwin, Sydney.
- 3 Boyden and Dovers (1997).
- 4 Washington, H (2013) *Human Dependence on Nature: How to help solve the environmental crisis*, Routledge-Earthscan, London.
- 5 Sørensen, B (2011b) *A History of Energy: Northern Europe from Stone Age to the present day*, Earthscan, Oxford.
- 6 Bureau of Resources and Energy Economics (2012) *Energy in Australia 2012*, Canberra, pp 121–22, <[www.bree.gov.au](http://www.bree.gov.au)>.
- ۷ برای آن که موجب سردرگمی مخاطبان بشوند، آنها در برخی از مواقع از عبارت "توان" به عنوان یک معادل کلی برای الکتریسیته هم استفاده می‌کنند!
- 8 International Energy Agency (IEA) (2012a) *Key World Energy Statistics 2012*, Organisation for Economic Cooperation and Development (OECD)/ IEA, Paris.
- 9 IEA (2012a).
- 10 US Energy Information Administration (EIA) (2012) *Annual Energy Review 2011*, US Energy Information Administration, DOE/EIA-0384(2011), <[www.eia.gov/aer](http://www.eia.gov/aer)>.
- ۱۱ در واقع نفت تولید شده از زغال‌سنگ، شن‌های نفتی و شیل از نقطه نظر میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای از خود زغال‌سنگ آلاینده‌تر است. خوشبختانه از هیچ یک از این فناوری‌ها در مقیاس وسیعی استفاده نمی‌شود و این قبیل پروژه‌ها با مخالفت شدید شهروندان روبرو هستند.
- 12 IEA (2012a).
- 13 Howarth, RW, Santoro, R and Ingraffea, A (2011) Methane and greenhouse-gas footprint of natural gas from shale formations, *Climatic Change*, 106: 679–90; Howarth, RW, Santoro, R and Ingraffea, A (2012) Venting and leaking of methane from shale gas development: Response to Cathles et al, *Climatic Change*, DOI 10.1007/s10584-012-0401-0.
- 14 IEA (2012b) *CO<sub>2</sub> Emissions from Fuel Combustion Highlights*, OECD/IEA, Paris, Figs 5 and 6.

۱۵ در برخی از مواقع نیروگاه‌های کوچک‌تر و قدیمی‌تری که زغال‌سنگ سیاه مصرف می‌کنند به این روش بهره‌برداری می‌شوند. اما نمی‌توان تولید نیروگاهی که زغال‌سنگ قهوه‌ای مصرف می‌کند را سریعاً کاهش داد یا آن را از مدار خارج کرد.

- 16 Haslett, J and Diesendorf, M (1981) The capacity credit of wind power: A theoretical analysis, *Solar Energy*, 26: 391–401; Martin, B and Diesendorf, M (1982) Optimal mix in electricity grids containing wind power, *Electrical Power & Energy Systems*, 4(3): 155–61.
- 17 Boyle, G (ed) (2007) *Renewable Electricity and the Grid: The challenge of variability*, Earthscan, London.
- 18 World Commission on Environment and Development (1987) *Our Common Future*, Oxford University Press, New York, p 8.
- 19 Diesendorf, M (2000) Sustainability and sustainable development. In: Dunphy, D, Benveniste, J, Griffiths, A et al. (eds), *Sustainability: The corporate challenge of the 21<sup>st</sup> century*, Allen & Unwin, Sydney, p 23.
- 20 Gohlke, JM, Thomas, R, Woodward, A et al. (2011) Estimating the global public health implications of electricity and coal consumption, *Environmental Health Perspectives*, 119: 821–26; Climate and Health Alliance and Climate Institute (2012) *Our Uncashed Dividend: The health benefits of climate action*, <[www.caha.org.au](http://www.caha.org.au)> and <[www.climateinstitute.org.au](http://www.climateinstitute.org.au)>.
- 21 Byrne, J, Glover, L and Martinez, C (eds) (2002) *Environmental Justice: Discourses in international political economy*, Series on Energy and Environment Policy, vol 8, Transaction Publishers, New Brunswick USA, Chs 1, 4, 5, 6, 7, 11.

## فصل ۲

### منابع و فناوری‌های انرژی

ما مثل کشاورزان مستأجری هستیم که نرده‌های اطراف خانه‌مان را برای سوزاندن تکه تکه می‌کنیم، در حالی که باید از منابع بی پایان انرژی طبیعت - خورشید، باد و امواج - استفاده کنیم. من بر روی خورشید و انرژی خورشیدی شرط‌بندی می‌کنم. چه منبع با شکوهی از انرژی! امیدوارم ما مجبور نباشیم که تا زمانی که نفت و زغال سنگ تمام می‌شوند صبر کنیم تا سپس به این موضوع بپردازیم. [۱]

توماس آلوا ادیسون

هرچند انرژی‌های تجدیدپذیر (RE) تا میلیاردها سال بعد که خورشید ما در نهایت از بین برود همچنان در دسترس خواهند بود، توزیع جریان‌های آن‌ها برحسب وات بر مترمربع بسیار گسترده‌تر از توزیع سوخت‌های فسیلی و هسته‌ای است. در نتیجه، این سوال پیش می‌آید که آیا انرژی تجدیدپذیر کافی برای رفع نیازهای حال و آینده تمدن بشری به سطح زمین می‌رسد؟ و تا چه حدی رقابت بر سر تصرف زمین به منظور جذب نور خورشید برای تولید غذا و تولید انرژی وجود خواهد داشت؟ و اگر انرژی تجدیدپذیر به وفور وجود دارد، آیا ما فناوری‌های لازم برای تبدیل آن‌ها به انرژی قابل استفاده در منازل، صنایع، حمل و نقل و سایر فعالیت‌هایمان را در اختیار داریم؟

به منظور پاسخگویی به سوالات بالا و برای فراهم ساختن زمینه برای بحث در مورد سناریو-های انرژی پایدار در فصل ۳، فصل حاضر به ارائه مروری کلی و مختصر بر منابع انرژی تجدیدپذیر موجود در کره زمین و فناوری‌های موجود برای تبدیل این منابع به انرژی‌های تجاری می‌پردازد. نکته-ای که به طور خاص مدنظر است عبارت است از وضعیت فناوری‌های متنوع موجود برحسب مرحله پیشرفت یا میزان بلوغ هر فناوری. در ابتدا به بررسی منابع می‌پردازیم.

### منابع انرژی تجدیدپذیر

مجموع انرژی خورشیدی دریافتی زمین می‌تواند حدود ۶۷۰۰ برابر انرژی مصرفی یک جامعه صنعتی را تغذیه کند. محاسبات ساده‌ی زیر را در نظر بگیرید: مقدار انرژی خورشیدی وارده به زمین، که در سطح کره‌ی زمین، در طول روز و شب و در طول فصل‌ها میانگین گیری شده است، در حدود ۲۰۰ وات بر متر مربع ( $W/m^2$ ) است. برای مقایسه، نرخ فعلی مصرف جهانی انرژی اولیه در حدود ۱۸ ترا وات (TW) است. تقسیم این مقدار انرژی مصرفی بر مساحت کره‌ی زمین یک چگالی انرژی مصرفی میانگین  $0.03 W/m^2$  به دست می‌دهد. حاصل تقسیم ۲۰۰ بر  $0.03$  عدد ۶۶۶۶ است.

حتی اگر بخشی از اراضی برای اشغال توسط جنگل‌ها، مزارع و شهرها کنار گذاشته شوند باز هم اراضی باثباتی وجود خواهند داشت. به منظور ساده‌سازی در محاسبات تقریبی، فرض کنید در آینده همه انرژی مصرفی از نوع الکتریسته باشد. با فرض بازده تبدیل انرژی ۲۰ درصد و در صورتی که جمع‌آورنده‌های<sup>۱</sup> انرژی خورشیدی به گونه‌ای نصب شوند که بر روی یکدیگر سایه اندازی نداشته باشند، آنگاه زمینی به مساحت ۵۰۰ هزار کیلومتر مربع، که یک مربع با اضلاع ۷۰۰ کیلومتر است، مورد نیاز خواهد بود. این مربع را می‌توان به سطوح کوچک‌تری تقسیم کرد و هر بخش از آن را در بخش‌های صحرایی هر قاره، به جز اروپا، قرار داد. قاره اروپا را نیز می‌توان از شمال آفریقا تغذیه کرد. حدود یک‌چهارم مساحت مورد نیاز بر روی بام منازل، کارخانجات، سالن‌های بزرگ و پارکینگ خودروها قرار خواهد داشت.

در عمل، یک سامانه انرژی صددرصد تجدیدپذیر ترکیبی خواهد بود از منابع مختلف انرژی تجدیدپذیر و نه فقط انرژی مستقیم خورشیدی. باد به علت گرم شدن ناهمگون زمین، دریا و اتمسفر توسط خورشید به وجود می‌آید و در نتیجه نوع غیرمستقیمی از انرژی خورشیدی است. توربین‌های بادی زمینی<sup>۲</sup> معمولاً در اراضی کشاورزی نصب می‌شوند و زمین اشغال شده توسط آن‌ها، به همراه جاده‌های دسترسی و پست‌های برق، تنها یک تا سه درصد مساحت اراضی را به خود اختصاص می‌دهند. امواج دریایی (به جز سونامی‌ها) توسط بادی که بر فراز آب می‌وزد تولید می‌شوند. شبیه مزارع بادی فراساحلی<sup>۳</sup>، نیروگاه‌های امواج دریایی نیز زمین‌های ناچیزی را به خود اختصاص می‌دهند و لذا

1 Collectors

2 On-shore wind turbines

3 Off-shore wind farms

رقیبی برای صنایع تولید غذای دریایی محسوب نمی‌شوند. توان و گرمای زمین‌گرمایی<sup>۱</sup> نیز به مقدار کمی زمین نیاز دارند.

تنها فناوری‌ای که می‌تواند زمین را به گونه‌ای اشغال کند که با صنایع تولید مواد غذایی به رقابت پردازد، انرژی زیستی<sup>۲</sup> مبتنی بر غلات ویژه است. مقادیر کم انرژی زیستی قابل دسترس از پس-ماندهای غلات و جنگل‌های موجود در اغلب مناطق به عنوان بخش کوچکی از الکتریسیته تولیدی کفایت می‌کند. در عین حال، پس‌ماندهای زیست‌توده<sup>۳</sup> نمی‌توانند منبع کافی انرژی برای تولید انبوه سوخت‌های زیستی گازی و مایع برای خودروها، هواپیما، گرمایش و صنایع شیمیایی و نیز برای تولید الکتریسیته فراهم آورند. به همین دلیل، بسیاری از سناریوهای تجدیدپذیری که در فصل بعدی مورد بحث قرار گرفته‌اند سهم‌های بسیار کوچکی از انرژی زیستی در خود دارند. اگر بتوان هیدروژن را با استفاده از منابع تجدیدپذیر به صورت اقتصادی تولید کرد، آنگاه فشار برای کاشت غلات ویژه به منظور تولید انرژی در مقیاس وسیع نیز فروکش خواهد کرد. اما یک اقتصاد مبتنی بر هیدروژن در مقیاس وسیع هنوز تحقق‌پذیر نیست (رک فصل ۷، "خودروها و سوخت‌های بهبودیافته").

با فرض آن که رقابت بر سر زمین احتمالاً چالش عمده‌ای برای اغلب تأسیسات خورشیدی، بادی، دریایی و زمین‌گرمایی نیست، ما اینک آماده‌ایم تا به این سؤال که آیا فناوری‌های مورد نیاز برای تبدیل این منابع سرشار به انرژی قابل استفاده در دسترس هستند یا نه پردازیم.

## بلوغ فناوری‌های انرژی

یک تلقی نادرست در خصوص فناوری‌های تجدیدپذیر، که توسط مخالفان این فناوری‌ها خلق شده و بدان دامن زده می‌شود، آن است که این فناوری‌ها قبل از آن که به میزان وسیعی مورد استفاده قرار گیرند هنوز به مقادیر زیادی تحقیق و توسعه (R&D) نیاز دارند. انکارکنندگان فناوری‌های تجدیدپذیر ادعا می‌کنند که تا زمانی که این فعالیت‌های تحقیقاتی به سرانجام برسند ما نیازمند زغال‌سنگ با فناوری‌های به دام‌اندازی و ذخیره کربن<sup>۴</sup> (CCS) و/یا انرژی هسته‌ای هستیم تا زمان طولانی‌گذار به آینده تجدیدپذیر را پشت سر گذاریم.

1 Geothermal Power and Heat

2 Bioenergy

3 Biomass Residues

4 Carbon Capture and Storage

البته واقعیت برخلاف این است. انرژی زغال‌سنگی با فناوری CCS، به عنوان یک سامانه فناوریانه جامع، هنوز به‌طور کامل مورد تأیید قرار نگرفته است، هرچند که برخی از اجزاء این سیستم به صورت انفرادی در مرحله آزمایشی وجود دارند. در زمان نگارش این کتاب، هیچ نیروگاه زغال‌سنگی بزرگی که مجهز به فناوری CCS باشد وجود ندارد، هرچند که تعدادی سامانه‌های بزرگ که دی-اکسیدکربن میادین گازی و نفتی و تأسیسات صنعتی را به دام می‌اندازند در حال فعالیت هستند [۲]. انرژی زغال‌سنگی مجهز به CCS هنوز به تحقیقات، توسعه و اقدامات اثباتی زیادی نیاز دارد، قبل از آن که به عنوان یک گزینه جدی و اساسی مدنظر قرار گیرد. در عین حال، پیشرفت در این زمینه به دلیل افزایش آگاهی از ابعاد چالش‌های فناوریانه و هزینه‌های بالای آن متوقف شده است. برآوردهای اخیر در مورد هزینه‌های احداث و بهره‌برداری از انرژی زغال‌سنگی مجهز به سامانه‌های CCS بعد از احتراق<sup>۱</sup> تقریباً دوبرابر هزینه‌های نیروگاه‌های زغال‌سنگی معمول هستند [۳]. این برآوردها شامل هزینه انتقال و ذخیره‌سازی دی‌اکسیدکربن بعد از به دام‌اندازی نیستند. این هزینه‌ها می‌توانند برای برخی از محل‌هایی که نیروگاه‌ها در آن واقع شده‌اند، مانند نیوساوت ولز، بسیار بالا باشند.

در سناریوی اصلی انرژی آژانس بین‌المللی انرژی<sup>۲</sup> (IEA)، که به عنوان سناریوی نقشه‌آبی<sup>۳</sup> شناخته می‌شود، انرژی زغال‌سنگی با فناوری CCS سهم ناچیزی در عرضه جهانی انرژی در سال ۲۰۲۵ و سهم بسیار کوچکی در سال ۲۰۳۰ خواهد داشت و تنها در حدود سال ۲۰۵۰ از میزان انرژی-های تجدیدپذیر پیشی خواهد گرفت. در این سناریو، نیروگاه‌های هسته‌ای تازه احداث شده کسر بسیار کوچکی از انرژی تأسیسات تجدیدپذیر جدید در سال ۲۰۲۵ را عرضه کرده و در سال ۲۰۵۰ به تنها یک‌سوم سهم انرژی‌های تجدیدپذیر خواهند رسید [۴]. این امر نتیجه زمان بسیار طولانی لازم برای طراحی و احداث نیروگاه‌های هسته‌ای و زیرساخت‌های مرتبط با آنها است [۵]. در حالی که نقشه‌آبی تنها یک سناریو، و نه یک پیش‌بینی، است، این سناریو بیشترین نظر مساعد IEA نسبت به انرژی زغال‌سنگی مجهز به CCS را در بر داشته و درک صحیح IEA از این واقعیت که این نوع انرژی هنوز در مراحل اولیه توسعه است را بازتاب می‌دهد.

فناوری‌های جدید معمولاً یک فرآیند نوآوری با مراحل مختلف را طی می‌کنند - از تحقیق تا توسعه تا آزمایش تا عرضه ابتدایی تا بلوغ تجاری - همان‌گونه که در جدول ۱-۲ نشان داده شده

1 Post-combustion CCS  
2 International Energy Agency  
3 Blue Map Scenario

است. این طبقه‌بندی بدین دلیل مفید است که فناوری‌ها در هر مرحله از این فرآیند برای پیشرفت نیازمند مجموعه‌ای از سیاست‌ها هستند که با سیاست‌های سایر مراحل متفاوت است. به‌طور دقیق‌تر، هر مرحله نیازمند تأکید و تمرکز بر روی سیاست‌های متفاوتی است. به‌عنوان مثال، تحقیق و توسعه نقش حیاتی‌ای در ابتدای فرآیند نوآوری برعهده دارد، اما برای فناوری‌هایی که در حال تولید انبوه در سطح محدود یا در سطح کامل هستند، تحقیق و توسعه در مقایسه با سیاست‌های مورد نیاز برای گسترش بازار نقش ناچیزی دارد. این سیاست‌ها با جزئیات بیشتری در فصل ۹ مورد بحث قرار خواهند گرفت. در مراحل تحقیق و توسعه، فناوری مورد نظر به صورت آزمایشگاهی، و/یا در مقیاس کوچکی به صورت میدانی، مورد مطالعه قرار می‌گیرد. در اینجا، تمرکز اصلی بر اثبات مفهوم اولیه است. این مرحله تا ارائه یک برآورد معتبر از هزینه‌ها فاصله زیادی دارد.

#### جدول ۲-۱- مراحل بلوغ فناوری‌های دارای کربن کم [۶-۷]

فناوری‌ها	شرح	مرحله
صرفه‌جویی در مصرف انرژی؛ بسیاری از فناوری‌ها و طراحی‌ها برای افزایش بهره‌وری انرژی در ساختمان‌ها، لوازم خانگی، تجهیزات اداری و وسایل نقلیه موتوری؛ طراحی غیرفعال خانه‌های خورشیدی؛ تقویت ساختارهای شهری مربوط به خطوط و جاده‌های حمل و نقل عمومی؛ آبگرم خورشیدی؛ توان بادی مستقر در خشکی؛ گازهای حاصل از دفن زباله؛ سوزاندن هم‌زمان زیست‌توده و زغال‌سنگ؛ سوزاندن زیست‌توده برای تولید برق و تولید هم‌زمان برق و سرما و گرما؛ اتانول حاصل از تخمیر مواد قندی؛ خورشیدی فتوولتائیک (PV) بر پایه کریستال سیلیکن و جمع‌آورنده‌های لایه نازک بر پایه کادمیوم-تلوراید؛ انرژی هسته‌ای نسل دوم؛ خودروهای ترکیبی (هیبرید)؛ تولید هم-زمان برق و گرما و سرما؛ توان زمین‌گرمایی معمولی؛ پمپ‌های زمین‌گرمایی برای گرمایش و	تولید انبوه سیستم‌هایی که به خوبی آزموده شده‌اند با قیمتی که با دقت قابل پیش‌بینی است و به دنبال بازاری بزرگ برای عرضه. نیاز به نرخ گذاری بر روی کربن موجب ابطال این طبقه‌بندی نمی‌شود.	به صورت تجاری بالغ و در دسترس

<p>سرمایش ساختمان‌های بزرگ؛ انرژی جزر و مد و سدها؛ ذخیره‌سازی تلمبه‌ای آبی؛ دوچرخه؛ خطوط آهن سنگین و سبک؛ باتری‌های مرکب لیتیوم-یون و نیکل-متال برای خودروهای برقی (EVs).</p>		
<p>توان بادی فراساحلی؛ نیروگاه‌های حرارتی خورشیدی متمرکز (CST) با جمع‌آورنده‌های سهموی و ذخیره‌سازی با نمک مذاب؛ ذخیره-سازی هوای فشرده؛ انرژی هسته‌ای نسل سوم؛ تولید هم‌زمان برق و گرما و سرما با استفاده از گاز یا زیست‌توده؛ خودروهای ترکیبی پلاگ این و همه EV ها؛ باتری‌های وانادیوم رداکس؛ پیل‌های سوختی برای هیدروژن و متانول؛ گرمایش و سرمایش فضاها با استفاده از خورشید.</p>	<p>تولید انبوه محدود چندین سیستم با مقیاس بزرگ که جنبه‌های اصلی طراحی آن‌ها به خوبی درک شده‌اند و برخی از جنبه‌های دقیق‌تر طراحی و روش‌های تولید آن‌ها هنوز در حال بهینه‌سازی برای ورود به تولید انبوه گسترده هستند.</p>	<p><b>عرضه اولیه</b></p>
<p>CST با دریافت‌کننده‌های مرکزی؛ CST با عدسی-های فرزنل خطی؛ CST بشقابی بزرگ؛ سوخت-های زیستی از مواد سلولزی چوبی؛ تولید هم‌زمان برق و سرما و گرما بر پایه CST؛ CST در میدین گازی؛ توان امواج و جریان‌های اقیانوسی؛ ابرباتری؛ ذخیره‌سازی انرژی گرمایی با استفاده از بلوک‌های گرافیتی و تجزیه بخار آمونیاک؛ توان زمین‌گرمایی غنی شده/مهندسی شده؛ رآکتورهای زاینده سریع؛ برخی از اجزاء سیستم‌های CCS.</p>	<p>به‌کارگیری میدانی یک واحد یا تعداد کمی از واحدهای یک فناوری. واحد آزمایشی بزرگ هست اما به ندرت در مقیاس واقعی است. طراحی با هدف تولید انبوه انجام شده اما همه جنبه‌های اصلی به‌طور کامل در این مرحله درک نشده‌اند.</p>	<p><b>آزمایش</b></p>
<p>فتوولتائیک نوین؛ فتوسنتز مصنوعی؛ سوخت‌های زیستی از مواد سلولزی چوبی؛ تولید هیدروژن توسط کنش‌های میکروبی بر روی زیست‌توده؛ سوخت‌های مایع از جلبک‌ها؛ توان زغال‌سنگی همراه با CCS به عنوان یک سامانه جامع؛ رآکتور سریع مجتمع؛ گداخت کنترل شده هسته‌ای.</p>	<p>تحت مطالعه در آزمایشگاه یا مطالعه میدانی در مقیاس کوچک. تمرکز اصلی بر اثبات نظریه است. طراحی در جهت فرایندهای تولیدی بعدی نیست.</p>	<p><b>تحقیق و توسعه</b></p>

مثال‌هایی از برنامه‌های تحقیق و توسعه موجود در زمینه منابع احتمالی انرژی با کربن کم و فناوری‌های مرتبط با آن‌ها عبارتند از: روش‌های نوین برای تولید هیدروژن با استفاده از ارگانوسم‌هایی که تحت مهندسی ژنتیک واقع شده‌اند؛ فرایندهای کم‌هزینه برای تبدیل زیست‌توده (مواد ارگانیک) به سوخت‌های مایع یا گازی، از جمله تولید سوخت‌های مایع از جلبک؛ فتوستنتز مصنوعی؛ سلول‌های ارزان قیمت جدید فتوولتائیک (PV)؛ CCS در نیروگاه‌های زغال‌سنگی موجود؛ و گداخت کنترل‌شده هسته‌ای (که حدود نیم قرن است که در مرحله تحقیق و توسعه درجا می‌زند).

فناوری‌ای که با موفقیت مرحله تحقیق و توسعه را پشت سر گذارد می‌تواند به مرحله آزمایش وارد شود. این امر مستلزم به‌کارگیری میدانی چند واحد از فناوری مورد نظر است. اندازه واحدها اغلب در حد متوسط است تا هزینه‌ها پایین نگه داشته شوند. بخش عمده یادگیری در این مرحله رخ می‌دهد، چرا که افزایش اندازه واحد فناوری از مقیاس آزمایشگاهی یا پایلوت به مقیاس متوسط، مشکلات مهندسی‌ای که باید بر آن‌ها غلبه کرد تا پیشرفت فناوری حاصل شود را آشکار می‌سازد. واحدهای آزمایشی به گونه‌ای طراحی می‌شوند که تولید انبوه بعدی آن‌ها ممکن باشد، با این درک که تجربه بهره‌برداری احتمالاً اصلاحات چشمگیری را در طراحی، خصوصاً برای بهبود قابلیت اطمینان و تسهیل در فرایندهای تولیدی بعدی، توصیه خواهد کرد. آزمایشات موفق باید برآورد تقریبی از هزینه‌های مرحله تولید انبوه را امکان‌پذیر سازند تا بتواند علاقه مؤسسات مالی برای بررسی امکان سرمایه‌گذاری در چنین فناوری‌هایی را برانگیزند. نمونه‌هایی از فناوری‌هایی که در زمان نگارش کتاب حاضر در مرحله آزمایشی هستند عبارتند از:

- چندین نوع از فناوری‌های انرژی امواج و جریان‌های اقیانوسی،
- برخی فرایندهای تولید نسل دوم سوخت‌های زیستی از مواد سلولزی چوبی،
- توان خورشیدی گرمایی متمرکز (CST) بر مبنای سامانه‌های دریافت‌کننده مرکزی یا بشقاب‌های سهموی یا عدسی‌های فرزنی خطی،
- ذخیره‌سازی انرژی گرمایی با استفاده از بلوک‌های گرافیتی یا تجزیه بخار آمونیاک،
- ابرباتری (ترکیبی از خازن‌ها و باتری سرب-اسیدی)،
- سامانه‌های ذخیره‌ساز انرژی در مقیاس بزرگ،
- توان زمین گرمایی سنگ‌های داغ یا مهندسی شده،
- CCS در میدان‌های گازی؛ و،

- راکتورهای زاینده سریع.

مفهوم عرضه ابتدایی واضح است. فناوری به صورت تجاری در دسترس است و واحدهای دارای اندازه واقعی به تعداد محدودی به صورت میدانی به کار گرفته شده‌اند. تولید انبوه اجزاء فناوری در مقیاس محدودی صورت می‌گیرد. از آنجایی که بازار مصرف کوچک است، قیمت‌ها در مقایسه با شرایط تولید انبوه گسترده بسیار بالاترند. فرایندهای تولید هنوز در حال بهینه شدن هستند. نمونه‌هایی از این فناوری‌ها عبارتند از:

- توربین‌های بادی فراساحلی،
- نیروگاه‌های CST بر پایه جمع‌آورنده‌های سهموی،
- گرمایش و سرمایش زمین گرمایی ساختمان‌ها،
- الکتروسیته و گرمای ناشی از گازی کردن زیست توده؛ و،
- خودروهایی الکتریکی و هیبرید پلاگ‌این<sup>۱</sup>.

نسل سوم نیروگاه‌های هسته‌ای نیز در این گروه قرار می‌گیرند، چرا که تعداد کمی از آنان در حال حاضر در حال فعالیت هستند، هرچند که این نیروگاه‌ها مشابه نیروگاه‌های نسل دوم (متداول‌ترین نیروگاه‌های هسته‌ای) هستند.

برخلاف وضعیت فنی توان زغال‌سنگی با CCS، بسیاری از فناوری‌های کلیدی انرژی پایدار از نظر تجاری بالغ شده‌اند، بدین معنی که این فناوری‌ها در مرحله تولید انبوه گسترده بوده و می‌توان آن‌ها را با قیمت‌های قابل پیش‌بینی سفارش داد. در عین حال، برای این که بتوان این فناوری‌ها را در زمره فناوری‌های بالغ دسته بندی کرد، لازم نیست که از نظر اقتصادی قادر به رقابت با فناوری‌های متعارف انرژی باشند، چرا که فناوری‌های متعارف انرژی معمولاً به نحو صحیحی قیمت گذاری نمی‌شوند (می‌دانیم که یارانه‌های فراوان پرداختی به این فناوری‌ها و نیز آسیب‌های زیست محیطی و بهداشتی‌ای که به وجود می‌آورند معمولاً در نظر گرفته نمی‌شوند). در این مرحله، بازار مصرف به گسترش خود ادامه می‌دهد و در نتیجه برای کاهش قیمت‌ها هنوز جا هست. به منظور استفاده کارآمد از انرژی، محدوده وسیعی از فناوری‌هایی که به صورت تجاری در دسترس باشند وجود دارد، از جمله: عایق‌بندی، طراحی کارآمد لوازم خانگی و تجهیزات و چندین طراحی بنیادی برای خانه‌هایی که از انرژی خورشید بهره می‌گیرند و ساختمان‌های تجاری‌ای که برای اقلیم‌های گوناگون مناسبند.

<sup>1</sup> Plug-in Hybrid and Electric Vehicles

نمونه‌هایی از فناوری‌های عرضه انرژی تجدیدپذیر که از نظر تجاری به بلوغ رسیده‌اند عبارت‌اند از: نیروگاه‌های برقی، با یا بدون ذخیره سازی تلمبه‌ای؛ توان جزر و مدی بر پایهٔ احداث سد بر روی دهانه رودخانه‌های منتهی به آب‌های آزاد؛ گرم‌کننده‌های چوب‌سوز کارآمد؛ آبگرمکن‌های خورشیدی؛ ماژول‌های خورشیدی فتوولتاییک مبتنی بر کریستال‌ها یا ورقه‌های نازک سیلیکنی؛ توان بادی مستقر در خشکی؛ الکتریسیته تولیدی از گاز محل دفن زباله‌ها؛ پمپ‌های حرارتی زمین‌گرمایی؛ توان زمین‌گرمایی متعارف؛ خودروهای هیبریدی و باتری‌های لیتیوم-یونی که استفاده می‌کنند؛ سوزاندن هم‌زمان زیست‌توده و زغال‌سنگ در نیروگاه‌ها؛ و توربین‌های گازی که سوخت‌های گازی و مایع را از هر دو منبع فسیلی و تجدیدپذیر مصرف می‌کنند. یک فناوری غیرتجدیدپذیر دیگر، یعنی نیروگاه‌های هسته‌ای نسل دوم، نیز معمولاً از نظر تجاری بالغ محسوب می‌شوند چرا که تعداد زیادی از آن‌ها ساخته شده است، هرچند که نیروگاه‌های هسته‌ای به ندرت بر طبق زمان‌بندی اولیه و با بودجهٔ اختصاص یافته تکمیل می‌شوند (رک فصل ۶).

توسعهٔ فناوری‌ها همیشه یک مسیر خطی از تحقیق و توسعه تا بلوغ تجاری را طی نمی‌کند. در مراحل آزمایش و عرضهٔ ابتدایی، ممکن است چندین طراحی متفاوت که بر سر یک وظیفهٔ یکسان با یکدیگر رقابت می‌کنند، و بن‌بست‌ها و چرخه‌های تکرار وجود داشته باشند. افزون بر این، خط‌کشی میان مراحل مختلف کاملاً دقیق و شفاف نیست و همواره بحث‌هایی در این خصوص که کدام فناوری به کدام مرحله متعلق است وجود دارد.

در بخش‌هایی که به دنبال می‌آیند، منابع و جنبه‌های فنی فناوری‌های کلیدی در سناریوهای تجدیدپذیری که در فصل ۳ مورد بحث قرار گرفته‌اند به اختصار دسته‌بندی می‌شوند. از آنجایی که تقریباً همهٔ فناوری‌های انرژی تجدیدپذیر با استفاده از یک توربین به تولید الکتریسیته می‌پردازند، این عنصر مکانیکی کلیدی در یادداشت ۱-۲ مورد بحث قرار گرفته است.

## انرژی خورشیدی

از انرژی خورشیدی می‌توان برای گرم کردن آب، ساختمان‌ها و فرایندهای صنعتی؛ برای تولید بخار به منظور تولید الکتریسیته؛ و برای تولید مستقیم الکتریسیته در یک سلول خورشیدی فتوولتاییک استفاده کرد. این روش‌ها در شکل ۱-۲ نشان داده شده‌اند. در این بخش، فناوری‌های مختلف

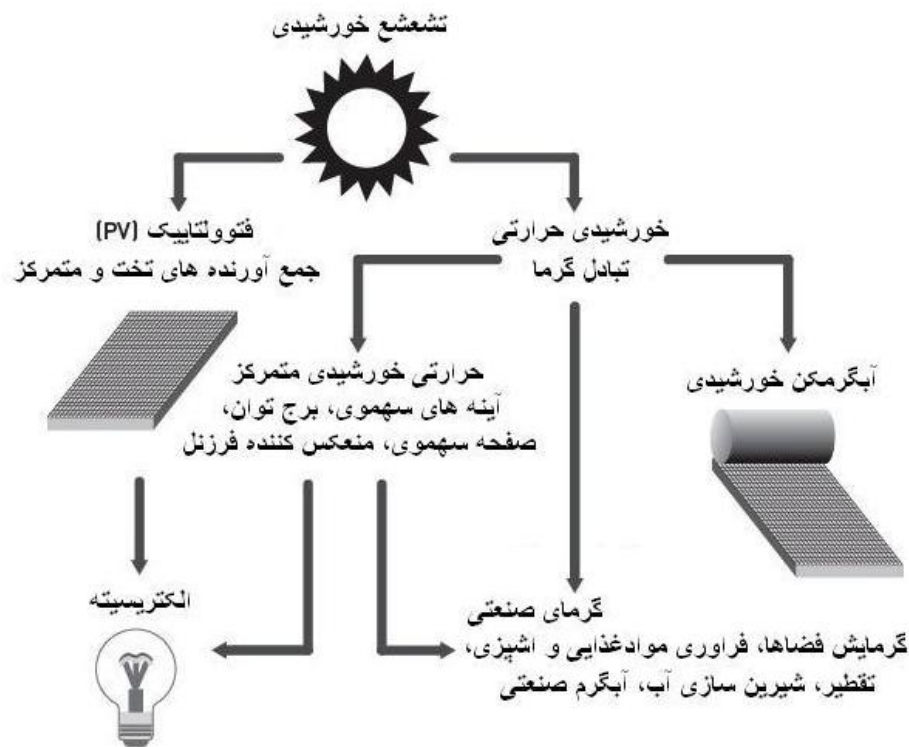
خورشیدی، شامل جمع‌آورنده‌ها و ذخیره‌سازی، وضعیت فعلی و چشم‌انداز آینده آن‌ها به اختصار تشریح می‌شوند.

### یادداشت ۲-۱- توربین‌ها

علم فیزیک به ما می‌گوید که چرخاندن یک سیم‌پیچ شامل سیم‌های هادی در یک میدان مغناطیسی یک جریان الکتریکی تولید می‌کند. انرژی جنبشی چرخان تبدیل به انرژی جنبشی الکترون‌های متحرک شده و یک جریان الکتریکی برقرار می‌سازد. این، کارکرد بنیادین ژنراتور است که می‌تواند به گونه‌ای طراحی شود که جریان مستقیم (DC) یا جریان متناوب (AC) تولید کند. ژنراتور توسط یک توربین، که انرژی ورودی حرکت خطی یا انبساط گاز را به چرخش تبدیل می‌کند، به حرکت درمی‌آید. چندین نوع توربین متفاوت وجود دارند که هر یک برای تبدیل بهینه نوعی از انرژی ورودی طراحی شده است.

- یک توربین آبی جریان خطی آب را به چرخش تبدیل می‌کند، چه جریان آب ناشی از نیروی گرانش پشت یک سد باشد یا از یک جریان جزر و مدی/اقیانوسی. شکل توربین‌ها برای توربین‌های سرعت بالای سدها و توربین‌های سرعت پایین اقیانوسی بسیار متفاوت است.
  - یک توربین بخار توسط فورانی از بخار تولید شده توسط آب جوش، که می‌تواند از طریق سوزاندن سوخت‌های فسیلی یا تجدیدپذیر یا توسط حرارت آزاد شده از فرایندهای هسته‌ای تولید شود، به گردش در می‌آید.
  - برای تولید الکتریسته، پره‌های توربین‌های بادی از نظر شکل شبیه بال‌های هواپیما هستند: آن‌ها بر باد سوار می‌شوند. برعکس، توربین محرک یک پمپ آب یک پروانه است که توسط باد به گردش در می‌آید.
  - یک توربین گازی، مثل یک موتور جت، از طریق سوزاندن یک سوخت مایع یا گازی، فسیلی یا تجدید پذیر، در هوا، به گردش در می‌آید. ترکیب گازی حاصله منبسط شده و از طریق یک افشانه جریان می‌یابد تا به پره‌های توربین بخورد.
- تشریح نحوه کار توربین‌های بخاری و گازی در اینجا برای خواننده عادی ساده سازی شده است. در صورتی که مایلید در مورد فرایندهای پیچیده این توربین‌ها و جزئیات مهندسی آن‌ها بیشتر بدانید، مرجع [۸] را بخوانید.

شکل ۲-۱- روش‌های مختلف تبدیل انرژی خورشیدی [۹]



### جمع آوری انرژی خورشیدی

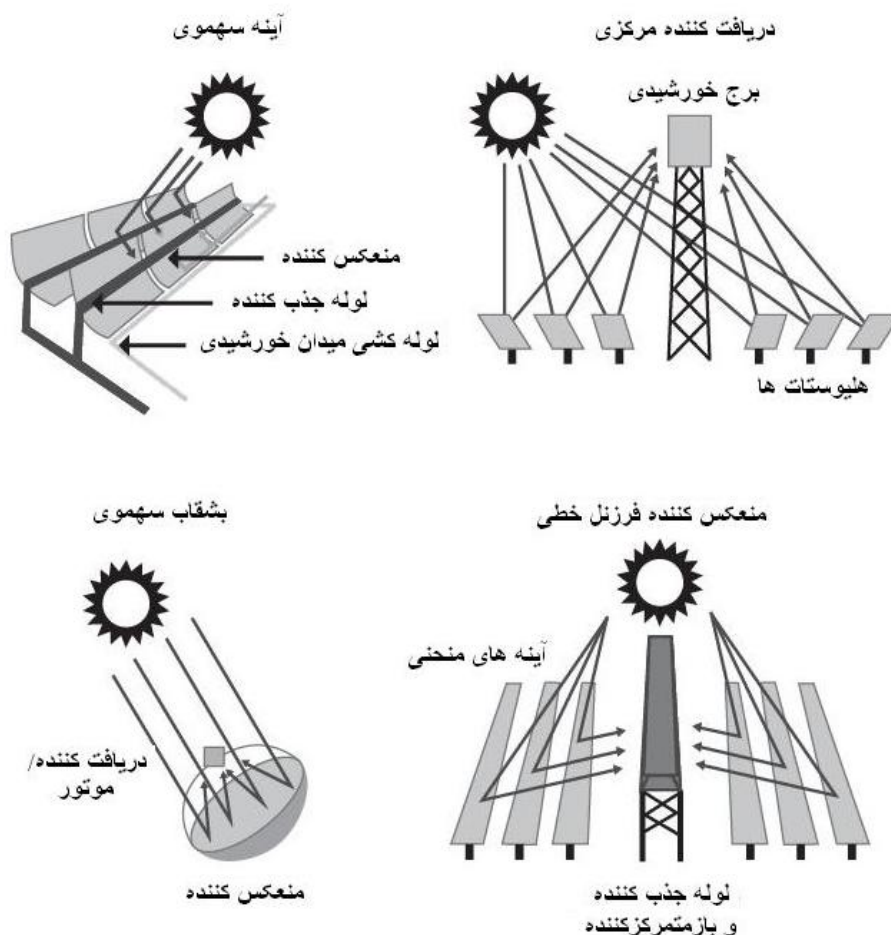
جمع آورنده‌های خورشیدی که برای گرمایش غیرفعال خانگی<sup>۱</sup>، آبگرمکن خورشیدی و سلول‌های فتوولتائیک پشت‌بامی استفاده می‌شوند تخت هستند و در نتیجه می‌توانند انرژی ورودی خورشیدی را از همه جهت‌ها دریافت کنند. این امر در روزهای ابری، که خورشید ناپیداست اما قطر ابرها به اندازه کافی کم است تا اجازه دهد آسمان نسبتاً روشن باشد نیز اتفاق می‌افتد. برای این قبیل جمع آورنده‌های خورشیدی، اطلاعات مورد نیاز خورشیدی به صورت میزان تابش خورشید بر روی یک صفحه تخت افقی اندازه‌گیری شده و تشعشع برخوردکننده افقی کلی<sup>۲</sup> (GHI) نامیده می‌شود. بر

1 Passive Solar Housing

2 Global Horizontal Incidence

عکس، جمع‌آورنده‌های خورشیدی که در نیروگاه‌های CST و ماژول‌های فتوولتائیک متمرکز<sup>۱</sup> (CPV) استفاده می‌شوند تنها تابش مستقیم خورشید را متمرکز می‌سازند، همان‌طور که در شکل ۲-۲ نشان داده شده است، و در شرایط جوی ابری خروجی ناچیزی دارند. تشعشع مستقیم به صورت میزان تابش خورشید بر روی یک صفحه تخت که عمود بر جهت تابش خورشید قرار گرفته است اندازه‌گیری شده و تشعشع برخوردکننده مستقیم عمودی<sup>۲</sup> (DNI) نامیده می‌شود.

شکل ۲-۲- چهار نوع جمع‌آورنده‌های متمرکز کننده خورشیدی [۱۰]



1 Concentrated Solar Photovoltaic  
2 Direct Normal Incidence

چهار نوع جمع‌آورنده‌های متمرکزکننده خورشیدی وجود دارند که در شکل ۲-۲ نشان داده شده‌اند. برای CPV، سلول‌های خورشیدی در نقطه کانونی یا خطوط کانونی جمع‌آورنده‌ها قرار داده می‌شوند. در سیستم‌های الکتریکی خورشیدی حرارتی باید از جمع‌آورنده‌های متمرکزکننده استفاده شود تا بتوان درجه حرارتی که به اندازه کافی بالا باشد را به دست آورده و انرژی الکتریکی را با بازده کافی تولید کرد. برای نیروگاه‌های CST سهموی خطی، آینه‌های سهموی انرژی خورشیدی را در لوله‌هایی که با سیال انتقال دهنده گرما پر شده و در امتداد خطوط کانونی جمع‌آورنده‌ها قرار دارند متمرکز می‌کنند. آینه‌های سهموی بالغ‌ترین فناوری‌های CST بوده و در اینجا در مرحله عرضه ابتدایی دسته‌بندی می‌شوند. سه نوع دیگر هنوز در مرحله آزمایش قرار دارند.

برج خورشیدی با دریافت کننده مرکزی و بشقاب سهموی بیشترین تمرکز گرما را تولید کرده و در نتیجه کارآمدترین انواع جمع‌آورنده‌های خورشیدی هستند. این جمع‌آورنده‌ها انرژی خورشیدی را در یک "نقطه" (درواقع یک سطح کوچک) متمرکز می‌کنند. جمع‌آورنده‌های فرزنل سهموی و خطی انرژی خورشیدی را در حد کمتری متمرکز می‌کنند و در نتیجه درجه حرارت‌های پایین‌تری را در سیستم‌های CST به وجود می‌آورند، بازده حرارتی پایین‌تری دارند و زمین بیشتری را در ازای هر واحد تولیدشده انرژی الکتریکی اشغال می‌کنند. در عین حال، تجربه‌ای که در طی چند سال آینده در مورد این سیستم‌ها به دست خواهد آمد احتمالاً نشان خواهد داد که این‌ها ارزان‌تر از سامانه‌های با بازده بالاتر هستند و در نتیجه می‌توانند نقش مهمی را در مناطقی که مقادیر زیادی زمین قابل استفاده وجود دارد بازی کنند.

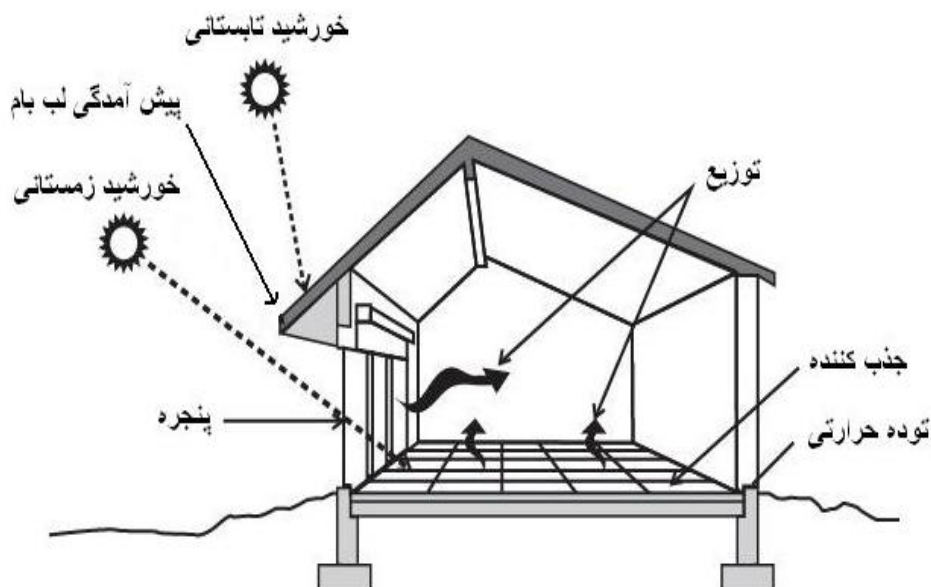
### ذخیره سازی انرژی خورشیدی

از آنجایی که میزان تابش خورشید به دلیل چرخه روز-شب و تغییرات مقادیر ابر (به دلیل تغییرات فصلی) نوسان می‌کند، اغلب مطلوب است که ذخیره‌سازهای انرژی به عنوان جزئی از سامانه انرژی خورشیدی در دسترس باشند. ذخیره انرژی خورشیدی به شکل گرما بسیار آسان‌تر، و در نتیجه ارزان‌تر، از ذخیره آن به شکل الکتریسیته است. باتری‌ها گران هستند، هرچند که قیمت آن‌ها به آهستگی در حال کاهش است. در خانه‌ای که به صورت غیرفعال از انرژی خورشیدی استفاده می‌کند<sup>۱</sup> (شکل ۲-۳) انرژی خورشیدی که در یک روز زمستانی از طریق پنجره‌ها وارد می‌شود در جرم

<sup>1</sup> Passive Solar House

گرمایی خانه، که به صورت یک کف بزرگ یکپارچه بتنی یا به صورت دیوارهایی که در مکان مناسب قرار گرفته اند شکل می گیرد، ذخیره می شود (در تابستان از ورود نور خورشید به خانه از طریق پرده یا نورگیر یا وسایل مشابه جلوگیری می شود). در آبگرمکن خورشیدی (شکل ۲-۴) آبی که توسط انرژی خورشید گرم شده است در یک مخزن عایق بندی شده ذخیره می شود. در نیروگاه های CST (شکل ۲-۵) (الف) و (ب)، گرمای دارای درجه حرارت بالا معمولاً در مخازن عظیمی از نمک مذاب ذخیره می شوند. ذخیره سازی به وسیله بلوک های بتنی یا گرافیتی و فرایندهای ترموشیمیایی، از قبیل تجزیه حرارتی بخار آمونیاک به نیتروژن و هیدروژن، در حال بررسی و توسعه هستند. به جای ذخیره ساز انرژی، بعضی جمع آورنده های CST با نیروگاه های گازسوز پیوند داده شده اند. با فرض اینکه زمین کافی در محل احداث نیروگاه وجود دارد، نیروگاه های CST می توانند با نیروگاه های زغالسوز (به عنوان صرفه جویی کننده در سوخت) نیز پیوند داده شوند. اولین نیروگاه از این نوع در سال ۲۰۰۸ در نیروگاه لیدل<sup>۱</sup> در نیوساوت ولز استرالیا ساخته و در سال ۲۰۱۲ توسعه داده شد [۱۱].

شکل ۲-۳- خانه ای که به صورت غیرفعال از انرژی خورشیدی استفاده می کند



1 Liddell Power Station

شکل ۲-۴- آبگرمکن خورشیدی: لوله‌های جمع آورنده خلاء



به دلیل قیمت بالای باتری‌های ذخیره‌ساز، تقریباً همه پنل‌های خورشیدی فتوولتاییک که در روی بام منازل مسکونی نصب شده‌اند امروزه مستقیماً به شبکه برق متصل بوده و هیچ‌گونه ذخیره‌ساز انرژی ندارند. شبکه برق خود به صورت یک ذخیره‌ساز انرژی عمل می‌کند. در مناطق دورافتاده، پنل‌های فتوولتاییک با ژنراتورهای دیزلی یا بنزینی و/یا باتری‌ها ترکیب می‌شوند و سامانه‌های موسوم به سامانه ترکیبی<sup>۱</sup> را تشکیل می‌دهند. قیمت خرده‌فروشی الکتریسیته در شبکه‌های برق در برخی از مناطق به سرعت در حال افزایش است در حالی که قیمت باتری‌ها به آهستگی در حال کاهش است. در نتیجه، در طی یک دهه یا حتی زودتر این احتمال وجود دارد که برای برخی از منازل مسکونی و مصرف‌کنندگان تجاری، نصب پنل‌های فتوولتاییک همراه با باتری‌های ذخیره‌ساز صرفه اقتصادی داشته باشد. در ابتدا، مقدار کمی باتری ذخیره‌ساز برای عرضه توان در زمان اوج بار در اواخر بعد از ظهر و اوایل شب استفاده خواهد شد. اما با ادامه کاهش قیمت باتری‌ها در طول یک دهه آینده، ممکن است برای منازل مسکونی و مصرف‌کنندگان به لحاظ اقتصادی به صرفه باشد که مقادیر بسیار

---

1 Hybrid System

بزرگتری از باتری‌های ذخیره ساز را، به منظور تأمین ۲۴ ساعته توان و قطع کامل از شبکه، نصب و به-کارگیری کنند. این موضوع می‌تواند برای مدل موجود تجاری در صنعت برق، که همین الان هم دارای مشکلاتی است، مشکل آفرین باشد چرا که استفاده از سامانه‌های خورشیدی فتوولتائیک و افزایش بهره‌وری انرژی موجب کاهش تقاضای انرژی از شبکه شده‌اند (رک فصل ۹ "مدل‌های جدید تجاری برای صنعت برق").

### سامانه‌های خورشیدی فتوولتائیک

یک سلول فتوولتائیک ابزار حالت جامدی است که انرژی نور تابیده شده به آن را مستقیماً از طریق اثر فتوولتایی به الکتریسیته تبدیل می‌کند. این سلول بخش متحرکی ندارد. انرژی موجود در نور خورشید موجب جدا شدن الکترون‌هایی از اتم‌های سطح ماده شده و این الکترون‌ها یک جریان الکتریکی تولید می‌کنند. این فرایند با جزئیات بیشتر و با عبارات غیرفنی توسط اندرو بلیکرز<sup>۱</sup>، مدیر مرکز سیستم‌های انرژی پایدار<sup>۲</sup> در دانشگاه ملی استرالیا<sup>۳</sup> در کتاب "انرژی خورشیدی فتوولتائیک چیست؟" [۱۲] تشریح شده است.

دو نوع اصلی مواد فتوولتائیک عبارتند از سیلیکن کریستالی، که امروزه ۸۵ درصد از بازار فتوولتائیک را در اختیار دارد، و مواد لایه نازک، که بخش اعظم ۱۵ درصد باقیمانده بازار را در اختیار دارد. دو نوع اصلی سلول‌های سیلیکن کریستالی وجود دارد: تک کریستالی، که از قطعه‌های نازک بریده شده از یک کریستال واحد سیلیکن ساخته می‌شود، و چند کریستالی، که از یک بلوک کریستال‌های سیلیکن ساخته می‌شود. مواد لایه نازک از پاشیدن لایه‌های بسیار نازک مواد حساس به نور بر روی مواد ارزان، از قبیل شیشه، فولاد زنگ‌نزن یا پلاستیک، ساخته می‌شوند. هزینه پایین تولید این مواد، بازده پایین آن‌ها را جبران می‌کند [۱۳]. سایر انواع سلول‌های خورشیدی، از جمله سلول‌های خورشیدی زیستی یا سلول‌های DSC، هنوز در آغاز راه خود به سمت بلوغ هستند.

مطابقت دادن عرضه و تقاضا در طول روز و در طول فصل‌های سال یک چالش ویژه برای سیستم‌های خورشیدی فتوولتائیک فاقد ذخیره سازی اختصاصی است. حداکثر تولید برق خورشیدی از یک کیلووات بر متر مربع ( $\text{kW/m}^2$ ) در ظهر یک روز آفتابی تا صفر در یک شب بدون ماه در

1 Andrew Blakers

2 Center for Sustainable Energy Systems

3 Australian National University

نوسان است [۱۴]. اوج تقاضای بار در تابستان در اواسط یا اواخر بعد از ظهر اتفاق می‌افتد که تا حدودی با زمان اوج عرضه انرژی خورشیدی همپوشانی دارد. گذر ابرها می‌تواند یک نیروگاه خورشیدی دارای جمع‌آورنده‌های متمرکز کننده را خاموش کرده و موجب نوسانات قابل توجهی در خروجی یک نیروگاه دارای جمع‌آورنده‌های تخت شود. در غیاب باتری‌ها، تغییرات موقتی توان فتوولتاییک را می‌توان از طریق افزایش توزیع جغرافیایی نیروگاه‌های خورشیدی، به کارگیری روش‌های کاهش تقاضا (رک فصل ۳) و افزودن نیروگاه‌های مدیریت‌پذیر به ترکیب منابع تولیدکننده توان - CST با ذخیره‌ساز حرارتی در نواحی مناسب، انرژی برقایی با سدها و توربین‌های گازی - با هدف کاهش نوسانات، جبران کرد.

در پایان سال ۲۰۱۲، مجموع ظرفیت نصب شده فتوولتاییک جهان از مرز ۱۰۰ گیگاوات عبور کرد [۱۵] (همان‌طور که در جدول ۱-۴ نشان داده شد، یک گیگاوات، توان نامی یک نیروگاه زغال-سوز یا هسته‌ای متعارف است). قیمت ماژول‌های فتوولتاییک در حدود سال‌های ۲۰۰۸-۲۰۰۹ به‌طور پیوسته رو به کاهش نهاد و سپس در حدود سال‌های ۲۰۱۰-۲۰۱۲ این کاهش شتاب گرفت. پس از سال ۲۰۱۲ نیز این قیمت‌ها همچنان رو به کاهشند، هرچند شتاب کاهش کمتر شده است (رک فصل ۵، "هزینه‌های کمی شده و منافع کمی نشده"). این کاهش قیمت عمدتاً نتیجه افزایش ظرفیت تولید جهانی در سطحی بسیار بالاتر از تقاضاست. چین به‌طور خاص مشوق‌های قدرتمندی به تولیدکنندگان خود می‌پردازد. این کاهش قیمت منجر به وقوع یک جنگ قیمت بین‌المللی و ورشکستگی چندین تولیدکننده ماژول‌های فتوولتاییک، از جمله شرکت پیشروی قبلی بازار، Suntech در چین و نیز Solyndra در آمریکا شده است. در چنین شرایطی که تولیدکنندگان صرفاً به دنبال بقا هستند، ابداع‌های فناورانه در درجه بعدی اهمیت قرار گرفته‌اند. شکل دهی دوباره صنعت در دست اقدام است.

### نیروگاه‌های خورشیدی حرارتی متمرکز (CST)

در نیروگاه‌های CST، تابش مستقیم نور خورشید (DNI) متمرکز می‌شود تا سیالی که آب را برای به حرکت در آوردن یک توربین بخاری به بخار تبدیل می‌کند را گرم کند. مناطق متعددی در جهان وجود دارند که سطح DNI در آن‌ها بسیار بالاست و نیروگاه‌های خورشیدی بزرگ با جمع‌آورنده‌های متمرکز کننده، هم CST و هم CPV، را می‌توان در اراضی بسیار وسیعی نصب کرد. این مناطق شامل جنوب غرب آمریکا و مکزیک، صحرای Atacama در غرب کوه‌های آند در آمریکای

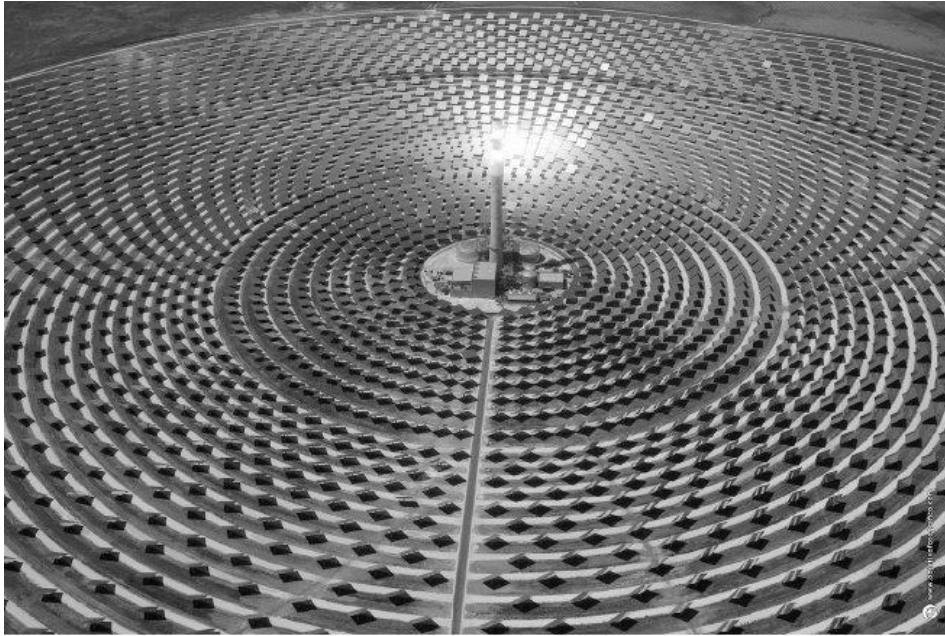
جنوبی، بخش عمده خاورمیانه و شمال آفریقا، بخش‌هایی از جنوب آفریقا، شمال غرب چین و غرب سلسله کوه‌های Great Dividing Range در استرالیا هستند. در آینده این مناطق می‌توانند به صادرکنندگان عمده انرژی خورشیدی از طریق خطوط انتقال توان، و احتمالاً در دراز مدت از طریق کشتی‌های تانکر هیدروژن، تبدیل شوند. بدین ترتیب، عرضه انرژی خورشیدی می‌تواند با تقاضای انرژی در طول سال مطابقت یابد.

در پایان سال ۲۰۱۱، مجموع ظرفیت نصب شده CST جهان از مرز ۱/۸ گیگاوات گذشت، که بخش عمده آن به اسپانیا تعلق دارد. در عین حال، در سال ۲۰۱۲ از آهنگ رشد نصب CST در اسپانیا کاسته شد، و این نتیجه بحران مالی جهانی (GFC) و وضعیت نامطلوبی بود که در آن دولت اسپانیا مسئول پرداخت تعرفه‌های تشویقی بود نه مصرف‌کنندگان برق. یک عامل مؤثر دیگر، کاهش سریع قیمت سلول‌های فتوولتاییک بود. ظرفیت جهانی در پایان سال ۲۰۱۲ در حدود ۲/۵ گیگاوات تخمین زده می‌شد [۱۶]. علاوه بر این، پروژه‌های CST که هر کدام حداقل دارای ظرفیت ۲۰ مگاوات هستند در سال ۲۰۱۳ در استرالیا، چین، مصر، هندوستان، مراکش، آفریقای جنوبی، اسپانیا، امارات متحده عربی و آمریکا در دست احداث بوده‌اند [۱۷].

شکل ۲-۵- نیروگاه‌های خورشیدی حرارتی متمرکز (CST)



الف) آینده‌های سهموی: بخشی از نیروگاه آنداسول ۱، ۵۰ مگاوات، در اسپانیا



ب) برج توان (دریافت‌کننده مرکزی): نیروگاه جماسولار، ۲۰ مگاوات

### چشم انداز آینده انرژی خورشیدی

در مقیاس جهانی، هنوز پتانسیل بسیار بزرگی برای خانه‌هایی که به صورت غیر فعال از انرژی خورشیدی استفاده می‌کنند و آبگرمکن‌های خورشیدی وجود دارد. هر دوی این فناوری‌ها کاملاً تجاری شده‌اند. گرمایش و سرمایش خورشیدی ساختمان‌ها و گرمایش خورشیدی صنعتی با متمرکزکننده‌ها تازه شروع به ورود به بازار کرده‌اند و وضعیت اقتصادی آنان در دراز مدت هنوز روشن نیست.

قیمت‌های پایین و رو به کاهش، منابع عظیم، آثار ناچیز زیست‌محیطی و بهداشتی (رک فصل ۵)، استفاده کمتر از زمین در مقایسه با کشاورزی (رک فصل ۵) و مواد اولیه فراوان سلول‌های فتولتاییک (حداقل برای فناوری‌های کریستال سیلیکن) این اطمینان را می‌دهد که با تنوع جغرافیایی نصب جمع‌آورنده‌ها، این فناوری سهم چشمگیری در تأمین تقاضای الکتریسیته در آینده خواهد داشت.

هرچند رشد نیروگاه‌های CST به دلیل موفقیت نیروگاه‌های فتوولتاییک و آثار بحران مالی جهانی موقتاً کند شده است، ظرفیت این نیروگاه‌ها در چندین کشور که از بحران مالی جهانی خارج شده و دارای DNI بالا هستند در حال افزایش است. بنابراین، در درازمدت این احتمال وجود دارد که هزینه‌های آن به کاهش ادامه داده و مزیت آن - ذخیره‌سازی ارزان انرژی حرارتی - آن را قادر به ایفای یک نقش مکمل برای نیروگاه‌های فتوولتاییک سازد.

## انرژی بادی

به‌طور کلی، بادخیزترین سایت‌های واقع در خشکی در نزدیکی خطوط ساحلی و در عرض‌های جغرافیایی بالاتر از ۳۵ درجه واقع شده‌اند. موارد استثناً این قاعده کلی شامل گذرگاه‌های کوهستانی، خط‌الراس‌ها، سواحل دریاچه‌های محصور در خشکی و دشت‌های وسیعی که در آن‌ها باد بدون هیچ مانعی امکان سرعت گرفتن دارد است.

توان الکتریکی بادی در سال ۱۸۹۱ توسط یک معلم دانمارکی به نام پول لاکور<sup>۱</sup>، که در مدرسه آسکوف<sup>۲</sup> کار می‌کرد، ابداع شد. هرچند توربین‌های بادی او مانند آسیادهای هلندی، که پره‌های بزرگ و پهن آن‌ها به صورت ناکارآمدی توسط باد به گردش درمی‌آید، دارای طراحی ابتدایی و خامی بود، او الکتریسیته تولید شده را به یک فرایند الکترولیز تزریق کرد و از هیدروژن حاصله برای روشن کردن چراغ‌های گازی مدرسه استفاده کرد [۱۸]. توربین‌های بادی مدرن، با پره‌های آئرودینامیکی بالواره<sup>۳</sup> که بر روی باد پرواز می‌کنند، در طول قرن بیستم به‌طور پیوسته‌ای در دانمارک تکامل یافتند و یک استاندارد جهانی برای طراحی توربین‌های سه پره‌ای رو به باد<sup>۴</sup> به وجود آوردند. امروزه، توربین‌های بادی یک فناوری قابل اعتمادند، سرعت باد با دقت بالایی قابل پیش‌بینی است و انرژی بادی ارزان‌ترین نوع انرژی الکتریکی تجدیدپذیر غیر آبی در مقیاس بالاست.

انرژی بادی یک صنعت عمده است. در سال‌های ۲۰۰۸ و ۲۰۰۹ توان برقی بادی بیشترین سهم را در ظرفیت نصب شده جدید در اروپا داشت. در پایان سال ۲۰۱۲، مجموع ظرفیت نصب شده برق بادی جهان به مرز ۲۸۲/۴ گیگاوات رسید. از این مجموع، چین ۲۷ درصد، آمریکا ۲۱ درصد، آلمان

1 Poul la Cour  
2 Askov School  
3 Airfoil  
4 Upwind

۱۱ درصد، اسپانیا ۸ درصد و هندوستان ۶/۵ درصد را به خود اختصاص داده‌اند. رشد ظرفیت نصب شده جهان در سال ۲۰۱۲ معادل ۱۸/۶ درصد بود [۱۹] که با در نظر گرفتن آثار بحران مالی جهانی رشد بسیار خوبی است، اما هنوز بسیار کمتر از رشد میانگین سالیانه ۲۸ درصدی در طول دهه قبلی است. طبق سناریوهای مشترک موسسه بین‌المللی صلح سبز<sup>۱</sup> و شورای جهانی انرژی بادی<sup>۲</sup>، در صورتی که سیاست‌های مؤثری توسط دولت‌ها اعمال شود، انرژی بادی می‌تواند تا ۱۲ درصد مصرف جهانی برق را تا سال ۲۰۲۰ و بیش از ۲۰ درصد مصرف را تا سال ۲۰۳۰ تأمین نماید [۲۰]. انتظار می‌رود انرژی بادی، به‌طور ویژه، سهم بزرگی در اهداف رسمی کشورهای زیر در جهت گسترش ظرفیت انرژی‌های تجدیدپذیر آن‌ها بر عهده داشته باشد:

- دانمارک: صددرصد انرژی تجدیدپذیر تا سال ۲۰۳۵،
- اسکاتلند: صددرصد انرژی تجدیدپذیر تا سال ۲۰۲۰،
- نیوزیلند: نوددرصد انرژی تجدیدپذیر تا سال ۲۰۲۵.

برای دسترسی به چنین اهدافی در نواحی پرجمعیتی مانند شمال اروپا، لازم است که نیروگاه‌های فراساحلی به کار گرفته شوند. معمولاً سرعت باد در دریا، در مقایسه با نواحی خشکی، بیشتر و دارای تغییرات کمتری است. در عین حال، هم هزینه‌های اولیه و هم هزینه‌های نگهداری سایت‌های فراساحلی در حال حاضر نزدیک به دو برابر هزینه‌های سایت‌های واقع در خشکی است. در پایان سال ۲۰۱۲، ظرفیت کل نیروگاه‌های فراساحلی، که در مجموع ظرفیت جهانی لحاظ شده است، به حدود ۵/۴ گیگاوات رسید که ۱/۳ گیگاوات آن در سال ۲۰۱۲ نصب شده بود [۲۱].

در کتاب حاضر، توربین‌های بادی فراساحلی با سکوه‌های ثابت در مرحله عرضه اولیه طبقه‌بندی شده‌اند چرا که هنوز فرصت‌های زیادی برای به دست آوردن تجربه در ساخت اجزاء و نصب و نگهداری آن‌ها و در نتیجه کاستن از هزینه‌ها وجود دارد. در حال حاضر، تقریباً همه توربین‌های بادی فراساحلی بر روی سکوهایی که درون بستر دریا و در آب‌های با عمق کمتر از ۳۰ متر جا داده شده‌اند نصب شده‌اند. اغلب این توربین‌ها در دریای شمال و دریای بالتیک نصب شده‌اند. حتی با همین محدودیت عمق آب نیز هنوز ظرفیت بالقوه بسیار بالایی وجود دارد. اگر بتوان هزینه‌ها، خصوصاً هزینه سکوه‌های نصب، را کاهش داد، آنگاه انجمن انرژی بادی اروپا<sup>۳</sup> پیش‌بینی می‌کند که توان بادی

1 Greenpeace International  
2 Global Wind Energy Council  
3 European Wind Energy Association

فراساحلی می‌تواند تا سال ۲۰۳۰ به ظرفیت نصب شده ۱۵۰ گیگاوات برسد و ۱۴ درصد از تقاضای برق اروپا را تأمین کند [۲۲].

با استفاده از تجربه و دانش مربوط به سکوه‌های نفتی شناور، از سال ۲۰۰۹ تعداد کمی توربین‌های بادی شناور در آب‌های با عمق بیش از ۱۰۰ متر به صورت آزمایشی در حال کار هستند. گرچه که این توربین‌ها هنوز در مراحل اولیه توسعه قرار دارند، اما اگر فعالیت آنها موفقیت‌آمیز باشد، می‌توانند منابع قابل استفاده انرژی بادی جهان را به شدت توسعه دهند.

### انرژی زیستی<sup>۱</sup>

در سطح جهان، فرایند فتوسنتز انرژی خورشیدی را با نرخ‌ی در حدود هفت برابر نرخ جهانی مصرف انرژی در سال ۲۰۱۰، یعنی ۵۳۲ EJ در سال [۲۳] ( $1 \text{ EJ} = 10^{18} \text{ J}$ )، در زیست‌توده (مواد ارگانیک) ذخیره می‌کند. بنابراین، منبع عظیمی از مواد زیست‌توده در سطح جهان وجود دارد. در حال حاضر، زیست‌توده در حدود ۱۰ درصد مصرف جهانی انرژی اولیه (EJ در سال) را تأمین می‌کند. بخش عمده این انرژی در مناطق روستایی کشورهای فقیر، جایی که شاخه و برگ درختان، تپاله گاو و منابع رو به کاهش چوب‌های جنگلی به نحو ناکارآمدی برای پخت غذا و گرمایش فضاهای مسکونی سوزانده می‌شوند، به مصرف می‌رسد. این امر آلودگی شدید هوا و مشکلات تنفسی برای زنانی که این سوخت‌ها را، اغلب در کلبه‌های بدون تهویه، می‌سوزانند به وجود می‌آورد.

محدودیت اصلی بر سر راه استفاده وسیع از زیست‌توده در جوامع صنعتی عبارت است از آثار زیست‌محیطی (رک فصل ۵، "سایر آثار زیست‌محیطی، بهداشتی و اجتماعی") همراه با حجم بسیار بالای تقاضای بالقوه در آینده. در عین حال، فعالیت‌های مغایر با حفاظت محیط‌زیست، مانند تولید اتانول از ذرت در آمریکا و از بین بردن جنگل‌های استوایی در آسیای جنوب شرقی به منظور پرورش درختان روغن پالم، نباید ما را از امکان استفاده از زیست‌توده در یک مقیاس محدود و به روش‌هایی که از نظر حفظ محیط‌زیست قابل قبول هستند، غافل کند.

یک منبع بالقوه پایدار زیست‌توده برای انرژی زیستی عبارت است از استفاده از پسماندهای غلات و فعالیت‌های جنگل‌داری، که در کشورهای دارای صنایع عظیم کشاورزی و جنگلی به وفور

1 Bioenergy

یافت می‌شوند. پس از آن که زیست‌توده به انرژی مفید تبدیل شد، خاکستر آن می‌تواند توسط همان کامیون‌هایی که زیست‌توده را جمع‌آوری می‌کنند به مزارع برگردانده شده و در نتیجه مواد مغذی را به خاک برگردانند. یک روش بالقوه پایدار دیگر استفاده از زیست‌توده، کاشت غلات انرژی‌زا بر روی اراضی حاشیه‌ای نامناسب برای کشاورزی است، خصوصاً در جاهایی که منافع زیست‌محیطی بر احیای زمین‌هایی که قبلاً توسط جنگل‌زدایی، چرای دام‌ها و سایر فعالیت‌ها آسیب دیده‌اند مترتب باشد. یک مثال دیگر، که در حال حاضر در مقیاس آزمایشی در استرالیا غربی در حال اجراست، کاشت گونه‌ای خاص از اکالیپتوس، موسوم به اکالیپتوس روغنی<sup>۱</sup>، در حاشیه مزارع گندم است. گرچه که ممکن است در کوتاه مدت کاهش مختصری در تولید گندم دیده شود، اما این موضوع در دراز مدت دارای منافع بیشتری است چرا که اکالیپتوس با ریشه‌های عمیق خود می‌تواند به کاهش شوری زمین‌های خشک کمک کند [۲۴]. علاوه بر این، ممکن است منافع کوتاه مدتی نیز برای تولید گندم وجود داشته باشد، اگر نوارهای زیر کشت اکالیپتوس موجب کاهش سرعت باد بر روی سطح زمین بشوند. در اروپا، چوب‌های انرژی‌زا، از قبیل درخت‌های بید و سپیدار، موجب بهبود محلی در وضعیت محیط زیست، از جمله افزایش مواد حیاتی در خاک، بهبود کیفیت آب و ایجاد زیستگاه برای گونه‌های مختلف گیاهی و جانوری، می‌شوند [۲۵]. در مناطق شمالی استرالیا<sup>۲</sup> پیشنهاد شده است که به منظور کنترل علف‌های هرز میموزا، که تمایل به انتشار سریع دارند، از آن‌ها به عنوان سوخت در نیروگاه‌ها استفاده شود [۲۷].

زیست‌توده را می‌توان به روش‌های متعددی به انرژی قابل استفاده تبدیل کرد که برخی از این روش‌ها در شکل ۲-۶ نشان داده شده‌اند. زیست‌توده جامد را می‌توان مستقیماً سوزاند تا گرما و الکتریسیته (بار پایه و بار میانی) تولید شود، همان‌طور که در کشورهای اسکانندیناوی، کانادا، برزیل و بخش‌هایی از آمریکا مرسوم است. امروزه بسیاری از نیروگاه‌های زغال‌سوز در اتحادیه اروپا ترکیبی از زغال‌سنگ و زیست‌توده را می‌سوزانند، کاری که به هم‌سوزانی<sup>۳</sup> مشهور است. در مقایسه با روش‌های سنتی سوزاندن چوب، گرمایش خانگی با استفاده از سوزاندن قرص‌های چوب<sup>۴</sup> بسیار کارآمدتر است و سوخت‌های گازی نیز کمتر آلاینده هستند.

---

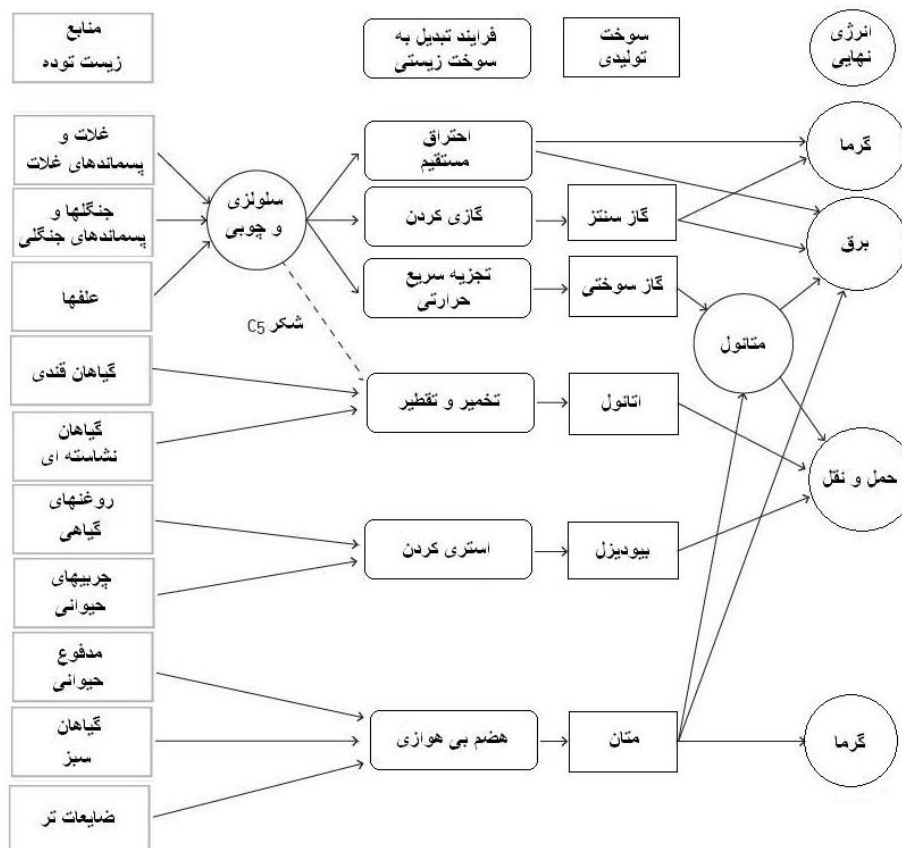
1 Oil Mallee

2 Australia's Northern Territory

3 Co-firing

4 Wood Pellets

شکل ۲-۶- برخی از روش های تبدیل زیست توده به انرژی زیستی [۲۶]



زیست توده را می توان به سوخت های مایع متانول، اتانول، بوتانول و بیودیزل تبدیل کرد. اتانول و بوتانول از مواد قندی و نشاسته ای و به وسیله تخمیر و تقطیر تولید می شوند. این فرایند یک فرایند تجاری است اما از نقطه نظر استفاده از زمین ناکارآمد است. تحقیق و توسعه و بررسی های آزمایشی برای استخراج مواد قندی از سلولزهای چوبی (فیبرهای غیرخوراکی) گیاهان، که بخش بزرگ تری از گیاه را به سوخت زیستی تبدیل کرده و در نتیجه بهره وری بیشتری در استفاده از زمین را به دنبال خواهد داشت، در جریان است. سایر فعالیت های تحقیق و توسعه شامل تولید سوخت های مایع از جلبک ها و مهندسی ژنتیک میکروب ها برای تبدیل مواد قندی به سوخت های خاص می شوند. بیودیزل

به صورت تجاری از روغن گیاهی و به وسیله فرایند ساده شیمیایی استری کردن<sup>۱</sup> تولید می‌شود، اما این فرایند به دلیل محدودیت‌های مربوط به زمین به شدت محدود است. به دلیل دارا بودن چگالی‌های بسیار بالای انرژی (البته اتانول و متانول به میزان چشمگیری دارای انرژی کمتری نسبت به بنزین هستند - رک جدول ۷-۲) و سادگی در حمل، این سوخت‌های زیستی مایع می‌توانند به سادگی در توربین‌ها و موتورهای گازی به منظور تولید انرژی ثابت و یا خودرویی سوزانده شوند. بیودیزل، علاوه بر این، می‌تواند به عنوان سوخت هواپیمای جت نیز به کار رود. سوخت‌های زیستی این امکان را دارند که روش‌های راحت‌تری برای ذخیره سازی و حمل انرژی، در مقایسه با هیدروژن گازی، مایع یا متال هیبرید، باشند.

زیست‌توده را می‌توان به سوخت‌های گازی نیز تبدیل کرد. زیست‌توده مرطوب (گیاهان سبز، پسماندهای حیوانی و سایر زباله‌های غیرخشک) را می‌توان به بیوگاز، که عمدتاً گاز متان ( $CH_4$ ) است، تبدیل کرد. این کار از طریق هضم غیرهوازی انجام می‌شود. پس از آن که کیفیت این گاز به سطح کیفیت گاز طبیعی فسیلی ارتقاء یافت، می‌توان آن را به شبکه انتقال گاز تزریق کرده و از آن برای گرمایش استفاده نمود. یک گاز تجدیدپذیر متفاوت، که به آن گاز سنتز یا سینگاز<sup>۲</sup> می‌گویند، را می‌توان از طریق گرم کردن زیست‌توده خشک در مقدار محدودی از اکسیژن به دست آورد. این فرآورده ترکیبی است از عمدتاً مونوکسید کربن ( $CO$ ) و هیدروژن ( $H_2$ )، و نیز مقداری دی-اکسید کربن ( $CO_2$ )، آب و سایر هیدروکربن‌ها. سینگاز را می‌توان در توربین‌های گازی سوزاند یا به متان تبدیل کرده و به شبکه گاز تزریق نمود، یا می‌توان آن را به متانول تبدیل کرد.

مشابه سوخت‌های فسیلی، زیست‌توده را نیز می‌توان به عنوان ماده خام برای ساخت پلاستیک، کودها و سایر مواد شیمیایی به کار گرفت. در ادامه این مسیر، امکان به کارگیری پالایشگاه‌های زیستی<sup>۳</sup> وجود دارد که مجموعه متنوعی از فرآورده‌ها، از قبیل الکتریسیته، گرما، مواد شیمیایی و سوخت‌های زیستی مایع و گازی، را تولید می‌کنند.

در حالی که بحث و گفت و گو در مورد پایدار بودن "نسل اول" سوخت‌های زیستی ادامه دارد، بازارهای بالقوه بزرگی برای سوخت‌های زیستی پیشرفته، که از ضایعات کشاورزی و جنگل-داری، و از گیاهانی که در زمین‌های نامناسب برای کشت معمولی پرورش داده می‌شوند به دست می-

1 Esterification

2 Synthesis Gas or Syngas

3 Biorefinery

آیند، وجود دارد. هم‌اینک بازارهای بین‌المللی در حال گسترشی برای فروش قرص‌های چوب و روغن‌های زیستی برای گرمایش، استفاده بیشتر از بیوگاز در مجموعه‌ای از کاربردها و استفاده بیشتر از زیست توده برای تأمین گرما وجود دارند. در جدول ۲-۲، وضعیت بلوغ فنی مجموعه‌ای از فناوری‌های انرژی زیستی جمع‌بندی شده است.

جدول ۲-۲- وضعیت بلوغ فنی و پتانسیل فناوری‌های گوناگون انرژی زیستی

فناوری	وضعیت	پتانسیل	آثار زیست محیطی
سوزاندن زیست توده جامد برای تولید برق و گرما	تجاری	متوسط	از منابع پایدار: کم
بیوگاز (متان) از طریق هضم غیر هوازی ضایعات ارگانیک مرطوب	تجاری	پایین	کم
گاز ناشی از دفن زباله‌ها	تجاری	پایین	کم
اتانول از مواد قندی و نشاسته‌ها، نسل اول	عرضه اولیه	از منابع پایدار: پایین از سایر منابع: متوسط	از منابع پایدار: کم از سایر منابع: زیاد
متانول	عرضه اولیه	متوسط تا زیاد	از منابع پایدار: کم
زیست توده گاز شده برای احتراق در توربین‌ها یا موتورهای گازی	عرضه اولیه	متوسط	از منابع پایدار: کم
اتانول، نسل دوم، از مواد سلولزی چوبی	تحقیق و توسعه و عرضه اولیه	متوسط تا زیاد	کم - متوسط
بیودیزل از جلبک‌ها	تحقیق و توسعه	متوسط	کم
تولید میکروبی هیدروژن	تحقیق	در صورت اقتصادی بودن: زیاد	کم

## برق آبی و انرژی دریایی

برق آبی در حال حاضر حدود ۱۶ درصد مصرف جهانی برق را تأمین می‌کند و در نتیجه یک فناوری تجاری با سابقه طولانی است. ظرفیت‌های عمده‌ای که هنوز به کار گرفته نشده‌اند در چین،

آمریکای جنوبی (حوزه آمازون) و آفریقای مرکزی (رود کنگو) وجود دارند، هرچند که تقریباً همه آنان، در صورتی که به کار گرفته شوند، می‌توانند آثار شدید زیست‌محیطی و اجتماعی به همراه داشته باشند.

نوع اصلی نیروگاه‌های آبی دارای یک مخزن است و در نتیجه می‌تواند برای پاسخگویی به اوج بار، افزایش سریع عرضه توان وقتی که یک نیروگاه دیگر دچار کاهش یا توقف تولید می‌شود و جبران سریع نوسانات منابع تجدیدپذیر فاقد ذخیره‌ساز به کار گرفته شود. بنابراین، نیروگاه آبی مکمل ایده آلی برای نیروگاه‌های بادی و فتوولتائیک است. اگر مخزن به اندازه کافی بزرگ باشد می‌تواند به صورت فصلی ذخیره سازی انرژی فراهم سازد.

نوع دیگر سامانه‌های برق‌ابی، نیروگاه‌های تلمبه - ذخیره‌ای است. این قبیل نیروگاه‌ها دارای دو مخزن ذخیره با اختلاف ارتفاع زیاد هستند. در زمان‌هایی که تقاضا کم و در نتیجه برق ارزان است، آب از مخزن پایینی به مخزن بالایی پمپ می‌شود. وقتی که تقاضا در اوج خود قرار دارد یا کمبودی در عرضه توان به وجود آمده است، الکتریسیته گران‌تر است و در نتیجه آب از مخزن بالایی آزاد شده و در مسیر خود به طرف مخزن پایینی، توان الکتریکی تولید می‌کند. اگر نیروگاه تلمبه - ذخیره‌ای فقط برای جبران نوسانات عرضه و تقاضا در بازه‌های زمانی چندساعته یا چندروزه مورد نیاز باشد، مخزن ذخیره می‌تواند بسیار کوچک باشد و در نتیجه سایت‌های بالقوه مناسب زیادی، در مقایسه با سدهای بزرگ، در دسترس خواهند بود.

سایر انواع نیروگاه‌های آبی دارای مخزن نیستند و شامل سامانه‌های جریان‌ی می‌شوند. توربین‌های این نیروگاه‌ها صرفاً در یک رودخانه یا در کانال‌هایی که به منظور انحراف بخشی از آب یک رودخانه ساخته شده‌اند، فرورفته‌اند. این نیروگاه‌ها معمولاً اندازه کوچکی داشته و برای تولید توان در حد چند کیلووات مناسب‌اند.

نیروگاه‌های دریایی دارای چندین شکل هستند. وضعیت بلوغ فنی، پتانسیل و آثار زیست‌محیطی این نیروگاه‌ها در جدول ۲-۳ جمع‌بندی شده است. تنها نیروگاه‌های جزر و مدی متعارف به طور کامل تجاری شده‌اند، هرچند که این نوع نیروگاه‌ها محدود به مصب رودخانه‌هایی هستند که دارای جزر و مد بالایی هستند، مانند بریتانی<sup>۱</sup> (فرانسه) که در آن نیروگاه لارنس<sup>۲</sup> با ظرفیت ۲۴۰

1 Brittany  
2 La Rance

مگاوات از سال ۱۹۶۶ در حال فعالیت است؛ ساحل غربی کره جنوبی، که نیروگاه دریاچه سیهوا<sup>۱</sup> با ظرفیت ۲۵۴ مگاوات در سال ۲۰۱۱ افتتاح شد؛ مصب سِورن<sup>۲</sup> در انگلستان، جایی که یک پروژه عظیم برای بهره‌گیری از جزر و مد بسیار بالای آن (تا ۱۴ متر) پیشنهاد شده است؛ خلیج فاندی<sup>۳</sup> در شرق کانادا؛ خلیج کامبی (یا خامبات<sup>۴</sup>) در ساحل غربی هندوستان؛ و ساحل شمال غربی استرالیا که فاصله زیادی تا مراکز جمعیتی دارد.

جدول ۲-۳- انواع نیروگاه‌های دریایی

فناوری	وضعیت	پتانسیل	آثار زیست محیطی
مخزن جزر و مدی	تجاری	از نظر جغرافیایی محدود	زیاد
جریان‌های اقیانوسی و جزر و مدی	آزمایشی	از نظر جغرافیایی محدود	کم
امواج (چندین نوع)	آزمایشی	متوسط تا بالا	کم
تبدیل انرژی گرمایی اقیانوسی	تحقیق و توسعه	از نظر جغرافیایی محدود	کم

سامانه‌های جریان‌های اقیانوسی و جزر و مدی توربین‌های زیر آبی دارند که در مسیر جریان‌های پرسرعت آب قرار گرفته و دارای سد نیستند. جریان‌های پرسرعت معمولاً در مصب‌ها، تنگه‌ها و دماغه‌ها شکل می‌گیرند. سرعت آب عاملی بسیار مهم است، چرا که شبیه توان بادی، توان آبی نیز با توان سوم سرعت آب متناسب است. هرچند سرعت آب معمولاً بسیار کمتر از سرعت باد است، اما چگالی آب بسیار بالاتر است و توان تولیدی با چگالی سیال متناسب است. اسکاتلند دارای پتانسیل زیادی در این زمینه بوده و با دارا بودن چندین نیروگاه اینچینی، که به صورت آزمایشی در حال فعالیتند، در جهان پیشروست. یک منبع احتمالی دیگر، جریان عظیم کوروشیو<sup>۵</sup> است که از ساحل شرقی

1 Sihwa Lake  
 2 Severn Estuary  
 3 Bay of Fundy  
 4 Gulf of Camboy (or Khambhat)  
 5 Kuroshio Current

تایوان به طرف ژاپن حرکت می‌کند. این جریان دارای پتانسیل بسیار بالایی بوده و یک نیروگاه آزمایشی اولیه با ظرفیت ۳۰ مگاوات در تایوان در دست برنامه ریزی است.

توان امواج، در مقایسه با نیروگاه‌های معمول جزر و مدی یا جریان‌های اقیانوسی و جزر و مدی، دارای محدودیت جغرافیایی کمتری است. قوی‌ترین چگالی‌های امواج در مناطق ساحلی شمال غرب اروپا، غرب کانادا، آلاسکا، جنوب آمریکای جنوبی و جنوب استرالیا واقع شده‌اند. در حال حاضر انواع زیادی از مبدل‌ها در مرحله آزمایش در اطراف و اکناف جهان هستند، به عنوان مثال، یک مبدل که به عنوان یک اردک شناور سرچناب<sup>۱</sup> معرفی شده است؛ یکی دیگر که شبیه رشته‌ای از سوسیس است؛ یکی دیگر که مزرعه‌ای از گیاهان که به کف اقیانوس متصل شده و عقب و جلو می‌روند را تقلید می‌کند؛ و یکی دیگر که به شکل یک مخزن برقی بر روی یک صخره ساحلی است که امواج از طریق بلوک‌های بتنی زیر آب به پایین صخره هدایت می‌شوند. هنوز معلوم نیست که کدام یک از این فناوری‌ها عنوان مقاوم‌ترین فناوری در مقابل شرایط سخت دریایی و نیز اقتصادی-ترین آن‌ها را به خود اختصاص خواهد داد. در اغلب موارد، حرکت ایجاد شده توسط امواج به الکتریسیته تبدیل می‌شود.

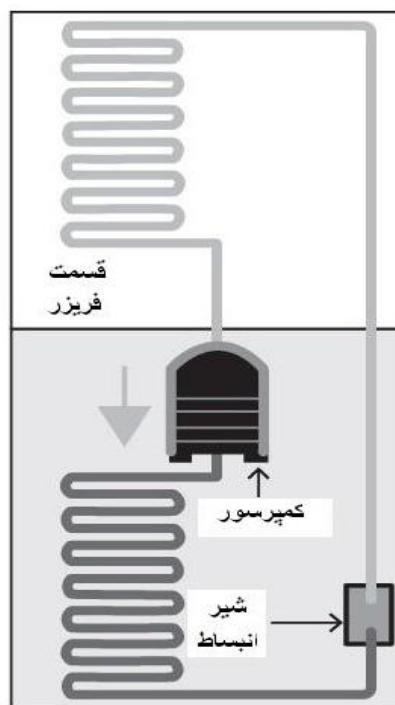
تبدیل انرژی گرمایی اقیانوسی<sup>۲</sup> (OTEC) از یک پمپ گرمایی (رک یادداشت ۲-۲)، که توسط اختلاف جزئی دما بین آب گرم سطحی در یک منطقه استوایی و آب سرد اعماق دریا تغذیه می‌شود، استفاده می‌کند. از آنجایی که نواحی بسیار کمی چنین شرایطی را دارند، پتانسیل این روش در حال حاضر بسیار محدود به نظر می‌رسد. هاوایی یکی از معدود مناطقی است که ممکن است این روش در آن عملی باشد و طرح‌هایی برای استفاده آزمایشی از این روش در آنجا وجود دارد. گرمای موجود در آب‌های سطحی برای تبخیر یک سیال، مانند آمونیاک، که یک توربین را به منظور تولید الکتریسیته به گردش درمی‌آورد، مورد استفاده قرار می‌گیرد. از آنجایی که OTEC یک منبع انرژی با کیفیت پایین (دمای پایین) را به یک منبع انرژی با کیفیت بالا (الکتریسیته) تبدیل می‌کند، بازده حرارتی آن بسیار پایین (معمولاً کمتر از ۵ درصد) است و این موضوع می‌تواند موجب غیراقتصادی بودن این روش شود. در عین حال، تولید توان به صورت پیوسته بوده و نوسانات زیادی نخواهد داشت.

1 Nodding Floating Duck  
2 Ocean Thermal Energy Conversion

از آنجایی که همه منابع دریایی یا از نظر جغرافیایی محدود هستند یا هنوز در مرحله آزمایشی قرار دارند، این منابع نقش عمده‌ای در سناریوهای آینده انرژی جهانی، که در فصل ۳ مورد بحث قرار گرفته‌اند، برعهده ندارند. در عین حال، در برخی از مناطق خاص ممکن است این روش‌ها دارای اهمیت باشند. دهه آینده پتانسیل هر یک از این روش‌ها را آشکار خواهد ساخت.

#### یادداشت ۲-۲- پمپ گرمایی

در اینجا یک شرح ساده، که با یک پمپ گرمایی کاملاً شناخته شده، یعنی یخچال، آغاز می‌شود عرضه شده است. این پمپ یک سیال موسوم به سردکننده، که در درجه حرارت‌های پایین به جوش می‌آید، را به گردش درمی‌آورد. این خاصیت به سیال سردکننده اجازه می‌دهد که گرما را از داخل یخچال جذب کرده و آن را از طریق لوله‌های پشت یخچال به خارج تخلیه کند. سیال سردکننده سپس به داخل یخچال بازگردانده می‌شود تا باز هم گرما را جذب و به خارج تخلیه کند. این روش کار یک یخچال است (شکل ۲-۷).



شکل ۲-۷- نحوه کار یک یخچال: سیال در نیمه پایینی نمودار در حالت گازی و در نیمه بالایی آن در حالت مایع است. ناحیه سایه‌خورده، که نیمه پایینی شکل را تشکیل می‌دهد، در خارج یخچال واقع شده است.

سیال سردکننده به صورت مایع و تحت فشار پایین به داخل یخچال تزریق می‌شود، این سیال از داخل لوله‌های یک مبدل حرارتی عبور می‌کند و گرمای موجود در داخل یخچال را جذب می‌کند. این گرما موجب تبخیر سیال خنک‌کننده می‌شود، بدون آنکه درجه حرارت آن را تغییر دهد، همان‌طور که آب جوش در یک دمای ثابت باقی می‌ماند. سیال سردکننده سپس توسط یک پمپ، که به آن کمپرسور گفته می‌شود، فشرده می‌شود. این کار موجب افزایش دمای سیال می‌شود. پس از آن، سیال خنک‌کننده از داخل لوله‌های مارپیچی که در خارج یخچال، در پشت آن یا در زیر آن، قرار دارند عبور می‌کند. از آنجایی که سیال خنک‌کننده گرم‌تر از دمای اتاق است، گرمای خود را به فضای اتاق تخلیه می‌کند. همچنان‌که سیال خنک‌کننده گرمای خود را از دست می‌دهد، مجدداً تبدیل به مایع شده و همچنان تحت فشار کمپرسور باقی می‌ماند. سیال خنک‌کننده سپس از طریق یک شیر انبساط، که یک سوراخ کوچک است، دوباره به داخل یخچال پمپ می‌شود. در سوی دیگر سوراخ کوچک، فشار پایین است، در نتیجه سیال خنک‌کننده به نقطه جوش رسیده و تبخیر می‌شود، گرما را به خود جذب می‌کند و چرخه بالا تکرار می‌شود. انرژی خارجی بایستی به شکل الکتریسیته به پمپ حرارتی تحویل داده شود تا کمپرسور را به کار وادارد، اما این جریان انرژی بسیار کمتر از مقدار انرژی‌ای است که از داخل یخچال به بیرون پمپ می‌شود. یک دستگاه تهویه مطبوع نیز یک پمپ حرارتی است که گرمای داخل یک اتاق را به خارج ساختمان منتقل می‌کند. در چرخه معکوس کاری، این دستگاه گرما را از خارج به داخل منتقل می‌کند.

### انرژی زمین‌گرمایی

در حدود ۶-۷ متر زیر سطح زمین، درجه حرارت در طول روزها و فصل‌ها تقریباً ثابت است. بنابراین از زمین می‌توان به عنوان یک منبع پایدار درجه حرارت برای گرمایش و سرمایش مرکزی ساختمان‌ها توسط یک پمپ حرارتی استفاده کرد. لوله‌ها در نزدیکی ساختمان‌ها دفن می‌شوند تا زمین به عمق ۶-۷ متر را بتوان به عنوان یک منبع گرما در زمستان و جذب‌کننده گرما در تابستان مورد استفاده قرار داد. هوا واسطه‌ای است که گرما یا سرما را از طریق لوله‌ها منتقل می‌کند. این سیستم‌ها تحت عنوان پمپ‌های حرارتی زمین‌مبنا<sup>۱</sup> یا پمپ‌های حرارتی زمین‌گرمایی<sup>۲</sup> شناخته می‌شوند، هرچند

1 Ground Source Heat Pump  
2 Geothermal Heat Pump

که گرما نه از اعماق زمین بلکه از خورشید سرچشمه می‌گیرد. این سیستم‌ها تجاری بوده و معمولاً برای ساختمان‌های بزرگ اقتصادی‌تر از ساختمان‌های کوچک هستند.

یک نوع کاملاً متفاوت سیستم زمین‌گرمایی، استفاده از گرمای زمین در درجه حرارت‌های بالا به منظور تولید الکتریسیته است. توان متعارف زمین‌گرمایی در مناطق آتشفشانی، که بخار آب و یا آب داغ از اعماق زمین به سطح آن می‌آیند، وجود دارد. بخار آب یک توربین را با هدف تولید الکتریسیته به گردش در می‌آورد. پتانسیل متعارف زمین‌گرمایی یک فناوری تجاری است، هرچند که به نواحی آتشفشانی محدود می‌شود. این روش سهم بسیار بزرگی از مصرف انرژی الکتریکی را در ایسلند (۲۵ درصد)، السالوادور (۲۲ درصد)، کنیا (۱۷ درصد)، فیلیپین (۱۷ درصد) و کاستاریکا (۱۳ درصد) تأمین می‌کند. از نظر مقدار مطلق، آمریکا بیشترین برق زمین‌گرمایی را در سال ۲۰۰۹ تولید کرد؛ ۱۶/۶ تراوات ساعت (TWh) از یک ظرفیت نصب شده ۳ گیگاوات. در حدود ۱۱ گیگاوات ظرفیت نصب شده کل جهان است [۲۸]. در اندونزی و ژاپن ظرفیت‌های بهره‌برداری نشده چشمگیری وجود دارد.

یک پتانسیل بسیار بزرگتر را می‌توان از طریق استخراج گرما از تخته‌سنگ‌های داغ گرانی در چندین کیلومتری عمق زمین به دست آورد. این کار مستلزم حفر دو چاه عمیق و شکافتن تخته سنگ-ها، ارسال آب به پایین از طریق یکی از چاه‌ها به منظور جذب گرما و بازگرداندن آن به صورت بخار به سطح زمین از طریق چاه دیگر برای تولید برق است. این فرایند تحت عنوان توان زمین‌گرمایی غنی شده<sup>۱</sup>، مهندسی شده<sup>۲</sup> یا سنگ داغ<sup>۳</sup> شناخته می‌شود. اغلب قاره‌ها دارای نواحی زیرزمینی بسیار گسترده با تخته‌سنگ‌های گرانی در درجه حرارت‌های ۱۵۰-۲۵۰ درجه سانتی‌گراد هستند. بخش عمده این گرما ناشی از زوال تدریجی مواد رادیو اکتیو موجود در تخته‌سنگ‌هاست. در صورتی که یک لایه عایق‌کننده در بالای سنگ‌های گرانی موجود باشد، درجه حرارت به تدریج و در طی میلیون‌ها سال افزایش می‌یابد.

در حال حاضر تنها تعداد کمی نیروگاه‌های آزمایشی در مقیاس کوچک (۳-۱ مگاوات الکتریکی [۲۹]) در جهان وجود دارند: در فرانسه، آلمان و استرالیا. این فناوری احتمالاً به کندی توسعه خواهد یافت، چرا که هزینه‌های حفاری بسیار بالا بوده و فرایند توسعه از نقطه نظر اکتشاف و ایجاد

1 Enhanced Geothermal Power

2 Engineered Geothermal Power

3 Hot Rock Geothermal Power

مدار آب نیز دارای ریسک زیاد است. هرچند توان زمین گرمایی، اگر به دقت سخن گوئیم، تجدیدپذیر نیست، اما معمولاً آن را تجدیدپذیر در نظر می‌گیرند، چرا که گرمای استخراج شده در مقایسه با اندازه بسیار بزرگ منابع گرمایی بسیار کوچک است.

### ذخیره‌سازی الکتریسیته تجدیدپذیر

ذخیره‌سازی انرژی خورشیدی به صورت گرما، ساده‌ترین و ارزان‌ترین روش ذخیره‌سازی است، همان‌طور که در بخش "انرژی خورشیدی" قبلاً توضیح داده شد. سوخت‌های مایع و گازی، که انرژی را در پیوندهای شیمیایی ذخیره می‌کنند، در بحث حمل و نقل در فصل ۷، "وسایل نقلیه و سوخت‌های بهبودیافته"، مورد بحث قرار گرفته‌اند. در بخش حاضر، توجه خود را بر ذخیره‌سازی الکتریسیته، که نوعی از انرژی با درجه کیفی بالاست، متمرکز می‌کنیم. در یک آینده سرشار از انرژی‌های تجدیدپذیر، الکتریسیته نقش مهم‌تری را در مقایسه با امروز بر عهده خواهد داشت، چرا که در حال حاضر الکتریسیته عملی‌ترین راه برای فراهم کردن حمل و نقل شهری و گرمای با درجه حرارت بالا از منابع تجدیدپذیر است. در عین حال، قبل از آن که به بحث درباره چگونگی ذخیره‌سازی الکتریسیته و نیز اجتناب از هزینه‌های ذخیره‌سازی (در مواردی که امکان‌پذیر باشد) بپردازیم، موضوع نوسانات منابع انرژی تجدیدپذیر، که ضرورت استفاده از ظرفیت ذخیره‌سازی بیشتر را موجب می‌شوند، مورد بررسی قرار می‌دهیم.

اغلب منابع انرژی تجدیدپذیر مستقیماً یا غیرمستقیم از خورشید سرچشمه می‌گیرند. در حالی که تغییرات درخشندگی خورشید جزئی هستند، تشعشعات خورشیدی وارده بر یک نقطه از سطح زمین می‌تواند از یک کیلووات ساعت بر مترمربع در ظهر در برخی از مناطق تا صفر در طول شب تغییر کند. در اثر عبور ابرها نیز تشعشعات خورشیدی می‌توانند به‌طور ناگهانی در طول روز و در یک نقطه معین تغییر کنند. علاوه بر این، به دلیل انحراف محور چرخش زمین به دور خود و عوامل دیگری از قبیل باران‌های موسمی، میزان تشعشع خورشید در طول فصل‌ها نیز متغیر است. از آنجایی که انرژی بادی شکل غیرمستقیمی از انرژی خورشیدی است، این انرژی با شدت کمتری، در مقایسه با تشعشع خورشیدی، در یک محل معین و در مقیاس زمانی دقیقه و ساعت تغییر می‌کند. در عین حال، انرژی بادی به شدت تحت تأثیر الگوهای متغیر آب و هوایی، که معمولاً دارای مقیاس زمانی ۷-۵ روزه

هستند، قرار دارد. انرژی بادی ممکن است برحسب فصل و سال نیز تغییر کند. از آنجایی که امواج، به جز سونامی‌ها، توسط باد ایجاد می‌شوند، تغییرات سرعت آن‌ها در مقایسه با باد کمتر است. گرمای خورشیدی ذخیره شده درون چندمتر بالای پوسته زمین بر مبنای یک مقیاس زمانی فصلی تغییر می‌کند که آن را برای گرمایش و سرمایش ساختمان‌ها با استفاده از یک پمپ حرارتی الکتریکی مناسب می‌سازد. گرمای زمین گرمایی در تخته‌سنگ‌های واقع در اعماق چند کیلومتری زمین (که عمدتاً به دلیل زوال مواد رادیو اکتیو گرم می‌شوند و نه در اثر انرژی ذخیره شده خورشیدی) در اثر کاهش تدریجی منابع گرما به دلیل تولید برق زمین گرمایی تنها در یک نقطه معین و در مقیاس چندین ده‌ساله تغییر می‌کند. برخی از انواع زیست‌توده تنها به صورت فصلی در دسترس هستند و ذخیره‌سازی آن‌ها برای باقیمانده سال می‌تواند هزینه‌بر باشد.

این تغییرات حکم می‌کند که یا ذخیره‌سازی انرژی یا سیستم‌های پشتیبان انعطاف‌پذیر و یا ترکیبی از این دو باید نقش پررنگ‌تری را در سیستم‌های برق تجدیدپذیر، در مقایسه با سیستم‌های متعارف، بر عهده بگیرند. از آنجایی که ذخیره‌سازی انرژی الکتریکی در باتری‌ها در حال حاضر گران‌قیمت است، معقول است که اولویت را به کاهش نیاز به باتری، در جاهایی که امکان داشته باشد، بدهیم.

### کاهش نیاز به باتری

نخستین روش برای کاهش نیاز به باتری، توزیع جغرافیایی جمع‌آورنده‌های انرژی تجدیدپذیر و تغذیه الکتریسیته تولید شده توسط آن‌ها به شبکه برق است. این در واقع یک ضرورت عقلانی است چرا که منابع انرژی تجدیدپذیر بسیار گسترده‌تر از منابع انرژی فسیلی یا هسته‌ای هستند. توزیع جغرافیایی نیروگاه‌های بزرگ خورشیدی و بادی موجب کاسته‌شدن از نوسانات توان، در مقایسه با آنچه که در یک سایت متمرکز دیده می‌شود، در مقیاس زمانی دقیقه و ساعت می‌شود [۳۰].

دومین روش برای کاستن از نیاز به ذخیره‌سازهای گران‌قیمت الکتریکی، بهبود بخشیدن بیشتر به روش‌های پیش‌بینی آب و هوایی و مدل‌های آن‌هاست. تا همین‌جا نیز پیشرفت‌های چشمگیری در طی دهه‌های اخیر در این زمینه‌ها با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای و مدل‌های پیچیده کامپیوتری حاصل شده است [۳۱]. در نتیجه، سرعت باد را می‌توان با دقت بسیار بالایی از ساعت به ساعت و با تقریب قابل قبولی از ۲۴ ساعت قبل پیش‌بینی کرد. بهبود روش‌های پیش‌بینی، نیاز به نیروگاه‌های بار

پایه را کاهش داده و استفاده از نیروگاه‌های سریع و انعطاف‌پذیر اوج بار برای جبران کمبودهایی که گاهگاه در عرضه توان خورشیدی و بادی به وجود می‌آیند را ساده‌تر می‌سازد.

در حقیقت، نیروگاه‌های انعطاف‌پذیر، به شکل توربین‌های گازی یا ژنراتورهای دیزلی، همراه با یک منبع قابل اطمینان سوخت، می‌توانند به عنوان ارزان‌ترین روش ذخیره‌سازی انرژی برای مقابله با نوسانات عرضه توان الکتریکی به حساب آیند. ژنراتورهای انعطاف‌پذیر را می‌توان با سرعت راه-اندازی کرد، هزینه‌های سرمایه‌گذاری پایینی دارند، و مشروط بر آن‌که تنها گاهگاهی و فقط زمانی که واقعاً مورد نیاز هستند به کار گرفته شوند، هزینه‌های بهره‌برداری پایینی نیز دارند، حتی در زمانی که قیمت سوخت بسیار بالاست. بنابراین، وظیفه این نیروگاه‌ها تضمین قابلیت اطمینان با هزینه‌ای پایین است. برخی شبیه‌سازی‌های کامپیوتری شبکه‌های بزرگ قدرت با سطح نفوذ بالای منابع انرژی تجدیدپذیر، نقش چنین ژنراتورهای انعطاف‌پذیری در جبران نوسانات توان خورشیدی و بادی را حیاتی ارزیابی نموده‌اند (رک فصل ۳).

به منظور ذخیره‌سازی کارآمد انواع انرژی با کیفیت بالا، از قبیل آنچه که برای انرژی الکتریکی و مکانیکی مورد نیاز است، نیاز به تلفات کم در زمان ذخیره شدن (که به آن تلفات ماندگاری<sup>۱</sup> گفته می‌شود) و تلفات کم در زمان انتقال به و انتقال از ذخیره‌ساز (که به آن بازده چرخه<sup>۲</sup> گفته می‌شود) هست. بازده چرخه معمولاً در یک مقیاس صفر تا یک اندازه‌گیری می‌شود. بازده چرخه معادل صفر بدین معنی است که تمام انرژی منتقل شده به ذخیره‌ساز از دست رفته است و بازده چرخه معادل یک، وضعیتی ایده‌آل اما غیر عملی، است که در آن هیچ انرژی‌ای در زمان انتقال از دست نمی‌رود (بازده چرخه وقتی که انرژی‌های با کیفیت پایین، مانند گرما در درجه‌حرارت پایین، ذخیره می‌شوند اهمیت کمتری دارد). ذخیره‌سازی انرژی الکتریکی از طریق تبدیل آن به گرما روش خوبی نیست، چرا که تبدیل دوباره گرما به الکتریسیته معمولاً دارای بازده کافی نیست. ذخیره‌سازی هوای فشرده نیز دارای بازده کافی نیست، همان‌طور که در جدول ۲-۴ نشان داده شده است، چرا که مقدار زیادی از انرژی در اثر فشرده‌سازی هوا به صورت گرما تلف می‌شود. در جدول مزبور فرض شده است که هیدروژن ( $H_2$ ) از طریق فرایند الکترولیز تولید شده است که این فرایند نیز دارای بازده چندانی نیست. در عین حال، فرایندهای جایگزین در دست بررسی و توسعه هستند.

1 Standing Losses  
2 Cycle Efficiency

جدول ۲-۴- خواص روش های مختلف ذخیره سازی انرژی الکتریکی و مکانیکی [۳۲]

بازده چرخه	چگالی انرژی		دوره ذخیره سازی	وضعیت بلوغ	روش ذخیره سازی
	MJ/m <sup>3</sup>	KJ/Kg			
<b>مکانیکی</b>					
۰/۶۵-۰/۸	پایین؛ ۱	پایین؛ ۱	سدهای بزرگ ذخیره- سازي درازمدت فراهم می کنند (فصلی یا طولانی تر)؛ سدهای کوچکتر برای ذخیره- سازي کوتاه مدت	تجاری	سد مخزنی و تلمبه ذخیره ای آبی، ارتفاع ۱۰۰ متر
۰/۹	۲۴۰-۹۵۰	۳۰-۱۲۰	چند دقیقه	توزیع اولیه	چرخ طیار- فولاد
۰/۹۵	>۱۰۰	>۲۰۰	چند دقیقه	آزمایشی	چرخ طیار- فیبرهای کربنی پیشرفته
۰/۴-۰/۵	~۱۵	-	درازمدت	توزیع اولیه	هوای فشرده
<b>الکتروشیمیایی</b>					
۰/۷۵	۱۰۰-۹۰۰	۴۰-۱۴۰	تلفات ماندگاری کم؛ چرخه عمر کوتاه	تجاری	باتری سربی-اسیدی قابل شارژ
۰/۷-۰/۸	-	-	تلفات ماندگاری کم؛ چرخه عمر متوسط	آزمایشی	ابرباتری-باتری سربی اسیدی قابل شارژ با خازن
۰/۶	۳۵۰	۳۵۰	قابلیت اطمینان بالا؛ تلفات ماندگاری کم	تجاری	باتری نیکل-کادمیوم قابل شارژ
۰/۵	۱۰۸۰	۲۵۰	-	تجاری	باتری هیبرید نیکل-متال قابل شارژ
۰/۷	۱۴۰۰	۷۲۰	-	تجاری	باتری لیتیوم-یون قابل شارژ
۰/۶۵-۰/۸	<۲۱۶	۲۵۰	بدون تلفات ماندگاری، چرخه عمر طولانی	آزمایشی	باتری زینک-بروم قابل شارژ، انرژی در الکترولیت ذخیره می شود

۰/۴۵	-	>۱۳۵۰	-	آزمایشی+ توزیع اولیه	باتری زینک-هوا قابل شارژ
۰/۸	۹۰-۱۴۴	۷۲-۱۰۸	بدون تلفات ماندگاری	توزیع اولیه	باتری وانادیوم-رداکس قابل شارژ، انرژی در الکترولیت ذخیره می‌شود
توجه: منابع مختلف، برآوردهای بسیار متفاوتی برای چگالی انرژی ارائه می‌کنند.					

ذخیره‌سازهای برقی نوعی از انرژی با کیفیت بالا را ذخیره می‌کنند (انرژی پتانسیل آب به دلیل ارتفاع آن در بالای نیروگاه) که آماده تبدیل سریع به انواع دیگر انرژی با کیفیت بالا (الکتریسته) و با بازده بالا است (رک "برق آبی و انرژی دریایی" در بالا).

## باتری‌ها

باتری‌های سربی-اسیدی متعارف دارای چگالی انرژی پایین، بازده چرخه متوسط، تلفات ماندگاری چشمگیر و عمر کوتاه هستند. یک نمونه بهبود یافته، ابرباتری است که توسط سازمان تحقیقات علمی و صنعتی بازار مشترک<sup>۱</sup> (CSIRO) در استرالیا توسعه یافته و در چندین محل در دست آزمایش است. این نوع باتری دارای خازن است که اجازه می‌دهد شارژ و تخلیه باتری در توان-های بالاتری رخ دهد و در نتیجه دارای طول عمر بیشتری است.

در باتری‌های موسوم به جریان<sup>۲</sup> وانادیوم-رداکس و زینک-بروم انرژی در الکترولیت ذخیره می‌شود و در نتیجه مقدار انرژی ذخیره شده را می‌توان به سادگی با افزایش اندازه مخزن و افزودن الکترولیت بیشتر به آن افزایش داد. در نتیجه، هزینه هر کیلووات ساعت انرژی با افزایش ظرفیت ذخیره‌سازی کاهش می‌یابد. از آنجایی که این باتری‌ها دارای بازده چرخه بالا و چگالی انرژی پایین هستند، برای ذخیره‌سازی الکتریسته به صورت ایستگاهی و در مقیاس شبکه قدرت مناسبند.

همچنان که بازار باتری‌ها در حال گسترش است، قیمت آن‌ها نیز به تدریج در حال کاهش است. در همین حال، قیمت برق خریداری شده از شبکه نیز در بسیاری از مناطق در حال افزایش است

1 Common Wealth Scientific and Industrial Research Organisation  
2 Flow Batteries

که این افزایش عمدتاً به دلیل افزایش تقاضا برای سیستم‌های تهویه مطبوع و در نتیجه ارتقاء وضعیت سیستم‌های توزیع و افزایش تعداد ژنراتورهای اوج بار است. گرچه که در حال حاضر تعداد کمی از شرکت‌های برق سامانه‌های برق فتوولتائیک مجهز به باتری عرضه می‌کنند، اما اضافه کردن باتری به سامانه‌های خورشیدی در منازل مسکونی مناطق شهری هنوز از نظر اقتصادی مقرون به صرفه نیست [۳۳]. در عین حال، اگر قیمت واقعی باتری‌ها با احتساب صرفه جویی ناشی از اجتناب در افزایش ظرفیت شبکه‌های توزیع محاسبه شود، تعداد بیشتری از مصرف‌کنندگان اقدام به خرید باتری خواهند کرد [۳۴].

### نتیجه‌گیری

خورشید می‌تواند به‌طور مستقیم و غیرمستقیم چندین برابر تقاضای فعلی انرژی جوامع صنعتی را، بدون تأثیر چندانی بر تولید محصولات غذایی، تأمین کند. فناوری‌های مورد نیاز برای تبدیل این جریان‌های سالم انرژی به انرژی قابل استفاده برای یک جامعه صنعتی (یا فراصنعتی) وجود دارند. برق آبی و بادی، استفاده غیرفعال از خورشید در منازل، آبگرمکن خورشیدی، مازول‌های خورشیدی فتوولتائیک، برخی از انواع انرژی زیستی و پمپ‌های حرارتی زمین‌مبنا، همراه با مجموعه وسیعی از فناوری‌ها و تمهیدات مربوط به بهره‌وری انرژی، به صورت تجاری و در مقیاس وسیعی در دسترس هستند. یک نوع سامانه CST با ذخیره‌ساز گرمایی و چندین نوع از سامانه‌های انرژی زیستی به صورت تجاری و در مقیاس محدودتری در دسترس هستند. با در نظر گرفتن همه این‌ها، دلایل کافی برای اقدام به یک انتقال سریع سامانه انرژی به سامانه‌ای که عمدتاً مبتنی بر استفاده از انرژی‌های پایدار، یا به عبارت دیگر، استفاده کارآمد از منابع انرژی تجدیدپذیر باشد، وجود دارد. جنبه مربوط عرضه انرژی در "گذار بزرگ" در حال حاضر از نظر فنی امکان‌پذیر است.

در حالی که این گذار در حال وقوع است، سایر منابع انرژی تجدیدپذیر و فناوری‌های پشتیبان آن‌ها نیز از مراحل آزمایشی و توزیع اولیه به بلوغ تجاری در مقیاس وسیع خواهند رسید. این فناوری‌ها احتمالاً شامل چندین نوع فناوری‌های انرژی امواج، انرژی غنی شده/مهندسی شده زمین گرمایی، انواع بیشتری از انرژی‌های زیستی که از نظر زیست‌محیطی بی‌خطر هستند، روش‌های جدید و بهبودیافته ذخیره‌سازی انرژی و احتمالاً روش‌های گرمایش و سرمایش خورشیدی ساختمان‌ها خواهند بود.

اگر قرار باشد کل تمدن بشری به یک سامانهٔ صددرصد تجدیدپذیر روی بیاورد این تنوع فناوری‌ها مورد نیاز خواهد بود چرا که منابع انرژی تجدیدپذیر، مثل سوخت‌های فسیلی و اورانیوم، به صورت یکنواختی در روی کرهٔ زمین توزیع نشده‌اند. مناطق مختلف به ترکیب‌های مختلفی از انرژی‌های تجدیدپذیر نیاز خواهند داشت. برخی از مناطق نیاز به واردات انرژی تجدیدپذیر خواهند داشت، در حالی که برخی دیگر اقدام به صادرات آن خواهند کرد [۳۵].

جزئیات بیشتری از فناوری‌های مربوط به عرضه و مصرف انرژی در فصل‌های ۴ تا ۷ ارائه شده‌اند. اما قبل از آن، فصل ۳ به بررسی سناریوهای مربوط به یک آیندهٔ انرژی پایدار می‌پردازد. این سناریوها بر مبنای فناوری‌هایی که در فصل حاضر ارائه شده و از نظر تجاری، چه در مقیاس وسیع و چه در مقیاس محدودتر، در دسترس هستند استوارند.

### منابع و یادداشت‌های فصل

- 1 Thomas Alva Edison in conversation with Henry Ford and Harvey Firestone (1931), quoted as a recollection of James Newton (1987) *Uncommon Friends: Life with Thomas Edison, Henry Ford, Harvey Firestone, Alexis Carrel & Charles Lindbergh*, Harcourt Inc, Orlando FL, p 31.
- 2 SBC Energy Institute (2013) *Carbon Capture and Storage*, Factbook, January 2013 update, Global CCS Institute, <<http://cdn.globalccsinstitute.com/publications/factbook-bringing-carbon-capture-and-storage-market>>.
- 3 Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation (CSIRO) (2012) *Assessing Post-Combustion Capture for Coal-fired Power stations in Asia-Pacific Partnership Countries*, Final report to Department of Resources, Energy and Tourism, EP116217.
- 4 International Energy Agency (IEA) (2010) *Energy Technology Perspectives 2010*, OECD/IEA, Paris, Fig ES.1.
- 5 Koomey, J and Hultman, NE (2007) A reactor-level analysis of busbar costs for US nuclear plants, 1970–2005, *Energy Policy*, 35: 5630–42.
- 6 United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC) (2008) *Identifying, analysing and assessing existing and potential new financing resources and relevant vehicles to support the development, deployment, diffusion and transfer of environmentally sound technologies*, Interim report by the chair of the Expert Group on Technology Transfer, FCCC/SB/2008/ INF.7, <<http://unfccc.int/resource/docs/2008/sb/eng/inf07.pdf>>.

- 7 Foxon, TJ, Gross, R, Chase, A et al. (2005) UK innovation systems for new and renewable energy technologies: Drivers, barriers and systems failures, *Energy Policy*, 33: 2123–37.
  - 8 Sørensen, B (2011a) *Renewable Energy*, 4<sup>th</sup> ed, Academic Press, Amsterdam.
  - 9 ABARE and Geoscience Australia (2010) *Australian Energy Resource Assessment*, Chapter 10  
<[www.ga.gov.au/products/servlet/controller?event=GEOCAT\\_DETAILS&catno=70142](http://www.ga.gov.au/products/servlet/controller?event=GEOCAT_DETAILS&catno=70142)>.
  - 10 IEA-ETSAP & International Renewable Energy Agency (IRENA) (2013) *Concentrating Solar Thermal Power: Technology brief*, <[www.irena.org](http://www.irena.org)>.
  - 11 Solar Augmentation Project at Liddell Power Station (2013) EcoGeneration, January/February, <[http://ecogeneration.com.au/news/solar\\_augmentation\\_project\\_at\\_liddell\\_power\\_station/079478](http://ecogeneration.com.au/news/solar_augmentation_project_at_liddell_power_station/079478)>.
  - 12 Blakers, A (2013) Explainer: What is photovoltaic solar energy?, *The Conversation*, <<http://theconversation.com/explainer-what-is-photovoltaicsolar-energy-12924>>.
  - 13 European Photovoltaic Industry Association <[www.epia.org/home](http://www.epia.org/home)>.
- ۱۴ گزارش شده است که یک نیروگاه خورشیدی در یک شب با مهتاب کامل موفق به تولید انرژی الکتریکی (در سطحی بسیار پایین) شده است.
- 15 European Photovoltaic Industry Association <[www.epia.org/home](http://www.epia.org/home)>.
  - 16 Renewable Energy Policy Network for the 21st Century (REN21) (2013) *Renewables 2013 Global Status Report*, <[www.ren21.net/REN21Activities/GlobalStatusReport.aspx](http://www.ren21.net/REN21Activities/GlobalStatusReport.aspx)>.
  - 17 National Renewable Energy Laboratory, USA <[www.nrel.gov/csp/solarpaces/by\\_country.cfm](http://www.nrel.gov/csp/solarpaces/by_country.cfm)>.
  - 18 Sørensen, B (2011b) *A History of Energy: Northern Europe from Stone Age to the present day*, Earthscan, Abingdon, Ch 10.
  - 19 Global Wind Energy Council (GWEC) (2013) *Global Wind Statistics 2012*, GWEC, <[www.gwec.net/wp-content/uploads/2013/02/GWEC-PRstats-2012\\_english.pdf](http://www.gwec.net/wp-content/uploads/2013/02/GWEC-PRstats-2012_english.pdf)>.
  - 20 Greenpeace International & GWEC (2012) *Global Wind Energy Outlook 2012*, <[www.gwec.net/publications/global-wind-energy-outlook/global-wind-energy-outlook-2012](http://www.gwec.net/publications/global-wind-energy-outlook/global-wind-energy-outlook-2012)>.
  - 21 GWEC (2013).
  - 22 European Wind Energy Association (EWEA) (2011) *Wind in our Sails: The coming of Europe's off-shore wind energy industry*, EWEA, Brussels.
  - 23 GEA (2012) *Global Energy Assessment – Toward a Sustainable Future*, Cambridge University Press, Cambridge, UK and the International Institute for Applied Systems Analysis, Laxenburg, Austria, Ch 17.

- 24 URS Australia (2009) *Oil mallee industry development plan for Western Australia*, URS Australia Pty Ltd for Oil Mallee Association of Western Australia Inc and the Forest Products Commission, Perth.
- 25 Simpson, JA, Picchi, G, Gordon, AM et al. (2009) *Short Rotation Crops for Bioenergy Systems: Environmental benefits associated with short-rotation woody crops*, IEA Bioenergy Task 30, Rotorua.
- 26 Stuckley, CR, Schuck, SM, Sims, REH et al. (2004) *Biomass Energy Production in Australia: Status, costs and opportunities for major technologies*, A report for the Joint Venture Agroforestry Program, RIRDC Publication no 04/031, Rural Industries Research & Development Corporation, Canberra.
- 27 Presnell, K (undated) The potential use of mimosa as fuel for power generation, <[www.weeds.org.au/WoNS/mimosa/docs/awc15-14.pdf](http://www.weeds.org.au/WoNS/mimosa/docs/awc15-14.pdf)>.
- 28 IEA (2011) *Technology Roadmap: Geothermal heat and power*, OECD/IEA, Paris.
- ۲۹ در اینجا استفاده از عبارت "الکتریکی" ضروری است، چون بعضی از تاسیسات زمین‌گرمایی فقط گرما تولید می‌کنند. در الکتریسیته زمین‌گرمایی، انرژی الکتریکی تولیدی کسر کوچکی از انرژی گرمایی است.
- 30 Sinden, G (2007) Characteristics of the UK wind resource: Long-term patterns and relationship to electricity demand, *Energy Policy*, 35: 112–27; see also references cited by Delucchi, MA and Jacobson, MZ (2011) Providing all global energy with wind, water, and solar power, Part II: Reliability, system and transmission costs, and policies, *Energy Policy*, 39: 1170–90.
- 31 Foley, AM (2012) Current methods and advances in forecasting of wind power generation, *Renewable Energy*, 37: 1–8; Mellit, A and Pavan, AM (2010) A 24-h forecast of solar irradiance using artificial neural network, *Solar Energy*, 84: 807–21.
- 32 Sørensen, B (2011a), Ch 5.
- 33 Parkinson, G (2013) Battery storage: The numbers don't add up – yet, *RenewEconomy*, <<http://reneweconomy.com.au/2013/battery-storage-the-numbers-dont-add-up-yet-97438>>.
- 34 Parkinson, G (2013) Battery storage, take two: Why it should be a no-brainer, <<http://reneweconomy.com.au/2013/battery-storage-take-two-why-it-should-be-a-no-brainer-40883>>; Muldoon, D (2013) Battery storage take 4: Skinny connections to yield fat savings, <<http://reneweconomy.com.au/2013/battery-storage-take-4-skinny-connections-to-yield-fat-savings-50820>>.
- 35 Sørensen, B and Meibom, P (2000), A global renewable energy scenario, *International Journal of Global Energy Issues*, 13: 196–276.



## فصل ۳

### سناریوهای انرژی پایدار

وظیفه تو پیشگویی آینده نیست، ساختن آن است.

آنتوان دوستن اگزوپری [۱]

چه می‌شود اگر کشور یا جامعه محلی شما مبادرت به گذار به صددرصد انرژی پایدار، یعنی استفاده کارآمد از انرژی تجدیدپذیر، تا سال ۲۰۵۰ کند؟ چه فناوری‌هایی برای تبدیل و مصرف انرژی به صورت تجاری در دسترس خواهند بود؟ هزینه گذار چقدر بوده و منابع مالی آن چگونه تأمین خواهند شد؟ چه سیاست‌های دولتی‌ای، از نظر مشوق‌های اقتصادی، تأمین منابع مالی، مقررات و استانداردها، پیش‌بینی زیرساخت‌ها، تحقیق و توسعه، آموزش و ایجاد سازمان‌ها و مؤسسات جدید، برای ممکن ساختن این گذار مورد نیاز خواهند بود؟ اگر مجموعه‌ای از پاسخ‌ها برای این سؤالات انتخاب شده و تبعات آن‌ها به صورت سیستماتیک بررسی شوند، به این کار سناریوپژوهی<sup>۱</sup> گفته می‌شود.

به‌طور کلی‌تر، یک سناریو دنباله‌ای از اقدامات فرضی در آینده است. یک سناریوی صادقانه و مفید به روشنی فرضیات مورد نظر در دنباله مزبور، در این مورد بخصوص، گذار به یک آینده انرژی پایدار، را بیان کرده و آثار تغییر این فرضیات را بررسی می‌کند. در نتیجه، سناریوها به منزله پیش‌گویی آینده نیستند، بلکه تمرین اگر-آنگاه هستند. سناریوها یکی از ابتدایی‌ترین گام‌ها در فرایند ساختن آینده مورد نظر سنت اگزوپری هستند و به ما اجازه می‌دهند که نتایج احتمالی دنبال کردن یک مسیر مشخص به سوی آینده را بررسی کنیم. سناریوها ابزارهای ارزشمندی برای سنجش میزان حساسیت نتایج به فرضیات مختلف هستند. اگر بتوان متغیرها را کمی‌سازی کرد، آنگاه سناریو را می

---

1 Scenario Study

توان با استفاده از یک مدل کامپیوتری تعقیب کرد. یک سناریوی مرجع یا مقایسه‌ای می‌تواند به صورت "ادامه روند موجود"<sup>۱</sup> (BAU) انتخاب شود که در آن هیچ سیاست جدیدی وجود ندارد. سناریو‌پژوهی‌ها در رد برخی از افسانه‌هایی که علیه انرژی‌های تجدیدپذیر شایع شده‌اند مفید بوده‌اند، از جمله:

- افسانه ۱: انرژی‌های تجدیدپذیر برای تغذیه شهرها و صنایع ما بیش از حد پراکنده‌اند و چگالی انرژی آن‌ها در هر کیلومتر مربع بیش از حد پایین است.
  - افسانه ۲: انرژی‌های تجدیدپذیر نوسانی هستند و در نتیجه سطوح بالای نفوذ این انرژی‌ها در شبکه برق قادر به عرضه قابل اطمینان انرژی الکتریکی مشابه انرژی‌های فسیلی و هسته‌ای نیستند.
  - افسانه ۳: انرژی‌های تجدیدپذیر بیش از حد گرانند تا در مقیاس وسیعی به کار گرفته شوند.
- در ابتدا، اجازه دهید نگاهی به دانش به دست آمده از سناریو‌پژوهی‌ها، و از جمله شبیه‌سازی کامپیوتری ساعت‌به‌ساعت، بیندازیم و سپس ببینیم این دانش چگونه افسانه‌های بالا را رد می‌کند.

### مرور سناریو‌پژوهی‌ها

انواع متنوعی از سناریو‌پژوهی در درک ما از آینده انرژی پایدار همراه با مقادیر کم گازهای گلخانه‌ای (GHG) مشارکت دارند. این مطالعات در مورد استان‌ها/ایالت‌ها به صورت انفرادی یا جمع‌های منطقه‌ای از آن‌ها، کشورها به صورت انفرادی یا جمع‌های منطقه‌ای از آن‌ها، و کل جهان بحث می‌کنند. برخی از این سناریوها توجه خود را بر صنعت برق متمرکز می‌کنند، برخی دیگر کل بخش انرژی را در نظر می‌گیرند و تعداد کمی نیز کلیت جنبه اجتماعی-اقتصادی را مطالعه می‌کنند. برخی از سناریوها امکان‌پذیری توسعه بیشتر و به کارگیری یک فناوری خاص را بررسی می‌کنند، در حالی که دیگر سناریوها امکان تجمع مجموعه‌ای از فناوری‌های جدید و بهبود یافته را مورد آزمایش قرار می‌دهند. سناریو‌پژوهی تنها منحصر به جنبه‌های فنی نیست. بخشی از تحقیقات می‌تواند در مورد سیاست‌هایی که لازم است توسط دولت‌ها اتخاذ شود و نیز راه‌بردهایی که جوامع مختلف می‌توانند در پیش گیرند تا دولت‌های مردم را مجبور به اقدام کنند، صورت گیرد.

---

1 Business As Usual

سناریوها می‌توانند به دو گروه مدل‌های پیش‌بینی‌کننده<sup>۱</sup> و مدل‌های پس‌نگر<sup>۲</sup> تقسیم شوند. سناریوهای مدل پیش‌بینی‌کننده از وضعیت موجود شروع می‌کنند و با فرضیات گوناگونی، تغییرات افزایشی را در یک جهت مطلوب صورت می‌دهند. این مدل‌ها ممکن است فاقد یک چشم‌انداز خیلی متفاوت برای آینده طولانی‌مدت باشند. در عوض، این مدل‌ها اغلب در انتخاب‌های خود به شدت تحت تأثیر این موضوع قرار دارند که بر اساس تجربیات گذشته چه چیزی امکان‌پذیر است. به عنوان مثال می‌توان به مورد تاریخی انتقال از زیست‌توده (هیزم و سایر سوخت‌های زیستی) به زغال‌سنگ و سپس به نفت اشاره کرد. بسیاری از مدل‌های پیش‌بینی‌کننده اسیر رفتارها و بنیان‌های موجود، از جمله الگوهای مصرف، الگوهای سرمایه‌گذاری، مدل‌های تجاری، سامانه‌های مالیاتی و مقررات بازار برق، هستند و تمایل دارند تغییرات شدید را ناممکن و غیرعملی بینگارند.

برعکس، سناریوهای پس‌نگر با چشم‌اندازی از آینده، که می‌تواند با وضعیت موجود بسیار متفاوت باشد، آغاز می‌کنند. چنین چشم‌اندازی برای جبران تغییرات آب و هوایی کاملاً ضروریست. چشم‌انداز آینده‌ای که از نظر بوم‌شناختی پایدار باشد با فرضیاتی، چه با صراحت و چه تلویحی، در مورد نوعی از سامانه‌های اجتماعی و اقتصادی که می‌توانند در آینده وجود داشته باشند شروع می‌شود. به عنوان مثال، یک آینده پایدار موردنظر می‌تواند فاقد رشد جمعیت باشد، دارای میزان تثبیت‌شده یا کاهش یافته‌ای از مصرف انرژی و مواد باشد، دارای فناوری‌های به شدت بهبودیافته باشد، دارای مدل‌های تجاری جدید و ضوابط جدید برای بازار برق، و در واقع به صورت کلی برای همه بازارها، باشد، روش‌های جدیدی را برای تأمین منابع مالی ابداع کند، و دارای ساختارهای دولتی و فرایندهای حکومتی جدید باشد. یا اگر سناریوی مورد نظر محتاطانه‌تر باشد، می‌تواند بر بنیان‌های موجود و فناوری‌های پاک‌تری که در حال حاضر به صورت تجاری در دسترس هستند بنا نهاده شده و سپس قیمت‌های این فناوری‌ها در آینده، وقتی که بازار آنها توسعه می‌یابد، را پیش‌بینی کند. فرایند پس‌نگری، آنگاه، شامل بررسی روش‌های ممکن گذار از وضعیت حاضر به چشم‌انداز یا چشم‌اندازهای آینده و سیاست‌های مورد نیاز برای اتخاذ خواهد بود.

سناریوهای پس‌نگر برحسب میزان جزئیاتی که در مورد دوره انتقالی از وضعیت موجود به وضعیت مدنظر در چشم‌انداز آینده دربر دارند با یکدیگر متفاوتند. برخی از سناریوها هیچ مراحل

---

1 Forecasting Models  
2 Backcasting Models

میانی‌ای ندارند در حالی که برخی دیگر ممکن است طبق مراحل زمانی یک‌ساله یا پنج‌ساله پیش بروند، به گونه‌ای که این قبیل سناریوها می‌توانند جایگزینی تدریجی فناوری‌هایی همچون نیروگاه‌های دارای سوخت فسیلی یا ناوگان‌های خودرویی با سوخت بنزینی و گازویلی را به دقت دنبال کنند. در عمل، سناریوها می‌توانند ترکیبی از مدل‌های پیش‌بینی کننده و پس‌نگر را در بر داشته باشند. اما بدون چشم‌اندازهای معتبر از یک آینده پایدار و راه‌بردهای مورد نیاز برای تحقق آن، امکان ندارد بتوان از تغییرات ویران‌گر و بازگشت ناپذیر در آب و هوای زمین اجتناب نمود.

جدول ۳-۱ فرضیات و نتایج اصلی تعدادی از سناریوهای نمونه، که قبل از میانه سال ۲۰۱۳ میلادی منتشر شده‌اند، را جمع‌بندی کرده است. این حوزه تحقیقاتی به‌شدت در حال گسترش است. نگارنده این سناریوها را بدین دلیل انتخاب کرده است که همه آن‌ها سیستم‌های یکپارچه عرضه انرژی تجدیدپذیر، چه برای تولید برق و چه برای کل سامانه انرژی، را بررسی کرده‌اند. برخی از این سناریوها شامل کاهش تقاضا هستند و بسیاری از آن‌ها میزان عملی کاهش GHG را بررسی کرده‌اند. بیشتر این سناریوها تصویری از یک سامانه انرژی پایدار عملی یا اقتصاد پایدار عملی را در یک زمان مشخص در آینده، مثلاً سال ۲۰۳۰ یا ۲۰۵۰، به عنوان اولین گام در یک سناریوی پس‌نگر ارائه می‌کنند، در حالی که برخی دیگر فرایند دینامیکی گذار در طی چند دهه را نیز به بررسی می‌نشینند.

از جمله مندرجات جدول ۳-۱، فصل دهم گزارش ویژه IPCC در مورد منابع انرژی تجدیدپذیر و جبران تغییرات آب و هوایی است که در سال ۲۰۱۱ میلادی انتشار یافت. گرچه که این گزارش به اختصار ۱۶۴ سناریوی انرژی تجدیدپذیر را مرور می‌کند، اما اغلب این سناریوها بر روی فناوری‌های منفرد تجدیدپذیر متمرکز هستند و در نتیجه ارتباط کمتری با بحث ما، که ناظر بر جایگزینی همه یا اکثر سوخت‌های فسیلی با مجموعه‌ای از انرژی‌های تجدیدپذیر و روش‌های بهره‌وری انرژی (EE) است، پیدا می‌کنند.

اینک، اجازه دهید چندین سناریوهای را با جزئیات بیشتری بررسی کنیم. برای این کار از کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای در کل اقتصاد شروع کرده، سپس به مقوله انرژی و در نهایت به الکتریسیته خواهیم پرداخت. پس از بررسی جنبه‌های فنی و اقتصادی، به رد برخی از افسانه‌ها خواهیم پرداخت. در مورد سیاست‌های توصیه‌ای حاصل از این سناریوهای ما نیز در فصل‌های ۸ و ۹ سخن خواهیم گفت.

جدول ۳-۱- سناریو پژوهی ها برای آینده انرژی/اقلیم پایدار [۲]

ناحیه جغرافیایی مورد مطالعه	سال انتشار	نویسندگان و مراجع	بخش های مورد مطالعه	نوع مطالعه	نتایج اصلی
<b>کل جهان</b>					
	۲۰۰۶	Stern	کل اقتصاد	مطالعه اقتصادی در سطح کلان	تغییرات آب و هوایی بزرگترین و پردامنه ترین شکست بازار است که تا کنون مشاهده شده است. هزینه های بی تفاوتی و بی عملی بسیار بیشتر از هزینه های کاهش تغییرات آب و هوایی است.
	۲۰۰۰	Sørensen و Meibom	انرژی	سیستم های اطلاعات جغرافیایی برای تطبیق عرضه با تقاضا	امکان تطابق تقاضا با ۱۰۰٪ انرژی-های تجدیدپذیر وجود دارد، مشروط بر آن که تبادل انرژی های تجدیدپذیر به صورت تجاری انجام شود.
	۲۰۱۰	سازمان بین المللی انرژی (IEA)	انرژی	پیش بینی فناوری ها بر اساس دانش تخصصی	سناریوی نقشه آبی انتشار گاز CO <sub>2</sub> توسط بخش انرژی را تا سال ۲۰۵۰ از طریق ترکیبی از بهره وری انرژی، به دام اندازی و ذخیره کربن (CCS)، انرژی های تجدیدپذیر، هسته ای و تبدیل سوخت، به نصف کاهش می دهد.
	۲۰۱۱	Jacobson و Delucchi	انرژی	منابع، فناوری ها، استفاده از مواد، هزینه ها، سیاست ها	مشخصات سیستم های انرژی، منابع، الزامات زمین و مواد، گزینه های پاسخگویی به تغییرات و جنبه های اقتصادی را بررسی می کند. معتقد است که ۱۰۰٪ برق تجدیدپذیر (RElec) از منابع باد، خورشید و آبی تا سال ۲۰۵۰ عملی و مقرون به صرفه است.

به بخش "مرور سناریو پژوهی‌ها" در بالا نگاه کنید.	بررسی متون، اکثراً پیش‌بینی فناوری‌ها	انرژی	IPCC	۲۰۱۱	
یک قرارداد اجتماعی جهانی جدید برای یک سیستم نوین اجتماعی - اقتصادی با کربن پایین مورد نیاز و عملی است. این قرارداد دربرگیرنده محدود کردن گزینه‌های معمول برای رشد اقتصادی در کشورهای ثروتمند نیز می‌شود.	تمرکز شدید بر راه‌بردها و سیاست‌های بین‌المللی	انرژی/آب و هوا	WBGV	۲۰۱۱	
با فرض آن که تقاضای انرژی در سال ۲۰۲۰ به پایداری رسیده و پس از آن اندکی کاهش یابد، ۱۰۰٪ عرضه انرژی می‌تواند تا سال ۲۰۵۰ از منابع تجدیدپذیر باشد.	سناریو، فناوری‌ها و آنالیز محدود اقتصادی Ecofys	انرژی	WWF, Ecofys و OMA	۲۰۱۱	
امکان افزایش دسترسی به انرژی، کیفیت هوا و امنیت انرژی هم‌زمان با اجتناب از تغییرات خطرناک آب و هوایی وجود دارد. به بخش "سناریوهای کاهش GHG: دیدگاه وسیع" در ادامه نگاه کنید.	ترکیبی از روش‌های پس‌نگر و پیش‌بینی‌کننده، فناوری‌ها، سیاست‌ها و هزینه‌های سرمایه‌گذاری	انرژی	GEA فصل ۱۷	۲۰۱۲	
تا سال ۲۰۵۰ تمام انرژی الکتریکی و گرمای مورد نیاز جهان و تقریباً نیمی از انرژی حمل‌ونقل جهان می‌تواند توسط منابع تجدیدپذیر عرضه شود. میزان انتشار جهانی CO <sub>2</sub> می‌تواند به سطح ۱۵٪ انتشار در سال ۱۹۹۰ کاهش یابد.	سناریوی پیش‌بینی‌کننده و پس‌نگر تا سال ۲۰۵۰، دربرگیرنده فناوری‌ها، جنبه‌های اقتصادی و سیاست‌ها	انرژی	صلح سبز، GWEC و EREC	۲۰۱۲	

اروپا					
حدافل ۸۰٪ کاهش در انتشار GHG توسط اروپا تا سال ۲۰۵۰ امکان پذیر است، مشروط بر آن که بخش انرژی تبدیل به بخشی با کربن صفر شده و برنامه‌های بهره‌وری انرژی ادامه یابند.	نقشه راه، روش پس‌نگر	برق	ECF	۲۰۱۰	
۱۰٪ انرژی الکتریکی (RElec) فقط از منابع بادی و خورشیدی. هم-افزایی بین ذخیره‌سازی و شرایط متعادل‌سازی را بررسی می‌کند.	شبیه‌سازی ساعتی برای یک دوره ۸ ساله	برق	Heide و همکاران	۲۰۱۱	
۱۰٪ انرژی الکتریکی (RElec) فقط از منابع بادی و خورشیدی. هم-افزایی بین ذخیره‌سازی و شرایط متعادل‌سازی را بررسی می‌کند.	شبیه‌سازی ساعتی برای یک دوره ۸ ساله	برق	Rasmussen و همکاران	۲۰۱۲	
کشورهای منفرد و همسایگان آنها					
با استفاده از ترکیبی از منابع در دسترس تجاری باد، فتوولتائیک، CST با ذخیره‌سازی حرارتی، نیروگاه‌های آبی موجود و توربین‌های گازی تغذیه‌شده توسط سوخت‌های فسیلی، قابلیت اطمینان به دست آمد. جنبه‌های اقتصادی RElec و سناریوی فسیلی کارآمد مقایسه شد.	شبیه‌سازی ساعتی برای یک دوره یک ساله	برق	Eliston و همکاران	۲۰۱۲-۱۳	استرالیا
هزینه‌ها با استفاده از سطح قابلیت اطمینان ارزیابی شدند. مقایسه‌ای با سوخت‌های فسیلی انجام نشد.	شبیه‌سازی ساعتی و مدلسازی احتمالاتی	برق	AEMO	۲۰۱۳	استرالیا
استفاده ۱۰٪ از منابع تجدیدپذیر تا سال ۲۰۵۰ امکان پذیر است.	داده‌های تخصصی؛ تجزیه و تحلیل	انرژی	Lund Mathiesen و	۲۰۰۹	دانمارک

شورای مشورتی محیط زیست آلمان (SRU) نشان می‌دهد که ۱۰۰٪ انرژی الکتریکی برقی برای آلمان از نظر فنی امکان‌پذیر، قابل اطمینان و مقرون‌به‌صرفه است، اما برای شبکه‌های منطقه‌ای از قبیل شبکه آلمان-اسکاندیناوی یا اروپا-آفریقای شمالی ارزان‌تر است.	شبیه‌سازی؛ سناریوها	برق	SRU	۲۰۱۱	آلمان و همسایگان
با در نظر گرفتن برخی فرضیات، چندین سناریو برای ۱۰۰٪ برق تجدیدپذیر امکان‌پذیرند.	مدل قطبی و ورودی-خروجی دربرگیرنده کل انرژی؛ ۴ سناریو	انرژی	Connelly و همکاران	۲۰۱۱	ایرلند
با فرض ذخیره‌سازی انرژی با استفاده از هیدروژن، تولید شده در محل یا وارداتی، ۱۰۰٪ انرژی تجدیدپذیر از نظر فنی امکان‌پذیر است.	شبیه‌سازی ۶ سناریو در طول یک سال با پله‌های زمانی ۱۵ دقیقه‌ای	انرژی	Lehman	۲۰۰۳	ژاپن
استفاده ۱۰۰ درصدی از انرژی الکتریکی تجدیدپذیر در سامانه‌ای که در حال حاضر اغلب مبتنی بر برق آبی است امکان‌پذیر است.	شبیه‌سازی	برق	Mason و همکاران	۲۰۱۰	نیوزیلند
استفاده ۱۰۰ درصدی از انرژی تجدیدپذیر با استفاده از ذخیره‌سازی آبی فصلی از نظر فنی امکان‌پذیر است. حمل و نقل را می‌توان با استفاده از سوخت‌های زیستی، یا با فرض برخی پیشرفت‌های فنی، با هیدروژن انجام داد. نیاز به مبادله	شبیه‌سازی در طول یک سال با پله‌های زمانی ۶ ساعته؛ با و بدون مبادله انرژی بین کشورها	انرژی و ذخیره‌سازی هیدروژن (H <sub>2</sub> )	Sørensen	۲۰۰۸	شمال اروپا

انرژی در مقیاس بالا بین کشورها وجود دارد.					
استفاده ۱۰۰ درصدی از انرژی الکتریکی تجدیدپذیر در سیستم‌های دارای ذخیره‌سازی آبی امکان‌پذیر است.	شبیه‌سازی ساعتی سه سناریو در طول یک سال	برق	Krajačić و همکاران	۲۰۱۱	پرتغال
یک طرح جامع برای بریتانیا با کربن صفر در سال ۲۰۳۰ که در آن ۹۰٪ از انتشار گازها کاسته شده و ۱۰٪ به دام‌اندازی کربن توسط بخش کشاورزی و جنگل‌داری از طریق کاهش تقاضا و عرضه انرژی‌های تجدیدپذیر صورت می‌گیرد. به بخش "سناریوهای کاهش GHG: دیدگاه وسیع" در ادامه نگاه کنید.	سناریو و سیاست‌های رادیکال	مطالعه جامع انرژی و استفاده از زمین؛ فناوری‌ها و سیاست‌ها	Kemp و Wexler	۲۰۱۰	انگلستان
تولید الکتریسیته از منابع تجدیدپذیر با استفاده از فناوری‌هایی که به صورت تجاری موجود هستند، با یک سامانه برق انعطاف‌پذیرتر، می‌تواند حداقل ۸۰٪ کل تولید الکتریسیته در آمریکا در سال ۲۰۵۰ را به خود اختصاص دهد به گونه‌ای که برآورده ساختن تقاضای برق بر یک مبنای ساعت به ساعت در هر ناحیه از آمریکا امکان‌پذیر باشد.	شبیه‌سازی ساعتی	برق	آزمایشگاه ملی انرژی‌های تجدیدپذیر (NREL)	۲۰۱۲	آمریکا

توجه: "انرژی" شامل الکتریسیته، حمل و نقل و گرمایش غیرصنعتی می‌شود. سناریوها از نوع پس‌نگر هستند مگر آن که به عنوان پیش‌بینی کننده معرفی شده باشند.

### سناریوهای کاهش GHG: دیدگاه وسیع

اولین مطالعه، یک سناریوی کاهش GHG را بنا می‌نهد که دربرگیرنده همه بخش‌هایی از یک اقتصاد ملی است که مسئول انتشار مقادیر قابل توجهی از GHG هستند.

#### بریتانیا با کربن صفر

سناریوهای مرتبط با کاهش تغییرات آب و هوایی باید در چهارچوب کلی یک سامانه اجتماعی-اقتصادی درک شوند. مطالعه‌ای که در سال ۲۰۱۰ تحت عنوان "بریتانیا با کربن صفر ۲۰۳۰"<sup>۱</sup> (ZCB2030) توسط مرکز فناوری‌های جایگزین<sup>۲</sup> در ولز انجام شد یکی از معدود مطالعات ملی اخیر است که این وظیفه بسیار بزرگ را مورد بررسی قرار می‌دهد [۳]. بر مبنای ترکیبی از فناوری‌هایی که یا به صورت تجاری در دسترس‌اند یا در مرحله آزمایشی قرار دارند، این مطالعه با جزئیات به تشریح یک چشم‌انداز عملی از بریتانیا در سال ۲۰۳۰ می‌پردازد که میزان خالص انتشار گازهای گلخانه‌ای آن صفر است. مطالعه مزبور هر دو طرف عرضه و تقاضا را بررسی می‌کند. در سمت تقاضا، سیستم تحول‌یافته اجتماعی-اقتصادی انرژی را با بهره‌وری بیشتری، خصوصاً در بخش مسکن، مورد استفاده قرار می‌دهد؛ تقاضای کمتری برای تردد با وسایل نقلیه شخصی دارد؛ دارای سفرهای هوایی داخلی نیست؛ و مقدار کمتری از گوشت گاو و گوسفند مصرف می‌کند. در عین حال، همان‌گونه که راب هاپکینز<sup>۳</sup>، بنیان‌گذار جنبش شهرهای گذار<sup>۴</sup>، در مقدمه مطالعه اشاره می‌کند: "ZCB2030 ... یک نفی ریاضت‌کشانه از مدرنیته نیست، بلکه یک گام منطقی و شدنی به سمت جلوس است". غذا و اشتغال کافی برای همه هست.

در سمت عرضه، انرژی الکتریکی و گرمایی سناریو کلاً توسط منابع انرژی تجدیدپذیر تولید می‌شوند. منابع اصلی انرژی تجدیدپذیر، به ترتیب بر اساس بیشترین سهم در سبد انرژی، عبارتند از: انرژی بادی فراساحلی و درون‌خشکی، انرژی زیستی از منابع گوناگون، امواج و جریان‌های اقیانوسی، و انرژی امواج با سد. بخش عمده گرمای مورد نیاز از الکتریسیته تأمین شده و اغلب آن برای تغذیه پمپ‌های گرمایی استفاده می‌شود. باقی‌مانده گرمای مورد نیاز از زیست‌توده و آبگرمکن‌های

1 Zero Carbon Britain 2030

2 Centre for Alternative Energy

3 Rob Hopkins

4 Transition Towns Movement

خورشیدی گرفته می‌شود. البته، در بخش‌های مختلف جهان ترکیب انرژی الکتریکی و گرمایی می‌تواند با آنچه که در سناریوی بریتانیا با کربن صفر آمده است کاملاً متفاوت باشد.

در ZCB2030 استفاده بسیار بیشتری از حمل و نقل عمومی، پیاده‌روی و دوچرخه‌سواری، در مقایسه با وضعیت فعلی، شده است در حالی که استفاده کاهش یافته از وسایل نقلیه شخصی نیز عمدتاً توسط انرژی تجدیدپذیر الکتریکی امکان‌پذیر می‌شود. در این سناریو، که به خوبی یکپارچه‌سازی شده است، از اراضی آزادشده در اثر کاهش فعالیت‌های دامپروری برای پرورش زیست‌توده، هم به منظور تولید انرژی و هم به دام انداختن کربن، استفاده شده است. این گزارش بر روی فناوری‌ها و سامانه‌ها متمرکز شده و گزینه‌های سیاست‌گذاری را مورد بحث قرار می‌دهد، اما به جنبه‌های اقتصادی تنها اشاره گذرایی دارد.

### ارزیابی جهانی انرژی

ارزیابی جهانی انرژی<sup>۱</sup> (GEA)، که در سال ۲۰۱۲ انتشار یافت،<sup>۲</sup> تسهیل در عرضه خدمات برابر و پایدار انرژی برای همه، به خصوص دو میلیارد انسانی که در حال حاضر از دسترسی به انرژی پاک و مدرن محروم هستند، را دنبال می‌کند.<sup>۳</sup> این ارزیابی، حجم عظیمی از کار را شامل می‌شود که در آن ۳۴ نویسنده متخصص و پیشرو توسط موسسه بین‌المللی تجزیه و تحلیل کاربردی سیستم‌ها<sup>۲</sup> (IIASA) هماهنگ شده و از سوی دولت‌ها و سازمان‌های غیردولتی، چندین موسسه وابسته به سازمان ملل متحد، بانک جهانی و صنایع پشتیبانی می‌شوند [۴]. نسخه کتابی این ارزیابی بیش از پنج کیلوگرم وزن دارد!

GEA "شصت مسیر جایگزین برای انتقال به یک آینده انرژی پایدار، که هم‌زمان همه اهداف اجتماعی و زیست‌محیطی اصولی آن در زمینه توسعه مستمر اقتصادی، دسترسی جهانی به حامل‌های مدرن انرژی، حفاظت از محیط زیست و آب و هوا، بهداشت بهبود یافته برای انسان و امنیت بالاتر انرژی را برآورده می‌سازند" را توسعه داده و بررسی کرده است. این سناریوها، سناریوهای کمی‌ای هستند که با استفاده از مدل‌های کامپیوتری با جزئیات فراوان تشریح شده‌اند. همه سناریوها به صورت تلویحی فرض می‌کنند که مجریان آن‌ها دارای تعهد سیاسی و منابع مالی لازم بوده و پیشرفت-

1 The Global Energy Assessment

2 International Institute for Applied System Analysis

های فنی در سطح کل جهان منتشر می‌شوند. سناریوها دارای ترکیبات متفاوتی از فناوری‌ها و تمهیدات سمت تقاضا و سمت عرضه هستند. GEA این سناریوها را در سه گروه دسته‌بندی کرده است:

- بهره‌وری در GEA، که در آن‌ها کاهش تقاضا برای خدمات انرژی و تمهیدات طرف تقاضا برای افزایش بهره‌وری انرژی نقش اساسی بر عهده دارند.
- عرضه در GEA، که در آن‌ها تقاضا بالاتر است و بر روی فناوری‌های جدید عرضه، از قبیل به-دام‌اندازی و ذخیره‌سازی کربن (CCS)، و به منظور پاسخ‌گویی به تقاضای اضافی تأکید می‌شود.
- ترکیبی در GEA، که در آن مناطق مختلف دارای تنوع بیشتری در ترکیب‌های انرژی هستند به گونه‌ای که برخی از مناطق دارای سناریوهای شبیه به سناریوهای بهره‌وری در GEA و برخی دیگر دارای سناریوهای شبیه به سناریوهای عرضه در GEA هستند.

تمامی شصت سناریو به گونه‌ای طراحی شده‌اند که الزام GEA در مقابله با تغییرات آب و هوایی، یعنی محدود کردن گرمایش جهانی به کمتر از ۲ درجه سانتی‌گراد در بالای سطح قبل از دوران صنعتی، را با احتمال حداقل پنجاه درصد برآورده سازند. در عین حال، همان‌گونه که خود GEA نیز اذعان دارد، این احتمال که این سطح از گرمایش جهانی سطح قابل قبولی باشد بسیار کم است و بنابراین، اینکه سناریوهای GEA واقعاً پایدار باشند مورد تردید است. از شصت سناریوی مورد مطالعه، چهل و یک سناریو همه اهداف اصولی تعیین شده برای مطالعات را برآورده ساختند. این موضوع نشان می‌دهد که راه‌های فراوانی برای فراهم‌ساختن یک آینده انرژی که از نظر فنی امکان‌پذیر باشد، مقرون به صرفه باشد، از نظر زیست‌محیطی پایدارتر و از نظر اجتماعی عادلانه‌تر باشد و با منابع موجود نیز سازگاری داشته باشد وجود دارند. این مطالعات دریافته‌اند که با به‌کارگیری سناریوهایی که بر روی کاهش تقاضا تأکید دارند احتمال دستیابی به این اهداف چندگانه، از جمله کاهش آلودگی هوای محلی و در فضاها بسته که منجر به بهبود چشمگیر در وضعیت بهداشتی می‌شود، کاهش ترافیک و راه‌بندان، کاهش فقر، افزایش سطح بهره‌وری تولید، افزایش رفاه و سلامتی، بهبود احتمالی در امنیت انرژی، فرصت‌های جدید شغلی و در پاره‌ای موارد فرصت‌های بهبود یافته شغلی، بیشتر است. در حالی که انرژی هسته‌ای در برخی از سناریوها حضور داشت، مشخص شد که این نوع انرژی برای رسیدن به هدف تعیین شده برای تغییرات آب و هوایی، حتی در سناریوهایی با تقاضای زیاد، غیرضروری است. از سوی دیگر، GEA دریافت که سناریوهای با تقاضای زیاد، از

جمله مسیر موجود فعلی، نیازمند به کارگیری فناوری به‌دام‌اندازی و ذخیره‌سازی کربن (CCS)، که تازه در آستانه ورود به مرحله آزمایشی است، هستند.

GEA تخمین می‌زند که تحول سامانه انرژی نیازمند تلاش‌های مجدانه به منظور افزایش سرمایه‌گذاری جهانی در زمینه انرژی به میزانی بین ۱۷۰۰ میلیارد تا ۲۲۰۰ میلیارد دلار آمریکا در سال است، در حالی که در حال حاضر سرمایه‌گذاری سالانه جهانی در این زمینه در حدود ۱۳۰۰ میلیارد دلار است. سناریوهای بهره‌وری در GEA نیازمند حد پایینی برآورد سرمایه‌گذاری و سناریوهای عرضه در GEA نیازمند حد بالایی برآورد سرمایه‌گذاری هستند. در مقایسه با سناریوی ادامه وضعیت موجود (BAU)، که فاقد سیاست‌هایی برای تحقق اهداف GEA است، نسبت پیش‌بینی شده تلفات به مصرف تا سال ۲۰۵۰ نسبتاً کوچک بوده و از ۰/۶ درصد برای سناریوهای بهره‌وری در GEA تا دو درصد برای سناریوهای عرضه در GEA در نوسان است. GEA این نسبت را با رشد پیش‌بینی شده برای مصرف در همین بازه زمانی، یعنی ۲۰۰ درصد، مقایسه می‌کند. البته، این پیش‌بینی رشد مصرف فرض می‌کند که تداوم رشد اقتصادی از نظر بوم‌شناختی و اقتصادی امکان‌پذیر است، باوری که توسط چندین نویسنده [۵] و نیز در کتاب حاضر زیر سؤال رفته است. هزینه بالای سرمایه‌گذاری در فناوری‌های با کربن پایین، یا حداقل بخشی از آن، از طریق صرفه‌جویی در هزینه سوخت‌های فسیلی (که GEA آن‌ها را پیش‌بینی نکرده است) و حذف یارانه‌های پرداختی به تولید و مصرف سوخت‌های فسیلی جبران می‌شود. GEA میزان این یارانه‌ها را در حدود ۵۰۰ میلیارد دلار در سال ذکر کرده ولی آژانس بین‌المللی انرژی آن‌ها را در حدود ۱۲۰۰ میلیارد دلار در سال برای کل جهان برآورد می‌کند (رک فصل ۹، "حذف یارانه‌های سوخت‌های فسیلی و انرژی هسته‌ای").

یک نتیجه‌گیری مهم دیگر GEA این بود که گرچه که فناوری مهم است، اما به همین میزان موضوعات مرتبط با اجرا نیز مهم هستند. این موضوعات عبارتند از: مؤسسات و سازمان‌ها، رفتار بازار، مهارت‌ها و ظرفیت‌ها.

### انقلاب/تکامل انرژی صلح سبز

سناریوی انقلاب/تکامل انرژی مؤسسه بین‌المللی صلح سبز<sup>۱</sup> با همکاری شورای انرژی‌های تجدیدپذیر اروپا<sup>۲</sup> و شورای جهانی انرژی بادی<sup>۱</sup> و با استفاده از گروه‌هایی از مشاورین متخصص تهیه

1 Greenpeace's Energy [R]evolution  
2 European Renewable Energy Council

گردید. مانند گزارش GEA، این سناریو نیز جهان را به نواحی مورد مطالعه سازمان همکاری اقتصادی و توسعه<sup>۲</sup> (OECD) تقسیم کرده و این نواحی را هم به صورت جداگانه و هم با یکدیگر مورد بررسی قرار می‌دهد. در سناریوی مرجع، یا BAU، پیش‌بینی تقاضای انرژی آینده تا سال ۲۰۵۰ بر مبنای رشد مورد انتظار در جمعیت و تولید ناخالص داخلی صورت گرفته است. آنگاه، تغییر فناوری‌ها از سوخت‌های فسیلی به بهره‌وری انرژی و انرژی‌های تجدیدپذیر مورد استفاده قرار گرفته تا سناریوی انقلاب/تکامل انرژی، که مبتنی بر بهره‌وری انرژی و انرژی‌های تجدیدپذیر است، به دست آید (این مطالعه فرض می‌کند که رشد اقتصادی در هر دو سناریو برابر است). در نتیجه، تقاضای انرژی در سال ۲۰۲۰ به اوج خود رسیده و سپس کمی کاهش می‌یابد تا اینکه در سال ۲۰۵۰ به سطح تقاضای انرژی در سال ۲۰۰۹ خواهد رسید. در سمت عرضه، منحنی قیمت برای فناوری‌های تجدیدپذیر به صورت کاهشی و برای سوخت‌های فسیلی به صورت افزایشی تخمین زده می‌شوند. از آنجایی که بخش حمل و نقل یک بخش مهم در این مطالعه و نیز دشوارترین بخش برای انتقال به وضعیت انتشار گاز صفر است، یک پیش‌بینی از وضعیت تولید نفت در آینده نیز ارائه شده، که در آن اوج تولید نفت در حدود سال ۲۰۲۰ برآورده شده است. مصرف سوخت و میزان مسافر-کیلومتر طی شده با استفاده از وسایل نقلیه موتوری نیز پیش‌بینی شده‌اند.

با جمع‌بندی همه نتایج، چنین نتیجه‌گیری شده است که در سال ۲۰۵۰، تقریباً همه مصرف‌کنندگان جهانی الکتریسیته و گرمایش توسط انرژی‌های تجدیدپذیر تأمین می‌شود، اما نیمی از حمل و نقل همچنان با استفاده از سوخت‌های فسیلی انجام شده و هنوز هم مقادیری از انتشار گازهای گلخانه‌ای غیرمرتبط با بخش انرژی توسط صنایع وجود خواهد داشت. مجموع انتشار CO<sub>2</sub> با ۸۹ درصد کاهش از ۲۸ گیگاتن (Gt) در سال به ۳ Gt در سال خواهد رسید در حالی که در سناریوی BAU انتشار CO<sub>2</sub> افزایشی معادل ۶۲ درصد خواهد داشت. برای بخش برق، به‌طور خاص، در طی چند دهه اول هزینه‌های سرمایه‌گذاری برای سناریوی انرژی پایدار، همان‌طور که انتظار می‌رود، بسیار بیشتر از صرفه‌جویی در هزینه سوخت‌های فسیلی است. اما در طول دهه ۴۰-۲۰۳۱ این دو منحنی یکدیگر را قطع کرده و تا سال ۲۰۵۰ مجموع هزینه سرمایه‌گذاری در انرژی پایدار کمتر از مجموع

1 Global Wind Energy Council

2 Organization for Economic Cooperation and Development

صرفه‌جویی در هزینه سوخت‌های فسیلی (که شامل یک نرخ یا جریمه برای تولید کربن نیز می‌شود) خواهد بود.

### سناریوهای برقی

تولید انرژی الکتریکی در حدود یک‌سوم کل مصرف جهانی سوخت‌های فسیلی و در حدود ۴۱ درصد کل انتشار جهانی گاز CO<sub>2</sub> مرتبط با انرژی را به خود اختصاص داده است [۶]. از آنجایی که تأمین مقادیر زیادی گرمای صنعتی با درجه حرارت بالا و حمل و نقل شهری از طریق سوزاندن سوخت‌های فسیلی و به روشی که از نظر بوم‌شناختی پایدار باشد بسیار دشوار است، یک بخش احتمالی از هر راه‌حلی که به لحاظ بوم‌شناختی پایدار باشد برقی کردن این انواع مصرف انرژی است. بنابراین، افزایش سهم انرژی الکتریکی در کل انرژی عرضه‌شده، یک جنبه مهم از مسیر رسیدن به یک آینده انرژی پایدار، یا انتقال بزرگ، است. خوش‌بختانه بیشتر فناوری‌های مورد نیاز برای یک آینده برقی با کربن صفر در حال حاضر یا به صورت تجاری در دسترس بوده و یا در مرحله توزیع اولیه هستند (رک فصل ۲). بنابراین، یک اولویت اصلی، همراه با بهبود بخشیدن به بهره‌وری انرژی و اجرای سایر روش‌هایی که منجر به کاهش تقاضا در زمان‌های بحرانی می‌شوند، عبارت است از تحول در صنعت برق در اولین فرصت ممکن به گونه‌ای که تولید انرژی الکتریکی عمدتاً توسط فناوری‌هایی با میزان خالص انتشار گاز صفر صورت پذیرد.

فناوری‌های تجدیدپذیر برق عملی، ایمن و قابل اطمینان هستند. قابلیت اطمینان در تغذیه منابع تجدیدپذیر طبیعی به این فناوری‌ها در ادامه مورد بحث قرار گرفته است. در حالی که فناوری‌های تجدیدپذیر برق همچنان از دستاوردهای فعالیت‌های جاری تحقیق و توسعه و آزمایش بهره‌مند خواهند شد، مجموعه‌ای از این فناوری‌ها در حال حاضر برای به کارگیری سریع و گسترده در دسترس است. این به کارگیری باعث خواهد شد که تجربه بهره‌برداری بیشتری به دست آید، از هزینه‌ها کاسته شود، اعتماد سرمایه‌گذاران احتمالی جلب شود و هم‌زمان، میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای نیز کاهش یابد.

منابع در دسترس جهانی برای تولید برق تجدیدپذیر از خورشید و باد، حتی پس از اعمال شرایط پایداری (رک فصل ۲)، بسیار عظیمند. هرچند در حال حاضر اغلب نیروگاه‌های برق تجدیدپذیر، از نظر هزینه سرمایه‌گذاری برای هر واحد برق تولید شده، از نیروگاه‌های فسیلی گران-

ترند، اما هزینه‌های برق تجدیدپذیر در اثر انباشت تجربه و توسعه بازارها در حال کاهش هستند. در همین حال، هزینه بهره‌برداری اکثریت عظیم فناوری‌های تجدیدپذیر کمتر از هزینه‌های بهره‌برداری نیروگاه‌های دارای سوخت فسیلی یا هسته‌ای است. در نظر داشته باشید که هزینه سوخت‌های فسیلی مصرف شده در نیروگاه‌های آلاینده متعارف احتمالاً در دراز مدت افزایش خواهد یافت.

از آنجایی که منابع گسترده انرژی‌های تجدیدپذیر به نحو نابرابری در سطح جهان توزیع شده‌اند، دقیقاً همان‌طور که سوخت‌های فسیلی و هسته‌ای هستند، مناطق و کشورهای مختلف نیازمند ترکیبات متفاوتی از انرژی‌های تجدیدپذیر خواهند بود. این نابرابری در توزیع منابع را می‌توان با مبادله انرژی‌های تجدیدپذیر خصوصاً در بین کشورهای مجاور، تا حدودی جبران کرد. به عنوان مثال:

- تحت یک سناریو با تقاضای پایین، بریتانیا می‌تواند اغلب انرژی الکتریکی آینده خود را از باد و منابع دریایی تولید کند [۷]. در صورت وجود تقاضای بیشتر، و با در نظر گرفتن محدودیت‌های نظری فناوری‌هایی که به صورت تجاری در دسترس هستند، این کشور دارای زمین یا آب‌های کم‌عمق ساحلی کافی برای خودکفایی در تولید انرژی‌های تجدیدپذیر نیست [۸]. در عین حال، بریتانیا احتمالاً قادر خواهد بود که توان خورشیدی و بادی را از شمال آفریقا و از طریق خطوط انتقال واقع در قاره اروپا وارد کند [۹].
- در ایالات متحده آمریکا [۱۰] و استرالیا [۱۱]، همه یا بخش اعظم الکتریسیته را می‌توان از باد، نیروگاه‌های حرارتی خورشیدی CST و نیروگاه‌های فتوولتائیک خورشیدی تأمین کرد. همه فناوری‌های مورد نیاز در حال حاضر به صورت تجاری در دسترس هستند.
- ژاپن، با دارا بودن چگالی جمعیت بالا و زمین کم، فضای اندکی برای نیروگاه‌های بادی واقع در خشکی و نیروگاه‌های بزرگ خورشیدی دارد. در عین حال، این کشور می‌تواند مقادیر زیادی از نیروگاه‌های بادی فراساحلی، پنل‌های خورشیدی فتوولتائیک نصب شده روی بام و منابع زمین-گرمایی داشته باشد [۱۲]. البته ممکن است این کشور هنوز هم مجبور باشد که منابع تجدیدپذیر خود را با استفاده از واردات الکتریسیته تجدیدپذیر از طریق خطوط انتقال از قاره آسیا، یا در درازمدت، از طریق واردات هیدروژن خورشیدی با استفاده از تانکرهای اصلاح شده گاز طبیعی مایع (LNG) از استرالیا تکمیل کند.
- چین و هندوستان هر دو دارای پتانسیل‌های بسیار بالا در زمینه انرژی بادی، فتوولتائیک، CST، و با پیامدهای هنگفت زیست محیطی و اجتماعی، انرژی آبی هستند. در عین حال، تا زمانی که ارزیابی

دقیق منابع و مطالعات سناریو برای این کشورها تکمیل نشده‌اند، مشخص نخواهد بود که آیا این منابع انرژی تجدیدپذیر برای دور خارج کردن زغال‌سنگ کفایت می‌کنند یا نه. با این پس‌زمینه، اینک می‌توان موضوع اصلی‌ای که باید توسط سناریوهای برقی تبیین شود، یعنی ادغام مقادیر زیادی از انرژی‌های تجدیدپذیر در شبکه برق، را مورد بررسی قرار داد. این موضوع در واقع هدف اصلی اغلب سناریوهای برقی است که در جدول ۳-۱ آمده‌اند.

### سناریوهای برقی: شبیه‌سازی کامپیوتری

ارزان‌ترین روش برای بررسی ادغام مقادیر زیادی از انرژی‌های تجدیدپذیر در یک شبکه برق عبارت است از ساختن یک مدل کامپیوتری از سیستم و شبیه‌سازی ساعت‌به‌ساعت عملکرد آن در طول یک دوره چندساله. معتبرترین مدل‌ها، از داده‌های ساعت‌به‌ساعت واقعی برای تقاضای برق و نیز داده‌های ورودی منابع انرژی تجدیدپذیر مرتبط در همان پله زمانی بهره می‌گیرند. این مدل‌ها ترکیبی از نیروگاه‌های تجدیدپذیر، که به صورت تجاری در دسترس بوده و برای منطقه یا کشور مورد نظر مناسب هستند، را در نظر می‌گیرند و داده‌های مربوط به انرژی‌های تجدیدپذیر را در مشخصات دیجیتال شده این نیروگاه‌ها در بوته آزمون قرار می‌دهند. ترکیب فرضی منابع تولید ممکن است در برگیرنده برخی نیروگاه‌های متعارف باشد که مشخصات عملکردی آنان نیز به مدل وارد می‌شود. یک مشخصه مهم هر مدل، نحوه انتخاب ترتیب وارد شدن نیروگاه‌ها به شبکه است که به آن ترتیب شایستگی<sup>۱</sup> گفته می‌شود. این ترتیب ایجاب می‌کند که نیروگاه‌های دارای کمترین هزینه بهره برداری، مانند بادی و خورشیدی فتوولتائیک، ابتدا به مدار وارد شده و نیروگاه‌هایی که سوخت‌هایی از قبیل هسته‌ای، زغال‌سنگ، گاز و زیست‌توده مصرف می‌کنند با اولویت پایین‌تری و فقط وقتی که برای پاسخگویی به تقاضا به آنان نیاز است وارد مدار شوند.

در هر پله زمانی، که یا یک ساعت یا کسری از یک ساعت است، مدل مورد استفاده نیروگاه‌ها را برحسب ترتیب شایستگی وارد مدار می‌کند تا تعادل بین عرضه و تقاضا را برقرار سازد. در پایان هر اجرای شبیه‌سازی کامپیوتری بر روی داده‌های یک یا چند سال، برنامه کامپیوتری نتایج به دست آمده، به عنوان مثال انرژی الکتریکی تولیدشده در هر سال توسط هر فناوری، تعداد متوسط ساعتی از طول

1 Merit Order

سال که میزان عرضه انرژی قادر به پاسخگویی به تقاضا نبوده است (که به عنوان احتمال از دست دادن بار<sup>۱</sup> یا LOLP شناخته می‌شود)، میزان متناظر کمبود انرژی، و ظرفیت تولید استفاده نشده (یعنی عرضه انرژی مازاد بر تقاضای مصرف در طول مدت مورد نظر)، را جمع‌بندی می‌کند. در نتیجه، برخی از فرضیات اولیه تغییر داده شده و برنامه کامپیوتری مجدداً اجرا می‌شود. آنچه که در این آنالیزهای حساسیت مورد توجه خاص است عبارت است از: تأثیرات ناشی از تغییر در ترکیب انرژی‌های تجدیدپذیر، تغییر در ترتیب شایستگی، تغییر در اندازه‌ها و انواع ذخیره‌سازهای موجود در سیستم، و راه‌بردهای مورد استفاده برای پرکردن و استفاده از ذخیره‌سازها. از آنجایی که می‌توان بسیاری از متغیرها را به صورت تکی و یا چندتا را به صورت هم‌زمان تغییر داد، یک مطالعه واحد می‌تواند در برگزیده هزاران بار اجرای برنامه کامپیوتری بر روی داده‌های موجود برای یک بازه زمانی مورد نظر باشد.

با این تعداد زیاد اجرای شبیه‌سازی، ممکن است که حجم عظیم یافته‌ها نتیجه‌گیری واضحی را به دست ندهند. به منظور اجتناب از چنین احتمالی، شبیه‌سازی‌ها معمولاً با یک هدف مشخص، مثلاً پیدا کردن ترکیبی از انواع نیروگاه‌ها که قابلیت اطمینان سیستم تولید را برحسب LOLP یا میزان کمبود انرژی بهینه می‌کند یا کمینه کردن مقدار انرژی از دست رفته ضمن برآورده‌سازی همه معیارهای قابلیت اطمینان، انجام می‌شوند. در عین حال، ممکن است سوال شود که وقتی خورشید با درخشندگی کامل می‌تابد یا باد با شدت می‌وزد و تقاضا برای انرژی پایین است آیا واقعاً این موضوع اهمیتی دارد که بخشی از انرژی عرضه شده توسط این منابع تجدیدپذیر از دست برود؟ یک سوال حتی مهم‌تر این است که چه میزان از ذخیره‌سازی و/یا پشتیبانی برای سیستمی که عمدتاً مبتنی بر تولید تجدیدپذیر است مورد نیاز است؟ در نهایت، این سؤالات مربوط به جنبه‌های اقتصادی ترکیبات مختلف نیروگاه‌ها، راه‌بردهای مختلف بهره‌برداری و انواع و اندازه‌های مختلف ذخیره‌سازها می‌شود.

اولین گام در بررسی جنبه‌های اقتصادی گذار به یک سامانه تجدیدپذیر عبارت است از اختصاص مجموعه‌ای از هزینه‌ها به هر یک از نیروگاه‌های موجود در مدل. این هزینه‌ها عبارتند از هزینه سرمایه‌گذاری اولیه، که می‌توان آن را با انتخاب نرخ بهره و طول عمر اقتصادی نیروگاه به هزینه سالیانه (برسال) تبدیل کرد؛ هزینه‌های بهره‌برداری و نگهداری؛ و برای برخی از فناوری‌ها، هزینه سوخت. از آنجایی که ما علاقه‌مند به یک فرایند گذار هستیم، بایستی فرضیاتی را در خصوص

1 Loss-Of-Load Probability

روندهای آینده هزینه‌ها در نظر گیریم. یک مدل خوب همواره فرضیات خود را به وضوح تعیین می‌کند. از آنجایی که تمایل نداریم مدل کامپیوتری ما مجموعه بزرگی از هزینه‌ها را برای هر یک از هزاران اجرای شبیه‌سازی در طول مدت موردنظر در خروجی خود ایجاد کند، گام بعدی انتخاب روشی برای بهینه‌کردن جنبه‌های اقتصادی، یعنی یافتن حداقل هزینه‌ها ضمن برآورده ساختن فرضیات گوناگون، است.

در بحث حاضر در خصوص شبیه‌سازی کامپیوتری، من اصل بنیادین زیر، که توسط بسیاری از مدل‌کنندگان رعایت می‌شود، را دنبال کرده‌ام: با مدلی ساده از یک سامانه پیچیده، که نتایج آن را به سادگی می‌توان تفسیر نمود، شروع کن و سپس به تدریج پیچیدگی‌های موجود را به آن اضافه کن تا مدل مرحله‌به‌مرحله واقعی‌تر شود (مدل‌های آب و هوایی به همین روش تکامل یافته‌اند). در نتیجه، مدل‌کنندگان درک خود از سامانه را مرحله‌به‌مرحله افزایش می‌دهند و یاد می‌گیرند که هر میزان از پیچیدگی که به مدل افزوده می‌شود تا چه حدی نتایج را تحت تأثیر قرار می‌دهد. به عنوان عضوی از یک تیم مدل‌کننده سیستم الکتریکی در دانشگاه نیوساوت ولز (UNSW) و عضو قبلی تیم مدل‌کننده در CSIRO، من اینک این روش را با معرفی شیوه UNSW در مطالعه قابلیت اطمینان و هزینه‌های یک سامانه فرضی با عرضه ۱۰۰ درصد انرژی تجدیدپذیر به بازار ملی برق استرالیا<sup>۱</sup> (NEM) تشریح می‌کنم. البته مدل‌کنندگان مختلف ممکن است شیوه‌های مختلفی داشته باشند و ترکیب نتایج حاصل از شیوه‌های مختلف، درک مستحکم‌تری از یک سامانه پیچیده ایجاد می‌کند.

### شبیه‌سازی الکتریسته صدرصد تجدیدپذیر

در دانشگاه نیوساوت ولز، ما شبیه‌سازی ادغام الکتریسته صدرصد تجدیدپذیر در NEM را از سال ۲۰۱۱ آغاز کردیم. در آن زمان، کسانی که نسبت به امکان‌پذیری عملی به کارگیری سامانه‌ای که عمدتاً مبتنی بر انرژی‌های تجدیدپذیر باشد بدبین بودند ادعا می‌کردند که چون انرژی تجدیدپذیر "نوسانی" است، این منابع انرژی نمی‌توانند انرژی الکتریکی را با همان سطح قابلیت اطمینان نیروگاه‌های فسیلی یا هسته‌ای تأمین کنند. در نتیجه، این بدبینان ادعا می‌کردند که ادغام مقادیر زیادی از انرژی تجدیدپذیر در شبکه‌های برق تنها زمانی امکان‌پذیر است که این نوع انرژی به صورت

1 Australian National Electricity Market

صددردصدی توسط نیروگاه‌های متعارف پشتیبانی شود. ما آگاه بودیم که تا همان زمان چندین مطالعه انجام شده در کشورهای دیگر با سیستم‌های الکتریکی متفاوت این ادعا را رد کرده بودند و تصمیم گرفتیم که این ادعا را در NEM مورد بررسی قرار دهیم. در سال ۲۰۱۰، نود درصد برق NEM با استفاده از سوخت‌های فسیلی تأمین می‌شد که ۷۷ درصد آن از زغال‌سنگ بود و همین موضوع باعث می‌شد که استرالیا، پس از لهستان و آفریقای جنوبی، سومین کشور تولیدکننده گازهای گلخانه‌ای مرتبط با تولید برق در جهان باشد.

مدل‌سازی همیشه توسط داده‌های در دسترس محدود می‌شود. ما مجموعه‌ای بسیار عالی از داده‌های ساعتی مربوط به تقاضای برق، خروجی نیروگاه‌های بادی و ورودی‌های انرژی خورشیدی، هم DNI برای نیروگاه‌های CST و هم GHI برای نیروگاه‌های خورشیدی فتوولتائیک در طول سال ۲۰۱۰ را به دست آوردیم. در نتیجه، تصمیم گرفتیم با یک مدل ساده شروع کنیم: فرضیات را به حداقل برسانیم، تنها از فناوری‌های تجدیدپذیری که به صورت تجاری در دسترس هستند استفاده کنیم و قابلیت اطمینان یک سیستم الکتریکی با صددرصد برق تجدیدپذیر در طول سال ۲۰۱۰ را بررسی کنیم. از آنجایی که استرالیا از نعمت منابع عظیم انرژی خورشیدی در غرب رشته کوه Great Dividing Range و پتانسیل چشمگیر انرژی بادی در مناطق جنوبی خود برخوردار است، ما در ابتدا ترکیبی را انتخاب کردیم که حدود ۴۰ درصد انرژی الکتریکی سالیانه را از نیروگاه‌های CST با ۱۵ ساعت ذخیره‌سازی انرژی حرارتی، ۳۰ درصد از باد، ۱۰ درصد از خورشیدی فتوولتائیک و باقیمانده را برحسب نیاز از نیروگاه‌های آبی موجود و نیروگاه‌هایی فرضی با توربین‌های گازی تغذیه شونده توسط سوخت‌های زیستی تولید می‌کند. همه این فناوری‌ها به صورت تجاری در دسترس هستند، هرچند که تولید سوخت‌های زیستی مایع و/یا گازی باید افزایش یابد تا این توربین‌های گازی را تغذیه کند.

یک عضو کلیدی تیم ما، بن الیستون<sup>۱</sup>، که دانشجوی دوره دکتری با دانش و تجربه قابل توجهی در انجام محاسبات کامپیوتری سطح بالا بود، یک برنامه کامپیوتری انعطاف‌پذیر طراحی کرد که قادر بود عملکرد ساعتی کل یک سال را در کسری از ثانیه شبیه‌سازی کند. این برنامه ما را قادر ساخت که چندین آنالیز حساسیت را بر روی تعدادی از فرضیات اولیه خود انجام دهیم. ما دریافتیم که انرژی الکتریکی صددرصد تجدیدپذیر قادر به تغذیه NEM در طول سال ۲۰۱۰ با همان سطح قابلیت

1 Ben Elliston

اطمینان نیروگاه‌های آلاینده موجود با سوخت‌های فسیلی بوده است. در سیستم تولید موجود مبتنی بر سوخت‌های فسیلی، چالش اصلی عبارت است از پاسخگویی به تقاضای انرژی الکتریکی در بعدازظهرها و شامگاه‌های گرم تابستانی، که در آن‌ها تقاضا برای تهویه مطبوع بالا بوده و چندتایی مورد از دست دادن بار<sup>۱</sup> (LOL) اتفاق می‌افتد. برعکس، ما دریافتیم که در یک سامانه صددرصد مبتنی بر انرژی تجدیدپذیر، که نیمی از انرژی الکتریکی توسط خورشید تأمین می‌شود، پاسخگویی به اوج تقاضای تابستانی آسان است. در اینجا، چالش اصلی عبارت است از پاسخگویی به اوج تقاضا در شامگاه‌های زمستانی و پس از یک روز آرام ابری. تحت چنین شرایطی، ذخیره‌سازهای انرژی حرارتی در آستانه شب به‌طور کامل پر نیستند و در نتیجه توربین‌های گازی و نیروگاه‌های برقی به مدار فراخوانده می‌شوند و چندتایی هم مورد کوتاه مدت از دست دادن بار (۲ ساعت یا کمتر) ممکن است رخ دهد. در هر حال، در طول مدت کل سال، ما می‌توانیم قابلیت اطمینان مورد نیاز را با ظرفیت تولید پشتیبان اوج بار به میزانی بسیار کمتر از حداکثر تقاضای شبکه به دست آوریم [۱۳].

در آنالیز حساسیت، ما روش‌های مختلف برای کاستن از مصرف سوخت‌های زیستی و ظرفیت تولید توربین‌های گازی بدون از دست دادن قابلیت اطمینان را آزمودیم. این کار را به چندین روش می‌توان انجام داد، مثلاً با نصب تعداد بیشتری از نیروگاه‌های CST، یا افزایش سطح جمع‌آورنده‌های خورشیدی متعلق به نیروگاه‌های CST موجود بدون افزایش ظرفیت تولید ژنراتورهای CST، تغییر راه‌بردهای مورد استفاده برای پر کردن ذخیره‌سازهای حرارتی، افزایش گستردگی جغرافیایی مزارع بادی [۱۴]، و کاستن از تقاضای مصرف در طول دوره‌های زمانی با تابش خورشید ضعیف یا وزش باد کم. در حالی که افزایش سهم نیروگاه‌های CST در کل سیستم به نظر می‌رسید که احتمالاً گزینه بسیار گرانی خواهد بود، کاهش تقاضا بسیار موفقیت‌آمیز بود: تنها یک کاهش ۵ درصدی در اوج تقاضای زمستانی موجب حذف تمامی موارد قطع بار شد. چنین کاهش تقاضایی در طول سالیان متمادی در مقیاسی محدود در استرالیا و برخی کشورهای دیگر انجام شده است. کوره‌های ذوب آلومینیم، که تا همین اواخر حدود ۱۳ درصد کل مصرف سالیانه برق در استرالیا را به خود اختصاص می‌دادند، می‌توانند در صورت نیاز تا دو ساعت از مدار خارج شوند، بدون آن‌که در فرایند ذوب آلومینیم وقفه‌ای حاصل شود. با روند رشد موجود در "ابزارهای هوشمند"<sup>۲</sup>، این

1 Loss-Of-Load  
2 Smart Devices

امکان وجود خواهد داشت که محدوده وسیع‌تری از وسایل و تجهیزات برقی را در صورت نیاز از مدار خارج کرد. به عنوان مثال، تک‌تک دستگاه‌های تهویه مطبوع، یخچال‌ها و فریزرها را می‌توان با استفاده از یک برنامه چرخشی در سطح کل شبکه و به نوبت برای دوره‌های نیم ساعته از مدار خارج کرد بدون آن‌که مواد غذایی آسیبی بینند.

گام بعدی در شبیه‌سازی NEM عبارت بود از تعیین هزینه‌ها برای احداث و بهره‌برداری از نیروگاه‌ها، انجام بسیاری از شبیه‌سازی‌ها با تغییر دادن فرضیات، و یافتن حداقل هزینه‌های سالیانه. در ابتدا، ما جنبه‌های اقتصادی یک سامانه فرضی دارای صد درصد انرژی تجدیدپذیر، که از نظر اقتصادی بهینه شده است، را با یک سامانه فرضی جدید که دارای صد درصد انرژی فسیلی بوده و حداکثر بازدهی در تولید انرژی را دارد مقایسه کردیم. مشابه حالت قبل، همه فناوری‌های مورد استفاده به صورت تجاری در دسترس بودند. ما مجدداً داده‌های متعلق به سال ۲۰۱۰ را مورد استفاده قرار دادیم و برای پیش‌بینی قیمت‌ها در سال ۲۰۳۰ نیز از نتایج گزارش ارزیابی فنی انرژی استرالیا<sup>۱</sup> (AETA)، که توسط دفتر منابع و اقتصاد انرژی دولت استرالیا<sup>۲</sup> تهیه شده است، کمک گرفتیم (نظر شخصی من این است که پیش‌بینی هزینه‌ها توسط AETA برای انرژی‌های تجدیدپذیر بسیار بالا و برای انرژی‌های فسیلی و هسته‌ای بسیار پایین هستند). ما دریافتیم که، برخلاف پاسخ به سؤال "معنی زندگی چیست؟" در کتاب "راهنمای سواری گیرندگان مجانی برای سفر به کهکشان"<sup>۳</sup>، هیچ پاسخ واحد و ساده‌ای وجود ندارد و همه چیز بستگی به فرضیات انتخاب شده دارد. ما شبیه‌سازی‌های اقتصادی را با دو نرخ بهره متفاوت (که در فصل ۲ معرفی شد) یعنی ۵ درصد و ۱۰ درصد و دو مجموعه متفاوت از هزینه‌ها، یعنی برآوردهای کم و زیاد AETA برای هزینه انرژی‌های تجدیدپذیر، انجام دادیم.

در ترکیب بهینه منابع انرژی تجدیدپذیر، ارزان‌ترین فناوری، یعنی باد، بیشترین سهم در تولید سالیانه انرژی را با سهمی بین ۴۶ تا ۵۹ درصد به خود اختصاص می‌دهد. پس از باد، نیروگاه‌های CST با ذخیره‌ساز حرارتی سهمی بین ۱۳ تا ۲۳ درصد، نیروگاه‌های فتوولتائیک بدون ذخیره‌ساز سهمی بین ۱۵ تا ۲۰ درصد، توربین‌های گازی سهمی بین ۶ تا ۷ درصد و نیروگاه‌های برقی موجود سهمی بین ۵ تا ۶ درصد را به خود اختصاص می‌دهند. علیرغم سهم بسیار بالای کل منابع نوسانی، یعنی بادی و فتوولتائیک (جمعاً ۶۱ تا ۷۹ درصد)، قابلیت اطمینان همچنان حفظ می‌شود. این چنین مشخص شد که

1 Australian Energy Technical Assessment

2 Australian Bureau of Resources and Energy

3 The Hitchhikers Guide to the Galaxy

این ترکیب منابع تولیدی شبیه همان چیزی است که برای عرضه جهانی الکتریسیته مبتنی بر صد درصد انرژی‌های تجدیدپذیر توسط مارک جاکوبسون<sup>۱</sup> از دانشگاه استنفورد و مارک دلوچی<sup>۲</sup> از دانشگاه کالیفرنیا در دیویس به دست آمده بود: ۵۰ درصد بادی، ۲۰ درصد فتوولتائیک، ۲۰ درصد CST، ۴ درصد برقی و ۶ درصد از سایر منابع [۱۵].

مقایسه بین هزینه‌های انرژی‌های تجدیدپذیر و هزینه‌های سناریوهای سوخت‌های فسیلی "کارآمد" از طریق تعریف یک قیمت متغیر برای کربن منتشر شده و مشاهده سطحی از نرخ کربن که در آن هزینه ترکیب انرژی‌های تجدیدپذیر با هزینه ترکیب سوخت‌های فسیلی برابرند، صورت می‌گیرد. با احتساب نرخ بهره ۵ درصدی، اگر قیمت کربن از ۵۰ تا ۶۵ دلار برای هر تن گاز CO<sub>2</sub> منتشر شده بیشتر شود، سامانه انرژی‌های تجدیدپذیر (برحسب هزینه‌های سالیانه) ارزان‌تر خواهد بود، و برای نرخ بهره ۱۰ درصدی وقتی که قیمت کربن از ۷۰ تا ۱۰۰ دلار برای هر تن گاز CO<sub>2</sub> بیشتر باشد سامانه انرژی‌های تجدیدپذیر ارزان‌تر خواهد بود [۱۶]. نرخ‌های بالای بهره موجب کاهش مزیت نسبی فناوری‌های تجدیدپذیر می‌شوند، چرا که بخش عمده هزینه‌های آن‌ها هزینه‌های سرمایه‌گذاری اولیه است. مقایسه این نتایج با نتایج مطالعات دیگران، مثلاً اروپایی‌ها، دشوار است چرا که در استرالیا قیمت سوخت‌های فسیلی بسیار پایین‌تر و منابع انرژی خورشیدی فراوان‌تر و سرعت بادها بالاتر است.

در غیاب یک نرخ (جریمه) برای کربن منتشر شده، هزینه‌های سالیانه سناریوی انرژی‌های تجدیدپذیر بین ۷ تا ۱۰ میلیارد دلار بیشتر از هزینه‌های سناریوهای سوخت‌های فسیلی آلاینده "کارآمد" است. این عدد با میزان برآورد شده برای کل یارانه پرداختی سالیانه به تولید و مصرف سوخت‌های فسیلی در استرالیا، که حداقل ۱۰ میلیارد دلار است [۱۷]، قابل مقایسه است، در نتیجه، هزینه اضافی سناریوی تجدیدپذیر را می‌توان از طریق انتقال یارانه‌های سوخت‌های فسیلی به انرژی‌های تجدیدپذیر جبران کرد.

از آنجایی که یک سناریوی فسیلی "کارآمد" که بر فناوری‌هایی که به صورت تجاری در دسترس هستند مبتنی است هنوز هم میزان زیادی گازهای گلخانه‌ای تولید می‌کند، چنین سامانه‌ای نمی‌تواند در یک آینده دوستدار محیط زیست سامانه مناسبی برای مقایسه به شمار آید.

1 Mark Jacobson

2 Mark Delucchi

در نتیجه، گام بعدی ما مقایسه یک سامانه دارای صد درصد انرژی تجدیدپذیر با یک سامانه فرضی مبتنی بر زغال‌سنگ یا گاز و دارای توانایی به دام‌اندازی و ذخیره‌سازی کربن (CCS) بود. از آنجایی که سامانه‌های CCS هنوز از نظر فنی تأیید نشده‌اند، ما محدوده وسیعی از هزینه‌های آینده را برای CCS، انتقال و ذخیره‌سازی CO<sub>2</sub> به دام‌انداخته شده، قیمت گاز و قیمت کربن در نظر گرفتیم. ما دریافتیم که سناریوهای زغال‌سنگ و گاز دارای CCS، حتی اگر این فناوری‌ها موفق شوند که تا سال ۲۰۳۰ از نظر فنی تأیید شده و تجاری سازی شوند، احتمالاً برای رقابت اقتصادی با انرژی الکتریکی صد درصد تجدیدپذیر باید به شدت تقلا کنند. در نتیجه، در دنیایی که دارای محدودیت‌های اقلیمی است، الکتریسیته حاصل از سوزاندن زغال‌سنگ ممکن است جایگاه ناچیزی در آینده استرالیا داشته یا اصولاً هیچ جایگاهی نداشته باشد، حتی اگر فناوری CCS در نهایت به صورت تجاری در دسترس باشد [۱۸].

بسیاری از پیچیدگی‌های دیگر نیز لازم است که به این شبیه‌سازی‌ها افزوده شوند:

- مدل سامانه‌های انتقال باید بسیار واقعی‌تر شوند و گزینه‌های اصلی اتصالات باید متغیر بوده و در فرایند بهینه‌سازی قرار داده شوند.
- به‌طور مشابه، انواع و ظرفیت‌های گوناگون ذخیره‌سازها باید در فرایند بهینه‌سازی به کار گرفته شوند.
- در ادامه کار لازم است که مدل به گونه‌ای توسعه یابد که تغییرات تصادفی در عرضه و تقاضا در آن لحاظ شده و در نتیجه ذخایر مورد نیاز برای پاسخگویی به این تغییرات نیز در مدل وارد شوند. یک روش برای انجام این کار آن است که تقاضا، عرضه متعارف و عرضه انرژی‌های تجدیدپذیر در هر نقطه از مجموعه داده‌ها با استفاده از توزیع احتمالی، به جای مقادیر قطعی، تعریف شوند. این روش به عنوان شبیه‌سازی مونت کارلو<sup>۱</sup> شناخته می‌شود.
- هرچند شبیه‌سازی ساعتی در طول یک سال کافی است تا نتایج اصلی را به دست دهد، اما دوره‌های طولانی‌تری را نیز باید مطالعه کرد تا اگر رخدادهای نادر تصادفی، مثلاً وجود دوره‌های طولانی که در آن‌ها میزان تابش خورشید یا باد خیلی کم است، وجود داشته باشند بتوان آن‌ها را کشف کرد. این روش، یک روش جایگزین برای شبیه‌سازی مونت کارلو است.

- آثار نوسانات انرژی خورشیدی در مقیاس دقیقه، به عنوان پیامد عبور ابرها، و کاهش این قبیل نوسانات از طریق نیروگاه‌های خورشیدی‌ای که در گستره‌های جغرافیایی وسیع‌تری گسترده شده‌اند، نیازمند مطالعه بیشتر است.
  - خوشبختانه، اغلب تحقیقات اضافی مورد نیاز هم اکنون در تعدادی از پروژه‌های مطالعاتی در سطح جهان در حال اجرا هستند. به عنوان مثال:
  - تغییرات در شبکه انتقال در تحقیقات آزمایشگاه ملی انرژی تجدیدپذیر<sup>۱</sup> (NREL) بر روی شبکه آمریکا در نظر گرفته شده‌اند [۱۹].
  - شبیه‌سازی‌هایی در اروپا توسط دومینیک هایدی<sup>۲</sup> از دانشگاه آرهوس<sup>۳</sup> در دانمارک و همکارانش [۲۰] و مورتن گرود راسموسن<sup>۴</sup> از دانشگاه صنعتی مونیخ<sup>۵</sup> در آلمان [۲۱] اندازه ذخیره‌سازها و ذخایر مورد نیاز برای متعادل ساختن عرضه و تقاضا را مورد بررسی قرار داده و از داده‌های ساعتی مربوط به یک دوره هشت‌ساله استفاده می‌کنند.
  - تا کنون تعداد بسیار کمی شبیه‌سازی‌های مونت کارلو بر روی یک سیستم قدرت با درصد بالایی از ادغام انرژی‌های تجدیدپذیر صورت گرفته است.
- در ادامه، من از نتایج سناریو‌پژوهی‌ها و شبیه‌سازی‌های کامپیوتری که توسط گروه‌های تحقیقاتی در سراسر جهان انجام شده‌اند استفاده می‌کنم تا سه افسانه‌ای که پیرامون انرژی‌های تجدیدپذیر پدید آمده و در مقدمه این فصل معرفی شدند، را رد کنم.

## بحث در مورد رد افسانه‌ها و نتایج این بحث‌ها

### افسانه ۱: انرژی‌های تجدیدپذیر بیش از حد پراکنده یا توسعه‌نیافته‌اند

افسانه ۱: انرژی‌های تجدیدپذیر بیش از حد پراکنده یا بیش از حد توسعه‌نیافته‌اند که بتوانند یک جامعه صنعتی را تأمین کنند.

1 National Renewable Energy Laboratory

2 Dominik Heide

3 Aarhus University

4 Morten Grud Rasmussen

5 Technical University of Munich

هرچند انرژی‌های تجدیدپذیر، برحسب توان تولیدی در هر کیلومتر مربع از زمین یا آب، قطعاً در مقایسه با انرژی‌های فسیلی یا هسته‌ای پراکنده‌ترند، اما این دلیل نمی‌شود که این منابع را به عنوان منابع بالقوه انرژی غالب برای یک جامعه صنعتی به شمار نیاوریم. این در واقع مانند آن است که اصرار کنیم که فعالیت‌های کشاورزی و دامپروری باید حتماً به مجتمع‌های فشرده دامپروری برای حیوانات و گلخانه‌های فشرده برای گیاهان محدود شوند. سؤالی که در حقیقت می‌توان پرسید این است: آیا زمین و سطح آب کافی برای تولید انرژی مورد نیاز از منابع انرژی تجدیدپذیر، به روشی که از نظر بوم-شناختی پایدار بوده و به عنوان رقیبی برای فعالیت‌های تولید غذا عمل نکند، وجود دارد؟ در فصل ۲ نشان داده شد که تنها کسر بسیار کوچکی از سطح زمین کافی است تا هزاران برابر بیشتر از انرژی مورد نیاز امروز بشر فقط از باد و خورشید تولید شود. این واقعیت حتی بعد از اعمال محدودیت‌های مربوط به پایداری زیست‌محیطی نیز صدق می‌کند. از آنجایی که همه مناطق کره زمین به‌طور یکسان از نعمت منابع انرژی تجدیدپذیر برخوردار نیستند، مبادله این انرژی‌ها ضروری خواهد بود. این مبادله می‌تواند از طریق خطوط انتقال، یا برای مسافت‌های طولانی‌تر، با استفاده از تانکرهای اصلاح شده LNG که هیدروژن خورشیدی را حمل می‌کنند انجام شود، همانگونه که قبلاً در بخش "سناریوهای کاهش GHG: دیدگاه وسیع" ذکر شد.

یک ادعای دیگر، که توسط ردکنندگان انرژی‌های تجدیدپذیر استفاده می‌شود تا این افسانه را تقویت کنند، آن است که انرژی‌های تجدیدپذیر هنوز به تحقیق و توسعه بسیار بیشتری نیاز دارند تا بتوان آن‌ها را به عنوان منبع اصلی انرژی یک جامعه صنعتی در نظر گرفت. اما این ادعا هم نادرست است، همان‌گونه که بحث‌های مربوط به فناوری‌های تجدیدپذیر در فصل ۲ آشکارا نشان می‌دهد. طراحی کارآمد خورشیدی ساختمان‌ها، آبگرمکن خورشیدی، انرژی بادی واقع در خشکی، برق آبی، الکتریسیته و گرمای ناشی از سوزاندن زیست‌توده و چندین نوع از مازول‌های فتوولتاییک خورشیدی همگی از نظر تجاری فناوری‌های بالغی محسوب شده و در مقیاس وسیعی در دست تولید انبوه هستند (رک فصل ۲). مزارع بادی فراساحلی و نیروگاه‌های CST با آینه‌های سهموی و ذخیره‌سازی انرژی حرارتی در نمک مذاب به صورت تجاری در سطح محدودی از تولید در دسترس هستند - از نظر بلوغ فنی، این فناوری‌ها در مرحله توزیع اولیه قرار دارند. نیروگاه‌های CST مبتنی بر برج‌های نیرو و جمع‌آورنده‌های فرزنل خطی و چندین نوع از سامانه‌های توان امواج در مرحله آزمایشی قرار دارند. در نتیجه، بسته به موقعیت جغرافیایی مورد نظر، مجموعه قابل توجهی از فناوری‌های انرژی پاک برای

انتخاب در دسترس هستند. از سوی دیگر، از میان سایر فناوری‌هایی که بالقوه می‌توانند دارای سطح تولید کربن پایین باشند، انرژی زغال‌سنگی مجهز به CCS تازه در حال ورود به مرحله آزمایشی است و نسل ۴ نیروگاه‌های هسته‌ای (راکتورهای زاینده سریع) نیز چندین دهه است که در مرحله آزمایشی درجا می‌زنند (رک فصل ۶).

آژانس بین‌المللی انرژی (IEA)، که در پاسخ به بحران نفتی سال ۷۴-۱۹۷۳ بنیاد نهاده شد، "برای تضمین دسترسی ۲۸ کشور عضو خود به انرژی قابل اطمینان، مقرون به صرفه و پاک فعالیت می‌کنند" [۲۲]. در طی این دهه‌ها علاقه اصلی این آژانس معطوف به فناوری‌های سوخت‌های فسیلی و هسته‌ای بوده است. از آنجایی که IEA در درک پتانسیل انرژی‌های تجدیدپذیر به کندی حرکت می‌کرد، در سال ۲۰۰۹ حامیان انرژی‌های تجدیدپذیر یک سازمان جایگزین، موسوم به آژانس بین‌المللی انرژی تجدیدپذیر<sup>۱</sup> (IRENA)، بنیاد نهادند. در عین حال، حتی IEA نیز یک سناریوی انرژی با کربن کم، موسوم به نقشه آبی، منتشر کرده است که در آن انرژی‌های تجدیدپذیر تقریباً نیمی از مصرف الکتریسیته جهان در سال ۲۰۵۰ را تأمین خواهند کرد [۲۳]. گرچه که یک سناریو یک پیش‌بینی نیست، اما این واقعیت که IEA این میزان بالا از سهم تأمین انرژی را به انرژی‌های تجدیدپذیر اختصاص داده است می‌تواند به عنوان ابراز اعتماد به این فناوری‌ها تفسیر شود. ابراز اعتمادی حتی بزرگ‌تر از این توسط دولت دانمارک انجام شده است که هدف رسمی خود را تأمین صددرصد الکتریسیته و گرمایش تجدیدپذیر تا سال ۲۰۳۵ و صددرصد کل انرژی - الکتریسیته، گرمایش و حمل و نقل - تجدیدپذیر تا سال ۲۰۵۰ قرار داده است [۲۴]. اسکاتلند، که همین الان ۳۵ درصد انرژی الکتریکی خود را از منابع تجدیدپذیر تأمین می‌کند، هدف تأمین صددرصد برق خود از منابع تجدیدپذیر را تا سال ۲۰۲۰ را دنبال می‌کند. این کشور قصد دارد در سال ۲۰۲۰ به همان میزانی که برق مصرف می‌کند نسبت به صادرات برق نیز اقدام نماید [۲۵].

مشخص است که این افسانه که انرژی‌های تجدیدپذیر بیش از حد پراکنده یا بیش از حد توسعه‌نیافته هستند تا بتوانند یک جامعه صنعتی را تأمین کنند بی‌اساس است.

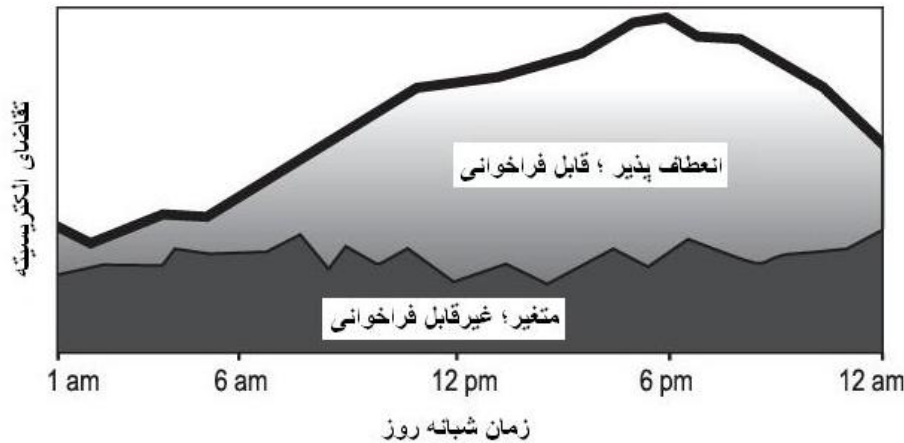
**افسانه ۲: انرژی‌های تجدیدپذیر بیش از حد غیر قابل اطمینان هستند**

افسانه ۲: از آنجایی که انرژی‌های تجدیدپذیر نوسانی هستند، این انرژی‌ها بیش از حد غیر قابل اطمینانند که بتوانند منبع عمده یک سامانه عرضه توان الکتریکی باشند. سطوح بالایی از ادغام انرژی‌های تجدیدپذیر در سامانه‌های قدرت باید تا زمان توسعه نیروگاه‌های بار پایه تجدیدپذیر یا احداث مقادیر زیادی از ذخیره‌سازی انرژی به تأخیر افتند.

شبیه‌سازی کامپیوتری سامانه‌هایی با ۸۰ تا ۱۰۰ درصد انرژی تجدیدپذیر این فرض سنتی را رد می‌کنند. مفهوم ابتدایی متعادل کردن تقاضای بار پایه با عرضه بار پایه، که در فصل ۱ مورد بحث قرار گرفته و در شکل ۱-۷ نشان داده شده است، با در نظر گرفتن یک آینده تجدیدپذیر اصالت خود را از دست داده و کهنه شده است. این مفهوم زمانی مناسب داشت که نیروگاه‌های انعطاف‌ناپذیر بار پایه، زغال‌سنگی یا هسته‌ای، تنها گزینه‌های موجود برای تأمین ۲۴ ساعته توان بودند. اما، زمانی که سطوح بالای ادغام انرژی‌های تجدیدپذیر در شبکه‌های قدرت صورت پذیرد، نیروگاه‌های بار پایه تجدیدپذیر مورد نیاز نخواهند بود. شبیه‌سازی‌های کامپیوتری نشان می‌دهند که تقاضای بار پایه را می‌توان به صورت قابل اطمینانی با ترکیبی از منابع تجدیدپذیر، که هیچ‌کدام از آنها اصالتاً نیروگاه‌های بار پایه نیستند، تأمین کرد. این موضوع در شکل ۳-۱ نشان داده شده است.

معقول‌تر آن است که از ترکیبی از نیروگاه‌های تجدیدپذیر "انعطاف‌پذیر" و "متغیر" صحبت کنیم. خروجی یک نیروگاه "انعطاف‌پذیر" را می‌توان در صورت نیاز به سرعت تغییر داد. علاوه بر این، یک فناوری "انعطاف‌پذیر" قابل کنترل است، بدین معنی که در صورت نیاز می‌توان آن را به سرعت راه‌اندازی کرده و با درجه بالایی از قطعیت به شبکه متصل نمود.

شکل ۳-۱- پاسخگویی به تقاضای روزانه با منابع انرژی تجدیدپذیر انعطاف پذیر و متغیر



این شکل را با مفهوم سنتی نشان داده شده در شکل ۱-۷ مقایسه کنید.

سامانه‌های الکتریسیته تجدیدپذیر زیر، به درجات متفاوتی، انعطاف پذیرند:

- یک نیروگاه دارای سوخت زیستی با منبع مطمئن از سوخت زیست توده،
- یک نیروگاه برقابی با یک سد بزرگ،
- یک نیروگاه زمین گرمایی، و،
- تا حد زیادی، یک نیروگاه CST با مقدار معینی از ذخیره‌سازی حرارتی.

مانند هر تعریف دیگری، در اینجا نیز برخی مفاهیم خاکستری وجود دارند. انعطاف پذیری

یک منبع انرژی تجدیدپذیر با افزایش ظرفیت ذخیره‌سازی افزایش می‌یابد.

از سوی دیگر، منابع بادی، خورشیدی فتوولتائیک بدون ذخیره‌سازی و نیروگاه‌های آبی جریانی انعطاف پذیری بسیار کمتری دارند و به عنوان منابع "متغیر" شناخته می‌شوند. هرچند که خروجی الکتریکی نیروگاه‌های متغیر را می‌توان هر زمان که لازم باشد کاهش داد، اما خروجی این نیروگاه‌ها را نمی‌توان فراتر از آن چه که شرایط آب و هوایی یا میزان جریان آب در زمان مورد نظر دیکته می‌کند افزایش داد. به عبارت دیگر، این نیروگاه‌ها را نمی‌توان با قابلیت اطمینان کافی وارد شبکه نمود، اما اگر این نیروگاه‌ها بخشی از یک ترکیب با نیروگاه‌های تجدیدپذیر انعطاف پذیر باشند این موضوع اهمیتی نخواهد داشت. برخی از افراد فناوری‌های تجدیدپذیر متغیر را "نوسانی" می‌نامند.

من از استفاده از این اصلاح خودداری کرده‌ام، چرا که می‌تواند گمراه‌کننده باشد و به غلط‌القاء کند که تولید با مقیاس بالای الکتریسیته تجدیدپذیر می‌تواند در اثر کاهش سرعت باد یا مسدود شدن تابش خورشید توسط ابرها به‌طور ناگهانی متوقف شود. اگر چه که خروجی یک توربین بادی تنها یا یک مازول فتولتاییک تنها می‌تواند به مفهوم بالا نوسانی تلقی شود، اما یک مزرعه بادی که در طول چندین کیلومتر گسترده شده و یک نیروگاه خورشیدی که در یک کیلومتر یا چیزی در این حدود توزیع شده است به مدت زمان بسیار بیشتری برای قطع شدن نیاز دارد. سیستمی شامل مزارع بادی و نیروگاه‌های خورشیدی که از نظر جغرافیایی پراکنده شده‌اند ممکن است برای قطع شدن نیاز به چندین ساعت زمان داشته باشند. علاوه بر این، تغییرات کوتاه مدت در سرعت باد و تابش خورشید را می‌توان به خوبی با استفاده از مشاهدات آب و هوایی پیش‌بینی کرد.

چالش یک سامانه که بخش عمده آن از منابع تجدیدپذیر تغذیه می‌شود عبارت است از پاسخگویی به اوج تقاضا و نه بار پایه و این کار را می‌توان با ترکیبی از نیروگاه‌های انعطاف‌پذیر و متغیر انجام داد. مفهوم انعطاف‌پذیری را می‌توان به شبکه انتقال و به مدیریت تقاضا نیز تعمیم داد، همانگونه که نتایج شبیه‌سازی‌های دقیق و ساعت‌به‌ساعت عرضه و تقاضا در آمریکا توسط NREL نشان می‌دهند. این مطالعات دریافته‌اند که:

... تولید الکتریسیته تجدیدپذیر با فناوری‌هایی که امروزه به صورت تجاری در دسترس هستند، همراه با سامانه‌های انعطاف‌پذیرتر الکتریکی، برای تأمین ۸۰ درصد کل تولید الکتریسیته در سال ۲۰۵۰ به گونه‌ای که نیاز الکتریسیته همه نواحی آمریکا به صورت ساعت‌به‌ساعت تأمین شود کاملاً کفایت می‌کند ... [علاوه بر این] افزایش انعطاف‌پذیری سامانه الکتریکی، که برای برقراری تعادل بین عرضه و تقاضا در حضور مقادیر زیادی از تولید انرژی الکتریکی تجدیدپذیر ضروری است، می‌تواند با استفاده از ترکیبی از گزینه‌های سمت عرضه و سمت تقاضا حاصل شود. این، شامل تولید متعارف انعطاف‌پذیر، ذخیره‌سازی در شبکه، سامانه‌های انتقال جدید، بارهایی که انعطاف بیشتری داشته باشند، و تغییراتی در نحوه بهره‌برداری از سیستم قدرت می‌شود [۲۶].

در سناریوی NREL که دربرگیرنده ۸۰ درصد برق تجدیدپذیر است، حدود نیمی از تولید سالانه الکتریسیته از منابع نوسانی باد و خورشیدی فتولتاییک تأمین می‌شود. سایر منابع تجدیدپذیر

عبارتند از CST، آبی، زیست توده و زمین گرمایی. زغال سنگ، گاز و هسته ای ۲۰ درصد باقیمانده را تشکیل می دهند که این سهم در سناریوی ۹۰ درصد انرژی تجدیدپذیر NREL به ۱۰ درصد کاهش یافته است. برای یک سهم ۸۰ تا ۹۰ درصدی برق تجدیدپذیر در آمریکا هیچ نیازی به مقادیر بسیار عظیم ذخیره سازی اثبات نشده است.

نتایج حاصل از مدلسازی سناریوها با استفاده از مشاهدات نیز تأیید شده اند. دو سامانه بزرگ الکتریکی در حال حاضر بیش از یک چهارم تولید سالانه الکتریکی خود را از منابع تجدیدپذیر متغیر، عمدتاً بادی، تأمین می کنند. در سال ۲۰۱۲، دانمارک ۳۰ درصد از تولید سالانه الکتریکی خود را از باد گرفته است [۲۷]. هرچند دانمارک با استفاده از خطوط انتقال به آلمان و نروژ متصل است، اما این کشور تا به حال استفاده کمی از این اتصالات برای جبران سازی نوسانات برق بادی خود کرده است. بر خلاف ادعاهای منتقدین انرژی های تجدیدپذیر، تقریباً تمام تولید بادی دانمارک در خود دانمارک مصرف می شود [۲۸]. البته، همچنان که دانمارک در حال توسعه ظرفیت تولید برق بادی خود است تا به هدف ۵۰ درصد برق بادی در سال ۲۰۲۰ برسد، این کشور ناچار خواهد بود که از توانایی ذخیره سازی آبی نروژ استفاده بیشتری بکند و لذا یک خط انتقال سوم بین این دو کشور در دست احداث است و طراحی برای احداث خطوط انتقال جدیدی بین دانمارک و آلمان و هلند در دست اجراست.

در طول سالی که به ماه جولای ۲۰۱۳ ختم شد، ایالت استرالیای جنوبی ۲۷ درصد برق خود را از منابع بادی تأمین کرد و بدین ترتیب باد جایگاه اول زغال سنگ را از آن خود کرد. علاوه بر این، ۳/۷ درصد برق این ایالت توسط مازول های فتوولتائیک خانگی تأمین شد [۲۹]. در نتیجه، نیروگاه زغال سنگی شمالی<sup>۱</sup> با ظرفیت ۵۴۴ مگاوات در طول شش ماه از سال تعطیل است و یک نیروگاه زغال سنگی کوچکتر به نام پلی فورد<sup>۲</sup> نیز احتمالاً به صورت دائمی تعطیل خواهد شد. گرچه که ایالت استرالیای جنوبی تنها از طریق برخی خطوط انتقال ضعیف به ایالت همسایه اش، ویکتوریا، متصل است اما این ایالت در حال طراحی مزارع بادی بیشتر با افزایش جزئی در ظرفیت انتقال توان بین دو ایالت است.

1 Northern Power Station  
2 Playford Power Station

چندین شبکه کوچک برق در مناطق دور افتاده در اطراف دنیا نیز وجود دارند که باد سهمی بیش از ۴۰ درصد در تولید برق سالیانه آنها و با استفاده از سامانه‌های ترکیبی بادی-دیزلی دارد. به عنوان مثال می‌توان به پایگاه ماوسون<sup>۱</sup> در قطب جنوب و شهرک‌های دورافتاده‌ای مثل برمر<sup>۲</sup>، بی<sup>۳</sup>، هوپتون<sup>۴</sup> و کورال بی<sup>۵</sup> در ایالت استرالیای غربی اشاره کرد. در صورتی که از نظر اقتصادی مقرون به صرفه باشد، مثل جاهایی که سوخت دیزل در آنها بسیار گران است، هیچ مانع فنی‌ای برای سهم‌های بسیار بالای برق بادی در کل تولید وجود ندارد.

بنابراین، گرچه که متغیر بودن منابع باد و فتوولتاییک چالش‌هایی به همراه دارد، اما این موضوع، مانع غیرقابل شکستی بر سر راه یک سامانه با صددرصد برق تجدیدپذیر نیست.

### افسانه ۳: انرژی‌های تجدیدپذیر بیش از حد گرانند

افسانه ۳: انرژی‌های تجدیدپذیر بیش از حد گران‌قیمت هستند که بتوان از آنها در

یک مقیاس وسیع بهره جست.

معنی "بیش از حد گران" چیست؟ تغییرات آب و هوای جهانی، که عمدتاً به دلیل سوزاندن سوخت‌های فسیلی به وجود آمده‌اند، مسئول بالا آمدن سطح آب‌های آزاد، از دست رفتن تنوع گونه‌های زیستی و افزایش تعداد حوادث غیر مترقبه، مانند امواج گرما، خشکسالی‌ها، آتش‌سوزی‌های جنگلی، سیل‌ها و احتمالاً طوفان‌های شدید، هستند. آثار سوء اجتماعی و اقتصادی تغییرات چشمگیر آب و هوایی در اثر افزایش درجه حرارت متوسط زمین به میزان  $4^{\circ}\text{C}$ ، یا بیشتر، بر بهداشت انسان، کشاورزی، منابع آب، شهرهای دور افتاده و زیرساخت‌های شهری در مناطق ساحلی احتمالاً بسیار عظیم خواهند بود [۳۰].

از سوی دیگر، قیمت‌های منابع جدید انرژی تجدیدپذیر در حال کاهشند و اگر در طول دوران گذار (رک فصل ۲) سیاست‌های مناسب توسط دولت‌ها اعمال شوند، پیش‌بینی می‌شود که این قیمت‌ها در طی چند سال یا چند دهه قادر به رقابت با قیمت سوخت‌های فسیلی خواهند بود. قیمت برق تولیدی توسط ماژول‌های فتوولتاییک نصب‌شده بر بام منازل مسکونی در آستانه برابری با قیمت خرده-

1 Mawson Antarctic Base

2 Bremer

3 Bay

4 Hopetoun

5 Coral Bay

فروشی برق در چندین نقطه از جهان است و انرژی بادی در مناطق بادخیز همین حالا هم ارزان‌تر از انرژی هسته‌ای بوده و احتمالاً از برق نیروگاه‌های جدید گازی و زغال‌سنگی در جنوب غرب آمریکا و در استرالیا ارزان‌تر است [۳۱]. با در نظر گرفتن قیمت کربن، که هزینه‌های زیست محیطی سوخت‌های فسیلی را جبران می‌کند [۳۲]، می‌توان بحث کرد که تقریباً همه فناوری‌های تجدیدپذیر که به صورت تجاری در دسترس هستند همین حالا هم از نظر اقتصادی رقابتی هستند. در حالی که کاهش هزینه‌ها باید هنوز هم از طریق ادامه تحقیقات توسعه و آزمایش استمرار داشته باشد، این موضوع دلیل خوبی برای به تأخیر انداختن به کارگیری سریع فناوری‌های تجدیدپذیری که به صورت تجاری در دسترس هستند، و افزایش استفاده از آن‌ها قطعاً موجب کاهش بیشتر قیمت آن‌ها خواهد شد، نیست.

### ما با چه سرعتی می‌توانیم دوران گذار را طی کنیم؟

اغلب سناریوهایی که در این فصل معرفی شدند عمدتاً بر روی تغییرات فنی متمرکز هستند. این سناریوها بیان می‌دارند که ما در حال حاضر دارای بسیاری از فناوری‌های مورد نیاز برای کاهش شدید گازهای گلخانه‌ای از طریق کاهش تقاضا برای انرژی و به کارگیری انرژی‌های تجدیدپذیر هستیم. مطالعات همچنین نشان می‌دهند که این گذار، هرچند که در ابتدا از نظر سرمایه‌گذاری مورد نیاز هزینه‌بر است، اما هزینه‌های آن قابل تحمل است. مانع اصلی عبارت است از عدم وجود سیاست‌های مؤثری که این گذار را امکان‌پذیر سازد.

حتی سناریوهایی که سیاست‌هایی را توصیه می‌کنند هم عمدتاً دل‌مشغول سیاست‌های بخصوصی هستند که تغییرات فنی را تشویق می‌کنند، مانند اتخاذ اهدافی برای کاهش گازهای گلخانه‌ای، تعیین اهدافی برای افزایش بهره‌وری انرژی و بهره‌گیری از انرژی‌های تجدیدپذیر، قیمت‌گذاری بر روی انتشار کربن، نرخ‌های حمایتی یا تضمینی<sup>۱</sup> برای انرژی‌های تجدیدپذیر، مقررات و استانداردهایی برای افزایش بهره‌وری انرژی در ساختمان‌ها و لوازم خانگی، و اختصاص بودجه‌های دولتی برای تحقیق، توسعه، آزمایش و زیرساخت‌های جدیدی از قبیل خطوط آهن و خطوط انتقال. این سیاست‌ها و برخی دیگر از سیاست‌ها و راه‌بردها در فصل‌های ۸ و ۹ مورد بحث قرار گرفته‌اند. در عین حال، اجتناب از تغییرات شدید و بازگشت‌ناپذیر آب و هوایی نیازمند پاسخ سریع توسط ملت‌های

<sup>1</sup> Feed-in-tariff

جهان، هم به صورت جمعی و هم به صورت انفرادی، است. تشخیص این که این گذار با چه سرعتی می‌تواند محقق شود یک مسئله ذاتاً فنی نیست. این مسئله دربرگیرنده جنبه‌های وسیع‌تری، از جمله تأمین منابع مالی، آموزش نیروی انسانی، احداث ظرفیت‌های ساخت و ایجاد مؤسسات جدید حاکمیتی در سطح جهانی، ملی و داخلی است. این موضوع نیازمند نوعی از سناریو پژوهی است که با اغلب سناریوهای فنی-زیست محیطی که در این فصل تشریح شدند متفاوت است. از سناریوهایی که در جدول ۳-۱ دسته‌بندی شده‌اند، مطالعه انجام شده توسط شورای مشورتی تغییرات جهانی آلمان (WBGU) نزدیک‌ترین نگاه به این موضوع، حداقل در یک مقیاس جهانی، را داشته است. این زمینه نیازمند مطالعات بیشتری است.

فعالیت‌های اقلیمی این چنین نشان می‌دهند که مقابله سریع با تغییرات آب و هوایی امکان‌پذیر است، مشروط بر آن که راه‌بردهایی با مقیاس و اهداف راه‌بردهای بسیج‌کننده زمان جنگ اتخاذ شوند. برای این که این مفهوم با دقت بیشتری بررسی شود، یک دانشجوی دوره دکتری در دانشگاه نیوساوت‌ولز به نام لاورنس ال دلینا<sup>۱</sup> روایت‌های تاریخی در خصوص تجدیدساختارهای اجتماعی، فنی و اقتصادی چندین کشور در طول جنگ جهانی دوم را به کار می‌گیرد. هدف او بررسی کاربردهای احتمالی تجربیات زمان جنگ در راه‌بردهای بنیادین، سرسختانه و سریع برای مقابله با تغییرات آب و هوایی است. او دریافته است که، هرچند که تجربیات زمان جنگ برخی راه‌بردهای بالقوه برای مقابله سریع با تغییرات آب و هوایی در زمینه‌های تأمین منابع مالی و نیروی انسانی را توصیه می‌کنند، اما این تجربیات دارای محدودیت‌های شدیدی هم هستند که ناشی از فقدان فرایندهای مردم‌سالارانه در آن-هاست. بسیار غیرمحتمل به نظر می‌رسد که صنایع و مردم کشورها بپذیرند که برای مقابله با تغییرات آب و هوایی باید توسط یک "کابینه زمان جنگ" بر آن‌ها حکومت شود. تجدیدساختارهای موجود اجتماعی-اقتصادی از شرکت در یک جنگ پیچیده‌تر است [۳۳].

## نتیجه‌گیری

در مقایسه با آزمایش‌های کنترل نشده در جهان واقعی، سناریو پژوهی‌ها ابزارهای ارزان‌قیمتی برای بررسی پیامدهای اتخاذ فرضیات متفاوت در مورد مسیرهای آینده متفاوت هستند. این مطالعات

1 Laurence L Delina

چشم‌انداز لازم برای گذار بزرگ را فراهم می‌سازند. در حال حاضر مجموعه بزرگی از سناریوهای انرژی پایدار از انواع مختلف برای کل جهان، مناطق و کشورهای منفرد، که مورد بررسی و داوری سایر متخصصان قرار گرفته‌اند، در دسترس است. این سناریوها نشان می‌دهند که ایجاد سامانه‌های آینده انرژی عمدتاً مبتنی بر فناوری‌های تجدیدپذیری که به صورت تجاری در دسترس هستند، از نظر فنی امکان‌پذیر است. به‌طور خاص، برای تولید انرژی الکتریکی، شبیه‌سازی‌های کامپیوتری نشان می‌دهند که در بسیاری از کشورها و سایر مناطق، عرضه ۸۰ تا ۱۰۰ درصد انرژی تجدیدپذیر به همان اندازه نیروگاه‌های موجود فسیلی و هسته‌ای قابلیت اطمینان دارد.

در مقطع زمانی حاضر، تنها تعداد کمی از سناریوها تجزیه و تحلیل اقتصادی دقیق گذار را وجهه همت خویش قرار داده‌اند. هرچند که جزئیات مسئله هنوز هم با ابهاماتی مواجه است اما نتایج کمی اصلی کاملاً واضح هستند. از یک سو، هزینه سرمایه‌گذاری در سامانه‌های انرژی پایدار بسیار بیشتر از هزینه سرمایه‌گذاری در سامانه‌های دارای سوخت فسیلی است. از سوی دیگر، هزینه بهره‌برداری سامانه‌های انرژی پایدار بسیار کمتر است. برخی مطالعات اقتصادی نشان می‌دهند که صرفه‌جویی در هزینه‌های سوخت (از جمله قیمت‌های انتشار کربن) همه یا بخش عمده‌ای از هزینه‌های بالاتر سرمایه‌گذاری در سامانه‌های انرژی پایدار را در طی چند دهه جبران می‌کند. تنوع نتایج به دست آمده جای تعجب ندارد، چرا که قیمت‌های برخی از فناوری‌های تجدیدپذیری که به صورت تجاری در دسترس هستند به سرعت در حال کاهشند، در حالی که برخی فناوری‌های دیگر که هنوز به صورت محدودی تولید می‌شوند دارای پتانسیل بالایی برای کاهش قیمت در اثر توسعه بازار و افزایش میزان تولید در آینده نزدیک هستند. علاوه بر این، عدم قطعیت در خصوص روند قیمت سوخت‌های فسیلی در آینده نیز وجود دارد. در دراز مدت، قیمت‌های بین‌المللی نفت و زغال‌سنگ احتمالاً افزایش خواهند یافت، در حالی که قیمت گاز با افزایش تجارت گاز شیل و متان تولید شده در معادن زغال‌سنگ احتمالاً کاهش خواهد یافت.

نکته دیگری که باید در بررسی‌های اقتصادی در نظر داشت آن است که در مقیاس جهانی، یارانه‌های مستقیمی که به تولید و مصرف سوخت‌های فسیلی پرداخت می‌شوند هنوز هم بسیار بیشتر از یارانه‌هایی هستند که به انرژی‌های تجدیدپذیر اختصاص می‌یابند (رک فصل ۹، "حذف یارانه‌های سوخت‌های فسیلی و انرژی هسته‌ای"). علاوه بر این، ناتوانی اغلب دولت‌ها در لحاظ کردن هزینه خسارت‌های زیست‌محیطی و بهداشتی ناشی از مصرف سوخت‌های فسیلی در قیمت واقعی آن‌ها نیز

نوعی یارانه غیر مستقیم به شمار می‌رود. اعمال جریمه انتشار کربن یک روش برای جبران این یارانه‌های پرداخت شده به سوخت‌های فسیلی است.

علم به ما نشان می‌دهد که کاهش شدید در انتشار گازهای گلخانه‌ای به‌طور اضطراری مورد نیاز است. حتی یک برنامه کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای به صفر تا سال ۲۰۵۰ نیز ممکن است برای اجتناب از تغییرات خطرناک و بازگشت‌ناپذیر آب و هوایی کافی نباشد. در عین حال، در سناریوهای زمان مورد نیاز برای انجام گذار معمولاً یک فرض است که گاهی اوقات توسط بحث‌هایی درخصوص میزان در دسترس بودن منابع انرژی تجدیدپذیر در منطقه مورد نظر، ظرفیت محلی ساخت، منابع مالی و سیاست‌های دولتی پشتیبانی می‌شود. برنامه زمان‌بندی گذار قطعی نیست، چرا که چنین برنامه‌ای عمیقاً به اراده سیاسی محافل بین‌المللی، ملی و استانی که معاهده‌های بین‌المللی و سیاست‌های ملی و استانی را تعیین می‌کنند، ساختار قدرت سیاسی و ساختارهای سازمانی وابسته است. نحوه اثرگذاری شهروندان بر تصمیم‌سازان به منظور اتخاذ سیاست‌هایی که به سرعت و به گونه‌ای مؤثر با تغییرات آب و هوایی مقابله می‌کنند در فصل ۱۱ مورد بحث قرار گرفته است.

### منابع و یادداشت‌ها

- 1 Saint-Exupéry, A, de (1939) *Terre des Hommes (Wisdom of the Sands)*, Gallimard, Paris.
- 2 Stern, N (2006) Stern Review: The economics of climate change, <[www.webcitation.org/5nCeyEYJr](http://www.webcitation.org/5nCeyEYJr)>; Sørensen, B and Meibom, P (2000) A global renewable energy scenario, *International Journal of Global Energy Issues*, 13: 196–276; International Energy Agency (IEA) (2010) *Energy Technology Perspectives 2010: Scenarios and strategies to 2050*, OECD/IEA, Paris; Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (2011) *Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Mitigation*, <[http://srren.ipcc-wg3.de/report/IPCC\\_SRREN\\_Full\\_Report.pdf/view](http://srren.ipcc-wg3.de/report/IPCC_SRREN_Full_Report.pdf/view)>; Jacobson, MZ and Delucchi, MA (2011) Providing all global energy with wind, water, and solar power, Part I: Technologies, energy resources, quantities and areas of infrastructure, and materials, *Energy Policy*, 39: 1154–69; Delucchi, MA, Jacobson, MZ (2011) Providing all global energy with wind, water, and solar power, Part II: Reliability, system and transmission costs, and policies, *Energy Policy*, 39: 1170–90; WBGU (German Advisory Council on Global Change) (2011) *World in Transition: A social contract for sustainability*, WBGU, Berlin; WWF (2011) *The Energy Report: 100% renewable energy by 2050*, Technical Report, World Wide Fund for Nature, <[wwf.panda.org/energyreport](http://wwf.panda.org/energyreport)>; GEA (2012) *Global Energy Assessment – Toward a Sustainable Future*, Cambridge University Press, Cambridge, UK and the International Institute for Applied Systems Analysis, Laxenburg, Austria,

<[www.globalenergyassessment.org](http://www.globalenergyassessment.org)>; Greenpeace International, EREC and GWEC (2012) *Energy [R]evolution: A sustainable world energy outlook*, 4<sup>th</sup> ed, <[www.greenpeace.org/international/Global/international/publications/climate/2012/Energy%20Revolution%202012/ER2012-Briefing.pdf](http://www.greenpeace.org/international/Global/international/publications/climate/2012/Energy%20Revolution%202012/ER2012-Briefing.pdf)>; European Climate Foundation (ECF) (2010) *Roadmap 2050: A practical guide to a prosperous, low-carbon Europe*, The Hague, Netherlands, European Climate Foundation, <[www.roadmap2050.eu](http://www.roadmap2050.eu)>; Heide, D, Greiner, M, von Bremen, L et al. (2011) Reduced storage and balancing needs in a fully European power system with excess wind and solar power generation, *Renewable Energy*, 36: 2515–23; Rasmussen, MG, Andresen, GB and Greiner, M (2012) Storage and balancing synergies in a fully or highly renewable pan-European power system, *Energy Policy*, 51: 642–51; Elliston, B, Diesendorf, M and MacGill, I (2012a) Simulations of scenarios with 100% renewable electricity in the Australian National Electricity Market, *Energy Policy*, 45: 606–13; Elliston, B, MacGill, I and Diesendorf, M (2013a) Least cost 100% renewable electricity scenarios in the Australian National Electricity Market, *Energy Policy*, 59: 270–82; AEMO (2013) *100 per cent Renewables Study: Modelling outcomes*, Australian Energy Market Operator, July; Lund, H and Mathiesen, B (2009) Energy system analysis of 100% renewable energy systems – the case of Denmark in years 2030 and 2050, *Energy*, 34: 524–31; SRU (German Advisory Council on the Environment) (2011) *Pathways towards a 100% renewable electricity system*, Tech Report, Berlin, Germany, <[www.umweltrat.de/EN](http://www.umweltrat.de/EN)>; Connolly, D, Lund, H, Mathiesen, BV et al. (2011) The first step towards a 100% renewable energy-system for Ireland, *Applied Energy*, 88: 502–07; Lehmann, H (2003) *Energy Rich Japan*, Technical Report, Institute for Sustainable Solutions and Innovations, <<http://energyrichjapan.info>>; Mason, IG, Page, SC and Williamson, AG (2010) A 100% renewable electricity generation system for New Zealand utilising hydro, wind, geothermal and biomass resources, *Energy Policy*, 38: 3973–84; Sørensen, B (2008) A renewable energy and hydrogen scenario for northern Europe, *International Journal of Energy Research*, 32: 471–500; Krajačić, G, Duić, N, Zmijarević, Z et al. (2011) How to achieve a 100% RES electricity supply for Portugal? *Applied Energy*, 88: 508–17; Kemp, M and Wexler, J (eds) (2010) *Zero Carbon Britain 2030: A new energy strategy*, Technical Report, Centre for Alternative Technology, <<http://zerocarbonbritain.com>>; National Renewable Energy Laboratory (NREL) (2012) *Renewable Electricity Futures*, <[www.osti.gov/bridge](http://www.osti.gov/bridge)>.

- 3 Kemp and Wexler (2010).
- 4 GEA (2012).
- 5 Daly, HE (1977) *Steady State Economics: The economics of biophysical equilibrium and moral growth*, WH Freeman, San Francisco; Victor, PA (2008) *Managing without Growth: Slower by design, not disaster*, Edward Elgar, Cheltenham, UK; Jackson, T (2010) *Prosperity without Growth: Economics for a finite planet*, Earthscan, London; Dietz, R and O'Neill, D (2013) *Enough is Enough: Building a sustainable economy in a world of finite resources*, BK, San Francisco.
- 6 IEA (2010), p 102.

- 7 Kemp and Wexler (2010).
- 8 MacKay, DJC (2009) *Sustainable Energy – without the hot air*, UIT, Cambridge, UK.
- 9 Desertec Foundation <[www.desertec.org](http://www.desertec.org)>.
- 10 NREL (2012).
- 11 Elliston et al. (2012a); AEMO (2013).
- 12 Lehmann (2003).
- 13 Elliston et al. (2012a).
- 14 Elliston, B, Diesendorf, M and MacGill, I (2012b); Reliability of 100% renewable electricity in the Australian National Electricity Market, Proc. IRENEC 2012, 2nd International 100% Renewable Energy Conference, Istanbul, June, pp 325–31.
- 15 Jacobson and Delucchi (2011).
- 16 Elliston et al. (2013a).
- 17 Riedy, C and Diesendorf, M (2003) Financial subsidies to the Australian fossil fuel industry, *Energy Policy*, 31: 125–37; Riedy, CJ (2007) *Energy and Transport Subsidies in Australia: 2007 update*, Institute for Sustainable Futures, Sydney.
- 18 Elliston, B, MacGill, I and Diesendorf, M (2013b) Comparing least cost scenarios for 100% renewable electricity with low emission fossil fuel scenarios in the Australian National Electricity Market, Discussion paper to be published <[www.ies.unsw.edu.au/about-us/news-activities/2013/08/does-coal-have-future](http://www.ies.unsw.edu.au/about-us/news-activities/2013/08/does-coal-have-future)>.
- 19 NREL (2012).
- 20 Heide et al. (2011).
- 21 Rasmussen et al. (2012).
- 22 IEA <[www.iea.org](http://www.iea.org)>.
- 23 IEA (2010), p 80.
- 24 Danish Government (2011) *Our Future Energy*, Copenhagen, November.
- 25 Scottish Government (2011) *2020 Routemap for Renewable Energy in Scotland*, Edinburgh, July; Scottish Government (2012) *2020 Renewable Routemap for Scotland – Update*, <[www.scotland.gov.uk/Resource/Doc/917/0118802.pdf](http://www.scotland.gov.uk/Resource/Doc/917/0118802.pdf)>.
- 26 NREL (2012), vol 1, p iii.
- 27 Danish Energy Agency (2013) Electricity consumption fell by 1.3% in 2012, 11 February, <[www.ens.dk/en/info/news-danish-energy-agency/electricityconsumption-fell-13-2012](http://www.ens.dk/en/info/news-danish-energy-agency/electricityconsumption-fell-13-2012)>.
- 28 Lund, H, Hvelplund, F, østergaard, PA et al. (2010) *Danish Wind Power Export and Cost*, CEESA Research Project, Aalborg University, <[http://vbn.aau.dk/en/publications/danish-wind-power--export-and-cost\(71a8b090-31b0-11df-b84e-000ea68e967b\).html](http://vbn.aau.dk/en/publications/danish-wind-power--export-and-cost(71a8b090-31b0-11df-b84e-000ea68e967b).html)>.
- 29 Boland, J (2012) Wind power: Why is South Australia so successful?, *The Conversation*, <<http://theconversation.edu.au/wind-power-why-issouth-australia-so>>.

- 
- successful-9706>; Australian Energy Market Operator (2013) South Australian Electricity Report, 30 August, <[www.aemo.com.au/Electricity/Planning/South-Australian-Advisory-Functions/South-Australian-Electricity-Report](http://www.aemo.com.au/Electricity/Planning/South-Australian-Advisory-Functions/South-Australian-Electricity-Report)>.
- 30 Potsdam Institute (2012) *Turn Down the Heat: Why a 4°C warmer world should be avoided*, The World Bank, Washington, DC.
- 31 Burger, A (2013) SW wind farms to supply clean, renewable power for less cost than natural gas, TriplePundit <[www.triplepundit.com/2013/07/southwest-wind-farms-supply-clean-renewable-power-cost-natural-gas](http://www.triplepundit.com/2013/07/southwest-wind-farms-supply-clean-renewable-power-cost-natural-gas)>; Paton, J (2013) Australian wind energy now cheaper than coal, gas, BNEF says, *Bloomberg New Energy Finance*, 7 February, <[www.bloomberg.com/news/2013-02-06/australia-wind-energy-cheaper-than-coal-natural-gas-bnef-says.html](http://www.bloomberg.com/news/2013-02-06/australia-wind-energy-cheaper-than-coal-natural-gas-bnef-says.html)>.
- 32 ExternE studies <[www.externe.info/externe\\_2006](http://www.externe.info/externe_2006)>.
- 33 Delina, L and Diesendorf, M (2013) Is wartime mobilisation a suitable policy model for rapid national climate mitigation?, *Energy Policy*, 58: 371–80.



# **بخش دوم**

**کدام فناوری‌ها پایدار هستند؟**



## فصل ۴

### صرفه‌جویی در انرژی

مشتریان کیلووات ساعت نمی‌خواهند، آن‌ها خدماتی از قبیل دوش آب گرم، نوشیدنی خنک، اتاق‌های روشن و محورهای مکانیکی گردان، که با مصرف برق کمتر و با کارآمدی بیشتری به دست آیند، می‌خواهند. [۱]

آموری ب لوینز<sup>۱</sup>

شرکت مک کینزی و شرکا<sup>۲</sup>، که یک شرکت مشاور چندملیتی است و در زمینه امور عمده‌ای از قبیل مدیریت ارشد فعالیت‌های تجاری، دولت و سایر مؤسسات کار می‌کند، به عنوان پیش‌کسوتی بزرگ در این صنف شناخته می‌شود. بنابراین بسیاری از مدیران تجاری و سیاستمداران از دیدن یک سری گزارش‌های منتشر شده توسط این شرکت، که نشان می‌دادند که پتانسیل‌های عظیمی - هم در عرصه جهانی و هم در کشورها - برای کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای (GHG) و هم‌زمان صرفه‌جویی اقتصادی وجود دارد، شگفت‌زده شدند.

منحنی‌های هزینه مک کینزی<sup>۳</sup>، که حالا کاملاً شناخته شده هستند، میزان کاهش در گازهای گلخانه‌ای و صرفه‌جویی اقتصادی متناظر با آن، یا هزینه محدود و وسیعی از فناوری‌های افزایش بهره‌وری انرژی (EE) و عرضه انرژی و تمهیداتی که عمدتاً از انرژی‌های تجدیدپذیر (RE) استفاده می‌کنند را نشان می‌دهند [۲]. نمونه ساده شده این منحنی را در شکل ۴-۱ می‌بینید. در این شکل شما متوجه می‌شوید که میزان کل صرفه‌جویی در هزینه‌های ناشی از افزایش بهره‌وری انرژی (سطح کل همه میله‌هایی که در زیر محور افقی قرار دارند) تقریباً برابر است با کل هزینه‌های مربوط به استفاده از منابع انرژی با کربن کم (سطح کل همه میله‌هایی که در بالای محور افقی قرار دارند). به عبارت دیگر،

---

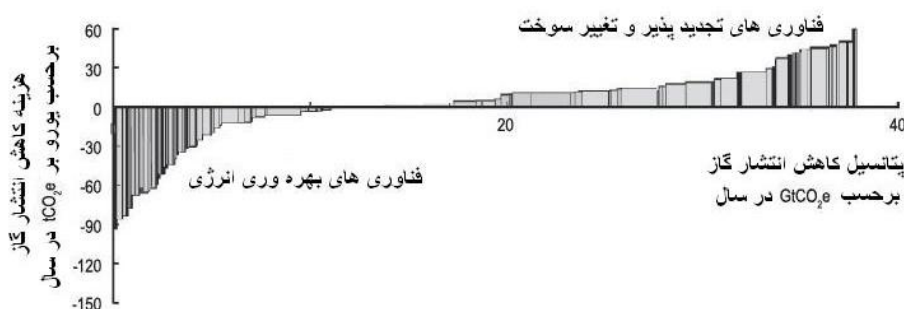
1 Amory B Lovins

2 Mckinsey & Company

3 Mckinsey Cost Curves

اگر هوشمندانه عمل کنیم، می‌توانیم بخش عمده هزینه‌های استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر را با استفاده از منابع صرفه‌جویی شده در اثر افزایش بهره‌وری انرژی جبران کنیم.

شکل ۴-۱- منحنی‌های ساده‌سازی شده برای یک اقتصاد کم کربن



توجه: ارتفاع یک میله عمودی نشان دهنده هزینه خالص (مثبت یا منفی) یک فناوری خاص، عرض آن نشان‌دهنده میزان کاهش انتشار GHG که این فناوری می‌تواند محقق کند، و سطح هر میله نشان‌دهنده هزینه کل پولی (مثبت یا منفی) اعمال این فناوری است.

هرچند که نتایج تحقیقات مک‌کینزی و نحوه نمایش آن‌ها در منحنی‌های هزینه از دهه‌های قبل برای متخصصین بهره‌وری انرژی شناخته شده بوده‌اند، اما انتشار این گزارش‌ها توسط مک‌کینزی موجب افزایش اعتبار این رشته و آسیب رسیدن به اعتبار اقتصاددانانی شد که جلوی پیشرفت در امر بهره‌وری انرژی را گرفته بودند. این قبیل اقتصاددانان در طول چندین دهه استدلال می‌کردند که در صورت استفاده از روش‌های بهره‌وری انرژی، منافع اقتصادی جدیدی در دسترس نخواهد بود چرا که اگر هم چنین منافعی وجود داشته باشند، قبلاً توسط بخش‌های رقیب تصاحب شده‌اند (بحث بیشتر در این خصوص را در ادامه در بخش "موانع بهره‌وری انرژی" ببینید).

آژانس بین‌المللی انرژی (IEA) یک رکن اصلی در صنایع سوخت‌های فسیلی و هسته‌ای بوده است. در عین حال، در سال‌های اخیر حتی این آژانس نیز از احتمال وجود منافع اقتصادی بالقوه بهره‌وری انرژی و توانایی آن در کاهش GHG هیجان‌زده شده است. "سناریوی جهان کارآمد"<sup>۱</sup> آن:

... پیش‌نویسی برای تحقق بخشیدن به بهره‌وری انرژی که از نظر اقتصادی قابل قبول باشد را عرضه می‌کند ... ۱۱۸۰۰ میلیارد دلار سرمایه‌گذاری بیشتر در فناوری‌های مصرف‌کننده نهایی که کارآمدتر باشند مورد نیاز است، اما این سرمایه‌گذاری از

1 Efficient World Scenario

مجموع ۱۷۵۰۰ میلیارد دلاری که در اثر کاهش هزینه‌های سوخت صرفه‌جویی شده و ۵۹۰۰ میلیاردی که از سرمایه‌گذاری در طرف عرضه کاسته می‌شود بسیار کمتر است [۳].

سناریوی IEA از فناوری‌هایی که به صورت تجاری در دسترس هستند استفاده می‌کند. فرض کلیدی در اینجا این است که سیاست‌های لازم برای اینکه بازار را قادر سازند تا پتانسیل آن دسته از اقدامات شناخته شده بهره‌وری انرژی که از نظر اقتصادی قابل قبول هستند را به فعل درآورند اعمال شده‌اند. علیرغم رشد پیش‌بینی شده تقاضای انرژی در کشورهای غیرعضو OECD (سازمان همکاری اقتصادی و توسعه) اوج تقاضای جهانی هم برای نفت و هم برای زغال‌سنگ قبل از سال ۲۰۲۰ رخ می‌دهد اما تقاضا برای گاز تا سال ۲۰۳۵، سال پایانی سناریو، به رشد خود ادامه می‌دهد. در نتیجه، اوج تولید جهانی CO<sub>2</sub> نیز قبل از سال ۲۰۲۰ اتفاق می‌افتد و پس از آن رو به کاهش می‌نهد تا اینکه در سال ۲۰۳۵ تقریباً به سطح انتشار سال ۲۰۱۰، یعنی ۳۰ گیگاتن در سال، خواهد رسید [۴]. هرچند که فناوری‌های بهره‌وری انرژی به تنهایی برای خنثی کردن بحران آب و هوایی کافی نیستند، اما این فناوری‌ها می‌توانند زیربنای لازم برای سناریوهای انرژی پایدار، که در آن‌ها انرژی‌های تجدیدپذیر وظیفه کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای را تکمیل می‌کنند، را بنیان نهند. در حقیقت، در صورتی که تقاضای جهانی برای انرژی به زودی به حد ثابتی نرسد، یافتن مکان‌های مناسب برای احداث نیروگاه‌های تجدیدپذیری که جایگزین سوخت‌های فسیلی شوند به‌طور فزاینده‌ای دشوارتر خواهد شد.

مشابه سناریو پژوهی IEA، سناریوی ارزیابی جهانی انرژی (GEA)، که در فصل ۳ معرفی شد، هم بهره‌وری انرژی را سریع‌ترین و کم‌هزینه‌ترین گزینه در کوتاه مدت تشخیص داده است. این سناریو همچنین دریافته است که بهره‌وری انرژی دارای "منافع چندگانه، از جمله کاهش آثار شدیداً منفی زیست‌محیطی و بهداشتی، کاهش فقر، تقویت امنیت انرژی، افزایش انعطاف‌پذیری در انتخاب گزینه‌های مربوط به عرضه انرژی و ایجاد فرصت‌های شغلی و اقتصادی" است. GEA یک سناریوی بلندپروازانه برای افزایش بهره‌وری انرژی، که مصرف جهانی انرژی برای گرمایش و سرمایش ساختمان‌ها را تا سال ۲۰۵۰ به نصف می‌رساند، پیشنهاد می‌کند. در بخش صنعت، GEA سناریویی دارد که خروجی صنعتی جهان را تقریباً دو برابر می‌کند اما تقاضای نهایی برای انرژی را تنها ۱۷ درصد افزایش می‌دهد [۵].

در این فصل، ما به پتانسیل بهره‌وری انرژی در ساختمان‌ها و صنایع، یعنی دو بخش اصلی مصرف‌کننده ثابت انرژی، می‌پردازیم (بهره‌وری در حمل و نقل در فصل ۷ آمده است). سپس، موانع افزایش بهره‌وری و راه‌بردها و سیاست‌های لازم برای غلبه بر این موانع را بررسی خواهیم کرد. اما پیش از آن، لازم است که اصطلاحات مبهمی که موجب خدشه‌دار شدن وجههٔ مبحث صرفه‌جویی در انرژی می‌شوند را رفع ابهام کنیم. به عنوان نمونه، "مدیریت تقاضا" اغلب به عنوان یک اصطلاح عمومی برای اشاره کردن به مفاهیم کاملاً متفاوتی مانند بهره‌وری انرژی، صرفه‌جویی در انرژی، کاهش کلی در تقاضای انرژی و انتقال اوج تقاضای انرژی به زمان‌های کم مصرف شبانه روز (کاری که ممکن است در عمل منجر به هیچ کاهش در مصرف انرژی نشود) مورد استفاده قرار می‌گیرد.

## تعاریف

"سرویس‌دهی انرژی"<sup>۱</sup> وظیفه یا خدمتی است که دربرگیرندهٔ انرژی به عنوان یک ورودی است، مانند: گرمایش منازل، روشنایی دفاتر، سرد کردن مواد مختلف، دوش آب گرم و حمل و نقل. در اینجا، تأکید بر روی خدمت‌رسانی است و نه مقدار و نوعی از انرژی که عرضه می‌شود. ارائهٔ سرویس انرژی ممکن است نیازمند بهره‌وری انرژی و نیز عرضهٔ انرژی باشد. به عنوان مثال، سرویس -دهی انرژی یک دوش آب گرم می‌تواند یا با یک آب‌گرم‌کن برقی و یک سردوشی معمولی انجام شود یا با یک آب‌گرم‌کن خورشیدی تقویت شده با مشعل گازی و یک سردوشی که آب را به صورت کارآمدی مصرف می‌کند. در مناطقی که الکتریسیته عمدتاً با استفاده از زغال‌سنگ تولید می‌شود (مثلاً لهستان، آفریقای جنوبی، استرالیا و چین) گزینهٔ دومی مقدار بسیار کمتری CO<sub>2</sub> منتشر می‌کند.

"استفادهٔ کارآمد از انرژی"<sup>۲</sup> (که بعضی وقت‌ها تحت عنوان بهره‌وری انرژی بیان می‌شود [۶]) به مفهوم استفادهٔ کمتر از انرژی برای فراهم کردن یک سطح مشخص از سرویس‌دهی انرژی است، به عنوان مثال، عایق بندی منزل به منظور استفاده از انرژی گرمایشی و سرمایشی کمتر برای دستیابی به یک درجه حرارت مشخص در محیط منزل، یا نصب لامپ‌های فلورسنت یا پنجره‌های سقفی به جای استفاده از لامپ‌های التهابی به منظور دسترسی به همان سطح از روشنایی، یا جایگزینی یک خودرو با

1 Energy Service  
2 Efficient Energy Use

مصرف سوخت بالا با یک خودروی دارای مصرف سوخت کمتر و همان اندازه بُرد و ایمنی. در نتیجه، استفاده کارآمد از انرژی عمدتاً با استفاده از فناوری‌ها یا فرایندهای کارآمدتر صورت می‌پذیرد و نه با تغییر در رفتارهای فردی.

"صرفه‌جویی در انرژی"<sup>۱</sup> به مفهوم استفاده کمتر از انرژی برای رسیدن به سطح کمتری از سرویس‌دهی انرژی است، به عنوان نمونه کمتر گرم کردن منزل در زمستان بدون افزایش بهره‌وری انرژی، یا کمتر رانندگی کردن، یا کار کردن در اتاقی که روشنایی کمتری دارد. سرویس‌دهی انرژی کمتر الزاماً به معنی یک شیوه زندگی فرودست نیست. به عنوان مثال، خاموش کردن برخی از لامپ‌های دفتر ممکن است شدت روشنایی را از مقداری آزاردهنده به سطحی که مطلوب است کاهش دهد، در حالی که ضرورت‌های کار در محیط همچنان رعایت می‌شوند و یا کمتر رانندگی کردن ممکن است به معنی پیاده‌روی بیشتر و در نتیجه خوش‌اندام‌تر شدن و سالم‌تر ماندن باشد. در نتیجه، صرفه‌جویی در انرژی تا حد بسیار زیادی به میزان آگاهی، نوع نگاه و رفتار فرد وابسته است.

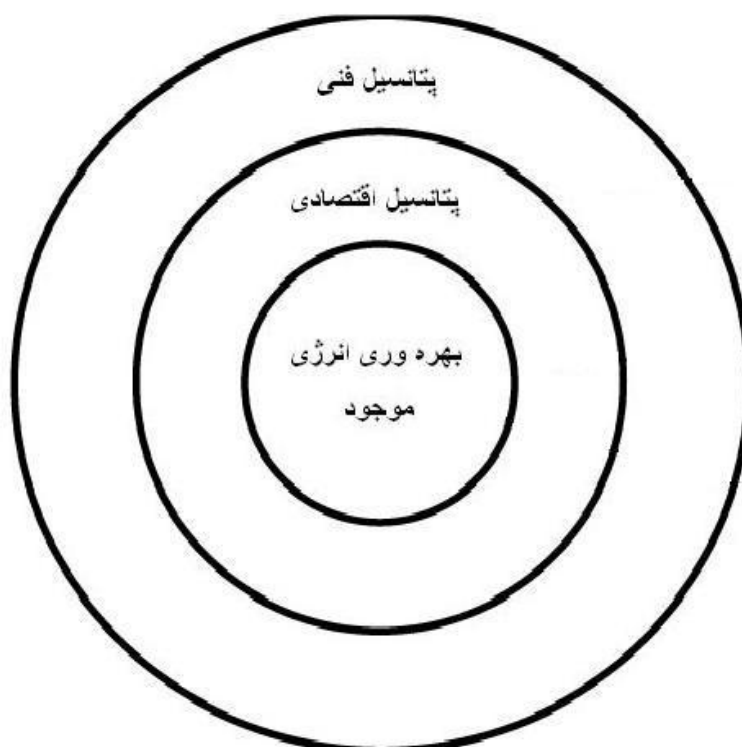
مثل همه تعاریف دیگر، مرز دقیق بین بهره‌وری انرژی و صرفه‌جویی در انرژی ممکن است برخی اوقات نامشخص باشد. مثلاً اعضای خانواده‌ای که در زمستان گرمایش خانه‌شان را کمتر می‌کنند ممکن است لباس‌های گرم‌تری بپوشند. آیا این به معنی استفاده کارآمدتر از انرژی است؟ به نظر من این کار صرفه‌جویی در مصرف انرژی است، چرا که دربرگیرنده تغییراتی در رفتار جاری است و نه نصب عایق‌بندی بر روی بام و دیوارها یا استفاده از یک سامانه گرمایشی کارآمدتر.

کاهش مصرف انرژی ناشی از استفاده کارآمد از انرژی به علاوه صرفه‌جویی در مصرف انرژی، دارای ارزش بالایی هم از نظر زیست‌محیطی و هم از نظر اقتصادی است، خصوصاً اگر این کاهش مصرف انرژی در جهت کاسته شدن از مصرف الکتریسیته با سوخت فسیلی باشد. اگر بازده حرارتی کل یک نیروگاه زغال‌سنگی ۲۹ درصد باشد (رک شکل ۱-۲)، آنگاه یک واحد کاهش در مصرف انرژی نهایی الکتریکی در واقع به معنی صرفه‌جویی حدود ۳/۵ واحد انرژی اولیه ناشی از سوزاندن زغال‌سنگ است. آنچه که میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای را تعیین می‌کند مصرف انرژی اولیه است. علاوه بر این، یک واحد کاهش در مصرف انرژی نهایی الکتریکی در یک منزل یا دفتر کار، باعث کاهش نرخ خرده‌فروشی برقی که به همان منزل یا دفتر عرضه می‌شود هم خواهد شد. بسته به نرخ فروش برق، این موضوع می‌تواند موجب صرفه‌جویی ۲۰ تا ۳۰ سنت در هر کیلووات-

ساعت بشود که صرفه‌جویی بسیار بیشتری در مقایسه با جایگزینی نیروگاه‌هایی با توان خروجی به قیمت ۵ تا ۱۰ سنت در هر کیلووات‌ساعت است.

کاهش مصرف انرژی را می‌توان به عنوان "سودمندی انرژی" نیز در نظر گرفت، یعنی مقدار بیشتری انرژی مفید گرفتن از یک ژول یا کیلووات‌ساعت انرژی. "سودمندی" دارای یک مفهوم فرعی تجاری نیز هست، یعنی افزایش سود. اقتصاددانان و دولت‌ها تأکید زیادی بر سودمندی نیروی کار دارند اما به طرز عجیبی توجه کمتری به سودمندی انرژی، که حداقل باید به همان میزان مهم باشد، می‌کنند.

شکل ۴-۲- سطوح مختلف بهبود در بهره‌وری انرژی



"کاهش اوج تقاضا"<sup>۱</sup> عبارت است از کم کردن میزان اوج تقاضا برای الکتریسیته. حتی اگر این کار موجب صرفه‌جویی در انرژی نشود (به عنوان مثال، اگر این کار تنها اوج مصرف را از حدود ساعت ۶ بعد از ظهر به زمان‌های کم‌مصرف بین نیمه شب و ۶ صبح منتقل نماید) می‌تواند نقش ارزشمندی در امکان‌پذیر ساختن ادغام منابع نوسانی انرژی تجدیدپذیر در شبکه برق (همانگونه که در فصل ۳ بحث شد) ایفا کرده و موجب کاهش هزینه‌های سامانه‌های انتقال و توزیع گردد.

در ادامه، سطوح مختلفی از بهبود در بهره‌وری انرژی که در شکل ۴-۲ نشان داده شده‌اند را تعریف می‌کنیم.

"پتانسیل فنی"<sup>۲</sup> بهره‌وری انرژی عبارت است از حداکثر بهره‌وری‌ای که می‌توان برای یک سطح مشخص از خدمت‌دهی انرژی بدان دست یافت، بدون توجه به اینکه هزینه آن چقدر خواهد بود. در بسیاری از موارد، پتانسیل فنی افزایش بهره‌وری برای لوازم خانگی، تجهیزات و فرایندهای صنعتی مصرف‌کننده انرژی بسیار عظیم است. در عین حال، در حال حاضر فاصله زیادی بین سطح بهره‌وری انرژی‌ای که به‌طور عمومی به دست آمده و پتانسیل فنی‌ای که به لحاظ نظری وجود دارد دیده می‌شود.

"پتانسیل اقتصادی"<sup>۳</sup> عبارت است از سطحی از بهره‌وری انرژی که با در نظر گرفتن قیمت‌های فعلی انرژی و "نرخ بهره"<sup>۴</sup> موجود مقرون به صرفه است [۷]. پتانسیل اقتصادی همواره کمتر از پتانسیل فنی است. پتانسیل اقتصادی در اثر افزایش قیمت انرژی و/یا کاهش قیمت فناوری‌های بهره‌وری انرژی، افزایش می‌یابد. از آنجایی که هزینه بهره‌وری انرژی تقریباً به‌طور کامل هزینه سرمایه‌گذاری بوده و دارای هزینه‌های بهره‌برداری و نگهداری بسیار کمی است، با کاهش نرخ بهره، پتانسیل اقتصادی بهره‌وری نیز افزایش می‌یابد. به عبارت دیگر، هر چه ارزش ذخیره‌های آینده با سرعت کمتری کم شود، این ذخیره‌ها بیشتر قادر به جبران هزینه‌های اولیه بهره‌وری انرژی خواهند بود. متأسفانه، مصرف‌کنندگان انرژی تمایل دارند که نرخ‌های بهره روانی بسیار بالایی برای سرمایه‌گذاری در بهره‌وری انرژی در نظر گیرند. به عنوان مثال، متداول است که انتظار داشته باشیم که دوره بازگشت سرمایه در حدود پنج سال یا کمتر باشد. این بدین معنی است که انتظار داریم که نرخ سود سالیانه

---

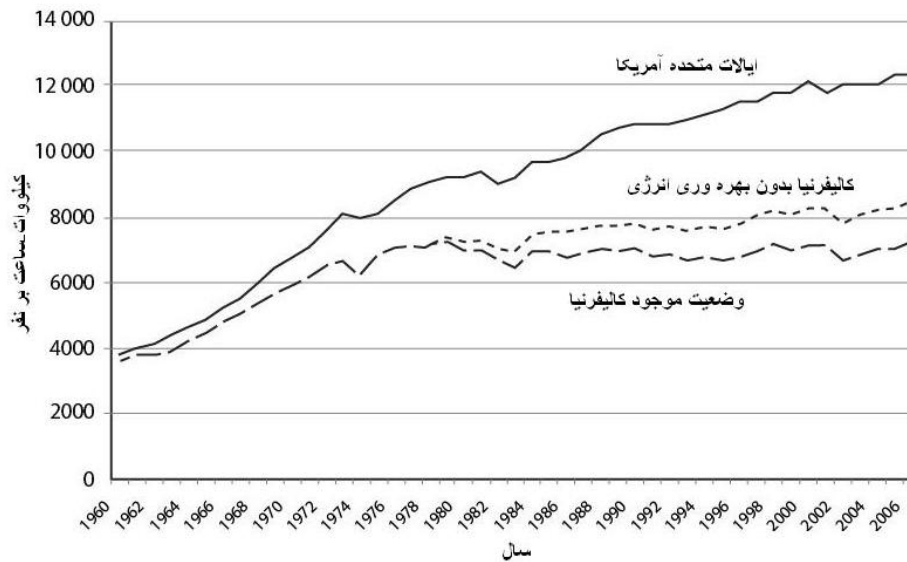
1 Peak Demand Reduction  
2 Technical Potential  
3 Economic Potential  
4 Interest or Discount Rate

سرمایه‌گذاری در حدود ۲۰ درصد باشد که بسیار بیشتر از چیزی است که در صورت سپرده‌گذاری همین پول در بانک به دست می‌آید. در مقیاس محدود، این موضوع انعکاس‌دهندهٔ "هزینهٔ تراکنش"<sup>۱</sup> بالا و اطلاعات ناکافی برای این سرمایه‌گذاری‌ها، یا به عبارت دیگر، ناتوانی بازار است. در عین حال، در مقیاسی وسیع‌تر، این موضوع نشان‌دهندهٔ رفتاری است که از نظر اقتصادی غیرمنطقی است، چرا که بسیاری از تمهیدات بهره‌وری انرژی بسیار ارزان بوده و یک دورهٔ بازگشت سرمایهٔ حتی ده ساله هم معمولاً سرمایه‌گذاری خوبی است. برای مقایسه، سازندگان نیروگاه‌های بزرگ در زمان تصمیم‌گیری برای احداث یک نیروگاه جدید تمایل دارند که نرخ بهرهٔ نسبتاً پایینی، که معادل یک دورهٔ بازگشت سرمایهٔ بیست ساله، یا بیشتر است، را در نظر گیرند. این کار در واقع افتادن از سوی دیگر پشت بام است! چرا که ریسک اقتصادی وام گرفتن پول برای ساخت یک نیروگاه متعارف با سوخت‌های فسیلی در جهانی که از نظر انتشار CO<sub>2</sub> دارای محدودیت‌هایی است هنوز به‌طور دقیق در نرخ بهره‌ای که از مشتری اخذ می‌شود منعکس نشده است.

این واقعیت به‌طور گسترده‌ای در بین مشاورین انرژی مورد توافق است که میزان واقعی بهره‌وری انرژی در اقتصادهای بسیاری از کشورها، چه توسعه‌یافته و چه در حال توسعه، بسیار کمتر از پتانسیل اقتصادی بهره‌وری است، چه برسد به پتانسیل فنی آن! پتانسیل موجود در شکل ۴-۳، که روندهای مصرف الکتریسیته در کالیفرنیا و در کل آمریکا را مقایسه می‌کند، نشان داده شده است. در بین ایالت‌های آمریکا، کالیفرنیا از نظر برنامه‌های بهره‌وری انرژی استثنایی بوده است: برنامه‌های بهبود بهره‌وری در تولید انرژی الکتریکی از سال ۱۹۷۶ و برای بهبود بهره‌وری در ساختمان‌ها و استانداردهای لوازم خانگی از حدود سال ۱۹۷۷ آغاز شد. این نمودار نشان می‌دهد که بهره‌وری انرژی مسئول بخشی از تفاوت بین روند مصرف کالیفرنیا و آمریکا بوده است. سایر عوامل، از قبیل آب و هوا و رشد منابع انرژی تجدیدپذیر، نیز تأثیراتی داشته‌اند. ضمناً، برخی از کسانی که در بخش سیاست‌های انرژی مشغول هستند میزان واقعی بهره‌وری انرژی را "پتانسیل بازار"<sup>۲</sup> می‌نامند، اما این نام‌گذاری چندان مناسب به نظر نمی‌رسد، چرا که ناتوانی بازار در بخش بهره‌وری انرژی، همانگونه که در بخش بعدی مورد بحث قرار گرفته است، بسیار شایع است و لذا "پتانسیل بازار" بی‌معنی است. این موضوع کلاً بستگی به سیاست‌های اتخاذ شده دارد.

1 Transaction Cost  
2 Market Potential

شکل ۴-۳- روند مصرف انرژی: کالیفرنیا در مقایسه با کل آمریکا [۸]



## بهره‌وری انرژی: ساختمان‌ها و صنایع

### ساختمان‌ها

ساختمان‌ها و لوازم خانگی و تجهیزات مصرف‌کننده انرژی در داخل آن‌ها مجموعاً حدود ۳۰ درصد از انرژی نهایی را در جهان مصرف کرده و مسئول انتشار حدود یک سوم CO<sub>2</sub> مرتبط با انرژی هستند [۹]. بسیاری از ساختمان‌هایی که به صورت کارآمدی از انرژی خورشیدی بهره می‌گیرند (یعنی بهره‌وری انرژی به علاوه طراحی خورشیدی غیرفعال) و دارای مصرف انرژی کمی هستند در اطراف جهان پراکنده‌اند، اما محلات یا شهرهای زیادی که کلاً برای استفاده کارآمد از انرژی خورشیدی طراحی شده باشند وجود ندارد. این موضوع نشان‌دهنده وجود شکافی عمیق در میان سیاست‌های تسهیل‌کننده در سطح ملی و در سطح استانی/ایالتی است. در حال حاضر، شهرداری‌ها و دولت‌های محلی در چندین کشور بهترین سابقه را دارا هستند.

در حالی که بالاترین سطوح بهره‌وری انرژی را می‌توان با کمترین هزینه و از طریق طراحی خوب و جانمایی صحیح ساختمان‌های جدید به دست آورد، پتانسیل بسیار بالایی نیز برای طراحی

مجدد و اصلاح بسیاری از ساختمان‌های موجود وجود دارد. هم برای ساختمان‌های نو و هم برای ساختمان‌های موجود هزینه سرمایه‌گذاری اضافی در بسیاری از پروژه‌های بهره‌وری انرژی از طریق صرفه‌جویی در هزینه‌های انرژی جبران می‌شود، هرچند که برای صرفه‌جویی قابل توجه در هزینه انرژی، دوره بازگشت سرمایه برای موارد طراحی مجدد و تعمیرات معمولاً طولانی‌تر است [۱۰].

در کشورهای توسعه‌یافته، در داخل ساختمان‌های مسکونی‌ای که از نظر مصرف انرژی کارآمد نیستند، بخش عمده مصرف انرژی به گرمایش فضاها، آب گرم و لوازم خانگی برقی، خصوصاً یخچال‌ها اختصاص دارد. فناوری‌های کلیدی برای بهبود بهره‌وری انرژی و کاهش انتشار CO<sub>2</sub> عبارتند از:

- پنجره‌های بزرگی که روی دیوارهای مناسب نصب شده و انرژی خورشیدی ورودی به ساختمان در طول زمستان را افزایش می‌دهند و هره‌های پشت بام، درختان خزان‌پذیر، درختان انگور و بوته‌هایی که مانع از ورود تابش خورشید در تابستان می‌شوند،
- عایق‌بندی دیوارهای اصلی ساختمان و مخزن آب گرم،
- پنکه‌های برقی یا کولرهای آبی،
- آب گرم‌کن‌های خورشیدی یا دارای پمپ حرارتی برقی، و،
- لوازم خانگی و تجهیزات با بهره‌وری انرژی بالا.

بحث با جزئیات بیشتر و نکات عملی مربوط به این فناوری‌ها فراتر از چهارچوب مورد نظر در کتاب حاضر است. در عین حال، در پیوست کتاب توصیه‌هایی در خصوص اینکه چه کارهایی می‌توانید انجام دهید تا خانه و سایر فعالیت‌های شما دارای بهره‌وری انرژی بیشتر و انتشار CO<sub>2</sub> کمتری بشوند آمده است. بسیاری از کتاب‌ها و مجلات جنبه‌های عملی این موضوع را مورد بررسی قرار می‌دهند [۱۱]. در بخش مسکونی، تغییر رفتارهای فردی به همان میزان فناوری‌های بهبود بهره‌وری انرژی دارای اهمیت است.

این نکته نیز باید مورد توجه قرار گیرد که تخریب و جایگزینی دائمی ساختمان‌های فعال موجود و دور انداختن و جایگزینی لوازم خانگی و تجهیزات قابل استفاده موجود، همه با هدف افزایش بهره‌وری انرژی، دارای هزینه‌هایی از نقطه نظر انتشار گاز CO<sub>2</sub> هستند چرا که ساختمان‌ها و لوازم موجود در دل خود میزانی از انرژی نهفته دارند (انرژی مورد نیاز برای تهیه مواد خام، ساختن ساختمان، و انتقال و دفن زباله‌هایی که در این فرایند تولید می‌شوند).

در ساختمان‌های تجاری‌ای که از نظر مصرف انرژی کارآمد نیستند، بخش عمده مصرف انرژی معمولاً به گرمایش فضاها، تهویه و تهویه مطبوع<sup>۱</sup> (HVAC) و در مراکز خرده‌فروشی، یخچال-ها، اختصاص دارد. این موارد به سادگی توسط شرکت‌های خدمات انرژی<sup>۲</sup> قابل رفع و رجوع هستند (رک "غلبه بر موانع: راه‌بردها و سیاست‌ها" در ادامه). طراحی نامناسب ساختمان در ساختمان‌های موجود به سادگی قابل تغییر و اصلاح نیست.

با در نظر گرفتن همه انواع ساختمان‌ها، سناریوی GEA بر این باور است که انرژی مصرفی جهانی برای گرمایش و سرمایش ساختمان‌ها را می‌توان با استفاده از "فراگیر کردن بهترین روش‌های طراحی، ساخت و بهره‌برداری ساختمانی موجود و نیز شتاب بخشیدن به اصلاحات و تعمیرات پیشرفته" به نصف کاهش داد. محاسبات این سناریو نشان می‌دهد که رسیدن به این هدف نیازمند حدود ۱۴۰۰۰ میلیارد دلار سرمایه‌گذاری بیشتر (به نرخ‌های جاری) تا سال ۲۰۵۰ است که موجب بازگشت سودی در حدود ۵۸۰۰۰ میلیارد دلار (به نرخ‌های جاری) در اثر صرفه‌جویی در مصرف سوخت و در طی همین دوره زمانی خواهد شد [۱۲].

ساختمان‌ها و محله‌های جدیدی که در مرحله بهره‌برداری دارای مصرف انرژی خالص صفر هستند، یا حتی تولیدکننده‌های انرژی هستند، امکان‌پذیرند و برخی ساختمان‌ها و محله‌های اینچینی به صورت آزمایشی موجودند. در عین حال، این وضعیت تنها برای انواع خاصی از ساختمان‌ها و الگوهای اقامتی، عمدتاً ساختمان‌های کم ارتفاع و نواحی مسکونی با چگالی جمعیتی پایین، قابل دسترسی است. به منظور کاهش مصرف انرژی در حمل و نقل، نواحی مسکونی با چگالی جمعیتی متوسط و بالا دارای برتری هستند (رک فصل ۷). باید به این نکته توجه داشت که حتی یک ساختمان با مصرف خالص انرژی صفر نیز برای فراهم آوردن اجزاء و محتویات خود نیازمند انرژی است و این انرژی توسط صنایع فراهم می‌شود.

### صنایع

همه فرایندهای صنعتی برای تبدیل مواد خام به محصولات خود نیازمند انرژی هستند و در نتیجه جای تعجب نیست که بخش صنعت دیگر مصرف‌کننده عمده انرژی نهایی است. همانند ساختمان‌ها، بخش صنعت نیز به‌طور میانگین حدود ۳۰ درصد مصرف انرژی نهایی جهان را به خود

1 Heating, Ventilation and Air Conditioning  
2 Energy Service Companies

اختصاص می‌دهد، هرچند که این مقدار در کشورهای مختلف دارای تغییرات وسیعی است [۱۳]. صنایعی که دارای بیشترین مصرف انرژی و بیشترین تولید گازهای گلخانه‌ای هستند عبارتند از: صنایع آلومینیم، آهن و فولاد، سیمان، کاغذ و مواد شیمیایی. برخی از این صنایع، علاوه بر تولید گازهای گلخانه‌ای مرتبط با مصرف انرژی، دارای منابع تولیدکننده گازهای گلخانه‌ای اضافی به شرح زیر نیز هستند:

- فولاد از زغال‌سنگ متالوژیک (کک) هم به عنوان یک منبع انرژی و هم به عنوان یک ماده ترکیب‌شونده با سنگ آهن استفاده می‌کند و هر دوی این فرایندها گاز  $CO_2$  منتشر می‌کنند. زیست‌توده‌ای که به صورت پایدار پرورش داده شده و برداشت شده است می‌تواند تا حدودی جایگزین کک شود (رک فصل ۵، "آب و سایر مواد").
- بتن ساخته شده از سیمان پرتلند در طول دوره سفت شدن گاز  $CO_2$  منتشر می‌کند. نوع جدیدی از سیمان، موسوم به Eco-cement، در طول دوره سفت شدن  $CO_2$  جذب می‌کند اما این نوع سیمان هنوز از سوی صنعت ساختمان پذیرفته نشده است (رک فصل ۵، "آب و سایر مواد").
- در فرایند ذوب آلومینیم، مواد پرفلوروکربن<sup>۱</sup> (PFCs)، که هر ملکول آن‌ها دارای پتانسیل تشدید گرمایش جهانی به میزان هزاران برابر یک ملکول  $CO_2$  است، منتشر می‌شوند. صنایع آلومینیم در حال تلاش برای کاهش انتشار این گازها هستند.

برای افزایش بهره‌وری انرژی در صنایع، با استفاده از چندین فناوری که به نحو گسترده‌ای مورد استفاده هستند، می‌توان منافع چشمگیری با دوره بازگشت سرمایه کوتاه مدت به دست آورد. این فناوری‌ها عبارتند از: موتورهای الکتریکی، دیگ‌های بخار و کوره‌ها. همین کار را در کلیت سامانه‌های تولید نیز می‌توان انجام داد. در عین حال، صنایع همواره به عنوان یک مصرف کننده عمده انرژی باقی خواهند ماند، در نتیجه جایگزینی مصرف سوخت‌های فسیلی در صنایع با انرژی‌های تجدیدپذیر به عنوان مکمل بهبود در بهره‌وری انرژی و نیز به منظور کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای ضروری است.

---

1 Perfluorocarbons

## مواع بهره‌وری انرژی

تعدادی از اقتصاددانان نئوکلاسیک به شما خواهند گفت که هیچ پتانسیل اضافی‌ای برای افزایش بهره‌وری انرژی به صورت مقرون به صرفه وجود ندارد چرا که بازار همه فرصت‌های موجود را مورد استفاده قرار داده است. مثال مورد علاقه ایشان این است: "شما هیچ اسکناس ۵۰ دلاری کف خیابان نمی‌بینید، چرا که اگر یک نفر یک اسکناس روی زمین بیندازد، یک نفر دیگر تقریباً بلافاصله آن را برخواهد داشت". این اقتصاددانان به صورت کورکورانه به نظریات ساده‌انگارانه اقتصادی ایمان دارند و این واقعیت را نادیده می‌گیرند که شکست‌های گسترده بازار موجب تضعیف تلاش‌های مربوط به بهبود بهره‌وری انرژی می‌شوند. یک نوع عمده و مهم شکست بازار تحت عنوان "انگیزه تقسیم‌شده"<sup>۱</sup> شناخته می‌شود. در اینجا سه مثال بیان می‌شود:

- در غیاب استانداردهای اجباری درخصوص مصرف انرژی در ساختمان‌ها، صاحبان خانه‌ها تمایل دارند که هزینه‌های خود را به حداقل برسانند و در نتیجه، ساختمان‌های خود را از نظر انرژی کارآمد نمی‌سازند. در عین حال، مستأجران، که معمولاً قبوض انرژی را پرداخت می‌کنند، نمی‌توانند هزینه‌های مصرف انرژی خود را به صورت چشمگیری کاهش دهند بدون آن که تغییراتی در کیفیت ساختمان ایجاد کنند؛ امری که نفع آن به صاحبخانه نیز می‌رسد.
- هر فناوری یا اقدامی که موجب کاهش فروش انرژی الکتریکی توسط شبکه‌های توزیع شود - از قبیل بهره‌وری انرژی، سامانه‌های آبگرمکن خورشیدی و سامانه‌های فتوولتاییک نصب شده در منازل مسکونی - منجر به کاهش درآمد شرکت‌های توزیع برق می‌شود، هرچند که این فناوری‌ها می‌توانند از نظر اقتصادی برای مشتریان این شرکت‌ها بسیار سودمند باشند. در نتیجه، در غیاب سیاست‌های دولتی مناسب، شرکت‌های توزیع احتمالاً چیزی فراتر از ژست‌های تبلیغاتی انجام نخواهند داد.
- در بسیاری از کشورها، مصرف‌کنندگان در برابر افزایش‌های شدید در قیمت برق از طریق اعمال سقف بر قیمت هر واحد از انرژی الکتریکی فروخته‌شده محافظت می‌شوند. در نتیجه، عمده-فروشان و خرده‌فروشان برق تشویق می‌شوند که فارغ از هر گونه دغدغه زیست‌محیطی تا جایی که می‌توانند به مصرف‌کنندگان برق بفروشند.

1 Split Incentive

یک نوع دیگر از شکست بازار زمانی رخ می‌دهد که شرکت‌های کوچکی که در زمینه بهره‌وری انرژی تخصص دارند مجبورند با شرکت‌های عظیم عرضه‌کننده انرژی رقابت کنند. این شرکت‌های بزرگ معمولاً عرضه‌کننده اصلی انرژی به مصرف‌کنندگان هستند و در نتیجه از چندین جنبه دارای مزیت در بازار هستند، از جمله: دارا بودن ارتباطات مستمر با مشتریان خود، دارا بودن بانک‌های اطلاعاتی در خصوص الگوی مصرف مشتریان، دارا بودن حق ورود به املاک مشتریان برای قرائت کنتورها، و در اغلب موارد، حسن ظن مشتریان نسبت به خودشان. در غیاب سیاست‌های دولتی، بسیار نامحتمل است که این شرکت‌ها به مشتریان خود کمک کنند تا بر خلاف منافع تجاری شرکت به بهره‌وری بیشتری در مصرف انرژی دست یابند.

نوع دیگری از شکست بازار نیز از این واقعیت سرچشمه می‌گیرد که تقریباً همه هزینه فناوری‌های بهره‌وری انرژی از نوع هزینه سرمایه‌گذاری هستند که بایستی در همان ابتدای کار پرداخت شوند. حتی وقتی که یک فناوری از نظر اقتصادی مقرون به صرفه بوده و دارای نرخ بازگشت سرمایه سریعی هم هست، بسیاری از مصرف‌کنندگان کم‌درآمد توانایی مالی تهیه آن را ندارند. در نتیجه، برای کمک به طبقات کم‌درآمد در زمینه به‌کارگیری فناوری‌های بهره‌وری انرژی، اجتناب از فقر انرژی و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای نیازمند سیاست‌های دولتی هستیم. برنامه‌های مقاوم‌سازی ساختمان‌ها در برابر شرایط آب و هوایی<sup>۱</sup> و مشوق‌ها و مقرراتی که صاحبان املاک را ملزم به افزایش بهره‌وری انرژی ساختمان‌شان می‌کنند نیز ضروری هستند.

بسیاری از مصرف‌کنندگان انرژی از اطلاعات و تجربه کافی در زمینه بهره‌وری انرژی برخوردار نیستند. حتی زمانی که منابع بی‌طرف اطلاعاتی هم وجود دارند، مقایسه فناوری‌های پایدار انرژی که دارای هزینه سرمایه‌گذاری اولیه بالا و هزینه‌های بهره‌برداری کم هستند با فناوری‌های سنتی عرضه انرژی که هزینه سرمایه‌گذاری اولیه پایین و هزینه‌های بهره‌برداری بالایی دارند برای اغلب مردم دشوار و زمان‌بر است. آنچه که اوضاع را بدتر هم می‌کند آن است که تنها اقلیتی از برق‌کاران و لوله‌کش‌ها برای نصب فناوری‌های بهره‌وری انرژی آموزش دیده‌اند. فقدان کنترل کیفیت بر روی محصولات و نصب فناوری‌های بهره‌وری انرژی نیز موجب بیشتر شدن مشکلات مصرف‌کنندگان در این بخش می‌شود.

مقیاس کوچک فناوری‌های بهره‌وری انرژی موجب ایجاد مانع دیگری می‌شود. فناوری‌های بهره‌وری انرژی معمولاً از بسیاری از مشوق‌ها که در دسترس عرضه‌کنندگان بزرگ انرژی قرار دارند محرومند. از جمله این مشوق‌ها می‌توان به معافیت‌های مالیاتی، وام‌های تضمین شده، توسعه زیرساخت‌ها توسط دولت و فروش سهام برای ایجاد زیرساخت‌ها اشاره کرد. علاوه بر این، در مقایسه با فناوری‌های عرضه انرژی، فناوری‌های بهره‌وری انرژی موضوع پژوهشی چندان پرتفرداری نیست و در نتیجه روند بهبود تولیدات در این زمینه کند بوده است.

برای یک خانوار یا واحد صنفی، افزایش بهره‌وری یک ساختمان و اقلام موجود در آن نیازمند انجام تحقیقات بر روی طیف وسیعی از کالاها و خدمات است. از جمله این کالاها و خدمات می‌توان به عایق بندی، اصلاح پنجره‌ها، روشنایی، انتخاب روش گرمایش، سرمایش و سامانه‌های تهویه مطبوع، و انتخاب لوازم خانگی و تجهیزات اشاره کرد. این مرحله تحقیقاتی ممکن است نیازمند انجام تحقیقات فراوان در اینترنت و انجام تعداد زیادی تماس‌های تلفنی و در ادامه آن، مذاکرات با تعداد زیادی فروشندگان متخصص باشد. اقتصاددانان به این قبیل موانع بهره‌وری انرژی، "هزینه تراکش" می‌گویند و بحث می‌کنند که دشواری‌های اضافی خرید این همه کالاها و خدمات در مقیاس کوچک نشان دهنده هزینه‌های واقعی و اجتناب‌ناپذیری است که باید در محاسبه هزینه‌های کل مدنظر باشند. هرچند این موضوع واقعیت دارد، اما کمکی به حل مشکل نمی‌کند چرا که به غلط اینگونه القاء می‌کند که این موانع ثابت و غیرقابل رفع هستند. در عالم واقع، دولت‌ها می‌توانند این موانع را به سادگی و با هزینه‌های کم از طریق انجام تغییرات مناسب در سیاست‌ها برطرف سازند.

### غلبه بر موانع: راه‌بردها و سیاست‌ها

تفکر راه‌بردی در زمینه صرفه‌جویی در مصرف انرژی با درک این نکته آغاز می‌شود که مؤسسات مرتبط با انرژی و سیاست‌های موجود به سمت عرضه‌کنندگان انرژی تمایل دارند و این در حالی است که در کوتاه مدت پتانسیل‌های عظیمی برای کاهش تقاضای غیرضروری انرژی وجود دارد. یک تمایل یکسویه دیگر، که منحصر به بخش انرژی هم نیست، آن است که معمولاً در دقیقه نود و پس از اتلاف زمان و هزینه، تمایل به انجام تغییراتی بسیار کوچک وجود دارد. با در نظر گرفتن شدت تغییرات آب و هوایی، این تغییرات جزئی کاملاً ناکافی هستند. در نتیجه، قبل از توصیه سیاست-

هایی مشخص برای ترویج بهره‌وری انرژی، راه‌بردهای کلی زیر برای برخورد با این موانع ناشی از تمایل یکسویه را در نظر می‌گیریم: تفکر سیستمی، تغییرات بلندپروازانه در کل سیستم، شرکت‌های خدمات انرژی و جلوگیری از بازگشت به نقطه اول.

### تفکر سیستمی

پیشرفت‌های قابل‌توجه در بهره‌وری انرژی از بازنگری در کل سامانه‌هایی که یک خدمت انرژی را عرضه می‌کنند به دست می‌آید. آنالیزهای استاندارد بر روی یک عنصر واحد، مثلاً یک موتور الکتریکی، تمرکز دارند. در یک برداشت وسیع‌تر، مشاور انرژی آلن پرز<sup>۱</sup> مثال ساده‌ای از یک سامانه را بیان می‌کند که در آن یک موتور الکتریکی پمپی را به حرکت درآورده و پمپ نیز مایعی را در اطراف یک سایت صنعتی به چرخش وا می‌دارد [۱۴]. این سامانه شامل شش عنصر اصلی است: موتور الکتریکی (که با اندازه و بازده‌اش شناخته می‌شود)، سامانه کنترل موتور (کلیدزنی و کنترل سرعت یا گشتاور)، سامانه محرکه موتور (تسمه‌ها، جعبه‌دنده و...)، پمپ، لوله‌ها و تقاضا برای مایع (یا در بسیاری از موارد، گرما یا سرمایی که این مایع منتقل می‌کند). برای ساده‌تر شدن مثال، وضعیت فرضی ساده‌ای را در نظر بگیرید که در آن بازده هر کدام از این عناصر ۱۰ درصد افزایش یافته و بازده هر عنصر مستقل از بازده سایر عناصر است (وضعیت واقعی پیچیده‌تر از این خواهد بود). سطح کلی مصرف انرژی، در مقایسه با سطح ابتدایی معادل یک واحد، به صورت زیر است:

$$0/9 \times 0/9 \times 0/9 \times 0/9 \times 0/9 \times 0/9 = 0/53$$

این بدین مفهوم است که در کل سامانه، یک صرفه‌جویی انرژی معادل ۴۷ درصد انجام شده است. پرز اشاره می‌کند که در عمل چنین چشم‌اندازهایی برای سامانه‌ها به کار گرفته نمی‌شوند چرا که مسئولیت بهبود در عناصر مختلف بر دوش گروه‌های مختلف است. این مثال، اهمیت ایجاد ساختارهای تشکیلاتی مناسب و بهبود بخشیدن به شرایط سخت افزاری و نرم افزاری را آشکار می‌سازد.

### تغییرات بلندپروازانه در کل سامانه

اجازه دهید که تفکر سیستمی را باز هم بیشتر و تا جایی که کل سامانه را بازطراحی کنیم ادامه دهیم. این کار می‌تواند موجب شود که بر مانع "فکر کردن به بهبودهای کوچک در دقیقه نود"، که بر

سر راه بهبود بهره‌وری انرژی قرار دارد، غلبه کنیم. دو کتاب "فاکتور ۴" و "سرمایه‌داری طبیعی"<sup>۲</sup> مثال‌هایی از پیشرفت‌های بسیار بزرگی که می‌توانند از رهگذر بازننگری، بازطراحی و بازمهندسی کل سامانه‌ها به منظور ارائه یک خدمت انرژی خاص حاصل شوند را عرضه می‌کنند [۱۵]. مثال‌ها دربرگیرنده ساختمان‌های تجاری، لوازم خانگی برقی، تجهیزات دفتری، پنجره‌ها، هواکش‌ها، موتورها و خودروها هستند. این مثال‌ها به بهبودهایی با فاکتور ۴ دست می‌یابند و این بدین معنی است که ورودی انرژی و مواد برای تولید یک واحد از یک خدمت خاص با یک فاکتور ۴ (۷۵ درصد) کاهش می‌یابد [۱۶]. امروزه حتی یک مؤسسه فاکتور ۱۰<sup>۳</sup> وجود دارد که روش‌هایی برای کاهش مصرف مواد و انرژی با فاکتور ۱۰ (یعنی ۹۰ درصد) برای عرضه یک سطح مشخص از خدمات را در دست بررسی دارد [۱۷]. لازم به تأکید نیست که وجود سیاست‌هایی برای اعطای وام‌های کم‌بهره به منظور انجام تغییرات در کل سامانه تا چه حد ضروری است.

### شرکت‌های خدمات انرژی

شرکت‌های خدمات انرژی<sup>۴</sup> (ESCOs)، که برخی از اوقات تحت عنوان پیمانکاران بهبود عملکرد انرژی نیز شناخته می‌شوند، شرکت‌هایی هستند که به جای فروش صرفاً انواع خاصی از انرژی به فروش خدمات انرژی مشغولند [۱۸]. با کمک یک ESCO، مصرف‌کنندگان انرژی که تمایل دارند منازل، دفاتر کار و کارخانه‌هایشان را از نظر مصرف انرژی کارآمدتر سازند مجبور نیستند که به طور جداگانه با عرضه‌کنندگان و نصب‌کنندگان عایق بندی، روشنایی کارآمد، آبگرمکن خورشیدی، سامانه‌های کارآمد گرمایشی و سرمایشی و تجهیزات صنعتی وارد قرارداد شوند. ESCO یک فروشگاه همه‌کاره است که کل کار مورد نیاز را به صورت یک بسته واحد و با هزینه تراکنش پایین انجام می‌دهد، دقیقاً مثل یک بازسازی‌کننده آشپزخانه که کل کار بازسازی آشپزخانه را به‌طور یکجا بر عهده می‌گیرد. ESCO قابلیت‌های موجود برای صرفه‌جویی در انرژی را شناسایی و ارزیابی کرده و سپس بسته‌ای از اقدامات بهبوددهنده لازم، که هزینه آن‌ها از طریق صرفه‌جویی در هزینه انرژی بازگشت خواهد کرد، را پیشنهاد می‌کند. ESCO تضمین می‌کند که صرفه‌جویی در هزینه انرژی برابر با یا بیشتر از اقساط سالیانه برای جبران همه هزینه‌های پروژه است و این کار معمولاً در قالب یک

1 Factor 4

2 Natural Capitalism

3 Factor 10 Institute

4 Energy Service Companies

قرارداد ۷ تا ۱۰ ساله انجام می‌شود. اگر صرفه‌جویی مورد نظر تحقق نیابد، آنگاه تفاوت آن را ESCO پرداخت خواهد کرد و نه مشتری. به منظور حصول اطمینان از تحقق صرفه‌جویی مورد نظر، ESCO آموزش کارکنان و خدمات نگهداری درازمدت را نیز عرضه می‌کند.

ESCOها در آمریکا، اروپا و استرالیا عملکردی بسیار عالی در کمک به مصرف‌کنندگان بزرگ انرژی در جهت استفاده کارآمدتر از انرژی داشته و دارند. در عین حال، این صنعت نیازمند یک مکانیسم مستقل برای اندازه‌گیری و تأیید صرفه‌جویی در مصرف انرژی است. این قبیل پروژه‌ها اغلب در بخش‌های تجاری و صنعتی، که انجام پروژه‌ها آسان‌تر و منافع حاصله نیز بیشتر است، متمرکز هستند. ESCOهایی که به خانوارهای انفرادی کمک می‌کنند تا از نظر مصرف کل انرژی بهره‌وری بیشتری داشته باشند، به دلیل هزینه‌های تراکنش بالا، و تا همین اواخر هزینه‌های پایین انرژی، برای موفقیت دست و پا می‌زنند. در عین حال، هزینه‌های تراکنش خانوار را می‌توان از طریق کار با تعداد زیادی خانوار به عنوان یک مجموعه واحد کاهش داد. برای این کار می‌توان به یک سری اطلاعات پایه با استفاده از قبوض برق و گاز دست یافت و سپس بسته‌ای از اقدامات کم‌کربن، مانند آنچه که در پیوست کتاب آمده است، را اعمال نمود. این روش می‌تواند توسط ادارات دولتی مسکن برای پروژه‌های مسکن عمومی و توسط ESCOها برای منازل مشخصی به کار گرفته شود.

### جلوگیری از بازگشت به نقطه اول

یک مانع ظاهری بر سر راه بهره‌وری انرژی، که ناشی از برداشت تنگ‌نظرانه از این مسئله است، مفهوم "اثر بازگشت به نقطه اول"<sup>۱</sup> است. این مفهوم به نحو گسترده‌ای توسط اقتصاددانان نئوکلاسیک ترویج می‌شود. این اثر از اینجا ناشی می‌شود که کسانی که در انرژی صرفه‌جویی می‌کنند معمولاً در نتیجه این صرفه‌جویی پول به دست می‌آورند. اقتصاددانان فرض می‌کنند که پولی که صرفه‌جویی شده است متعاقباً برای خرید وسایل بیشتری که مصرف‌کننده انرژی هستند خرج خواهد شد، یعنی "بازگشت به نقطه اول". یک مورد مشخص که در این زمینه مشاهده شده آن است که کسانی که خانه خود را عایق بندی می‌کنند انتظار دارند که به سطح بالاتری از رفاه گرمایی دست یابند. قبل از عایق بندی، این‌ها اتاق‌ها را به صورت تکی و تنها زمانی که کسی در اتاق بود گرم می‌کردند. پس از عایق بندی، ممکن است که کل خانه را به صورت پیوسته گرم کنند.

1 Rebound Effect

تصویر ذهنی که توسط "بازگشت به نقطه اول" ایجاد می‌شود شبیه یک توپ لاستیکی است که به زمین می‌افتد و سپس به همان سطح اولیه‌ای که از آن رها شده بود بازمی‌گردد. اما، در عالم واقع، میزان بازگشت به نقطه اول بستگی به این دارد که آیا پول به دست آمده در یک فعالیت یا کالای هدردهنده انرژی (مانند یک تلویزیون پلاسما) سرمایه‌گذاری شده یا در یک فعالیت یا کالای صرفه‌جویی کننده در انرژی (مانند خریدن یک یخچال نو با درجه بهره‌وری انرژی A به جای یک یخچال قدیمی با درجه بهره‌وری انرژی D). به‌طور متوسط، در غیاب سیاست‌های بهره‌وری انرژی از سوی دولت، ما انتظار داریم که مردم پولشان را برای انرژی به همان نسبتی خرج کنند که سهم بخش انرژی در تولید ناخالص داخلی<sup>۱</sup> (GDP) است، که در کشورهای صنعتی معمولاً بین ۸ تا ۱۰ درصد است. آژانس بین‌المللی انرژی در سناریوی جهان کارآمد خود این سهم را ۹ درصد فرض کرده است [۱۹]. این بازگشت به نقطه اول در واقع بازگشت بسیار کوچکی است.

میزان بازگشت به نقطه اول را می‌توان باز هم از طریق اعمال سیاست‌های دولتی برای ترویج استانداردهای اجباری بهره‌وری انرژی، ارزیابی و طبقه‌بندی مصرف انرژی در کالاها، قیمت‌گذاری بر انتشار کربن، آموزش و افزایش اطلاعات عمومی (رک بخش بعدی) کاهش داد. علاوه بر این، اگر بازار به گونه‌ای شکل داده شود که خدمات انرژی بسته‌هایی را به مشتریان عرضه کنند که در آن‌ها بهره‌وری انرژی با استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر همراه بوده و صرفه‌جویی اقتصادی ناشی از افزایش بهره‌وری انرژی همه یا بخش عمده هزینه‌های اضافی مربوط به استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر را پوشش دهد، بازگشت به نقطه اول را می‌توان به‌طور کامل حذف کرد، همانگونه که در شکل ۴-۱ نشان داده شده است. در این صورت، کاهش بسیار چشمگیری در انتشار CO<sub>2</sub> رخ می‌دهد بدون آن‌که پول چندانی برای هزینه کردن در بازگشت به نقطه اول وجود داشته باشد. در واقع، حتی این امکان وجود دارد که سناریوهایی طراحی شوند تا مردم مجبور شوند پول صرفه‌جویی شده در اثر افزایش بهره‌وری انرژی را در یک فعالیت بهره‌وری انرژی دیگر سرمایه‌گذاری کنند.

یک نوع متفاوت بازگشت به نقطه اول، که متوقف کردن آن بسیار دشوارتر از جلوگیری از بازگشت به نقطه اول در بخش انرژی است، ناشی از رشد از منظر اقتصاد کلان است. یک راه‌حل

1 Gross Domestic Product

بلندپروازانه برای این معضل عبارت است از انتقال به یک اقتصاد حالت دائمی<sup>۱</sup> که در فصل ۸ ("تغییر سیستم اقتصادی") مورد بحث قرار گرفته است.

### سیاست‌ها

بسیاری از فناوری‌های بهره‌وری انرژی، بالغ و شدیداً مقرون به صرفه هستند. متأسفانه، همانگونه که در بخش قبلی بحث شد، تعدادی از شکست‌های بازار و تمایلات یک‌سویه، مانع از گسترش این فناوری‌ها می‌شوند. در نتیجه، مقررات، مشوق‌ها و جریمه‌های دولتی باید نقش مهمی در توسعه و ترویج بهره‌وری انرژی بر عهده گیرند. حتی در این صورت هم، مجموعه بسیار متنوعی از سیاست‌ها برای رفع موانع موجود مورد نیاز است. اعمال سیاست‌های زیر توسط دولت‌ها، چهارچوب لازم برای فعالیت بخش تجاری و کلیت جامعه را فراهم می‌سازد:

- اهداف و راه‌بردهایی برای دسترسی به آن‌ها کاملاً ضروریند. به عنوان مثال، اتحادیه اروپا هدف کاهش ۲۰ درصدی مصرف انرژی اولیه تا سال ۲۰۲۰، در مقایسه با آنچه که پیش‌بینی شده است، را انتخاب کرده است. این اتحادیه همچنین اعضای خود را ملزم ساخته است که برنامه عملیاتی ملی بهره‌وری انرژی<sup>۲</sup> خود را تهیه کنند [۲۰].
- طبقه‌بندی انرژی، برچسب گذاری انرژی و استانداردهای عملکردی برای همه ساختمان‌ها، اعم از نو یا قدیمی، باید اجباری باشد. دانمارک این فرایند را در دهه ۱۹۷۰ میلادی، زمانی که سازمان کشورهای صادرکننده نفت<sup>۳</sup> (OPEC) قیمت نفت خود را به چهاربرابر افزایش داد، آغاز کرد. این کشور برای آن که مطمئن شود که بهبودها در بهره‌وری انرژی درازمدت هستند، قیمت فرآورده‌های نفتی را، حتی بعد از آن که قیمت نفت کاهش یافت، با وضع مالیات‌هایی بالا نگه داشت. در سال ۲۰۱۲، هدف دانمارک برای رسیدن به ۱۰۰ درصد انرژی تجدیدپذیر (برق، گرمایش و حمل و نقل) تا سال ۲۰۵۰ انگیزه‌های مهمی برای تداوم بهبود در بهره‌وری انرژی محسوب می‌شود. هرچند که ساختمان‌های دانمارک، در مقایسه با ساختمان‌های آمریکا و استرالیا، از نظر بهره‌وری انرژی بسیار جلوتر هستند، اما آخرین هدف کوتاه‌مدت این کشور در زمینه بهره‌وری انرژی، کاهش مصرف اولیه انرژی به میزان ۷/۶ درصد تا سال ۲۰۲۰ است [۲۱].

1 Steady-state Economy

2 National Energy Efficiency Action Plan

3 Organization of the Petroleum Exporting Countries

- سازمانی باید تأسیس شود که صاحبان کم‌درآمد خانه‌ها را با اعطای وام‌های کم‌بهره برای بهبود بخشیدن به بهره‌وری انرژی و تبدیل سوخت مورد نیاز برای گرمایش فضاها و آب‌گرم از فسیلی به گرمایش خورشیدی و پمپ‌های گرمایی کمک کند. یک کار جایگزین می‌تواند مقاوم‌سازی خانه‌ها در برابر عناصر آب و هوایی باشد و دولت می‌تواند وظیفه مقاوم‌سازی خانه‌های افراد کم‌درآمد را رأساً بر عهده بگیرد [۲۲].
- طبقه‌بندی انرژی، برچسب‌گذاری انرژی و استانداردهای عملکردی برای همه لوازم خانگی و تجهیزات مصرف‌کننده انرژی باید اجباری باشد.
- به علاوه، دولت‌ها می‌توانند نوعی از عوارض (هزینه اضافی) بر فروش لوازم و تجهیزاتی که از نظر بهره‌وری انرژی در وضعیت متوسطی هستند و به صورت مرزی استانداردهای اجباری را رعایت کرده‌اند وضع کرده و درآمد حاصل را به صورت تخفیف به خریداران لوازم و تجهیزات دارای بهره‌وری انرژی بالا پرداخت نمایند.
- دفاتر اطلاعات انرژی هم در شهرها و هم به صورت برخط (آنلاین) مورد نیازند تا هزینه تراکنش را برای شهروندانی که قصد دارند منازل و فعالیت‌های اقتصادی‌شان را از نظر مصرف انرژی کارآمدتر سازند، کاهش دهند. متأسفانه بسیاری از دفاتر اطلاعات انرژی موجود پس از آن که دولت‌ها شرکت‌های عمومی عرضه‌کننده انرژی را خصوصی‌سازی کردند رو به تعطیلی نهادند.
- تضاد بین افزایش بهره‌وری انرژی و افزایش فروش انرژی را می‌توان از طریق تبدیل شرکت‌های عرضه‌کننده انرژی به شرکت‌های عرضه‌کننده خدمات انرژی (ESCO) برطرف کرد. دولت‌ها می‌توانند این کار را با تعیین سقف برای درآمدی که شرکت‌های عمومی عرضه‌کننده انرژی اجازه دارند از محل فروش انرژی به دست آورند، تسهیل کنند. متأسفانه این موضوع بر خلاف گفتمان رایج است که در آن تقویت بازارهای انرژی مدنظر است. به شرکت‌های عرضه‌کننده انرژی باید این امکان داده شود که برای کمک به مشتریانی که قصد دارند در مصرف انرژی صرفه‌جویی کنند پاداش‌هایی را دریافت کنند.
- دولت‌ها باید مشوق‌هایی را برای ESCOها در نظر گیرند تا این شرکت‌ها دامنه فعالیت خود را به منازل مسکونی و واحدهای کوچک تجاری و نیز به فعالیت‌های بهبود بهره‌وری انرژی در صناعی که چالش‌آمیزند نیز گسترش دهند.

- همه تجهیزات و فرایندهای جدید صنعتی باید استانداردهای اجباری بهره‌وری انرژی را رعایت کنند.
- برای اینکه تجهیزات و فرایندهای صنعتی که دارای بهره‌وری انرژی کافی نیستند به صورت پیش از موعد از مدار خارج شوند، مشوق‌های دولتی مورد نیازند.
- استانداردهای بهره‌وری انرژی بالاتری نسبت به آنچه که برای عموم جامعه وجود دارد باید بر ساختمان‌ها، لوازم و تجهیزات و وسایل نقلیه موتوری که توسط ادارات و سازمان‌های دولتی خریداری شده یا اجاره می‌شوند اعمال شوند. در نتیجه، بازار برای محصولات دارای بهره‌وری انرژی توسعه خواهد یافت.
- برنامه‌های تشویقی موجود برای صنایع، از قبیل معافیت‌های مالیاتی و وام‌های تضمین شده، باید به گونه‌ای اصلاح شوند که انگیزه برای سرمایه‌گذاری در محصولات دارای بهره‌وری انرژی را افزایش دهند.
- دولت‌ها باید امکان پذیرهنویسی سهام برای تأمین منابع مالی مورد نیاز پروژه‌های بزرگ بهره‌وری انرژی، که تعداد زیادی از پروژه‌های کوچک و پراکنده بهره‌وری انرژی را دربرمی‌گیرند، را فراهم سازند.
- دولت‌ها باید بودجه‌های بیشتری را به آموزش‌های فنی در زمینه ارزیابی انرژی و فناوری‌های بهره‌وری انرژی اختصاص دهند.
- در بودجه‌های تحقیق و توسعه (R&D) دولتی باید بخشی به سرمایه‌گذاری در بهره‌وری انرژی اختصاص یابد.
- اندازه‌گیری‌های رسمی پیشرفت در بهره‌وری انرژی باید برحسب میزان انرژی مصرف شده برای هر واحد محصول یا خدمت باشد. در یک مقیاس ملی، "شدت انرژی"<sup>۱</sup> (یعنی میزان مصرف انرژی برای هر واحد از GDP) معیار مناسبی برای سنجش بهره‌وری انرژی نیست، چرا که این شاخص، هرگاه که رشد GDP از رشد مصرف انرژی بیشتر باشد، کاهش می‌یابد. در نتیجه، چنین کاهش می‌تواند این پیام غلط را ارسال کند که بهره‌وری انرژی افزایش یافته است، در حالی که در بسیاری از موارد اینچنین نیست.

---

1 Energy Intensity

- بودجه‌های دولتی برای تقویت و گسترش "شبکه‌های هوشمند" و "ابزارهای هوشمند"، که موجب کاهش تقاضای انرژی می‌شوند، ضروری هستند. این تمهیدات باید با استفاده از قراردادهایی بین عرضه‌کنندگان برق و مصرف‌کنندگان، که حداکثر تقاضای قابل تأمین برای مصرف‌کننده را تعیین می‌کنند، تکمیل شوند. بخش تقاضا (دیماند) در صورت حساب برق، آنگاه، متناسب با حداکثر تقاضای تعیین شده در قرارداد خواهد بود. این موضوع در فصل ۹ ("مدل‌های تجاری جدید برای صنعت برق") مورد بررسی قرار خواهد گرفت.
- علاوه بر نقش راهبری که از سوی دولت مورد نیاز است، این فرصت برای گروه‌های اجتماعی نیز وجود دارد که به خرید دسته‌جمعی کالاها و خدمات با بهره‌وری انرژی بالا مبادرت ورزند.

### نتیجه‌گیری

بزرگ‌ترین و سریع‌ترین پتانسیل کوتاه مدت برای کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای، در کاهش مصرف انرژی وجود دارد، که در سمت تقاضای انتقال بزرگ قرار می‌گیرد. این پتانسیل شامل اجرای سیاست‌هایی برای تحقیق، توسعه، آزمایش و گسترش فناوری‌های بهره‌وری انرژی، تشویق صرفه‌جویی در مصرف انرژی از طریق تغییر رفتارها و کاهش تقاضا با کمک شبکه‌های "هوشمند" و ابزارهای "هوشمند" می‌شود. مزایای برنامه‌های صرفه‌جویی در مصرف انرژی شامل این موارد نیز می‌شود: امنیت بیشتر انرژی، فقر کم‌تر، فرصت‌های شغلی محلی بیشتر، آلودگی کم‌تر هوا و آب و بهداشت بهتر.

سامانه موجود، از صرفه‌جویی در مصرف انرژی به نحو یکسویه‌ای فاصله گرفته و به طرف عرضه انرژی متمایل شده است. این موضوع حتی در مفهوم گسترده انرژی پایدار نیز دیده می‌شود [۲۳]. بهره‌وری انرژی و انرژی‌های تجدیدپذیر مکمل یکدیگر هستند و بایستی همراه با هم توسعه و گسترش یابند. به منظور هموار ساختن زمین بازی برای صرفه‌جویی در مصرف انرژی، تمرکز راه-بردها، سیاست‌ها و روش‌های اجرایی باید از عرضه انرژی به خدمات انرژی انتقال یابد. این امر مستلزم ایجاد تغییراتی در نهادها و نیز در اهداف، مقررات و استانداردها، تأمین منابع مالی، قیمت‌گذاری، بودجه‌های تحقیق و توسعه، یارانه‌ها و روش‌های دولتی برای تهیه کالاها و خدمات است. به‌طور ویژه،

رشد شرکت‌های خدمات انرژی باید تسهیل شده و حیطة کاری آنها چنان گسترش یابد که تأثیر بیشتری بر بخش مسکن داشته باشند.

هرچند که اقدامات جزئی اغلب مفید هستند، اما این اقدامات می‌توانند به عنوان اقداماتی انحرافی با منافع اندک عمل کنند در حالی که منافع عمده از طریق تغییرات بلندپروازانه در کل سامانه به دست می‌آیند. این موضوع فرایندهای سنتی دولتی و تجاری را به چالش می‌کشد.

### منابع و یادداشتهای فصل

- 1 Lovins, AB (1990) The negawatt revolution, *The Conference Board Magazine*, 27(9): 18–23, <[http://thewindway.com/pdf/E90-20\\_NegawattRevolution.pdf](http://thewindway.com/pdf/E90-20_NegawattRevolution.pdf)>.
- 2 McKinsey & Company (2009) *Pathways to a Low-Carbon Economy*, version 2 of the global greenhouse gas abatement cost curve, <[www.mckinsey.com/client\\_service/sustainability/latest\\_thinking/pathways\\_to\\_a\\_low\\_carbon\\_economy](http://www.mckinsey.com/client_service/sustainability/latest_thinking/pathways_to_a_low_carbon_economy)>.
- 3 International Energy Agency (IEA) (2012) *World Energy Outlook 2012*, OECD/IEA, Paris, p 297.
- 4 IEA (2012), Fig 10.14.
- 5 Global Energy Assessment (GEA) (2012) *Global Energy Assessment – Toward a Sustainable Future*, Cambridge University Press, Cambridge, UK and the International Institute for Applied Systems Analysis, Laxenburg, Austria, <[www.globalenergyassessment.org](http://www.globalenergyassessment.org)>.
۶. اگر دقیق صحبت کنیم، عبارت "بهره‌وری انرژی" را می‌توان هم به تولید کارآمد و هم به مصرف کارآمد انرژی اطلاق کرد. در این کتاب ما این عبارت را تنها بر مصرف انرژی اطلاق می‌کنیم.
- 7 See Chapter 3, 'Simulations of 100 per cent renewable electricity' and Chapter 5, 'Quantified costs and unquantified benefits' for a discussion of discount rates.
- 8 Rosenfeld, AH and Poskanzer, D (2009) A graph is worth a thousand gigawatt-hours: How California came to lead the United States in energy efficiency, *Innovations*, Fall issue: 57–79, Fig 7.
- 9 GEA (2012), Ch 10.
- 10 GEA (2012), Ch 10.
- 11 For books, you could start with Further reading. For magazines, see *Mother Earth News* <[www.motherearthnews.com](http://www.motherearthnews.com)>; *ReNew* <[www.ata.org.au/publications/renew](http://www.ata.org.au/publications/renew)>; *Home Energy* <[www.homeenergy.org](http://www.homeenergy.org)>.
- 12 GEA (2012), Ch 10.
- 13 GEA (2012), Ch 8.

- 14 Pears, A (2004) Energy Efficiency – its Potential: Some perspectives and experiences, Background paper for International Energy Agency Energy Efficiency Workshop, Paris, April.
- 15 von Weizsäcker, E, Lovins, AB and Lovins, LH (1997) *Factor 4: Doubling wealth – halving resource use*, Allen & Unwin, Sydney; Hawken, P, Lovins, A and Lovins, LH (1999) *Natural Capitalism: Creating the next industrial revolution*, Earthscan, London.
- 16 Hawken et al. (1999).
- 17 Factor 10 Institute <[www.factor10-institute.org](http://www.factor10-institute.org)>.
- 18 Vine, E (2005) An international survey of the energy service company (ESCO) industry, *Energy Policy*, 33: 691–704.
- 19 IEA (2012).
- 20 European Commission, Energy Efficiency, <[http://ec.europa.eu/energy/efficiency/eed/eed\\_en.htm](http://ec.europa.eu/energy/efficiency/eed/eed_en.htm)>.
- 21 Danish Energy Agency (2012) *Energy Efficiency Policies and Measures in Denmark*, October, Copenhagen.
- 22 US Department of Energy, Weatherization & Intergovernmental Program, <[www1.eere.energy.gov/wip/wap.html](http://www1.eere.energy.gov/wip/wap.html)>.

۲۳. کتاب حاضر نیز یک چنین جهت‌گیری‌ای دارد، چرا که اغلب تحقیقات خود من در زمینه انرژی‌های تجدیدپذیر بوده است و نه بهره‌وری انرژی.



## فصل ۵

### آثار فناوری‌های انرژی‌های تجدیدپذیر

شکایت‌های بهداشتی [در مورد توربین‌های بادی] به همان اندازه متداول بودند که یک مرغ چوبی تخم می‌گذارد! تا این که گروه‌های وحشت‌افکن پیام‌های آخرالزمانی و ترسناک خود را در بوق و کرنا به گوش ساکنین مناطق روستایی رسانند [۱].

سیمون چاپمن<sup>۱</sup>

من اغلب پشت تریبون سخنرانی در برابر مخاطبین متنوعی قرار می‌گیرم: گروه‌های دانشگاهی، حرفه‌ای، تجاری، زیست‌محیطی، اتحادیه‌های تجاری، سیاسی و مذهبی و افراد علاقه‌مند از کلیت جامعه. در حالی که اکثریت قاطع سوال‌ها و نظرات آگاهانه و سازنده هستند، تعداد کمی از سؤالات و نظرات آشکار می‌سازند که برخی افسانه‌های نادرست و مخالف با انرژی‌های تجدیدپذیر به خورد مردم داده شده‌اند. این افسانه‌ها که دهان به دهان در جامعه می‌چرخند توسط برخی از مخالفین قسم-خورده انرژی‌های تجدیدپذیر و نیز بخش‌هایی از رسانه‌ها تولید و تقویت می‌شوند. هرچند که من به برخی از این افسانه‌ها در فصل‌های ۲ و ۳ پرداخته‌ام، اما فصل حاضر به بررسی و رد افسانه‌های جدیدتری در ارتباط با انرژی‌های تجدیدپذیر اختصاص داده شده است (رک جدول ۵-۱). هر کدام از این افسانه‌ها توسط چندین گروه تحقیقاتی مستقل رد شده‌اند. نتایج تحقیقات علمی و فنی باید به نحو گسترده‌ای منتشر شوند تا مردم بتوانند با آگاهی تصمیم‌گیری کنند و دولت‌ها بتوانند راهبری جامعه را با سیاست‌هایی مبتنی بر واقعیت، و نه تحت تأثیر ترس و سوءبرداشت، بر عهده گیرند.

در فصل حاضر به منافع و آثار زیست‌محیطی، بهداشتی، اجتماعی و اقتصادی انرژی‌های تجدیدپذیر، که در فصول ۲ و ۳ مورد بررسی قرار نگرفتند، می‌پردازیم. با این بررسی، من خدمت باقیمانده افسانه‌هایی که در جدول ۵-۱ آمده‌اند نیز می‌رسم.

---

1 Simon Chapman

جدول ۵-۱- افسانه‌های شایع در ارتباط با انرژی‌های تجدیدپذیر

محل رد	افسانه
فصل ۲، "منابع انرژی تجدیدپذیر"، و فصل ۳، "رد افسانه‌ها-نتایج و بحث"	"انرژی‌های تجدیدپذیر بیش از حد پراکنده‌اند. زمین کافی برای آن که یک جامعه صنعتی را با استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر اداره کرد وجود ندارد."
فصل ۲، "بلوغ فناوری‌های انرژی" و فصل ۳، "رد افسانه‌ها-نتایج و بحث"	"انرژی‌های تجدیدپذیر به اندازه کافی بالغ نیستند که جایگزین سوخت‌های فسیلی شوند."
فصل ۳، "رد افسانه‌ها-نتایج و بحث"	"انرژی‌های تجدیدپذیر بیش از حد غیرقابل اطمینانند. یک سامانه بزرگ عرضه انرژی الکتریکی نیازمند نیروگاه‌های بار پایه است و منابع انرژی تجدیدپذیر قادر به تأمین چنین نیروگاه‌هایی نیستند."
فصل ۳، "رد افسانه‌ها-نتایج و بحث"، و فصل ۵، "هزینه‌های کمی شده و منافع کمی نشده"	"انرژی‌های تجدیدپذیر بیش از حد گران‌قیمتند که بتوان آن‌ها را در مقیاس وسیعی به کار گرفت."
بخش "بازگشت انرژی" در ادامه	"برای ساخت مازول‌های خورشیدی PV انرژی بیشتری، در مقایسه با انرژی‌ای که در طول عمر خود تولید می‌کنند، مورد نیاز است."
"سایر عوارض زیست‌محیطی، بهداشتی و اجتماعی" در ادامه	"توربین‌های بادی موجب بیماری مردم، حتی در ده کیلومتری خود، می‌شوند."
"سایر عوارض زیست‌محیطی، بهداشتی و اجتماعی" در ادامه	"همه سامانه‌های انرژی زیستی دارای عوارض عظیم زیست‌محیطی هستند."

## بازگشت انرژی

تحت چه شرایطی ما مبادرت به جمع‌آوری سوخت و ساختن سامانه‌های تبدیل انرژی‌ای می‌کنیم که سرجمع انرژی ورودی آن‌ها بزرگتر از خروجی انرژی آن سوخت یا سامانه تبدیل انرژی در تمامی طول عمرش باشد؟ این وضعیت برای بعضی از اهداف قابل توجه است، مثل تولید صنعتی مواد غذایی که در آن ورودی انرژی از ماشین‌آلات کشاورزی و کودها در مجموع در حدود ده برابر

خروجی انرژی موجود در ماده غذایی است. یک مثال دیگر به مراحل اولیه استفاده از مازول‌های خورشیدی فتوولتائیک برای تغذیه ماهواره‌های ساخته دست بشر باز می‌گردد. در آن زمان و قبل از آن که سلول‌های فتوولتائیک به صورت انبوه تولید شوند، انرژی ورودی برای ساخت این مازول‌ها بیشتر از مجموع انرژی الکتریکی خروجی آن‌ها بود. در آن زمان این وضعیت برای آن هدف خاص قابل توجیه بود. امروزه مازول‌های خورشیدی در حال تبدیل شدن به یک منبع مهم انرژی در روی کره زمین هستند و به‌طور معمول بین ۱۰ تا ۲۵ برابر انرژی مورد نیاز برای ساختشان را تولید می‌کنند (رک ادامه).

همچنین، این موضوع می‌تواند موجه باشد که مقدار زیادی از انرژی با کیفیت پایین مصرف شود تا مقدار کمی انرژی با کیفیت بالا تولید شود، مشروط بر آن که انرژی ورودی با کیفیت پایین از نوع تجدیدپذیر بوده و نیاز به یک سامانه جمع‌آورنده گران قیمت با مصرف انرژی بالا نداشته باشد. یک مثال، همانگونه که در فصل ۲ در بخش "انرژی دریایی و برقی" تشریح شد، عبارت است از تولید انرژی تجدیدپذیر با استفاده از اختلاف کم دما بین سطح اقیانوس و عمق آن که توسط تابش خورشید ایجاد می‌شود. در عین حال، در حالت کلی معقول نیست که فعالیت‌های استخراج زغال-سنگ، نفت و گاز و تولید انرژی هسته‌ای و هرگونه سامانه‌های بزرگ تولید انرژی‌های تجدیدپذیر به گونه‌ای انجام شوند که میزان انرژی ورودی با کیفیت بالای غیر تجدیدپذیر در طول عمر فعالیت<sup>۱</sup> از انرژی خروجی آن بیشتر باشد. منظور از انرژی ورودی در طول عمر فعالیت مجموع انرژی ورودی از استخراج، آسیا کردن و فراوری مواد خام گرفته تا ساخت، بهره‌برداری و برچیدن سامانه تبدیل انرژی تا مدیریت پسماندهاست. همچنان که منابع سرشار و "سهل‌الوصول" سوخت‌های فسیلی و اورانیوم رو به اتمام هستند، به دنبال منابع "دشوارتر" دیگری هستیم (به عنوان مثال، حفاری و استخراج نفت در کف اقیانوس‌ها و استخراج سنگ اورانیوم با کیفیت پایین) و ورودی‌های انرژی نیز در حال افزایش هستند.

از دیدگاه عوارض زیست‌محیطی، منبع انرژی ورودی، یعنی این که انرژی ورودی از منابع فسیلی باشد یا از منابع تجدیدپذیر، از مقدار آن هم مهم‌تر است. اگر تمایل داریم که انتشار گازهای گلخانه‌ای را کاهش دهیم، این ارزشی ندارد که انرژی‌های تجدیدپذیر را تحت شرایطی تولید کنیم که در آن انتشار CO<sub>2</sub> ناشی از ورودی‌های انرژی فسیلی قابل مقایسه با - یا در واقع بزرگ‌تر از - مقدار

1 Lify-cycle Energy

انتشار گازی باشد که در اثر استفاده از ژنراتورهای تجدیدپذیر به جای ژنراتورهای دارای سوخت فسیلی صرفه‌جویی می‌کنیم. این وضعیت گاهگاهی در مورد تولید سوخت‌های زیستی، که در ادامه و در بخش "سایر عوارض زیست‌محیطی، بهداشتی و اجتماعی" مورد بحث قرار گرفته است، صدق می‌کند.

یک شاخص مفید برای سنجش مقدار خالص انرژی تولیدی توسط یک فناوری عبارت است از بازگشت انرژی از سرمایه‌گذاری<sup>۱</sup> (EROI). این شاخص برابر است با خروجی انرژی در طول عمر فناوری مورد نظر،  $E_{out}$ ، تقسیم بر ورودی انرژی در طول عمر آن،  $E_{in}$ .

$$EROI = E_{out} / E_{in} \quad (\text{معادله ۵-۱})$$

ورودی‌های تجدیدپذیر طبیعی - مانند انرژی خورشیدی مورد استفاده در کشت زیست‌توده به منظور تولید انرژی زیستی - معمولاً در  $E_{in}$  منظور نمی‌شوند. هر چه EROI بزرگ‌تر باشد بهتر است. اگر EROI برای یک فناوری کوچک‌تر از یک باشد این فناوری یک مصرف‌کننده خالص انرژی است نه یک منبع خالص انرژی.

یک شاخص مفید دیگر، دوره بازگشت انرژی ( $T_E$ ) یا تعداد سال‌هایی است که یک سامانه تبدیل انرژی باید کار کند تا کل انرژی ورودی در طول عمر فعالیت خود را تولید نماید. این شاخص برابر است با طول عمر فناوری بر حسب سال،  $t_{life}$ ، ضرب در نسبت  $E_{in} / E_{out}$ . بنابراین:

$$T_E = t_{life} (E_{in} / E_{out}) = t_{life} / EROI \quad (\text{معادله ۵-۲})$$

هر چه دوره بازگشت انرژی کوچکتر باشد بهتر است. به عنوان مثال، برای یک سامانه خورشیدی فتوولتاییک با کیفیت خوب، طول عمر  $t_{life}$  ممکن است ۲۵ سال باشد. آنگاه اگر انرژی خروجی در طول عمر،  $E_{out}$ ، ۲۵ برابر انرژی ورودی در طول عمر،  $E_{in}$ ، باشد دوره بازگشت انرژی یک سال خواهد بود که هم اینک برای برخی از ماژول‌های خورشیدی فتوولتاییک تحقق یافته است. از سوی دیگر، اگر  $E_{out} = E_{in}$ ، آنگاه  $T_E = t_{life} = ۲۵$ ، که وضعیتی بود که در دهه ۱۹۸۰، وقتی که ماژول‌های فتوولتاییک در طول عمر خود انرژی خالصی تولید نمی‌کردند، به چشم می‌خورد.

در عمل، محاسبه  $E_{in}$  به این سادگی نیست، چرا که باید تصمیم گرفت که در کجای یک لیست تقریباً بی‌نهایت از ورودی‌های ممکن، باید کار شمارش و محاسبه ورودی‌ها را متوقف کنیم. آیا ما انرژی مصرف شده در ساخت ماشین‌آلاتی که برای استخراج مواد اولیه سازنده سامانه تبدیل انرژی

1 Energy Return On Investment

موردنظر ما به کار گرفته شده‌اند را هم به حساب می‌آوریم؟ یک آنالیز طول عمر دقیق، نقطه‌ای را شناسایی می‌کند که از آن به بعد باقیمانده ورودی‌ها قابل صرف نظر می‌شوند و محاسبات را در همان جا متوقف می‌سازد [۲].

با افزایش سهم انرژی‌های تجدیدپذیر در سامانه‌های انرژی ملی و جهانی، کل فرایند محاسبه CO<sub>2</sub> ورودی در طول عمر یک فناوری بسیار آسان‌تر می‌شود. تحت این شرایط، سامانه‌های تبدیل انرژی‌های تجدیدپذیر را می‌توان عمدتاً با استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر تولید کرد و این سامانه‌های تبدیل خود به سامانه‌های زاینده انرژی تجدیدپذیر مبدل می‌شوند. در همین حال حاضر برخی از کارخانه‌هایی که مازول‌های فتوولتائیک تولید می‌کنند یا مستقیماً توسط مازول‌های خورشیدی نصب شده بر روی پشت بام‌ها تغذیه می‌شوند و یا از طریق خرید الکتريسيته "سبز" از یک مزرعه بادی. برای دراز مدت، یک پروژه پیشنهادی بلندپروازانه تحت عنوان "زاینده خورشیدی صحرا" مطرح است که در آن کارخانه‌هایی ساخته می‌شوند که از شن‌های صحرا سیلیکن را تولید می‌کنند، از سیلیکن سلول‌های فتوولتائیک را می‌سازند و با استفاده از سلول‌های فتوولتائیک، نیروگاه‌های خورشیدی بنا می‌کنند. بخشی از الکتريسيته تولید شده توسط این نیروگاه‌های خورشیدی برای توسعه ظرفیت تولید سیلیکن و سلول‌های خورشیدی مورد استفاده قرار می‌گیرد تا جایی که به اندازه کافی الکتريسيته خورشیدی برای تغذیه کل آفریقا، و حتی احتمالاً کل جهان، تولید شود [۳].

جدول ۵-۲ دوره بازگشت انرژی تقریبی برای برخی از فناوری‌های تولید انرژی را نشان می‌دهد. علت وجود تغییرات در مقادیر داده شده برای برخی از فناوری‌ها آن است که انرژی خروجی به موقعیت نیروگاه و کیفیت سوخت، اگر سوختی مصرف شود، وابسته است. به عنوان مثال، یک توربین بادی واقع در یک سایت بسیار بادخیز ممکن است یک دوره بازگشت انرژی در حدود ۳ ماه داشته باشد، اما همان توربین اگر در منطقه‌ای با میزان باد کمتر باشد ممکن است برای تولید انرژی ورودی خود نیاز به ۹ ماه داشته باشد. یک مازول فتوولتائیک کریستال سیلیکنی در یک سایت متوسط آمریکایی ممکن است نیاز به ۱/۷ سال داشته باشد، در حالی که همان مازول ممکن است در منطقه آفتابی جنوب غربی آمریکا این کار را در ۱/۲ سال انجام دهد. دوران کوتاه بازگشت انرژی فناوری‌های بادی و فتوولتائیک خورشیدی دسترسی به زاینده‌های انرژی تجدیدپذیر را امکان‌پذیر می‌سازد تا،

بدون آن که جهش‌های عظیمی در میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای حاصل شود، بتوان با استفاده از آن‌ها به مقابله با تغییرات آب و هوایی پرداخت.

جدول ۵-۲- دوره بازگشت انرژی برای فناوری‌های گوناگون

منبع [۴]	طول عمر مورد انتظار فناوری (سال)	دوره بازگشت انرژی (سال)	فناوری
Fthenakis (2012)	۲۵	۰/۵-۱/۸	ماژول‌های خورشیدی PV
Raugei et al. (2012)	۳۰	۱/۵	
Martinez et al. (2009)	۲۰-۲۵	۰/۲۵-۰/۷۵	توربین بادی (بزرگ)
Desideri et al. (2013)	۳۰	۲	خورشیدی CST و آینه سهموی
Lenzen (2008)	۳۰	۶/۵	هسته‌ای (اورانیوم درجه بالا)
Lenzen (2008)	۳۰	۱۴	هسته‌ای (اورانیوم درجه پایین)
Raugei et al. (2012)	۳۰	۱-۲	زغال‌سنگ: متعارف
؟	؟	؟	زغال‌سنگ: با فناوری به دام اندازی و ذخیره‌سازی کربن

نکات:

- نتایج مربوط به فناوری‌های تجدیدپذیر نسبت به موقعیت نیروگاه حساسند.
- برخی از نتایج بالا در مقالات علمی مورد تردید قرار گرفته‌اند و علت تردید، روش مورد استفاده بوده است.

## آب و سایر مواد

با رشد جمعیت، صنایع و فعالیت‌های کشاورزی در مقیاس بزرگ، آب شیرین نیز در حال تبدیل شدن به یک ماده کمیاب است. هرچند که حجم کلی آب ثابت است، اما وقتی که آلوده شد، یا تبخیر شد، یا به‌طور بی‌رویه‌ای از چاه‌های آرتزین طبیعی و در اثر فعالیت‌های انسان استخراج شد، برای اهداف ضروری‌ای از قبیل تولید غذا تقریباً دور از دسترس می‌شود. اکثریت عظیم نیروگاه‌های زغال‌سنگی و هسته‌ای از مقادیر بسیار زیادی آب، و اغلب آب شیرین، برای خنک کردن خود استفاده می‌کنند [۵]. در برخی از مناطق، مانند استرالیا، بسیاری از منازل در طول خشکسالی ده سال گذشته در

معرض جیره‌بندی شدید آب قرار گرفتند در حالی که نیروگاه‌های نزدیک آن‌ها در حال مصرف (تبخیر کردن) آب آشامیدنی در مقادیری که قابل مقایسه با مصرف یک شهر کوچک است بودند و در ازای آن نیز تقریباً هیچ هزینه‌ای نمی‌پرداختند. این امکان وجود دارد که نیروگاه‌ها را به جای آب با استفاده از هوا خنک کرد اما این کار به میزان قابل توجهی هزینه الکتریسیته را افزایش می‌دهد و عمل مرسوم برای نیروگاه‌های زغال‌سنگی نیست و برای نیروگاه‌های هسته‌ای هم اصلاً انجام نمی‌شود.

اغلب منابع انرژی تجدیدپذیر از مقدار خیلی کمی از آب استفاده می‌کنند. حتی آبی که از داخل یک نیروگاه برقابی عبور می‌کند هم برای آبیاری و آشامیدن در پایین دست نیروگاه در دسترس است. یک استثنای موقتی در این قاعده کلی نیروگاه خورشیدی حرارتی متمرکز (CST) است که از آب برای خنک کردن و نیز تمیز کردن آینه‌هایش استفاده می‌کند. در عین حال، از آنجایی که بسیاری از نیروگاه‌های CST آینده قرار است که در مناطق صحرایی پر تابش، اما دارای گرد و غبار، نصب شوند به یک راه حل نیاز داریم. خنک کردن آبی را می‌توان با خنک کردن هوایی جایگزین کرد، به شرطی که هزینه‌های آن مورد قبول واقع شود. برای تمیز کردن آینه‌ها یک راه حل ممکن، تجاری-سازی سامانه‌ای است که برای تمیز کردن پانل‌های خورشیدی PV که انرژی مورد نیاز روبات‌های مریخ‌نورد را تأمین می‌کنند به کار گرفته شده است. این پانل‌ها دارای پوشش مخصوصی بر روی سطح خود هستند. هر از چندگاهی، سیگنال‌های جریان الکتریکی صادر شده توسط باتری مریخ‌نورد از داخل این پوشش سطحی عبور می‌کنند و ۹۰ درصد گرد و غبار مریخی که بر روی پانل‌ها نشسته است را در ظرف دو دقیقه پاک می‌کند. انرژی استفاده‌شده برای ارسال این سیگنال‌ها به مراتب کمتر از انرژی‌ای است که به دست می‌آید [۶].

آنالیز طول عمر نیز می‌تواند رد موادی به جز آب که توسط سامانه‌های انرژی استفاده می‌شوند را داشته باشد. چندین سامانه انرژی تجدیدپذیر - به‌طور خاص آبگرمکن خورشیدی، بادی و CST - در مقایسه با سامانه‌های دارای سوخت فسیلی از مواد جامد بیشتری مانند فولاد و بتن برای تولید یک واحد انرژی استفاده می‌کنند. در عین حال، به نظر می‌رسد که محدودیت‌های قابل توجه اقتصادی و زیست‌محیطی برای استفاده از این مواد، به جز انتشار گازهای گلخانه‌ای، وجود ندارد [۷]. برای سیمان، مواد جایگزین دارای انتشار گاز کمتر در آزمایشگاه تولید شده اما هنوز تجاری‌سازی نشده و برای فعالیت‌های ساختمانی مورد تأیید قرار نگرفته است [۸]. از زیست‌توده می‌توان به جای زغال‌سنگ در فرایند تولید فولاد استفاده کرد، مشروط بر آن که این مواد به روشی که از نظر بوم‌شناختی پایدار باشد

تولید شده باشند [۹]. به چند ماده که در حال حاضر در کمبود هستند، از جمله عنصر کمیاب نئودیمیوم<sup>۱</sup> که در مغناطیس‌های دائمی ژنراتور توربین‌های بادی استفاده می‌شود، باید توجه خاص داشت. مارک جاکوبسون از دانشگاه استنفورد و مارک دلوچی از دانشگاه کالیفرنیا در دیویس به‌طور مشترک تحقیقاتی بر روی گزینه‌هایی برای این ماده و سایر موادی که بالقوه کمیاب هستند انجام داده و معتقدند که در آینده قابل پیش‌بینی مانع عمده‌ای بر سر راه تأمین این مواد وجود ندارد. ایشان این نکته را هم در نظر دارند که اگر این قبیل مواد کمیاب‌تر هم بشوند، این امر موجب بالاتر رفتن قیمت-هایشان خواهد شد که به نوبه خود موجب تلاش بیشتر برای یافتن مواد جایگزین، استفاده از قطعات پس از تعمیر و بازیافت موادی که قابلیت استفاده مجدد ندارند خواهد شد [۱۰]. سایر پژوهشگران معتقدند که کار عاقلانه آن است که از همین الان برای یافتن مواد جایگزین، و نیز یافتن منابع جایگزین برای برخی از موادی که در حال حاضر تنها در یک کشور استخراج می‌شوند، عمل شود. بازارها برای مدیریت کردن موضوعات میان‌مدت و بلندمدت بسیار کم‌اثر هستند و تمرکز اصلی آن‌ها بر کوتاه‌مدت است. بنابراین، دولت‌ها باید نسبت به ارائه مشوق‌هایی برای توسعه مواد و منابع جایگزین اقدام کنند.

### سایر عوارض زیست‌محیطی، بهداشتی و اجتماعی

در اینجا به عوارضی به جز ورودی انرژی و انتشار گاز CO<sub>2</sub> مربوط به آن و استفاده از آب و مواد جامد، که قبلاً بررسی شدند، می‌پردازیم.

#### عوارض انرژی بادی

وضعیت طنزآلودی وجود دارد که در آن فناوری تجدیدپذیری که شدیدترین مخالفت‌ها را از اعضاء جامعه دریافت می‌کند در واقع همانی است که از نظر عوارض زیست‌محیطی و بهداشتی سالم-ترین فناوری است: انرژی باد. توربین‌های بادی در خلال عملکردشان، بر خلاف سوخت‌های فسیلی، نه گاز گلخانه‌ای منتشر می‌کنند و نه آبی مصرف می‌کنند. توربین‌ها تقریباً به‌طور کامل قابل بازیافت هستند. این توربین‌ها معمولاً در زمین‌های کشاورزی یا زمین‌های قهوه‌ای<sup>۲</sup> (زمین‌های شهری که به

1 Rare Earth Neodymium

2 Brown-field Sites

دلیل آلودگی یا بدون استفاده بودن رو به زوال هستند)، یعنی جایی که آثار آن‌ها بر ساکنین و زیست-بوم ناچیز است، نصب می‌شوند. همان‌طور که قبلاً بحث شد، دوره بازگشت انرژی توربین‌های بادی بسیار کوتاه‌تر از دوره بازگشت انرژی نیروگاه‌های فسیلی و هسته‌ای است. در نظر من، طرفداران محیط زیست حق دارند که با احداث نادرست مزارع بادی در نقاطی که به عنوان مثال مستلزم قطع جنگل‌های بومی یا خشکاندن تالاب‌ها باشد مخالفت کنند اما مخالفت با اصل احداث مزارع بادی قابل توجه نیست.

مخالفت‌هایی که فاقد توجه کافی هستند عمدتاً توسط دو گروه از مردم ابراز می‌شوند: ساکنین مناطق روستایی که دوست دارند یک بافت روستایی "طبیعی" که توسط ساختارهای "صنعتی" آلوده نشده است را ببینند و گروه‌هایی که منافعشان را در اثر جایگزینی انرژی بادی به جای سامانه‌های متعارف تولید انرژی محبوبشان، یعنی سوخت‌های فسیلی و هسته‌ای، در خطر می‌بینند. گروه اول، که به <sup>۱</sup>NIMBY (نه در حیاط خلوت من) مشهورند، زمین‌هایی که قبلاً از طریق بریدن جنگل‌ها به مزرعه تبدیل شده‌اند را "طبیعی" می‌بینند، هرچند که این زمین‌ها هیچ شابهتی به وضعیت اولیه خود ندارند و در بسیاری از مناطق به شدت توسط فعالیت‌های جنگل‌داری و کشاورزی آسیب دیده و به افت کیفیت خاک، فرسایش خاک، لگدمال شدن ساحل‌های رودخانه توسط گله‌های دام و از دست دادن تنوع زیستی دچار شده‌اند. در عین حال، این گروه از مخالفین به توربین‌های بادی به عنوان یک "آلودگی بصری" نگاه می‌کنند و آگاهی و حساسیتی نسبت به آسیب‌های محلی شدید در اثر استخراج زغال‌سنگ در سایر مناطق ندارند و نمی‌توانند آسیب‌های وارده جهانی در اثر گازهای نامرئی گلخانه‌ای را تصور کنند. هرچند که این افراد خود را طرفداران حفاظت از محیط زیست می‌نامند، اما تعداد بسیار کمی از آن‌ها قبل از مخالفت با مزارع بادی و یا در خلال مخالفت با آن به‌طور فعال در سایر فعالیت‌های مرتبط با حفاظت از محیط زیست شرکت داشته‌اند. صحبت رودررو با ایشان آشکار می‌کند که نگرانی عمده آن‌ها تأثیر بصری توربین‌های بادی بزرگ و ترس از کاهش قیمت زمین-هایشان است. این قبیل افراد آمادگی دارند که در هر نوع تبلیغاتی، هرچند بی پشتوانه منطقی، که بتواند به متوقف ساختن احداث مزارع بادی در "حیاط خلوت" آن‌ها کمک کند شرکت کنند. برخی از این تبلیغات و برخی پاسخ‌ها به شرح زیر است:

- کشته شدن پرندگان و خفاش‌ها در اکثر ده‌ها هزار مزرعه بادی در اطراف جهان نادر بوده و فقط در تعداد انگشت‌شماری از آن‌ها اتفاق می‌افتد. این تلفات را می‌توان با طراحی و جانمایی مناسب مزارع بادی به حداقل رساند.
  - کاهش ادعایی ارزش زمین. بیشتر بررسی‌ها، از جمله یک مطالعه بسیار گسترده توسط آزمایشگاه ملی لاورنس برکلی<sup>۱</sup> در آمریکا [۱۱]، هیچ کاهشی را نشان نمی‌دهند، در حالی که تعداد کمی از بررسی‌ها نشان دهنده کاهش موقت ارزش زمین بلافاصله پس از اعلام خبر احداث مزرعه بادی هستند که این کاهش نیز با گذشت زمان برطرف می‌شود. در عین حال، این ادعا می‌تواند موجب موفقیت مدعیان مخالف انرژی بادی شود که تلاش‌های تبلیغاتی خود در محل را تبدیل به فعالیت‌های هراس‌افکنانه می‌کنند.
  - آتش‌سوزی در محفظه<sup>۲</sup> توربین‌های بادی. این موارد بسیار نادر بوده و هرگز موجب آتش‌سوزی در جنگل‌ها یا مراتع نشده‌اند.
  - سر و صدا. سر و صدای توربین‌های بادی معمولاً در فاصله ۵۰۰ متری (و بیشتر) بسیار کم است. اگر موارد خاصی وجود داشته باشد می‌توان آن‌ها را از طریق مقررات دقیق مربوط به میزان سر و صدا و پایش توربین‌ها برطرف کرد [۱۲].
  - موضوع ادعایی "سندروم توربین بادی"<sup>۳</sup> که ادعا می‌شود توسط امواج صوتی با فرکانس پایین‌تر از فرکانس قابل شنیدن انسان<sup>۴</sup> ایجاد می‌شود.
- نتایج یک بررسی علمی بر روی این ادعاها و سایر ادعاهای مخالفین انرژی بادی در "گزارش ویژه انرژی‌های تجدیدپذیر"<sup>۵</sup> که توسط IPCC منتشر شده، آمده است. بسیاری از این عوارض یا اصولاً وجود ندارند یا در مورد آن‌ها به شدت اغراق شده است [۱۳].
- آخرین ادعایی که در بالا ذکر شد در ایجاد رعب و وحشت در برخی از استرالیایی‌ها موفق بوده است، هرچند که کوچک‌ترین مدرک و مستند علمی برای اثبات آن وجود ندارد. آنچه که اثبات شده است آن است که ساکنان شمال اروپا، که تعداد زیادی از مزارع بادی در آنجا نصب شده‌اند، و کشاورزانی که توربین‌های بادی در زمین‌هایشان نصب شده است گزارشی در خصوص شیوع بیشتر

1 Lawrence Berkeley National Laboratory

2 Nacelle

3 Wind Turbine Syndrome

4 Infrasound

5 Special Report on Renewable Energy

این سندروم (مجموعه علائم جسمی و ذهنی یک بیماری) در میان‌شان نداده‌اند. علاوه بر این، میزان صداهای فرکانس پایینی که از توربین‌های بادی منتشر می‌شوند به قدری کم است که تشخیص آن‌ها بسیار دشوار است. در یک فاصله چندصد متری از توربین‌های بادی، شدت این صداها به مراتب (با فاکتورهایی بین ۱۰ تا ۱۰۰۰ برابر) کمتر از صداهایی است که اغلب ما از تردد در سطح جاده‌ها یا امواج در سواحل دریا یا دستگاه‌های تهویه مطبوع می‌شنویم [۱۴].

یک مطالعه تجربی دوسوکور<sup>۱</sup>، که توسط یک دانشجوی دکتری روانپزشکی به نام فیونا کریچتون<sup>۲</sup> انجام شد، نشان داد که افراد تحت مطالعه‌ای که به‌طور نامحسوس برای نشان دادن عوارض صداهای فرکانس پایین آماده‌سازی شده بودند، هم در زمانی که در معرض صداهای فرکانس پایین واقعی و هم در زمانی که در معرض صداهای فرکانس پایین جعلی (سکوت) قرار می‌گرفتند عوارض شنیدن این صداها را گزارش می‌کردند. افراد دیگری که برای نشان دادن عوارض صداهای فرکانس پایین آماده‌سازی نشده بودند، نه در حالت وجود صداهای فرکانس پایین و نه در حالت سکوت، هیچ کدام از این عوارض را گزارش نکردند. یافته‌های این تحقیق نشان می‌دهد که اطلاعات بهداشتی منفی و نادرست که توسط مخالفین انرژی بادی در بین مردمی که در نزدیکی مزارع بادی زندگی می‌کنند منتشر می‌شود این پتانسیل را دارد که انتظار بروز عوارض بیماری را در آن‌ها ایجاد کرده و راهی برای ظهور عوارضی که به عملکرد توربین‌های بادی منتسب هستند در آن‌ها باز کند. این موضوع مثال بارزی است از اثر <sup>۳</sup>nocebo [۱۵].

دومین گروه مخالفان انرژی بادی دربرگیرنده موارد زیر است:

- حامیان مواد معدنی، سوخت‌های فسیلی و صنایع هسته‌ای،
- شرکت‌های برقی که عمده برق خود را با استفاده از سوخت‌های فسیلی تولید می‌کنند، صنایع بزرگی که از برق ارزان‌قیمت ناشی از سوزاندن سوخت‌های فسیلی استفاده می‌کنند، مانند صنایع ذوب آلومینیم،
- بعضی مهندسان قدیمی تر برق که دل‌بسته تولید برق با سوخت‌های فسیلی هستند،
- گروه‌های مطبوعاتی/رسانه‌ای وابسته به روپرت مورداک<sup>۴</sup> به‌طور کلی، و،

1 Double-blind

2 Fiona Crichton

3 Nocebo effect

4 Rupert Murdoch

• گروه‌های گوناگونی که منکر علوم اقلیمی هستند. [۱۶]

دو گروه مخالفان مزارع بادی با یکدیگر مرتبطند، از این نظر که گروه دوم خوراک‌هایی برای تبلیغات نادرست، حمایت در رسانه‌ها و احتمالاً منابع مالی برای گروه اول تأمین می‌کند. یک مثال از این موضوع گروه "محافظ وطن"<sup>۱</sup> است که مستقر در بریتانیاست و اطلاعات غلط (به باور من) در خصوص انرژی بادی به همه گروه‌های مخالف انرژی بادی NIMBY در سرتاسر جهان ارسال می‌کند. معاون رییس این گروه، سِر برنارد اینگهام<sup>۲</sup>، دبیر سازمان حامیان انرژی هسته‌ای<sup>۳</sup> (SONE) است که یک سازمان غیردولتی ترویج کننده انرژی هسته‌ای مستقر در بریتانیاست. در استرالیا به نظر می‌رسد ارتباطاتی بین گروه ضد انرژی بادی موسوم به "محافظان زمین"<sup>۴</sup> و صنایع سوخت‌های فسیلی از طریق گروه موسوم به "بنیاد محیط زیست استرالیا"<sup>۵</sup> وجود دارد. این بنیاد در واقع یک پوشش برای "مؤسسه امور عمومی"<sup>۶</sup> است که توسط صنایع معدنی تغذیه مالی می‌شود. بر خلاف نامشان، محافظان زمین هرگز علیه معدن کاری یا از بین بردن جنگل‌های قدیمی، که عوارض ویرانگر زیست‌محیطی و سرزمینی برای استرالیا داشته‌اند، فعالیتی نکرده‌اند [۱۷].

علیرغم تلاش‌های فعالان مخالف انرژی بادی، نظرسنجی‌های عمومی همواره نشان داده‌اند که افکار عمومی به‌طور گسترده‌ای از انرژی بادی حمایت می‌کنند. در عین حال، به دنبال اعلام خبر احداث مزارع بادی در یک محل و تبلیغات شدید مخالفان، افکار عمومی دچار سردرگمی شده و نظر ساکنین محل تقریباً به‌طور یکنواختی بین موافقت و مخالفت تقسیم می‌شود.

### عوارض انرژی خورشیدی

عوارض ناشی از فعالیت خورشیدی فتوولتاییک ناچیز است. در صورتی که کارخانجات تولیدکننده ماژول‌های فتوولتاییک به خوبی ضوابط را رعایت کنند، مخاطرات شغلی و عوارض ایمنی بسیار اندکند. در عین حال، لازم است که در ارتباط با استفاده از زمین نکاتی بیان شود. هرچند که نرخ دریافت انرژی خورشیدی در هر مترمربع از زمین توسط سلول‌های خورشیدی فتوولتاییک و نیروگاه‌های CST، در مقایسه با انرژی‌های فسیلی و هسته‌ای، بسیار پایین است اما این

1 Country Guardian  
2 Sir Bernhard Ingham  
3 Supporters of Nuclear Energy  
4 Landscape Guardians  
5 Australian Environment Foundation  
6 Institute of Public Affairs

نرخ در مقایسه با بخش کشاورزی بسیار بالاست. محصولات کشاورزی به سطوح بسیار بزرگی از زمین برای تولید مواد غذایی نیاز دارند، چرا که بازده فرایند تبدیل انرژی خورشیدی به انرژی ذخیره شده در برگ‌های سبز معمولاً کسری از یک درصد است. این بازده را می‌توان با بازده ۱۱ تا ۲۰ درصدی سامانه‌های فتولتاییک تخت با ماژول‌های کریستال سیلیکن تجاری، بازده ۵ تا ۱۳ درصدی ماژول‌های لایه نازک و بازده ۲۵ درصدی سلول‌های خورشیدی سیلیکنی در آزمایشگاه مقایسه کرد. جمع‌آورنده‌های متمرکزکننده دارای بازده‌های بالاتری هستند. بیشتر تقاضای برق واحدهای مسکونی و کسر قابل توجهی از تقاضای تجاری را می‌توان با استفاده از جمع‌آورنده‌های خورشیدی فتولتاییک نصب شده بر روی پشت بام‌ها تأمین کرد.

در حال حاضر به نظر نمی‌رسد که نیروگاه‌های کوچک CST قادر به رقابت با سلول‌های فتولتاییک نصب شده بر روی پشت بام خواهند بود. گرچه که نیروگاه‌های بزرگ نیازمند زمین‌های وسیع هستند، اما به نظر می‌رسد که اغلب این نیروگاه‌ها بر روی زمین‌هایی با DNI زیاد که برای کشاورزی چندان مناسب نیستند، و از جمله صحراها، احداث خواهند شد. به‌طور اجتناب‌ناپذیری، برخی از گونه‌های خاص حیوانی و گیاهی در مناطق خاص نیازمند حفاظت خواهند بود، اما این موضوع یک مانع کلی بر سر راه نیروگاه‌های خورشیدی بزرگ محسوب نمی‌شود.

### عوارض انرژی‌های زیستی

اختصاص‌دهی و فراوری گیاهان زیست‌توده به منظور تولید انرژی‌های زیستی، خصوصاً غلاتی که اختصاصاً برای این کار کشت می‌شوند، نیازمند احتیاط زیادی است تا از عوارض سو زیست-محیطی و اجتماعی پرهیز شود. نگرانی‌های زیست‌محیطی اصلی عبارتند از: انتشار گازهای گلخانه‌ای در اثر تغییر کاربری اراضی و در اثر استفاده از سوخت‌های فسیلی در طول عمر منابع انرژی زیستی، رقابت بین غذا و سوخت بر سر زمین و از دست دادن تنوع زیستی در اثر پاک کردن اراضی برای کشت گیاهان مورد نیاز برای تولید انرژی‌های زیستی [۱۸]. در شرایط ایده‌آل، انتشار  $CO_2$  ناشی از سوزاندن زیست‌توده از طریق جذب  $CO_2$  توسط رشد دوباره گیاهانی که منبع زیست‌توده هستند خنثی می‌شود. در نتیجه، چنین فرایندی از نظر انتشار کربن خنثی خواهد بود. در عین حال، در عمل ممکن است از کودهایی که از نفت یا گاز تولید شده‌اند استفاده شود، زیست‌توده به دست آمده ممکن است در مسافت‌های طولانی توسط کامیون‌هایی که سوخت دیزل مصرف می‌کنند جابجا شود

و حتی الکل ساخته شده از زیست‌توده ممکن است از طریق سوزاندن زغال‌سنگ به دست آید. در بدترین مثال‌ها، مثل تولید اتانول از ذرت در آمریکا، میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای در طول عمر سوخت‌های زیستی ممکن است در برخی از موارد با میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای بنزین و گازوییل قابل مقایسه باشد. در اندونزی و مالزی، برای کاشت وسیع درختان پالم به منظور تولید روغن پالم مورد نیاز بازار سوخت‌های زیستی اروپا، جنگل‌های بومی در حال از بین رفتن هستند. جایگزینی جنگل‌های انبوه با کشت کم‌تراکم معمولاً به مثبت شدن نرخ انتشار گازهای گلخانه‌ای، از دست دادن شدید گونه‌های زیستی از جمله اورانگوتان‌ها و تبدیل اجباری ساکنان بومی جنگل‌ها از شکارچی-گردآورنده‌های خودکفا به ساکنین بیمار آنچه که در حقیقت اردوگاه‌های پناهندگی است منجر می‌شود.

عوارض زیست‌محیطی و اجتماعی تولید سوخت‌های زیستی را می‌توان تا حدود زیادی با استفاده از پسماندهای فعالیت‌های کشاورزی و جنگلداری، با استفاده از زمین‌های رها شده و کم‌کیفیت برای کاشت اختصاصی غلات مورد استفاده در تولید انرژی‌های زیستی، با افزایش بهره‌وری تولید محصولات کشاورزی و دامی و در نتیجه کاهش تقاضا برای زمین‌های کشاورزی، با تقویت حفاظت از جنگل‌های بومی و سایر نواحی طبیعی، با ایجاد فرایندهای تأیید سوخت‌های زیستی از نقطه نظر پایداری و با فعالیت‌های جبران‌کننده عوارض مستقیم و غیرمستقیم این سوخت‌ها کاهش داد. مواد چوبی-سلولزی و جلبک‌ها، که هنوز در مرحله تحقیق و توسعه (R&D) قرار دارند، ممکن است عوارض بسیار کمتری در مقایسه با غلات پرورشی مورد استفاده در تولید انرژی‌های زیستی داشته باشند، اما هنوز تا تولید آن‌ها در مقیاس وسیع فاصله داریم [۱۹].

### عوارض سایر منابع انرژی تجدیدپذیر

مخازن بزرگی که برای نیروگاه‌های برقی و یا جزر و مدی ساخته می‌شوند می‌توانند عوارض شدید زیست‌محیطی و اجتماعی داشته باشند. عوارض زیست‌محیطی می‌تواند شامل از دست دادن تنوع زیستی، و در مورد مخازنی که دارای سطح بسیار وسیعی بوده و مناطق سرسبز با چگالی بالای گیاهان را پوشش می‌دهند (مثلاً در برزیل) انتشار مقادیر هنگفتی از گازهای گلخانه‌ای به شکل متان باشد.

عوارض اجتماعی عبارتند از جابجایی اجباری صدها هزار نفر از مردم، مثل پروژه رودخانه نارمادا<sup>۱</sup> در هندوستان، و حتی احتمالاً میلیون‌ها نفر، مثل پروژه سد سه‌دره<sup>۲</sup> در چین.

حفاری‌های مربوط به نیروگاه‌های زمین‌گرمایی مهندسی شده می‌توانند موجب وقوع زمین‌لرزه‌های خفیف شوند. در نتیجه، بهتر است که این قبیل نیروگاه‌ها در مناطق دور از شهرها احداث شوند.

تا کنون هیچ گونه مدارکی دال بر وجود عوارض منفی در اثر احداث نیروگاه‌های امواج یا جریان‌های اقیانوسی مشاهده نشده است.

### هزینه‌های کمی شده و مزایای کمی نشده

برای اغلب فناوری‌های تجدیدپذیر سوخت مصرفی رایگان است و در نتیجه تقریباً کل هزینه‌ها، هزینه‌های سرمایه‌گذاری هستند. این هزینه‌ها معمولاً برحسب دلار بر کیلووات‌ساعت ظرفیت الکتریکی ( $\$/kW$  یا  $\$/kW_e$ ) یا ظرفیت حرارتی ( $\$/kW_{th}$ ) سنجیده می‌شوند. هزینه‌های سرمایه‌گذاری و منابع انرژی تجدیدپذیر موجود در محل اجرای پروژه دو عامل اصلی در تعیین هزینه یک واحد انرژی تولیدی در پروژه مورد نظر هستند. سایر عوامل تعیین کننده عبارتند از: هزینه سرمایه، که توسط نرخ بهره یا نرخ تخفیف سنجیده می‌شود، هزینه سایر اجزای پروژه مانند ترانسفورماتورها و مبدل‌های الکترونیک قدرت، هزینه‌های نصب، هزینه‌های بهره‌برداری و نگهداری، و در مورد انرژی‌های زیستی، هزینه‌های سوخت. هزینه انرژی به زبان ساده عبارت است از مجموع همه هزینه‌ها، اعم از ثابت و متغیر، در طول دوران عمر سامانه تقسیم بر کل انرژی تولیدی در طول عمر سامانه. در عمل، محاسبات از این پیچیده‌تر هستند چرا که هزینه‌های متحمل شده و درآمدهای دریافت شده در آینده را با اعمال نرخ بهره (تخفیف) در نظر می‌گیرد. این کار از طریق محاسبه نرخ مسطح‌شده انرژی<sup>۳</sup> (LCOE) صورت می‌پذیرد. LCOE عبارت است از حداقل نرخ که باید انرژی به آن نرخ فروخته شود تا پروژه انرژی در نقطه سر به سر (برابری هزینه‌ها و درآمدها یا ارزش فعلی صفر) واقع شود.

1 Narmada River Scheme

2 Three Gorges Dam

3 Levelised Cost of Energy

روش‌های متعددی برای محاسبه LCOE وجود دارد. یکی از فرمول‌های ساده شده برای این کار به صورت زیر است:

$$LCOE = \frac{\text{هزینه سرمایه‌گذاری} \times R}{(\text{ظرفیت} \times 8760 \times \text{ضریب ظرفیت})} + O\&M \quad (\text{معادله ۳-۵})$$

که در آن O&M هزینه بهره‌برداری و نگهداری، LCOE و O&M برحسب دلار بر مگاوات ساعت (\$/MWh)، ظرفیت برحسب مگاوات، تولید سالیانه انرژی برحسب مگاوات ساعت، ۸۷۶۰ تعداد ساعات در طول یک سال، ضریب ظرفیت عددی بین ۰ و ۱ که در فصل ۱ تعریف شد ("متعادل سازی عرضه و تقاضا در صنعت برق") و R ضریب بازگشت سرمایه<sup>۱</sup> است که به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$R = \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \quad (\text{معادله ۴-۵})$$

که در آن i نرخ تخفیف بوده که به صورت یک عدد اعشاری (و نه به صورت درصد) بیان می‌شود و n طول عمر سامانه برحسب سال است. گرچه که فرمول R پیچیده به نظر می‌رسد، اما این در واقع تنها یک نرخ بهره اصلاح شده است. به عنوان مثال، با بررسی این فرمول می‌توان مشاهده کرد که در حد، وقتی که n خیلی بزرگ می‌شود ( $n \rightarrow \infty$ ) و i ثابت است، R برابر است با i ( $R \rightarrow i$ ). همچنین، وقتی که n ثابت است و  $i \rightarrow \infty$  باز هم  $R \rightarrow i$ .

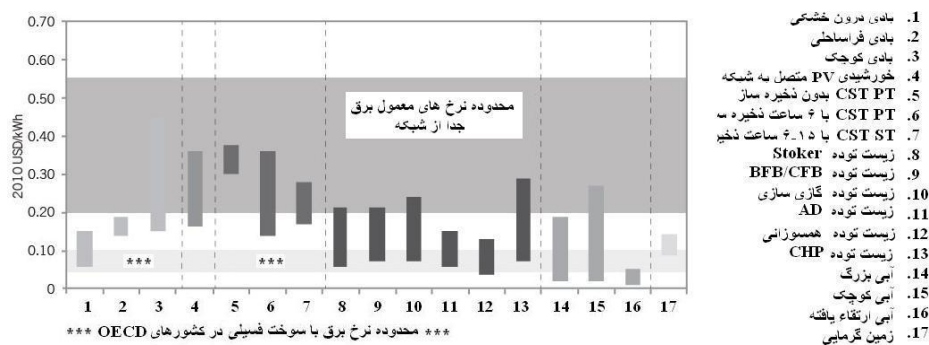
صورت معادله ۳-۵، (هزینه سرمایه‌گذاری  $\times R$ )، در واقع بازگشت سالیانه سرمایه‌گذاری در نیروگاه با احتساب نرخ بهره است و مخرج معادله نیز میزان تولید سالیانه انرژی است. به عنوان مثال، اگر طول عمر یک مزرعه بادی را ۳۰ سال ( $n=30$ ) و نرخ بهره را ۵ درصد در نظر بگیریم، یعنی  $i=0.05$ ، آنگاه از معادله ۳-۵ داریم  $R=0.065$  یا ۶/۵ درصد. با جایگذاری i و n در معادله ۳-۵ و با در نظر گرفتن هزینه سرمایه‌گذاری معادل ۲۰۰ میلیون دلار برای ظرفیت ۱۰۰ مگاوات، ضریب ظرفیت ۰/۳ و هزینه بهره‌برداری ۱۰/MWh دلار (یا ۱/kWh سنت) خواهیم داشت:

$$LCOE = \frac{2 \times 10^8 \times 0.065}{100 \times 8760 \times 0.3} + 10 = 51.5$$

1 Capital Recovery Factor

بنابراین، نرخ مسطح‌شده انرژی برابر است با ۵۱/۵/MWh دلار یا ۵/۱۵/kWh سنت (¢/kWh). با علم به این که داده‌های مربوط به هزینه‌ها به اندازه کافی زیاد نیستند و نیز این واقعیت که LCOE بسته به کشور مورد نظر، محل احداث مزرعه بادی و سالی که داده‌ها در آن جمع‌آوری شده‌اند تغییر می‌کند، آژانس بین‌المللی انرژی تجدیدپذیر (IRENA) در سال ۲۰۱۲ نرخ‌های مسطح‌شده انرژی را برای منابع برق تجدیدپذیر منتشر نمود. در این محاسبات، که نتایج آن در شکل ۵-۱ آمده است، نرخ بهره برای همه فناوری‌ها معادل ۱۰ درصد در سال در نظر گرفته شده است. در این برآوردها هیچ گونه یارانه‌ای در نظر گرفته نشده است [۲۰].

شکل ۵-۱- برآورد نرخ مسطح‌شده انرژی برای برق تجدیدپذیر [IRENA-2012]



انتخاب یک بهره‌یکسان برای همه فناوری‌ها در واقع ساده‌سازی مسئله است. در عالم واقع، فناوری‌هایی که از نظر مؤسسات مالی بالغ‌تر محسوب می‌شوند معمولاً نرخ‌های بهره کمتری دریافت می‌کنند تا فناوری‌هایی که در دوره توزیع اولیه هستند. علاوه بر این، فناوری‌هایی که به وسیله سیاست‌های دولتی، مانند تضمین وام یا تعرفه‌های حمایتی، پشتیبانی می‌شوند به عنوان سرمایه‌گذاری-های دارای ریسک کمتر محسوب شده و نرخ‌های بهره پایین‌تری، معمولاً بسیار کمتر از ۱۰ درصد، دریافت می‌کنند.

شکل ۵-۱ نشان می‌دهد که هم‌اینک یک همپوشانی قیمتی بین برخی از فناوری‌های انرژی تجدیدپذیر، به‌طور خاص انرژی بادی واقع در خشکی و بعضی از انواع زیست‌توده، از یک سو و تولید مقیاس بزرگ برق در شبکه‌های قدرت و با استفاده از سوخت‌های فسیلی وجود دارد. این شکل همچنین نشان می‌دهد که اکثر فناوری‌های انرژی تجدیدپذیر هم‌اینک در حال رقابت با روش‌های

سنتی تولید برق در مناطق دورافتاده و فاقد اتصال به شبکه‌های سراسری، که معمولاً با استفاده از سوخت دیزل انجام می‌شوند، هستند.

در عین حال، مقایسه هزینه‌های فناوری‌های انرژی تجدیدپذیر با هزینه‌های فناوری‌های متعارف متصل به شبکه کار پیچیده‌ای است، چرا که منبع اصلی داده‌ها برای فناوری‌های متعارف تولید انرژی، قیمت‌های الکتریسیته هستند و نه هزینه‌ها. قیمت‌ها وابسته به متغیرهایی علاوه بر هزینه‌ها هستند: تقاضا برای فناوری، که تا حد زیادی به سیاست‌های دولتی و از جمله یارانه‌ها وابسته است؛ عرضه (ظرفیت ساخت)، که با یک تأخیر زمانی تقاضا را دنبال می‌کند و معمولاً مقادیر آن به صورت پله‌های بسیار بزرگ (با افتتاح یا تعطیلی کارخانه‌ها) تغییر می‌کند؛ و سودی که از طریق فروش انرژی به دست می‌آید. علاوه بر این، مقایسه قیمت‌ها بستگی به این دارد که آیا فناوری مورد نظر، انرژی تولیدی خود را به شبکه‌های انتقال یا توزیع تزریق می‌کند یا در طرف مشتری دستگاه اندازه‌گیری (کتور) قرار گرفته است. به عنوان مثال، قیمت برق خورشیدی فتوولتائیک نصب شده بر روی پشت بام قادر به رقابت با قیمت خرده‌فروشی برق در شبکه، که شامل هزینه‌های انتقال و توزیع می‌شود، است در حالی که یک نیروگاه خورشیدی بزرگ می‌تواند با قیمت‌های عمده‌فروشی برق رقابت کند. در حالت دوم، ارزش اقتصادی یک نیروگاه خورشیدی می‌تواند به درجه توانایی آن در پاسخگویی به اوج تقاضا نیز وابسته باشد.

برای فناوری‌های کلیدی تجدیدپذیر، قیمت‌ها با سرعت و به صورت سالیانه در حال تغییر بوده‌اند. شدیدترین تغییرات برای ماژول‌های خورشیدی فتوولتائیک اتفاق افتاد که قیمت آن‌ها به طور یکنواخت تا قبل از سال ۲۰۰۳ کاهش یافت، سپس تا سال ۲۰۰۷ به دلیل آن که تقاضا بر عرضه پیشی گرفت به میزان مختصری افزایش یافت، و سپس در طول دوره ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۲ به میزان چشمگیری سقوط کرد چرا که عرضه مجدداً از تقاضا بیشتر شد [۲۱]. موسسه مالی انرژی‌های نوبلومبرگ<sup>۱</sup> تخمین می‌زند که قیمت ماژول‌های خورشیدی (قاعدتاً منظور مقدار میانگین جهانی آن است) از سال ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۲ به میزان ۸۰ درصد کاهش یافته است [۲۲]. از آنجایی که قیمت برق فتوولتائیک خانگی تقریباً با قیمت الکتریسیته خریداری شده از شبکه برق برابری می‌کند، این نوع فناوری در حال حاضر کمترین وابستگی را به سیاست‌های دولتی دارد.

1 Bloomberg New Energy Finance

قیمت توربین‌های بادی نیز روندی مشابه با سلول‌های فتوولتاییک، اما با جهش‌ها و افت‌های کمتری، را تجربه کرد [۲۳]. بلمبرگ تخمین می‌زند که قیمت توربین‌های بادی از سال ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۲ به‌طور میانگین ۲۹ درصد کاهش یافته است [۲۴]. توربین‌های بادی در حال حاضر در برخی از مناطق ارزان‌ترین برق را تولید می‌کنند [۲۵]. به عنوان بالغ‌ترین فناوری تجدیدپذیر، انرژی بادی مستقر در خشکی احتمالاً کمترین میزان کاهش قیمت را در آینده تجربه خواهد کرد. در عین حال، هنوز پتانسیل قابل توجهی برای کاهش شدید قیمت نیروگاه‌های بادی فراساحلی، که هم هزینه سرمایه‌گذاری و هم هزینه‌های بهره‌برداری و نگهداری آن‌ها دو برابر هزینه‌های متناظر در نیروگاه‌های بادی مستقر در خشکی است، وجود دارد.

نیروگاه‌های CST، که مثل نیروگاه‌های بادی فراساحلی در مرحله توزیع اولیه هستند، هنوز بسیار گران‌قیمتند و رشد آن‌ها در کشورهای در حال توسعه‌ای که از بحران مالی جهانی ضربه خورده‌اند تقریباً متوقف شده است. در عین حال، بر اساس مطالعات مهندسی، این نیروگاه‌ها کاهش قیمتی بین ۳۰ تا ۵۰ درصد را تا سال ۲۰۲۰ مشاهده خواهند کرد [۲۶]، مشروط بر آن که سیاست‌های دولتی باعث شود که بازار این نیروگاه‌ها در مناطق بیشتری گسترش یابد.

تغییرات فوق‌العاده باعث می‌شوند که پیش‌گویی دقیق هزینه‌ها و قیمت‌ها ممکن نباشد. آنچه که می‌توان گفت آن است که پیشرفت‌های فنی‌ای که در اثر فعالیت‌های تحقیق و توسعه حاصل شده‌اند هنوز تبدیل به محصولات تجاری نشده‌اند و در نتیجه، در مقیاس زمانی‌ای در حدود چند دهه، انتظار می‌رود که هر سه فناوری تجدیدپذیر که در بالا به آن‌ها اشاره شد دارای هزینه‌های سرمایه‌گذاری رو به کاهشی باشند، هرچند که نرخ کاهش برای هر یک از آن‌ها متفاوت خواهد بود. در مقیاس‌های زمانی کوتاه‌تر، سیاست‌های دولتی، که در فصل‌های ۸ و ۹ مورد بحث قرار گرفته‌اند، باید نقش حیاتی‌تری در ساختن بازارهای مناسب برای فناوری‌های تجدیدپذیر ایفا کنند، همانگونه که در گذشته و حال این کار را برای نیروگاه‌های فسیلی و هسته‌ای انجام داده و می‌دهند.

مقایسه هزینه‌ها بین فناوری‌های تجدیدپذیر و فناوری‌های متعارف هنوز هم دارای کاستی‌های عمده‌ای است. اولین کاستی آن است که در یک مقایسه ساده هزینه، فرض می‌شود که مزایای هر دو فناوری یکسان هستند. این فرض آشکارا غلط است، چرا که انرژی‌های تجدیدپذیر درجه‌ای از امنیت انرژی را به دنبال دارند که - برای هر نیت و هدفی - نامتناهی است. علاوه بر فراهم آوردن منبع انرژی با کربن صفر، فناوری‌های تجدیدپذیر به جز سوخت‌های زیستی هیچ گونه آلودگی هوا، آب و خاک

در طول دوران بهره‌برداری به دنبال ندارند. به علاوه، به استثنای سوخت‌های زیستی و نیروگاه‌های بزرگ برقابی و جزرومدی دارای سد، فناوری‌های تجدیدپذیر زمین کمتری را اشغال کرده و به آن آسیب می‌زنند و در مقایسه با سوخت‌های فسیلی تأثیر منفی کمتری بر تنوع زیستی دارند [۲۷]. از آنجایی که کمی‌سازی همه این مزایای فناوری‌های تجدیدپذیر دشوار است، معمولاً در مقایسه‌های هزینه‌ای از آن‌ها صرف نظر می‌شود. در بهترین حالت، برخی از کشورها دارای قیمت کربن هستند، اما این قیمت‌ها هم معمولاً بسیار پایین بوده و با هدف پوشش دادن همه عوارض منفی زیست‌محیطی و بهداشتی سوخت‌های فسیلی تعیین نشده‌اند.

آنالیزهای هزینه-فایده معمولاً ریسک‌هایی که نادر اما دارای پیامدهای بسیار ویران‌کننده هستند را نیز در نظر نمی‌گیرند. همانگونه که در فصل ۶ بحث شده است، گسترش انرژی هسته‌ای موجب می‌شود که تعداد کشورهایی که دارای سلاح‌های هسته‌ای هستند، و در نتیجه ریسک وقوع جنگ‌های هسته‌ای، افزایش یابد. فجایع هسته‌ای در چرنوبیل (۱۹۸۶) و فوکوشیما (۲۰۱۱) نیز شواهد دیگری هستند. اگر جهت وزش باد از فوکوشیما به سمت توکیو بود، میلیون‌ها نفر از ساکنان توکیو کشته یا مصدوم می‌شدند. اما مطالعات مربوط به هزینه‌های انرژی هسته‌ای این ریسک‌ها را در نظر نمی‌گیرند و در بهترین حالت تنها آثار آزاد شدن پرتوهای هسته‌ای در زمان کار عادی نیروگاه‌های هسته‌ای یا از معادن اورانیوم را محاسبه می‌کنند. این موارد، کوچک‌ترین ریسک‌هایی هستند که به صورت هزینه سالیانه و برای مدت کوتاهی محاسبه می‌شوند. در عین حال، اگر این آثار را در طول دوره زمانی‌ای که برخی از رادیوایزوتوپ‌ها خطرناک باقی می‌مانند، مثلاً صد هزار سال، جمع کنیم آنگاه با عوارض بسیار هنگفتی مواجه هستیم و این واقعیت یکی دیگر از محدودیت‌های آنالیز هزینه-فایده، به شکلی که امروزه صورت می‌پذیرد، را آشکار می‌سازد.

آنالیز هزینه-فایده معمولاً برای مدت نسبتاً کوتاهی انجام می‌شود و چنین روشی برای طراحی دراز مدت راه‌بردها دارای فایده چندانی نیست. این آنالیز، به عنوان مثال، ممکن است که به ما بگوید که گاز شیل در حال حاضر ارزان‌ترین جایگزین برای زغال‌سنگ در آمریکاست، اما این واقعیت، اگر ما در صدد طراحی انتقال به یک سامانه انرژی کربن‌صفر در طول ۲۰ تا ۴۰ سال آینده باشیم، بی‌اهمیت و نامربوط است. ما باید سناریوهای گوناگونی را که چنین دوره‌هایی را پوشش می‌دهند با یکدیگر مقایسه کنیم. ما باید تا جایی که ممکن است همه هزینه‌های زیست‌محیطی و بهداشتی انتقال را در نظر گیریم و باید فناوری‌هایی را که کوچک‌ترین احتمال وقوع فجایع بزرگ را به دنبال دارند رد کنیم.

### فرصت‌های شغلی در انرژی پایدار

مقایسه فرصت‌های شغلی در صنایع متفاوت همواره سرشار از دشواری‌های مفهومی و داده‌های ناکافی است. از آنجایی که تعریف "شغل" دقیق نیست، بهتر است که از اصطلاح "شغل-سال" استفاده شود. یک شغل-سال به معنی یک شغل تمام وقت در طول یک سال است. برای آن که مقایسه‌ها معنی‌دار باشند باید مفاهیم یکسان را با هم مقایسه کنند، یعنی یا اشتغال مستقیم یا مجموع اشتغال‌های مستقیم و غیرمستقیم را برای هر صنعت در نظر گیرند [۲۸]. برای فناوری‌های انرژی باید تعداد شغل-سال برای هر واحد از انرژی تولید شده یا صرفه‌جویی شده را مقایسه نمود.

روشی که کامل‌ترین تصویر از آثار اشتغالی در کل اقتصاد را به دست می‌دهد مدل آنالیز ورودی-خروجی<sup>۱</sup> است. این روش هم آثار افزایش اشتغال و هم آثار انتقال بین بخش‌ها، یعنی کاهش اشتغال در یک بخش (مثلاً معادن زغال‌سنگ) در اثر رشد اشتغال در یک بخش دیگر (مثلاً انرژی بادی)، را مورد مطالعه قرار می‌دهد. در نتیجه، این روش هم مشاغل مستقیم، هم غیرمستقیم و هم جانبی را بررسی می‌کند. مشاغل جانبی شامل مشاغلی از جمله مربیانی که نیروی کار مورد نیاز فناوری را تربیت می‌کند می‌شود. در عین حال، این روش پیچیده بوده و تفسیر آن دشوار است. یک روش ساده-تر، اما کمتر جامع، آنالیز پایین به بالاست<sup>۲</sup> که مشاغل مستقیم، و در برخی از مواقع مشاغل غیرمستقیم، را بر می‌شمارد.

پژوهشگران دانشگاه کالیفرنیا در برکلی نتایج پانزده طرح پژوهشی بر روی ایجاد شغل در آمریکا در اثر توسعه فرضی در انرژی‌های تجدیدپذیر، بهره‌وری انرژی و سایر فناوری‌های کم‌کربن را با یکدیگر مقایسه کرده‌اند. برای انجام این کار آن‌ها ابتدا همه داده‌های مورد استفاده در همه طرح‌های پژوهشی را نرمال کردند، یعنی داده‌ها را به شکلی تبدیل کردند که با یکدیگر قابل مقایسه باشند. آن‌ها دریافتند که همه فناوری‌های کم‌کربن در مقایسه با زغال‌سنگ یا گاز طبیعی تعداد شغل-سال بیشتری در هر واحد از انرژی ایجاد می‌کنند. بهره‌وری انرژی، به‌طور ویژه، بهترین عملکرد را داشته و علاوه بر این معمولاً دارای کمترین هزینه بوده و به راحت‌ترین وجهی قابل پیاده‌سازی است [۲۹]. پژوهش‌های انجام شده در سایر نقاط جهان نیز به نتایج مشابهی دست یافته‌اند.

1 Input-Output Analysis  
2 Bottom-up Analysis

منتقدان نتایج بالا اینچنین استدلال می‌کنند که ایجاد شغل‌های بیشتر در هر واحد از انرژی نتیجه آن است که فناوری‌های انرژی تجدیدپذیر از نظر اقتصادی دارای بازدهی پایین‌تری هستند. "آیا واقعاً برای یک مزرعه‌دار این بهتر است که پنجاه نفر را استخدام کند تا مزرعه‌ای را شخم بزنند یا اینکه یک تراکتور بخرد؟". این سؤالی است که این منتقدان به صورت تمثیلی مطرح می‌کنند. در عین حال، آن‌ها که چنین سؤال ساده‌انگارانه‌ای را مطرح می‌کنند به این واقعیت توجه نمی‌کنند که بسیاری از فناوری‌ها و اقدامات بهره‌وری انرژی از نظر اقتصادی در همه جا با روش‌های عرضه انرژی با استفاده از سوخت‌های فسیلی قابل رقابت هستند. انرژی بادی و انرژی خورشیدی فتوولتائیک نیز در تعدادی از مناطق جهان قادر به رقابت با روش‌های سنتی شده‌اند. اگر یارانه‌ها از همه حامل‌های انرژی حذف شوند و اگر هزینه‌های خارجی نیز در نظر گرفته شوند، آنگاه این احتمال وجود دارد که همه فناوری‌های انرژی تجدیدپذیر که به صورت تجاری در دسترس هستند ارزان‌ترین گزینه‌های ممکن از نظر هزینه بوده و بیشترین فرصت‌های شغلی را ایجاد کنند. اگر منافع اقتصادی یک فناوری پایدار معادل یا بیشتر از منافع اقتصادی یک فناوری سوخت فسیلی باشد، آنگاه چه اهمیتی دارد که فناوری انرژی پایدار به تعداد بیشتری نیروی کار نیاز داشته باشد؟

نکته دیگری که به صورت ماهرانه‌ای توسط منتقدان نادیده گرفته شده است آن است که تقریباً همه مقایسه‌های شغلی برای یک کشور یا منطقه خاص انجام شده است. در حالی که این امکان وجود دارد که مجموع شغل-سال جهانی برای هر مگاوات ساعت از (به عنوان مثال) یک مزرعه بادی برابر با یک نیروگاه معادل زغال‌سنگی باشد چرا که مقیاس کوچک‌تر بسیاری از اجزاء توربین‌های بادی ساخت محلی آن‌ها را امکان‌پذیر می‌سازد. به عنوان نمونه، وقتی که یک نیروگاه زغال‌سنگی در اوایل دهه ۲۰۰۰ میلادی در استرالیا ساخته شد تنها ۲۵ درصد هزینه سرمایه‌گذاری در خود آن کشور خرج شد، اما قیمت اجزاء تولید شده در محل مزارع بادی بالای ۵۰ درصد بوده و شغل-سال‌های ایجاد شده نیز دو تا سه برابر شغل-سال‌های ایجاد شده توسط زغال‌سنگ بودند [۳۰].

تولید محلی، و در نتیجه مشاغل محلی، با رسیدن به اوج تولید نفت و نیز افزایش قیمت کربن مربوط به سوخت‌های مورد استفاده در حمل و نقل توسعه خواهد یافت. علیرغم رکورد فعلی در صنایع، حتی این امکان نیز وجود دارد که تولید ماژول‌های فتوولتائیک در آلمان، آمریکا و سایر مناطق جهان در میان مدت و پس از آن قادر به رقابت با چین باشد. عدم وجود قوانین حمایتی برای مصرف‌کنندگان در چین موجب شده است که تفاوت بسیار زیادی از نظر کیفیت بین بهترین و بدترین

ماژول‌هایی که در آنجا تولید می‌شوند وجود داشته باشد. این موضوع، همراه با افزایش دستمزدها و افزایش هزینه‌های حمل و نقل در چین باعث کاهش مزیت نسبی‌ای خواهد شد که در حال حاضر محصولات چینی از آن برخوردارند.

برای برخی از فناوری‌های کم‌کربن، بیشترین پتانسیل اشتغال‌زایی در بخش ساخت و تولید (به عنوان مثال، اجزاء توربین‌های بادی، جمع‌آورنده‌های CST و واگن‌های قطار) وجود دارد. برای برخی دیگر پتانسیل‌ها در بخش نصب (مثلاً عایق‌بندی و ماژول‌های فتوولتائیک کوچک و متوسط) دیده می‌شود و برای برخی از فناوری‌ها این پتانسیل در هر دو بخش به چشم می‌خورد (به عنوان مثال آبگرمکن‌های خورشیدی). برخی از صنایع، به استثنای مشاغل اضافی در بخش تحقیق و توسعه، ممکن است تقریباً دست نخورده باقی بمانند: به عنوان مثال، جایگزینی اکوسمنت به جای سیمان پرتلند و تعویض کودهای شیمیایی نیتروژنی با یک جایگزین دوستدار محیط زیست. انرژی زیستی می‌تواند فرصت‌های شغلی بیشتری را در مناطق روستایی، که در حال حاضر فرصت‌های شغلی بسیار کمی در آن‌ها وجود دارد، ایجاد کند.

بی‌تردید در فرایند انتقال به آینده‌ای با یک سامانه انرژی دارای امنیت و از نظر اقلیمی پایدار، برندگان و بازندگان وجود خواهد داشت. فرصت‌های شغلی در بخش سوخت‌های فسیلی کاهش یافته و فرصت‌های شغلی در بخش‌های بهره‌وری انرژی، انرژی‌های تجدیدپذیر و حمل و نقل عمومی افزایش خواهند یافت. در نتیجه، سیاست‌های دولتی برای ایجاد اطمینان از یک انتقال عادلانه از طریق تأمین هزینه‌های بازآموزی، و در جایی که نیاز باشد جابجایی کارگرانی که در اثر این انتقال دچار خسارت شده‌اند، مورد نیازند. متأسفانه برخی از دولت‌ها با تکرار این شعار تعصب‌آمیز که "کار را به ساز و کار بازار بسپارید" از انجام هر تلاشی برای تسهیل در امر انتقال صنایع اکراه دارند.

در حالی که کشورهای زیادی همچنان با غول رکود اقتصادی دست و پنجه نرم می‌کنند، ایجاد شغل توسط فناوری‌های انرژی پایدار می‌تواند به بهبود وضعیت اقتصادی آن‌ها کمک کرده و هم‌زمان زیرساخت‌های لازم برای یک آینده پایدار را نیز بنیان نهد.

## نتیجه‌گیری

هیچ فناوری انرژی‌ای به‌طور مطلق بی‌عیب و نقص نیست. در عین حال، بهره‌وری انرژی (EE) و استفاده بیشتر از منابع انرژی‌های تجدیدپذیر (RE) که به نحو صحیحی جایابی و احداث شده‌اند، دائمی و ایمن بوده، پیامدهای منفی زیست‌محیطی و بهداشتی بسیار کمی داشته، قادر به ایجاد تعداد زیادی شغل‌های محلی بوده و دوره بازگشت سرمایه کوتاهی دارند. بر اساس این معیارها، بهره‌وری انرژی و انرژی‌های تجدیدپذیر دارای برتری بسیار بیشتری در مقایسه با سوخت‌های فسیلی و انرژی هسته‌ای هستند. بسیاری از انتقادات وارده بر انرژی‌های تجدیدپذیر یا بی‌اساس هستند و یا به شدت در آن‌ها مبالغه شده است. فناوری‌های تجدیدپذیری که برخی نگرانی‌ها را به دنبال دارند عبارتند از سدهای بزرگ و برخی از منابع انرژی زیستی.

جنبه‌های اقتصادی فناوری‌های انرژی به شدت به فرض‌هایی که در نظر گرفته می‌شوند

حساسند:

- آیا ما هزینه‌های زیست‌محیطی، بهداشتی و اجتماعی و یارانه‌ها را در قیمت انرژی در نظر می‌گیریم؟
  - آیا ما برای ریسک‌های بالایی که نسل فعلی و نسل‌های بعدی را تهدید می‌کنند هزینه‌ای تعیین می‌کنیم؟
  - آیا ما یک چشم‌انداز کوتاه‌مدت را در نظر می‌گیریم یا یک انتقال درازمدت به یک سامانه انرژی پایدار؟ و،
  - آیا ما سیاست‌هایی را در نظر می‌گیریم که دارای نرخ‌های بهره/تخفیف پایین یا بالا هستند؟
- تردید بسیار کمی می‌توان داشت که حذف یارانه‌ها از همه فناوری‌های انرژی و در نظر گرفتن همه هزینه‌های جانبی در محاسبه هزینه واقعی یک فناوری باعث خواهد شد که همه فناوری‌های انرژی تجدیدپذیر، که در حال حاضر از نظر بلوغ فنی یا به صورت تجاری در دسترس هستند یا در مرحله توزیع اولیه قرار دارند، قادر به رقابت اقتصادی با انرژی‌های فسیلی و هسته‌ای خواهند بود [۳۱].

## منابع و یادداشت‌های فصل

- 1 Chapman, S (2013) New study: Wind turbine syndrome is spread by scaremongers, *The Conversation*, 15 March, <<http://theconversation.com/new-study-wind-turbine->

- syndrome-is-spread-by-scaremongers-12834>. Chapman is Professor of Public Health, University of Sydney.
- 2 Nishimura, AY, Hayashi, K, Tanaka, M et al. (2010) Life cycle assessment and evaluation of energy payback time on high-concentration photovoltaic power generation system, *Applied Energy*, 87: 2797–807.
  - 3 Sahara Solar Breeder Foundation <www.ssb-foundation.com>.
  - 4 Fthenakis, V (2012) How long does it take for photovoltaics to produce the energy used?, *PE magazine*, January–February: 16–17; Raugei, M, Fullanai-Palmer, P and Fthenakis, V (2012) The energy return on investment (EROI) of photovoltaics: Methodology and comparisons with fossil fuel life cycles, *Energy Policy*, 45: 576–82; Martinez, E, Sanz, F, Pellegrini, S et al. (2009) Life cycle assessment of a multi-megawatt wind turbine, *Renewable Energy*, 34: 667–73; Desideri, DF, Zepparelli, V, Morettini, E et al. (2013) Comparative analysis of concentrating solar power and photovoltaic technologies: Technical and environmental evaluations, *Applied Energy*, 102: 765–84; Lenzen, M (2008) Life cycle energy and greenhouse gas emissions of nuclear energy: A review, *Energy Conversion and Management*, 49: 2178–99.
  - 5 Smart, A and Aspinall, A (2009) *Water and the Electricity Generation Industry*, National Water Commission, Canberra, <www.ret.gov.au/energy/documents/sustainability-and-climate-change/water%20and%20the%20electricity%20generation%20industry%20report.pdf>.
  - 6 Gary, S (2010), Keeping solar panels free from dust, ABC Science, <www.abc.net.au/science/articles/2010/08/23/2988933.htm#.UcYulBa9o20>.
  - 7 Jacobson, MZ and Delucchi, MA (2011) Providing all global energy with wind, water, and solar power, Part I: Technologies, energy resources, quantities and areas of infrastructure, and materials, *Energy Policy*, 39: 1154–69.
  - 8 TecEco <www.tececo.com.au>.
  - 9 Piketty, M-G, Wichert, M, Fallot, A et al. (2009) Assessing land availability to produce biomass for energy: The case of Brazilian charcoal for steel-making, *Biomass and Bioenergy*, 33: 180–90.
  - 10 Jacobson and Delucchi (2011).
  - 11 Hoen, B, Brown, JP, Jackson, T et al. (2013) *A Spatial Hedonic Analysis of the Effects of Wind Energy Facilities on Surrounding Property Values in the United States*, Lawrence Berkeley National Laboratory LBNL-6362E. The study covered 50 000 home sales in nine states.
  - 12 Lago, C, Prades, A, Lechón, Y et al. (2009) *Wind Energy – the Facts: Part V Environmental issues*, <www.wind-energy-the-facts.org/en/home--aboutthe-project.html>.
  - 13 Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), Special Report on Renewable Energy <http://srren.ipcc-wg3.de/report>, Ch 7.

- 14 Chapman, S and St George, A (2013) How the factoid of wind turbines causing 'vibroacoustic disease' came to be 'irrefutably demonstrated', *Australian & New Zealand Journal of Public Health*, 37: 244–49; and 17 reviews of the alleged 'wind turbine syndrome' cited therein.
- 15 Crichton, F (2013) How the power of suggestion generates wind farm symptoms, *The Conversation*, <<http://theconversation.com/how-the-powerof-suggestion-generates-wind-farm-symptoms-12833>>.
- 16 Clarke, D (2013) Who opposes wind power and why do they do it?, Friends of the Earth, Melbourne <<http://yes2renewables.org/2013/07/16/whooopposes-wind-power-and-why-do-they-do-it>>.
- 17 Keane, S (2012) The Landscape Guardians and the Waubra Foundation, *Independent Australia*, <[www.independentaustralia.net/2012/environment/the-landscape-guardians-and-the-waubra-foundation](http://www.independentaustralia.net/2012/environment/the-landscape-guardians-and-the-waubra-foundation)>; Fowler, A (2011) Against the wind, ABC TV Four Corners, 11 July, <[www.abc.net.au/4corners/content/2011/s32777568.htm](http://www.abc.net.au/4corners/content/2011/s32777568.htm)>.
- 18 Phalan, B (2009) The social and environmental impacts of biofuels in Asia: An overview, *Applied Energy*, 86: S21–S29; Fargione, JE, Plevin, RJ and Hill, JD (2010) The ecological impact of biofuels, *Annual Review of Ecology Evolution and Systematics*, 41: 351–77.
- 19 Phalan (2009); Fargione et al. (2010).
- 20 International Renewable Energy Agency (IRENA) (2012) *Summary for Policy Makers: Renewable power generation costs*, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.
- 21 Feldman, D, Barbose, G, Margolis, R et al. (2012) Photovoltaic pricing trends: Historical, recent and near-term projections, Technical report DOE/GO-102012-3839, November.
- 22 Bloomberg New Energy Finance (BNEF) (2013) Clean energy investment – Q2 2013 Fact Pack, <<http://about.bnef.com/presentations/clean-energyinvestment-q2-2013-fact-pack>>. See also Cai, DWH, Adlakha, S, Low, SH et al. (2013) Impact of residential PV adoption on retail electricity rates, *Energy Policy*, (in press) <<http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2013.07.009>>.
- 23 Lantz, E, Hand, M and Wiser R (2012) The past and future cost of wind energy, Conference paper NREL/CP-6A20-54526.
- 24 BNEF (2013).
- 25 Deutsche Welle (DW) (2012) Wind energy blowing away nuclear power. 22 April <[www.dw.de/wind-energy-blowing-away-nuclear-power/a-15903703](http://www.dw.de/wind-energy-blowing-away-nuclear-power/a-15903703)>.
- 26 IEA-ETSAP & IRENA (2013) *Concentrating Solar Power: Technology brief*, <[www.irena.org/menu/index.aspx?mnu=Subcat&PriMenuID=36&CatID=141&SubcatID=283](http://www.irena.org/menu/index.aspx?mnu=Subcat&PriMenuID=36&CatID=141&SubcatID=283)>.

۲۷. گر چه که مزارع بادی در سطح وسیعی از اراضی، اغلب کشاورزی، گسترده‌اند، اما این مزارع تنها ۱-۳ درصد این اراضی را اشغال می‌کنند. معادن رویاز زغال‌سنگ معمولاً سطح بسیار وسیع‌تری از زمین را برای

تولید میزان مشابهی از انرژی اشغال می‌کنند. حتی معادن زیرزمینی زغال‌سنگ که از روش دیواره‌های بلند استفاده می‌کنند، به سطوح بسیار وسیعی از زمین آسیب رسانده یا آن را در معرض خطر قرار می‌دهند.

۲۸. اشتغال مستقیم شامل مشاغلی می‌شود که در مراحل: طراحی، تولید، تحویل، احداث ساختمان، نصب، مدیریت پروژه، و بهره‌برداری و نگهداری فناوری مورد نظر ایجاد می‌شوند. اشتغال غیرمستقیم دربرگیرنده مشاغلی است که به توزیع‌کننده ربط دارند (مثلاً ساخت شیشه و آلومینیوم برای یک سیستم آبگرم‌کن خورشیدی) و نیز کسانی که با مسائل مختلف پسماندها سر و کار دارند.

- 29 Wei, M, Patadia, S and Kammen, DM (2010) Putting renewables and energy efficiency to work: How many jobs can the clean energy industry generate in the US?, *Energy Policy*, 38: 919–31.
- 30 MacGill, I, Watt, M and Passey, R (2002) *The Economic Development Potential and Job Creation Potential of Renewable Energy: Australian case studies*, Commissioned by Australian Cooperative Research Centre for Renewable Energy Policy Group, Australian Ecogeneration Association and Renewable Energy Generators Association; Diesendorf, M (2004) Comparison of employment potential of the coal and wind power industries, *International Journal of Environment, Workplace and Employment*, 1: 82–90.
- 31 For the projected competitiveness of 100 per cent renewable electricity with coal and gas with carbon capture and storage, see Elliston, B, MacGill, I and Diesendorf, M (2013b) Comparing least cost scenarios for 100% renewable electricity with low emission fossil fuel scenarios in the Australian National Electricity Market, Discussion paper to be published, <[www.ies.unsw.edu.au/about-us/news-activities/2013/08/does-coal-have-future](http://www.ies.unsw.edu.au/about-us/news-activities/2013/08/does-coal-have-future)>.



## فصل ۶

# آیا انرژی هسته‌ای یک راه حل است؟

صنایع انرژی هسته‌ای، به گونه‌ای ناخواسته، در افزایش خطر وقوع جنگ هسته‌ای  
سهیم هستند. [۱]

تحقیق زیست محیطی اورانیوم رنجر<sup>۱</sup>

### یک بیانیه شخصی

در نوشتن این فصل، من دچار نوعی دوگانگی هستم چرا که بسیاری از دانشگاهیان، و به طور خاص متخصصان علوم تجربی و اقتصاددانان، اعتقاد دارند که بی طرف هستند و در نتیجه از اتخاذ موضعی به نفع یا علیه یک فناوری یا سیاست پرهیز می کنند. این کار بخشی از فرایند تضمینی است تا جایگاه آن‌ها را به عنوان مفسرینی قابل احترام حفظ کند. در عین حال، بسیاری پژوهش‌ها در زمینه‌های تاریخ، فلسفه و جامعه‌شناسی علم نشان می دهند که دانشمندان، مانند سایر انسان‌ها، حتی زمانی که تصور می کنند کاملاً بی طرفند هم دارای احساسات جانبدارانه هستند. این احساسات جانبدارانه از آموزش و تجربه آن‌ها، همکاری که با آن‌ها کار می کنند، منابع تأمین مالی و مؤسسات و صنایعی که در آن‌ها مشغول به کار هستند برمی خیزد [۲]. من اگر بخواهم روش شبه بی طرف را در پیش گیرم، مجبور خواهم بود که وزن یکسانی به بحث‌های موافق و مخالف انرژی هسته‌ای بدهم و وانمود کنم که هیچ گونه نتیجه گیری انتقادی ای ندارم. در عین حال، اتخاذ چنین روشی به معنی گمراه کردن خوانندگان کتابم خواهد بود. این مثل آن است که من جایگاه یکسانی به بحث‌های موافق و مخالف علوم اقلیمی بدهم، در حالی که می دانم که ادعاهای انکارکنندگان بارها و بارها رد شده و انکارکنندگان نمی توانند هیچ گونه نظریه جایگزینی برای این نظریه که "تغییرات آب و هوایی ساخته دست بشر است" ارائه کنند که با مشاهدات موجود همخوانی داشته باشد. روش من برای حل این

---

1 Ranger Uranium Environmental Inquiry

دوگانگی آن است که پس‌زمینه خود و منابع تأمین مالی و ارتباطات شغلی‌ام را بیان کنم تا در ارائه شواهد و مستندات منصف و صادق باشم و بتوانم نتیجه‌گیری‌های خودم را به صورت باز بیان کنم. در نتیجه، این فصل نقدی بر انرژی هسته‌ای را از طریق ارائه دلایل و معرفی منابع مستندات مورد استفاده عرضه می‌کند.

من در ابتدا به عنوان یک فیزیکدان نظری تحصیل کردم و بعداً علائقم به سمت پژوهش‌ها و آموزش‌های میان‌رشته‌ای در زمینه انرژی، و به‌طور کلی‌تر، توسعه عادلانه و از نظر بوم‌شناختی پایدار، گسترش یافت [۳]. حقوق من توسط یک دانشگاه پرداخت می‌شود. من هرگز هیچ‌گونه پولی از صنایع انرژی‌های تجدیدپذیر دریافت نکرده‌ام، هرچند که گاهگاهی بودجه‌های پژوهشی از دولت‌ها برای پژوهش در زمینه انرژی‌های تجدیدپذیر و سیاست‌های قابل اتخاذ دریافت می‌کنم. در طول چندین دهه من همچنین در مورد فناوری‌های انرژی هسته‌ای و عوارض و هزینه‌های آن‌ها پژوهش کرده‌ام. بنابراین، آنچه که در پی می‌آید برداشت من از انرژی هسته‌ای است.

## مقدمه

از سال ۲۰۰۰ بدین‌سو، صنایع هسته‌ای یک کارزار رسانه‌ای گوش‌خراش و لابی‌گرانه بین-المللی به راه انداخته‌اند تا انرژی هسته‌ای را به عنوان یک راه حل "پاک و سبز" برای مقابله با تقویت اثر گلخانه‌ای معرفی کنند. در مواجهه با همه شواهدی که بر خلاف این ادعا گواهی می‌دهند، صنعت هسته‌ای ادعا می‌کند که انرژی هسته‌ای ایمن است، مقادیر ناچیزی CO<sub>2</sub> منتشر می‌کند، توان بار پایه ضروری را تأمین می‌کند و می‌تواند به سرعت به کارگیری شود تا جایگزین نیروگاه‌های زغال‌سنگی شود. این صنعت همچنین ادعا می‌کند که هزینه‌های انرژی هسته‌ای به‌طور معمول تنها اندکی بیش از هزینه‌های انرژی زغال‌سنگی است و حتی در برخی از کشورها انرژی هسته‌ای ارزان‌ترین روش برای تولید انرژی الکتریکی در مقیاس بزرگ است.

اگر این ادعاها صحت داشتند، آنگاه انرژی هسته‌ای شایسته این بود که به‌طور جدی در نظر گرفته شود، مشروط بر آن‌که ملاحظات ایمنی هم رعایت شوند. اما، ظاهراً بدون اینکه این ادعاها به دقت بررسی شوند، تعدادی از روزنامه‌نگاران، از جمله جرج مونینو [۴]، دانشمند زیست‌محیطی جیمز

لاولاک<sup>۱</sup> و تعدادی از سیاستمداران خود را وقف هدف گسترش انرژی هسته‌ای کرده‌اند. لاولاک، که مبدع فرضیه گایا<sup>۲</sup> است، بر این باور است که تغییرات آب و هوایی با چنان سرعتی در حال وقوع هستند که تنها انرژی هسته‌ای می‌تواند با سرعت کافی انرژی بدون CO<sub>2</sub> مورد نیاز برای توقف آن را تأمین نماید [۵]. او این موضع را در پیش گرفته است که گرچه که مخاطرات زیست‌محیطی و بهداشتی انرژی هسته‌ای فراوانند، اما این مخاطرات در برابر مخاطرات ناشی از تغییرات آب و هوایی به حساب نمی‌آیند. فصل حاضر شواهدی را عرضه می‌کند مبنی بر اینکه لاولاک و مونیو در صحنه گذاردن بر انرژی هسته‌ای شتابزده عمل کرده‌اند چرا که ایشان به برخی از مشکلات بنیادین، از جمله مشکلات زیر، توجهی نکرده‌اند:

- مخاطرات زیست‌محیطی و بهداشتی انرژی هسته‌ای، که از آنچه که لاولاک و مونیو تصور کرده‌اند بسیار بزرگ‌ترند، چرا که ایشان سهم انرژی هسته‌ای در گسترش سلاح‌های هسته‌ای را نادیده گرفته و پیامدهای بالقوه سوانح هسته‌ای، از جمله ذوب شدن قلب رآکتور، را بسیار کوچک انگاشته‌اند،
  - انتشار گاز CO<sub>2</sub> در طول چرخه عمر سوخت هسته‌ای،
  - محدودیت‌های ذاتی در سرعتی که می‌توان انرژی هسته‌ای را به کار گرفت،
  - جنبه‌های نامطلوب اقتصادی انرژی هسته‌ای در مقایسه با جنبه‌های اقتصادی منابع بسیار پاک‌تر و ایمن‌تر انرژی‌های تجدیدپذیر، از قبیل انرژی بادی و انرژی خورشیدی فتوولتائیک.
- قبل از رسیدگی به این موضوعات بنیادین، این فصل وضعیت حال حاضر انرژی هسته‌ای را جمع‌بندی کرده و سپس مراحل کلیدی در طول چرخه عمر انرژی هسته‌ای را به ترتیب بیان می‌کند و مرحله‌ای که در آن‌ها گاز CO<sub>2</sub> منتشر شده و یا مواد منفجره قابل استفاده در سلاح‌های هسته‌ای تولید می‌شوند را معرفی می‌کند.

## وضعیت انرژی هسته‌ای

انرژی هسته‌ای به عنوان یک محصول جانبی در کنار سلاح‌های هسته‌ای به وجود آمد و استفاده از آن در طول دهه ۱۹۶۰ میلادی به سرعت افزایش یافت. این فرآیند توسط یارانه‌های عظیمی

1 James Lovelock  
2 Gaia Hypothesis

که به آن تعلق گرفت تسهیل شد. پرداخت این یارانه‌ها برخاسته از این باور بود که برق هسته‌ای به زودی "به حدی ارزان می‌شود که ارزش کنتورگذاری نخواهد داشت". بر اساس داده‌های منتشرشده توسط آژانس بین‌المللی انرژی اتمی<sup>۱</sup> (IAEA)، نیروگاه‌های هسته‌ای در سال ۲۰۱۲ برق هسته‌ای معادل ۲۳۴۶ تراوات ساعت (TWh) تولید کردند که ۱۲ درصد کمتر از اوج تولید آن‌ها در سال ۲۰۰۶ بود. "حدود سه چهارم این کاهش به خاطر وضعیت موجود در ژاپن بود، اما ۱۶ کشور دیگر، از جمله ۵ کشور اول تولیدکننده برق هسته‌ای در جهان، نیز تولید خود را کاهش دادند" [۶]. در همین حال، تقاضای جهانی برای انرژی الکتریکی در حال افزایش بوده است و نتیجه آن شد که سهم انرژی هسته‌ای در تأمین برق جهان از اوج ۱۷ درصدی خود در سال ۱۹۹۳ به حدود ۱۰ درصد در سال ۲۰۱۲ سقوط کرده است [۷].

طبق داده‌های موجود در پایگاه اطلاعاتی IAEA، در اواسط سال ۲۰۱۳ در جهان ۴۲۷ نیروگاه هسته‌ای "فعال" وجود داشت که ظرفیت کل تولید آن‌ها ۳۶۴ گیگاوات (GW) بود. این ارقام با در نظر گرفتن خروج ۱۰ رآکتور در نیروگاه‌های شماره یک و دوی فوکوشیما از مدار به دست آمده‌اند. به دنبال ذوب شدن قلب یکی از رآکتورهای نیروگاه شماره یک فوکوشیما در ماه مارس ۲۰۱۱، تنها دو رآکتور از ۴۴ رآکتور "فعال" ژاپن در میانه سال ۲۰۱۳ در مدار بودند.

علاوه بر این، در ماه جولای سال ۲۰۱۱ پارلمان آلمان قانونی مبنی بر تعطیلی کلیه نیروگاه‌های هسته‌ای آن کشور تا سال ۲۰۲۲ میلادی را تصویب نمود و این فرایند بلافاصله آغاز شد. کشورهای بلژیک، سوئیس و تایوان نیز اعلام نموده‌اند که نیروگاه‌های هسته‌ای خود را، در طی چهارچوب‌های زمانی متفاوت، از مدار خارج خواهند کرد. نگرانی‌های مربوط به مخاطرات و نیز عدم صرفه اقتصادی انرژی هسته‌ای منجر به توقف رشد این صنعت در همه کشورهای غربی، به جز سه کشور فنلاند، فرانسه<sup>۲</sup> و آمریکا، شده است. هر دو رآکتور اروپایی که در فنلاند و فرانسه در دست احداث هستند به

1 International Atomic Energy Agency

۲ فرانسه دارای بیشترین درصد برق هسته‌ای (در حدود ۷۵٪ کل ظرفیت تولید کشور) در جهان است. مدافعان انرژی هسته‌ای همواره به نمونه فرانسه به عنوان دلیلی برای برتری انرژی هسته‌ای اشاره می‌کنند. در عین حال، باید دانست که حتی در فرانسه نیز میزان تولید برق هسته‌ای همواره کمتر از بار پایه آن کشور (رک فصل ۱، شکل ۱-۷) بوده و هست. علاوه بر آن، میزان تعهد فرانسه به مسائل زیست‌محیطی به هیچ وجه قابل مقایسه با همسایه شمال شرقی آن کشور، یعنی آلمان، که تا سال ۲۰۲۲ همه نیروگاه‌های هسته‌ای خود را از مدار خارج خواهد کرد، نبوده و نیست. به عنوان مثال نگاه کنید به نوشتاری انتقادی از روزه گارودی، فیلسوف مسلمان و انسان‌دوست فرانسوی (۲۰۱۲-۱۹۱۳)، در خصوص بی‌مسئولیتی شرکت برق هسته‌ای فرانسه نسبت به نسل‌های آینده بشر در کتاب "سرگذشت قرن بیستم"، انتشارات سروش، صفحه ۵۳. (مترجمین)

ترتیب به میزان پنج و چهار سال از برنامه زمان‌بندی عقب بوده و ۱۰۰ درصد از بودجه پیش‌بینی شده بیشتر هزینه برده‌اند (رک "جنبه‌های اقتصادی" در ادامه). در آمریکا، هیچ یک از سفارش‌هایی که پس از سال ۱۹۷۸ برای انرژی هسته‌ای انجام شده تکمیل نشده‌اند. در عین حال، در سال ۲۰۱۲، کمیسیون نظارتی هسته‌ای<sup>۱</sup> مجوز احداث چهار رآکتور هسته‌ای جدید را پس از سی سال صادر کرد و اینک دو تا از این چهار رآکتور رسماً در دست احداث هستند. این دو رآکتور در ایالت جورجیا واقع شده‌اند که در آن شرکت‌های برق می‌توانند همه هزینه‌ها را در درون تعرفه‌های برق جای دهند به گونه‌ای که مصرف‌کنندگان برق مجبورند که قیمت تمام شده برق را، هر چقدر که می‌خواهد باشد، پرداخت نمایند. این پروژه‌ها، علاوه بر این، ضمانت وام توسط دولت فدرال را نیز دریافت می‌کنند.

در حال حاضر هنوز هم رشد قابل توجهی در صنعت انرژی هسته‌ای در چین وجود دارد و در آن کشور ۲۸ رآکتور در دست احداث است. پس از چین، روسیه با ۹ رآکتور، هندوستان با ۷ رآکتور، کره جنوبی با ۴ رآکتور و چندین کشور دیگر با یک یا دو رآکتور در دست احداث در رتبه‌های بعدی قرار دارند [۸]. امارات متحده عربی اولین کشور جدیدی است که از ۲۷ سال گذشته به این سو احداث یک نیروگاه هسته‌ای تجاری را آغاز کرده است. چین و هندوستان توسعه انرژی هسته‌ای را از مقداری ناچیز آغاز کرده‌اند - در حال حاضر برق هسته‌ای حدود ۲/۵ درصد مصرف چین و حدود ۲ درصد مصرف هندوستان را تأمین می‌کند - و در نتیجه هنوز هم مدت زیادی لازم خواهد بود تا انرژی هسته‌ای تأثیر محسوسی بر میزان گازهای گلخانه‌ای (GHG) منتشر شده توسط این دو کشور داشته باشد [۹].

تا سال ۱۹۸۹ تعداد رآکتورهای جدیدالاحداث از تعداد رآکتورهای از مدار خارج شده بیشتر بود. اما از سال ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۲ عکس این مطلب صادق بود. این احتمال وجود دارد که وقوع فاجعه چرنوبیل در سال ۱۹۸۶ باعث این تغییر روند شده و پس از آن نیز افزایش هزینه‌های سرمایه‌گذاری در نیروگاه‌های هسته‌ای رخ داد. روند عمومی کاهش در ظرفیت جهانی انرژی هسته‌ای احتمالاً شتاب خواهد گرفت، چرا که بسیاری از رآکتورهای قدیمی در طول ۱۵ تا ۲۰ سال آینده از مدار خارج خواهند شد [۱۰].

### چرخه عمر انرژی هسته‌ای

منبع انرژی در نیروگاه‌های هسته‌ای به عنوان شکافت هسته‌ای شناخته می‌شود. این فرایند شامل شکستن هسته‌های سنگین اتمی به هسته‌های سبک‌تر است که موجب آزادسازی انرژی می‌شود. عنصری که می‌تواند تحت فرایند شکافت قرار گیرد، مانند اورانیوم-۲۳۵ (U-235) یا پلوتونیوم-۲۳۹ (Pu-239)، "شکافت‌پذیر"<sup>۱</sup> نامیده می‌شود. فرایند شکافت از طریق بمباران کردن هسته‌های شکافت‌پذیر توسط ذرات کوچک‌تر از اتم، که نوترون نامیده می‌شوند، آغاز می‌شود. وقتی که این هسته‌ها شکافته می‌شوند، نوترون‌های بیشتری آزاد می‌کنند و این نوترون‌ها می‌توانند هسته‌های بیشتری را شکافت دهند و در نتیجه واکنش زنجیره‌ای به وجود می‌آید. یک واکنش زنجیره‌ای که به سرعت رشد می‌کند منجر به یک انفجار هسته‌ای می‌شود. یک رآکتور هسته‌ای دارای یک واکنش زنجیره‌ای کنترل‌شده است.

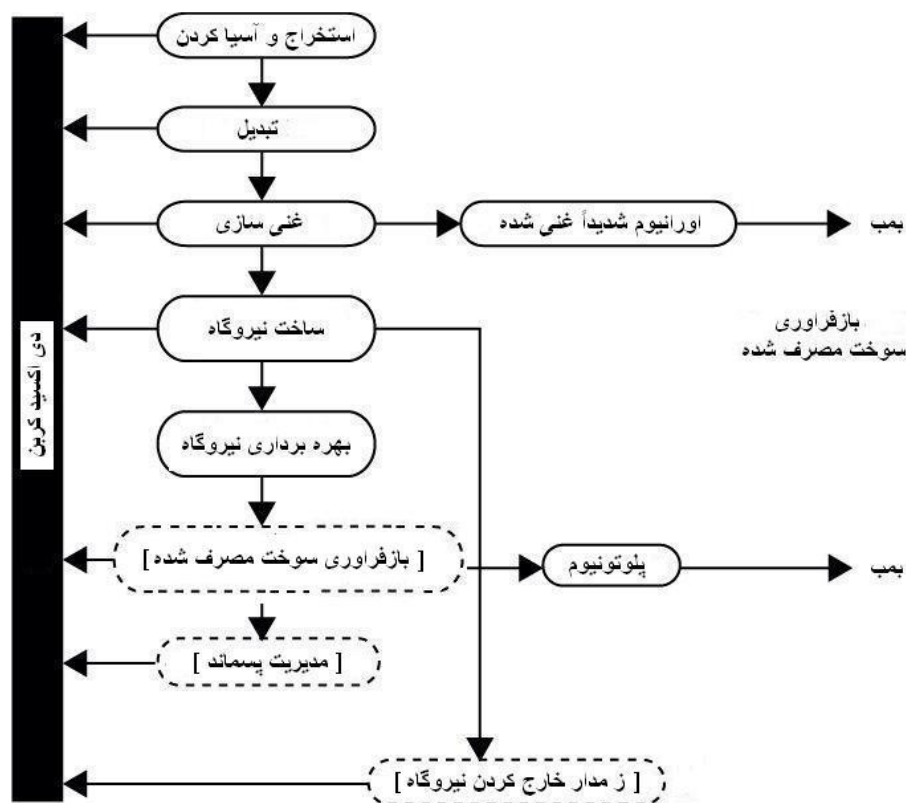
نیروگاه‌های هسته‌ای از گرمای تولید شده در اثر شکافت U-235 و Pu-239 برای گرم کردن آب، تولید بخار، چرخاندن یک توربین بخار و به گردش درآوردن یک ژنراتور برای تولید الکتریسیته استفاده می‌کنند. این فرایند ممکن است به صورت نظری ساده بنماید، اما در عمل یک فرایند بسیار پیچیده چند مرحله‌ای است.

شکل ۱-۶ چرخه عمر سوخت هسته‌ای، از استخراج و آسیا کردن اورانیوم، تا ساختن و بهره‌برداری نیروگاه هسته‌ای، تا مدیریت پسماندهای هسته‌ای و تا از مدار خارج کردن نیروگاه در پایان عمر مفید آن را دسته‌بندی کرده است. سه تا از این مراحل - بازفراوری، از مدار خارج کردن و مدیریت دراز مدت پسماندها - در داخل علامت [ ] قرار گرفته‌اند، چرا که این مراحل، علیرغم چندین مورد تلاش، معمولاً به صورت تجاری انجام نمی‌شوند. قصد ابتدایی بر این بود که چرخه سوخت هسته‌ای از طریق استخراج اورانیوم استفاده‌نشده و پلوتونیوم جدیداً تولیدشده از داخل سوخت مصرف شده و سپس بازفراوری و تزریق دوباره آن به نیروگاه به عنوان سوخت اضافی بسته شود. از آنجایی که این کار در عمل در حد قابل توجهی رخ نمی‌دهد شاید مناسب‌تر باشد که این مجموعه فرایندها را به عنوان "زنجیره سوخت بنامیم و نه "چرخه سوخت".

1 Fissile

استخراج اورانیوم از معادن منجر به دسترسی به اکسید اورانیوم، که به عنوان "کیک زرد" شناخته می‌شود، و نیز مقادیر زیادی از زباله‌های رادیواکتیو با طول عمر بالا و سطح انتشار رادیواکتیو پایین که در محل معدن نگهداری می‌شوند، می‌گردد. به عنوان مثال معدن مس/اورانیوم Olympic Dam در استرالیا جنوبی در پایان سال ۲۰۱۲ ذخیره پسماندهای رادیواکتیوی به وزن ۱۳۶ میلیون تن (Mt) داشت که هر ساله در حدود ۱۰ Mt به آن افزوده می‌شود. این معدن همچنین سالیانه در حدود ۱۲ میلیارد لیتر (۱۲ Mt) آب از منابع زیرزمینی مصرف می‌کند [۱۱].

شکل ۶-۱- چرخه عمر انرژی هسته‌ای مبتنی بر اورانیوم



عنصر اورانیوم در طبیعت به صورت دو ایزوتوپ، که از نظر شیمیایی یکسانند ولی از نظر وزن اتمی مختصری با یکدیگر تفاوت دارند، یافت می‌شود. ایزوتوپ متداول U-238 شکافت پذیر نیست، اما ایزوتوپ کمیاب U-235 شکافت پذیر هست. برای نوع متداول تر نیروگاه هسته‌ای، یعنی رآکتور

آب سبک، اورانیوم غنی سازی می‌شود تا میزان ایزوتوپ U-235 آن از سطح ۰/۷ درصد موجود در طبیعت به ۳ تا ۵ درصد افزایش یابد [۱۲]. اورانیوم غنی‌شده سپس در داخل قرص‌های سوخت قرار گرفته و قرص‌های سوخت نیز در داخل میله‌های سوخت گذاشته شده و این میله‌ها به رآکتورها وارد می‌شوند.

اگر اورانیوم وارد رآکتور نشده و در عوض تا درصد بسیار بالاتری غنی شود، آنگاه برای استفاده به عنوان ماده منفجره در سلاح‌های هسته‌ای مناسب خواهد بود. در بمب هسته‌ای که در سال ۱۹۴۵ بر روی هیروشیما منفجر شد از اورانیوم با درجه غنی سازی بسیار بالا استفاده شده بود.

از آنجایی که عملکرد یک رآکتور هسته‌ای دربرگیرنده احتراق نیست، در این مرحله از زنجیره سوخت هسته‌ای هیچ میزانی از گاز CO<sub>2</sub> منتشر نمی‌شود. در عین حال مقادیر زیادی از آب برای خنک کردن استفاده می‌شود. برخی از نیروگاه‌های هسته‌ای در فرانسه و آمریکا در مواجهه با امواج هوای گرم مجبور به تعطیلی بوده‌اند چرا که آب خنک‌کننده‌ای که به دریاچه‌ها و رودخانه‌ها باز می‌گرداند آن‌چنان داغ بود که موجب عوارض بسیار شدید زیست‌محیطی می‌شد [۱۳]. هرچند که به صورت نظری استفاده از هوا برای خنک کردن امکان‌پذیر است اما حتی یک نیروگاه هسته‌ای در جهان نیز از این روش استفاده نمی‌کند. بازده حرارتی پایین رآکتورهای هسته‌ای موجب می‌شود که تغییر خنک‌کننده از آب به هوا بسیار گران باشد.

پس از مدتی ماندن در رآکتور، بیشتر اورانیوم تبدیل به ترکیبی از زباله شدیداً رادیواکتیو می‌شود. میله‌های سوخت مصرف‌شده از رآکتور خارج شده و سوخت جدید به داخل رآکتور وارد می‌شود. اغلب میله‌های سوخت مصرف‌شده برای چندین دهه در داخل آب نگهداری می‌شوند تا عناصر رادیواکتیو با نیمه‌عمرهای کوتاه از بین بروند و درجه حرارت سوخت مصرف‌شده نیز کاهش یابد. سپس، همان‌طور که قبلاً ذکر شد، ایده اولیه این بود که سوخت مصرف‌شده تحت یک فرایند بازفرآوری شیمیایی قرار گیرد تا U-235 استفاده نشده و یک عنصر جدید، پلوتونیوم-۲۳۹ (Pu-239) که در اثر فرایند شکافت به وجود می‌آید، از آن استخراج شود. مشابه U-235، Pu-239 نیز شکافت‌پذیر است و لذا می‌توان آن را هم به عنوان سوخت در یک رآکتور هسته‌ای و هم به عنوان ماده منفجره در یک بمب هسته‌ای بکار گرفت. بمب هسته‌ای که در سال ۱۹۴۵ بر فراز ناکازاکی منفجر شد از Pu-239 استفاده می‌کرد. پلوتونیوم در صورت تنفس بسیار سرطان‌زاست و تنها یک میلیونیم گرم آن می‌تواند کشنده باشد.

از آنجایی که سوخت مصرف‌شده، هم از نظر تشعشعات رادیواکتیو و هم از نظر درجهٔ حرارت، بسیار داغ است بایستی از راه دور و از ورای پوشش‌های محافظ با آن سروکار داشت. این کار دشوار، خطرناک و بسیار هزینه‌بر است. در آمریکا سه کارخانهٔ بازفرآوری در زمان‌های مختلف ساخته شد اما هیچ یک از آن‌ها از نظر تجاری مقرون به صرفه نبود و همگی به‌طور دائمی تعطیل شدند. کارخانهٔ بازفرآوری بریتانیا در سلافیلد<sup>۱</sup> (قبلاً موسوم به Windscale بود) شهرت بسیار بدی به خاطر موارد زیادی تخلیهٔ مواد رادیواکتیو به محیط زیست، و از جمله دریای ایرلند، دارد. این کارخانه در آوریل ۲۰۰۵، وقتی که مشخص شد که در طی ۹ ماه قبل از آن تاریخ، ۸۳۰۰۰ لیتر (معادل نصف یک استخر شنای المپیک) مایع شدیداً رادیواکتیو از آن نشت کرده است بدون آن که کسی متوجه شود، موقتاً تعطیل شد. خوشبختانه هیچ بخشی از این مواد از محل کارخانه خارج نشده بود. کارخانهٔ سلافیلد در سال ۲۰۰۷ بازگشایی شد. بازفرآوری هنوز هم در مقیاس بالایی در لاآگ<sup>۲</sup> در فرانسه و در برخی از کارخانجات کوچک در هندوستان، روسیه و ژاپن انجام می‌شود. در عمل، مقدار بسیار کمی پلوتونیوم "بازیافت" می‌شود و مقادیر عظیمی از زباله‌های هسته‌ای دربرگیرندهٔ پلوتونیوم و مواد شدیداً رادیواکتیو حاصل از فرایند شکافت، مانند استرونتیوم-۹۰ و سزیم-۱۳۷، در انبارهای موقتی در نیروگاه‌ها نگهداری می‌شوند (رک "زباله‌های شدیداً رادیواکتیو" در ادامه).

### انتشار CO<sub>2</sub> در طول چرخهٔ عمر

فشارهای اخیر برای احیای انرژی هسته‌ای مبتنی بر این ادعاست که این نیروگاه‌ها موجب کاهش انتشار CO<sub>2</sub> می‌شوند، با این فرض که انرژی هسته‌ای جایگزین نیروگاه‌های زغال‌سنگی می‌شود. در عالم واقع، تنها حلقهٔ فاقد CO<sub>2</sub> در زنجیرهٔ سوخت هسته‌ای عملکرد رآکتور است. همهٔ حلقه‌های دیگر این زنجیره - استخراج، آسیا کردن، تولید سوخت، غنی سازی، ساخت رآکتور، از مدار خارج کردن نیروگاه و مدیریت پسماندهای هسته‌ای - از سوخت‌های فسیلی استفاده می‌کنند و در نتیجه CO<sub>2</sub> منتشر می‌سازند، همان‌طور که در شکل ۶-۱ نشان داده شده است.

1 Sellafield  
2 La Hague

انتشار CO<sub>2</sub> در این فرایندها توسط پژوهشگرانی که مستقل از صنایع هسته‌ای هستند کمی-سازی شده است. نتایج اولیه پژوهش توسط نایجل مورتیمر<sup>۱</sup>، رئیس سابق واحد تحقیقات منابع در دانشگاه شفیلد هالام<sup>۲</sup> بریتانیا، منتشر شد [۱۴]. سپس، در دهه ۲۰۰۰، یک پژوهش بسیار عمیق توسط یان ویلم استورم ون لیوون<sup>۳</sup>، که یک مشاور ارشد در سامانه‌های انرژی است، و فیلیپ اسمیت<sup>۴</sup>، که یک فیزیکدان هسته‌ای است، و هر دوی آن‌ها در هلند مستقر بودند انجام شد [۱۵]. از آن زمان تاکنون چندین پژوهش دیگر نیز انجام شده است که توسط یک فیزیکدان هسته‌ای و حامی انرژی هسته‌ای به نام مانفرد لنزن<sup>۵</sup> مورد بررسی قرار گرفته‌اند.

تعدادی از مطالعات بالا دریافتند که مقدار کل انتشار گاز CO<sub>2</sub> به شدت وابسته به درجه غلظت اورانیوم معدنی مورد استفاده است. استورم ون لیوون و اسمیت (SvLS) اورانیوم با درجه بالا را اورانیومی تعریف می‌کنند که حداقل ۰/۱ درصد اکسید اورانیوم (U<sub>3</sub>O<sub>8</sub>) داشته باشد. به عبارت ساده-تر، از هر یک تن اورانیوم معدنی درجه بالا، حداقل یک کیلوگرم کیک زرد می‌توان استخراج کرد. برای اورانیوم معدنی با درجه بالا، مانند بیشتر آنچه که در استرالیا استخراج می‌شود، ورودی انرژی برای استخراج و آسیاکردن اورانیوم کم است. در عین حال، مقادیر بسیار زیادی گاز CO<sub>2</sub> در فرایند ساخت و از رده خارج کردن نیروگاه تولید می‌شود و در نتیجه نیروگاه باید چندین سال کار کند تا انرژی ورودی خود را تولید کند (برای مقایسه، انرژی بادی تنها به ۳ تا ۹ ماه زمان برای این کار نیاز دارد، رک فصل ۵). اورانیوم معدنی با درجه غلظت پایین کمتر از ۰/۱ درصد کیک زرد در خود دارد، یعنی این سنگ‌ها حداقل ده برابر غلظت کمتری در مقایسه با اورانیوم معدنی درجه بالا در خود دارند. برای به دست آوردن یک کیلوگرم کیک زرد، حداقل ۱۰ تن سنگ اورانیوم درجه پایین باید استخراج شود. این کار مستلزم افزایش شدیدی در مصرف انرژی‌های فسیلی برای استخراج و آسیاکردن اورانیوم معدنی است. SvLS دریافتند که مصرف انرژی فسیلی در این مراحل از زنجیره سوخت هسته‌ای به قدری بالاست که مقدار کل گاز CO<sub>2</sub> که توسط انرژی هسته‌ای تولید می‌شود قابل مقایسه با گاز تولید شده توسط یک نیروگاه سیکل ترکیبی مشابه با سوخت گاز طبیعی است.

1 Nigel Mortimer

2 Resources Research Unit at Sheffield Hallam University

3 Jan Willem Storm Van Leeuwen

4 Philip Smith

5 Manfred Lenzen

نتایج پژوهش SvLS از سوی لزنن مورد انتقاد قرار گرفته است. لزنن ادعا می‌کند که یک روش دقیق‌تر مورد نیاز است و سپس نشان می‌دهد که روش پژوهشی وی میزان انتشار گاز CO<sub>2</sub> کمتری در مراحل ساخت و از رده خارج کردن نیروگاه‌های هسته‌ای را نشان می‌دهد [۱۷]. لزنن همچنین توصیه SvLS مبنی بر این که پسماندهای معدن باید دفن شده و پوشانده شوند را رد می‌کند. دلیل او، که قابل بحث است، آن است که این اقدامات ایمنی توصیه‌شده در بسیاری از معادن قدیمی انجام نشده‌اند. قیاس انجام شده در اینجا بدین معنی است که ریسک تشعشعات رادیواکتیو سطح پایین در بین نسل‌های آینده، وقتی که در طول صد هزار سال جمع شود، نادیده گرفته شده است [۱۸].

جدول ۶-۱- کل تولید CO<sub>2</sub> (g CO<sub>2</sub>/kWh) توسط چرخه سوخت هسته‌ای برای اورانیوم‌های معدنی با درجه بالا و درجه پایین [۱۹]

غلظت اورانیوم معدنی (% U <sub>3</sub> O <sub>8</sub> )	میزان انتشار گاز به استثنای بازپوری معدن		میزان انتشار با بازپوری معدن		انرژی بادی [۱۶]	گاز طبیعی [۲۱]
	لزنن <sup>(a)</sup>	SvLS <sup>(b)</sup>	SvLS <sup>(b)</sup>	SvLS <sup>(b)</sup>		
۰/۱۵	۸۰	۱۰۷	۱۱۷	۱۰-۲۰	۴۹۱-۵۷۷	
۰/۰۱	۱۳۱	۲۲۰	۴۳۷	۱۰-۲۰	۴۹۱-۵۷۷	

(a) مقادیر قابل توجهی از انتشار مرتبط با پاکسازی معدن را حذف می‌کند.

(b) من یافته‌های SvLS را تغییر داده‌ام تا اصلاحات مورد نظر لزنن در مورد گازهای تولید شده در مراحل ساخت و از رده خارج کردن را منظور کرده باشم. نتایج SvLS در مورد مدیریت پسماندهای سطح بالای رادیواکتیو حفظ شده‌اند. نتایج SvLS بدون تغییر در ستون چهارم آمده‌اند.

جدول ۶-۱ نتایج پژوهش لزنن در خصوص کل CO<sub>2</sub> تولید شده توسط چرخه سوخت هسته‌ای در یک رآکتور آب سبک را با نتایج پژوهش SvLS مقایسه می‌کند. البته اصلاحاتی که لزنن بر روی اعداد مربوط به مراحل ساخت و از رده خارج کردن در پژوهش SvLS اعمال کرده است نیز در این جدول منظور شده‌اند. میزان انتشار گاز حاصل از ساخت توربین‌های بادی بزرگ [۲۰] و نیز میزان انتشار گاز تولیدی توسط نیروگاه‌هایی که با گاز طبیعی کار می‌کنند [۲۱] برای مقایسه در این جدول آمده‌اند.

با مقایسه ستون‌های ۲ و ۳ در جدول ۶-۱ مشاهده می‌شود که لزن نتایج کیفی SvLS، که توسط موافقان انرژی هسته‌ای نادیده گرفته شده یا پنهان شده‌اند، را تأیید می‌کند. این نتایج بر این دلالت دارند که با حرکت از اورانیوم درجه بالا به سمت اورانیوم درجه پایین، جهش بزرگی در میزان CO<sub>2</sub> منتشرشده توسط زنجیره سوخت هسته‌ای ایجاد می‌شود. علاوه بر این، هم لزن و هم SvLS دریافته‌اند که وقتی که درجه غلظت اورانیوم پایین است، میزان انتشار CO<sub>2</sub> توسط انرژی هسته‌ای بسیار بیشتر از انرژی بادی است. اگر بپذیریم که پسماندهای معدنی باید پوشانده شوند، اما نه به میزانی که SvLS توصیه می‌کند، آنگاه میزان انتشار CO<sub>2</sub> توسط زنجیره سوخت هسته‌ای با اورانیوم درجه پایین در میانه نتایج پژوهش لزن و نتایج پژوهش SvLS، یعنی در حدود ۳۰۰ گرم CO<sub>2</sub> برای هر کیلووات ساعت (g CO<sub>2</sub>/kWh) خواهد بود. این مقدار انتشار CO<sub>2</sub> به اندازه کافی زیاد هست تا مبنایی برای این ادعا باشد که: انرژی هسته‌ای مبتنی بر فناوری تجاری شده موجود نمی‌تواند یک راه-حل دراز مدت برای مقابله با تغییرات آب و هوایی باشد.

ذخایر شناخته شده سنگ معدن اورانیوم با درجه غلظت بالاتر از میزان بحرانی ۰/۰۱ درصد بسیار محدودند. هرچند که مقدار این ذخایر محل مناقشه است، اما عموماً پذیرفته شده است که اکثریت عظیم منابع شناخته شده اورانیوم جهان دارای درجه پایین است. با در نظر گرفتن اینکه سهم انرژی هسته‌ای در تأمین برق جهان در سال ۲۰۱۲ در حدود ۱۰ درصد بوده است، ذخایر اورانیوم با درجه بالا در بهترین حالت فقط برای چند دهه دیگر کفایت می‌کنند. اگر این امکان وجود داشت که ظرفیت انرژی هسته‌ای با سرعت افزایش یابد به گونه‌ای که (به عنوان مثال) نیمی از برق مصرفی جهان را تأمین کند آنگاه ذخایر با کیفیت بالا تنها یک یا دو دهه دوام خواهد آورد. تردیدی نیست که ذخایر جدیدی از سنگ معدن اورانیوم با غلظت بالا کشف خواهند شد، به گونه‌ای که حتی ممکن است ذخایر شناخته شده به دو برابر میزان فعلی برسد، اما حتی این مقدار افزایش نیز برای جایگزین کردن زغال سنگ ناکافی است.

آیا در آینده روش‌های جایگزینی برای تولید انرژی هسته‌ای وجود خواهند داشت که مقدار CO<sub>2</sub> کمتری منتشر کنند؟ هرچند که مقادیر عظیمی از اکسید اورانیوم در پوسته زمین وجود دارد، اما اغلب این منابع در غلظت‌های بسیار پایین، نوعاً  $10^{-4} \times 4$  درصد، یافت می‌شوند. در این غلظت‌ها، برای به دست آوردن چهار کیلوگرم اورانیوم به صورت کیک‌زرد بایستی هزار تن سنگ معدن استخراج شود. در چنین شرایطی، انرژی ورودی برای استخراج اورانیوم بسیار بیشتر از انرژی خروجی از

نیروگاه‌های هسته‌ای خواهد بود. آب دریاها حاوی اورانیوم با غلظتی در حدود  $10^{-7} \times 2$  درصد است و این به این معنی است که برای به دست آوردن تنها دو کیلوگرم اورانیوم، بایستی یک میلیون تن آب دریا را فراوری کرد. آیا انواع جدید نیروگاه‌های هسته‌ای این مشکل را حل خواهند کرد؟

## فناوری‌های هسته‌ای جایگزین

### راکتورهای سریع زاینده

به صورت نظری، یک راکتور سریع زاینده<sup>۱</sup> پنجاه برابر سوختی که مصرف می‌کند سوخت جدید به صورت Pu-239 "می‌زاید". این راکتور این کار را با داشتن یک "پوشش" از U-238 در اطراف قلب راکتوری که واکنش اصلی در آن صورت می‌پذیرد انجام می‌دهد. گرچه که U-238 شکافت پذیر نیست، اما نوترون‌هایی که از قلب راکتور خارج می‌شوند بخشی از آن را به Pu-239، که عنصری است شکافت پذیر، تبدیل می‌کنند. در نتیجه سوخت جدید هسته‌ای تولید می‌شود بدون آن که مقادیر اضافی CO<sub>2</sub> منتشر شود.

بزرگ‌ترین راکتور زاینده جهان راکتور Superphénix در فرانسه است که در سال ۱۹۷۴ راه اندازی شد، در سال ۱۹۸۶ به شبکه متصل شد و در سال ۱۹۹۸ پس از مشکلات فنی فراوان تعطیل شد. این راکتور تنها به مدت ده ماه کار کرد و دوازده میلیارد یورو (به نرخ سال ۲۰۱۰) هزینه آن شد. این مبلغ شامل هزینه برچیدن نیروگاه نمی‌شود [۲۲]. در حال حاضر هیچ راکتور سریع زاینده‌ای در مقیاس تجاری مشغول به کار نیست. یک راکتور نوترونی سریع ۶۰۰ مگاواتی آزمایشی روسی به نام Beloyarsk در حال فعالیت هست اما تاریخچه‌ای طولانی از سوانح دارد و معلوم نیست که آیا هرگز به عنوان یک راکتور زاینده کار کرده است یا نه؟ [۲۳]. پژوهش طرفدار انرژی هسته‌ای که در سال ۲۰۰۳ در دانشگاه MIT انجام شد نیز انتظار ندارد که چرخه زاینده در طول سه دهه آینده به صورت تجاری وارد بازار شود [۲۴].

حتی اگر راکتورهای سریع زاینده در آینده ساخته شوند، بازفراوری شیمیایی سوخت مصرف شده در مقیاس بزرگی برای استخراج پلوتونیوم و اورانیوم مصرف‌نشده مورد نیاز خواهد بود. از

1 Fast Breeder Reactor

آنجایی که سوخت مصرف‌شده به شدت رادیواکتیو است، بازفرآوری دارای مخاطرات خاص خود بوده و بیش از حد هزینه‌بر است که بتوان آن را در مقیاس تجاری انجام داد.

### رآکتور سریع مجتمع

رآکتور سریع مجتمع<sup>۱</sup> گونه پیشنهادی دیگری از رآکتور سریع زاینده است و به این دلیل "مجتمع" خوانده می‌شود که در محل خود نیروگاه تأسیسات بازفرآوری نیز وجود خواهد داشت. این تأسیسات نوع تجربی جدیدی از بازفرآوری که موسوم به بازفرآوری حرارتی<sup>۲</sup> است را به کار خواهند گرفت و طی آن عناصر رادیواکتیو با نیمه‌عمر بالا (عناصر سنگین‌تر از اورانیوم<sup>۳</sup>) به صورت یک گروه از سایر عناصر رادیواکتیو با نیمه‌عمر متوسط (محصولات شکافت هسته‌ای) به صورت گروهی دیگر جداسازی می‌شوند. سپس، به صورت نظری، گروه عناصر سنگین‌تر از اورانیوم را می‌توان مجدداً به عنوان سوخت به رآکتور تغذیه کرد تا در نهایت همه آنها "سوزانده" شده و از بین بروند. در نتیجه، تنها زباله‌هایی که باقی می‌مانند شامل محصولات شکافت هسته‌ای با نیمه‌عمر متوسط خواهند بود که پس از چند قرن به سطح پایین تشعشعات رادیواکتیو نزول خواهند کرد. از آنجایی که (به صورت نظری) پلوتونیوم از سایر عناصر سنگین‌تر از اورانیوم جدا نشده و ترکیب عناصر سنگین‌تر از اورانیوم نمی‌تواند منجر به یک انفجار هسته‌ای شود، طرفداران این فناوری به غلط ادعا می‌کنند که رآکتور سریع مجتمع به گسترش سلاح‌های هسته‌ای دامن نمی‌زند.

اشکال منطقی موجود در ادعای طرفداران این فناوری آن است که زمانی که محصولات شدیداً رادیواکتیو ناشی از شکافت هسته‌ای از سایر عناصر کمتر رادیواکتیو جدا شوند، جداسازی Pu-239 از سایر عناصر سنگین‌تر از اورانیوم و استفاده از آن برای ساخت سلاح‌های هسته‌ای بسیار آسان‌تر خواهد بود. ظاهراً همین موضوع باعث شد که دولت آمریکا تحقیقات در این زمینه را متوقف سازد.

### رآکتورهای توریومی

یک پاسخ احتمالی دیگر به کمبود سنگ معدن اورانیوم با غلظت بالا برخاسته از برآوردهایی است که معتقدند میزان ذخایر توریوم در پوسته زمین در حدود سه برابر ذخایر اورانیوم است. هرچند توریوم به خودی خود شکافت پذیر نیست، اما می‌توان آن را از طریق بمباران کردن با نوترون به یکی

1 Integral Fast Reactor

2 Pyroprocessing

3 Transuranics

از ایزوتوپ‌های اورانیوم که شکافت پذیر است، یعنی U-233، تبدیل کرد. در یک روش، نوترون‌های مورد نیاز از طریق شکافت ترکیبی از U-235 و Pu-239 تولید می‌شوند. سپس، U-233 استخراج شده و در یک رآکتور دیگر شکافته می‌شود. هندوستان در تلاش است تا این سامانه دو-مرحله‌ای پیچیده و گران‌قیمت را توسعه دهد.

یک طرح ساده‌تر رآکتور توریومی از یک شتاب‌دهنده ذرات برای تولید نوترون‌های مورد نیاز استفاده می‌کند. این طرح دارای این مزیت است که رآکتور در برابر شکست و خطا مصون است. بر خلاف رآکتورهای اورانیومی متداول، رآکتور توریومی که توسط شتاب‌دهنده ذرات تغذیه می‌شود را می‌توان به سادگی با قطع پرتوهای ذرات خاموش کرد. علاوه بر این، زباله‌های هسته‌ای تولید شده توسط این رآکتورها دارای نیمه‌عمر بسیار کوتاه‌تری در مقایسه با زباله‌های هسته‌ای رآکتورهای اورانیومی و پلوتونیومی هستند. در عین حال، بر خلاف آنچه که طرفداران رآکتورهای توریومی به غلط ادعا می‌کنند، با مقداری دشواری می‌توان U-233 را استخراج و تصفیه کرد و برای ساخت سلاح‌های هسته‌ای به کار گرفت [۲۵].

### گداخت هسته‌ای

یک فناوری احتمالی برای استفاده دراز مدت در آینده، گداخت (همجوشی) کنترل‌شده هسته‌ای است که در آن هسته‌های عناصر سبک، مانند ایزوتوپ‌های هیدروژن، یعنی دوتریوم ( $^2\text{H}$ ) و تریتیوم ( $^3\text{H}$ )، به یکدیگر جوش داده می‌شوند تا عناصر سنگین‌تر تولید کرده و انرژی آزاد کنند. این فرایند از همان نوع فرایند هسته‌ای است که در درون خورشید و در انفجار بمب‌های هیدروژنی روی می‌دهد. انجام گداخت کنترل‌شده هسته‌ای بر روی زمین دارای این مزیت است که زباله‌های رادیواکتیو بسیار کمتری در مقایسه با شکافت هسته‌ای تولید خواهد شد [۲۶] و نیز اینکه یکی از سوخت‌های مورد نیاز، دوتریوم، را می‌توان از یک منبع لایزال موجود، یعنی آب، به دست آورد. در عین حال، تریتیوم کمیاب است و باید آن را به صورت مصنوعی یا از طریق تولید در یک رآکتور شکافتی یا با بمباران کردن لیتیوم توسط نوترون‌ها به دست آورد.

از نیم قرن قبل تا کنون، پژوهش‌ها بر روی مسئله بنیادین ایجاد یک فرایند گداخت هسته‌ای کنترل‌شده و محصور کردن آن در یک آزمایشگاه ادامه داشته است. چالش موجود عبارت است از هل دادن هسته‌های دارای بار مثبت به سمت یکدیگر و در خلاف جهت نیروی دافعه الکتروستاتیکی

موجود بین آن‌ها. در مرکز ستاره‌ها، گاز یونیزه شده بسیار داغ (موسوم به پلاسما) که تحت این فرایند قرار دارد محصور بوده و توسط نیروی گرانش با چگالی بالایی فشرده می‌شود. چنین پلاسمای دارای چگالی بالایی را نمی‌توان در آزمایشگاه به دست آورد و در نتیجه مقادیر زیادی انرژی باید مصرف شود تا میدان‌های مغناطیسی قوی برای محصور کردن پلاسما و برای داغ کردن آن تا درجات بسیار بالا تولید شود. پلاسمای آزمایشگاهی در معرض چندین نوع ناپایداری قرار دارد که موجب می‌شود محصور بودن آن ادامه نیابد. در نتیجه، دانشمندان تا کنون در ایجاد یک واکنش گداخت هسته‌ای کنترل‌شده، که انرژی قابل استفاده تولید شده توسط آن بیشتر از انرژی مصرف شده برای حفظ پلاسما باشد، موفق نبوده‌اند.

علیرغم این کاستی‌های بنیادین، نظریه‌ها اینگونه بیان می‌کنند که با ارتقاء سطح فعالیت از سطح آزمایشگاهی به سطح رآکتور گداختی بزرگ، ممکن است این امکان وجود داشته باشد که مقدار خالصی از انرژی به دست آورد. اما این احتمال هم وجود دارد که ارتقاء سطح کار به سطح رآکتورهای بزرگ موجب بروز ناپایداری‌های جدیدی بشود. در هر صورت، چندین کشور منابع خود را با یکدیگر ترکیب کرده‌اند تا یک رآکتور آزمایشی گداخت به نام ITER بسازند. این طرح یک آزمایش غول‌آساست که در فرانسه در دست احداث است. اگر همه کارها طبق برنامه پیش روند، ساخت رآکتور در سال ۲۰۱۹ تکمیل خواهد شد و پس از چندین سال آزمایش، همجوشی دوتریوم و تریتیوم در سال ۲۰۲۷ آغاز خواهد شد. هزینه برآورد شده ITER در طول دوره ده‌ساله ساخت آن افزایش یافته و در حال حاضر سیزده میلیارد یورو است [۲۷].

ITER برای تولید الکتریسیته طراحی نشده است - چنین وظیفه‌ای برای مرحله بعدی، یعنی یک نیروگاه آزمایشی گداخت هسته‌ای به نام DEMO، که کار خود را در اوایل دهه ۲۰۳۰ و به شرط موفقیت‌آمیز بودن طرح ITER شروع خواهد کرد، پیش‌بینی شده است. سپس، اگر طرح DEMO در طول دوران آزمایشی خود موفقیت‌آمیز باشد رآکتورهای تجاری گداخت (یا درواقع رآکتورهایی در مرحله توزیع اولیه) ممکن است کار تزریق الکتریسیته به شبکه‌های برق را در دهه ۲۰۴۰ آغاز کنند. در نتیجه، در زمانی که فناوری گداخت هسته‌ای به صورت تجاری در دسترس خواهد بود، انرژی‌های تجدیدپذیر قادر هستند که بخش عمده تقاضای جهانی انرژی را، احتمالاً با هزینه‌ای کمتر، تأمین کنند.

طرفداران گداخت هسته‌ای اظهار می‌دارند که این فناوری نمی‌تواند منجر به گسترش سلاح‌های هسته‌ای شود. اما، در عمل اگر قرار باشد گداخت هسته‌ای روزی تبدیل به یک فناوری بالغ شود، این فناوری احتمالاً مجبور خواهد بود که با یک صنعت بزرگ شکافت هسته‌ای پیوند داشته باشد و این پیوند می‌تواند منجر به گسترش سلاح‌های هسته‌ای شود. دامن زدن به گسترش سلاح‌های هسته‌ای از طریق تولید مقادیر زیادی مواد شکافت پذیر (مثلاً تولید Pu-239 از U-238 یا تولید U-233 از تورنیوم) [۲۸] و تریتیوم، که یک جزء مهم در فرایندهای پیچیده شکافت هسته‌ای و سلاح‌های گداختی است، صورت خواهد گرفت [۲۹].

### جمع‌بندی فناوری‌های هسته‌ای جایگزین

هیچ یک از جایگزین‌های پیشنهاد شده در بالا برای شکافت هسته‌ای مبتنی بر اورانیوم - رآکتور تورنیومی، رآکتور سریع زاینده، رآکتور سریع مجتمع و رآکتور گداختی - به صورت تجاری در دسترس نیستند و سه‌تای آخری هنوز چندین دهه تا تجاری شدن فاصله دارند. در نتیجه، بر مبنای فناوری هسته‌ای موجود و با توجه به ذخایر کم اورانیوم با درجه غلظت بالا، سهم بالقوه انرژی هسته‌ای در کاهش انتشار CO<sub>2</sub> محدود است.

### به‌کارگیری آهسته

با فرایند گرمایش جهانی که به سمت ۴ °C، یا بیشتر، در حرکت است، فناوری‌های اصلی مورد نیاز برای جایگزینی نیروگاه‌های زغال‌سنگی و نیروگاه‌هایی که سایر سوخت‌های فسیلی را مصرف می‌کنند باید به سرعت به خدمت گرفته شوند. نیروگاه‌های هسته‌ای دارای دوره‌های زمانی طراحی و ساخت طولانی هستند. در آمریکا، جاناتان کومی<sup>۱</sup> از دانشگاه استنفورد و ناتان هولتمن<sup>۲</sup> از دانشگاه جرج تاون به‌طور مشترک دریافتند که زمان متوسط ساخت نیروگاه‌های هسته‌ای در آمریکا، که داده‌های مربوط به هزینه‌های آن‌ها در اختیار ایشان بود، ۹ سال بوده است [۳۰]. طراحی و اخذ مجوزهای لازم به چندین سال بیشتر نیاز دارد. در کشورهایی که فاقد انرژی هسته‌ای هستند، سالیان بیشتری را برای فراهم آوردن زیرساخت‌ها و نهادهای مورد نیاز باید به مجموع زمان مورد نیاز افزود.

1 Jonathan Koomey  
2 Nathan Hultman

برای مقایسه، اغلب روش‌های بهبود بهره‌وری انرژی که در فصل ۴ بحث شد و چندین فناوری انرژی‌های تجدیدپذیر که در فصل‌های ۲ و ۵ معرفی شدند زمان‌های به‌کارگیری بسیار کوتاهی دارند. به عنوان مثال، مزارع بادی و نیروگاه‌های خورشیدی بزرگ را می‌توان در دو یا سه سال طراحی کرد، مجوزهای لازم را دریافت داشت، ساخت و به بهره‌برداری رساند. برخی از مازول‌های خورشیدی فتوولتاییک را می‌توان ظرف چند ساعت سفارش داد و نصب کرد. عواملی که مانع به‌کارگیری سریع فناوری‌های انرژی تجدیدپذیر می‌شوند عبارتند از: لزوم افزایش ظرفیت ساخت، آموزش نیروی کار، احداث خطوط انتقال جدید و اکراه بسیاری از دولت‌ها در زمینه انجام اقدامات مؤثر. راه‌هایی برای غلبه بر این مانع آخری در فصل ۱۱ بررسی شده‌اند.

### زباله‌های شدیداً رادیواکتیو

پس از آن‌که میله‌های سوخت در طی چندین دهه در استخرهای آب واقع در محل رآکتور خنک شدند (رک "چرخه عمر انرژی هسته‌ای" در بالا) ایزوتوپ‌های دارای طول عمر بسیار کوتاه از بین خواهند رفت و زباله‌های باقیمانده در روی زمین نگهداری می‌شوند که در برابر حملات تروریستی آسیب‌پذیرند. این زباله‌های شدیداً رادیواکتیو از دو نوع هستند که با یکدیگر ترکیب شده‌اند: محصولات شکافت و اکتینیدها<sup>۱</sup> (گروهی از عناصر شیمیایی رادیواکتیو از عنصر ۸۹ تا ۱۰۳ در جدول تناوبی عناصر. مترجمین) یا عناصر سنگین‌تر از اورانیوم.

محصولات شکافت، مانند استرونتیم-۹۰ (Sr-90) و سزیوم-۱۳۷ (Cs-137) دارای نیمه عمری در حدود ۳۰ سال هستند و در نتیجه در حدود ۳۰۰ تا ۵۰۰ سال طول می‌کشد تا به سطح تشعشع طبیعی اولیه خود تنزل کنند. اکتینیدها و عناصر سنگین‌تر از اورانیوم نیمه‌عمرهای بسیار طولانی‌تری دارند. به عنوان مثال، Pu-239 دارای نیمه‌عمری معادل ۲۴۰۰۰ سال است. هر دو نوع زباله شدیداً رادیواکتیو برای موجودات زنده بسیار خطرناک هستند. اگر Sr-90 وارد بدن انسان شود، در داخل استخوان‌ها ذخیره شده و می‌تواند موجب سرطان استخوان شود، در حالی که Cs-137 وارد خون می‌شود که می‌تواند منجر به لوسمی (سرطان خون) شود. اگر Pu-239 استنشاق شود می‌تواند باعث سرطان ریه گردد. بنابراین، سوخت مصرف‌شده باید برای صدها هزار سال از انسان و سایر موجودات

<sup>1</sup> Actinides

گیاهی و جانوری دور نگه داشته شود. برخی از پژوهش‌ها این مدت را تا یک میلیون سال نیز تخمین زده‌اند [۳۱].

حتی یک ذخیره‌گاه مناسب برای دفن یا مدیریت دراز مدت زباله‌های شدیداً رادیواکتیو در جهان وجود ندارد و تعداد بسیار کمی از کشورهایی که دارای انرژی هسته‌ای یا سلاح‌های هسته‌ای هستند محل‌های احتمالی برای این کار را شناسایی کرده‌اند. فنلاند و سوئد در این زمینه پیشرفته‌ترین کشورها بوده و در حال حفر ذخیره‌گاه‌های زیرزمینی عمیق هستند. آمریکا قبلاً در کار احداث یک ذخیره‌گاه در کوهستان یوکا<sup>۱</sup> در نوادا بود اما این پروژه در سال ۲۰۱۱، پس از صرف ۱۰ تا ۱۵ میلیارد دلار هزینه، متوقف شد. در همین حال، روز به روز مقدار بیشتری زباله‌های هسته‌ای روی هم جمع می‌شوند. صنایع هسته‌ای و دولت‌هایی که آن‌ها را حمایت می‌کنند در حال تحمیل این مشکل بر نسل‌های آینده هستند.

خود یک نیروگاه هسته‌ای هم در پایان عمرش نوعی از زباله هسته‌ای شدیداً رادیواکتیو است. نیروگاه باید تخریب شده و اجزاء شدیداً رادیواکتیو آن باید به صورت صحیحی از دسترس دور شوند. هرچند که تا کنون چندین نیروگاه هسته‌ای کوچک با صرف هزینه‌های بسیار بالایی از مدار خارج شده‌اند اما این کار هرگز برای یک نیروگاه هسته‌ای بزرگ (۱۰۰۰ مگاواتی) انجام نشده است. هزینه از مدار خارج کردن به صورت صحیح می‌تواند به اندازه هزینه سرمایه‌گذاری اولیه کل نیروگاه باشد. در بریتانیا، در سال ۲۰۰۶ مدیریت از مدار خارج کردن نیروگاه‌های هسته‌ای<sup>۲</sup> (NDA) به صورت ابتدایی تخمین می‌زند که هزینه از مدار خارج کردن و پاکسازی تأسیسات هسته‌ای موجود در آن کشور در حدود ۷۰ میلیارد پوند خواهد بود. به دنبال آن، نخست وزیر بریتانیا، گوردون براون، اعلام کرد که خزانه‌داری بریتانیا این تخمین را به ۹۰ میلیارد پوند افزایش داده است [۳۲]. تخمین فعلی NDA در حدود ۵۹ میلیارد پوند است [۳۳]، اما این مبلغ یک برآورد محاسبه شده بر اساس نرخ‌های بهره در طول عمر نیروگاه‌ها تا سال ۲۱۳۷ است که به نظر می‌رسد با روشی متفاوت از روش قبلی محاسبه شده است.

1 Yucca Mountain

2 Nuclear Decommissioning Authority

## سوانح

زنجیره سوخت هسته‌ای به‌طور عام و نیروگاه‌های هسته‌ای و تأسیسات بازفرآوری به‌طور خاص، سامانه‌های بسیار پیچیده‌ای هستند که از مواد بسیار خطرناکی استفاده می‌کنند. این پیچیدگی منجر به بالا رفتن تعداد دفعات وقوع سوانح شده و مواد خطرناک زمینه را برای پیامدهای بسیار شدید منفی فراهم می‌کنند.

صنایع هسته‌ای موفق شده‌اند که بسیاری از سوانح را از طریق نام‌گذاری اکثریت عظیم آن‌ها به عنوان "رویداد"<sup>۱</sup> بی‌اهمیت جلوه داده و برخی دیگر را به کلی مخفی نمایند. در عین حال، در طول چندین دهه اطلاعات به بیرون درز می‌کنند و چندین پژوهشگر موفق شده‌اند تعداد زیادی از سوانحی که یا در رسانه‌ها مطرح نشده و یا پوشش خبری کمی دریافت داشته‌اند را به صورت مستند شناسایی کنند. لیستی که اخیراً توسط بنجامین سواکول<sup>۲</sup> تهیه شده ۹۹ سانحه<sup>۳</sup> هسته‌ای را معرفی می‌کند که از سال ۱۹۵۲ تا اوایل سال ۲۰۱۰ رخ داده و در مجموع منجر به خساراتی معادل ۲۰/۵ میلیارد دلار در سراسر جهان شده‌اند [۳۴]. سواکول یک "سانحه"<sup>۳</sup> را واقعه‌ای تعریف می‌کند که یا منجر به تلفات انسانی شده و یا خساراتی بیشتر از ۵۰۰۰۰ دلار به دنبال داشته است.

البته، سرطان‌ها دارای برچسب‌هایی نیستند که مشخص کنند که توسط تشعشعات یونیزه کننده به وجود آمده‌اند یا به واسطه استعمال دخانیات یا چیز دیگری. پژوهش‌های همه‌گیرشناسانه‌ای که بعد از سوانح هسته‌ای انجام شده‌اند، به دلیل عدم وجود داده‌های کافی در خصوص تماس انسان با تشعشعات و بیماری‌هایی که پس از آن به وجود می‌آیند، دارای محدودیت هستند. علاوه بر این، این واقعیت که سرطان یکی از عوامل اصلی مرگ و میر، حتی در غیاب سوانح هسته‌ای، است کار پژوهشگران را دشوارتر می‌سازد و در نتیجه مشاهده این‌که در اثر تشعشعات هسته‌ای از یک جمعیت صد میلیونی مثلاً صد هزار نفر بیشتر مرده‌اند غیرممکن است. در نتیجه، لازم است که از وقایع متفاوت تحت شرایط متفاوت، مثلاً از قربانیان بمب‌های هسته‌ای در هیروشیما و ناکازاکی، استنتاج کنیم. مشاهدات کلینیکی نیز می‌توانند داده‌های ارزشمندی را فراهم آورند، اما به‌طور اجتناب‌ناپذیری شدت مرگ و میر و بیماری‌ها را دست کم می‌گیرند.

1 Incident

2 Benjamin Sovacool

3 Accident

سوانحی که در معرض اطلاع عموم قرار می‌گیرند بزرگ‌ترین سوانح هستند: فاجعهٔ چرنوبیل در اوکراین که در ۲۶ آوریل ۱۹۸۶ و فاجعهٔ فوکوشیمای شمارهٔ ۱ در ژاپن که در ۱۱ مارس ۲۰۱۱ آغاز شدند. هر دوی این سوانح به عنوان سانحهٔ سطح ۷ ارزیابی شدند، یعنی بالاترین سطح موجود در مقیاس بین‌المللی رویدادهای هسته‌ای<sup>۱</sup>.

### چرنوبیل

در چرنوبیل، خطای اپراتور منجر به یک واکنش زنجیره‌ای کنترل‌نشده گردید. این واکنش موجب یک انفجار بخار آب شد که در اثر آن مقادیر عظیمی تشعشعات رادیواکتیو در بخش عمدهٔ غرب شوروی سابق و اروپا گسترده شد. حدود ۳۵۰۰۰۰ نفر از ساکنین منطقه با تأخیر جابجا شدند. صنایع بین‌المللی هسته‌ای هنوز هم این ادعای مضحک را تکرار می‌کنند که تنها حدود ۳۱ تا ۶۴ نفر در اثر این سانحه جان باختند، اما این تعداد تنها کارکنان رآکتور و نیروهای امدادی‌ای بودند که بلافاصله پس از وقوع سانحه و در اثر تماس شدید با تشعشعات جان خود را از دست دادند. برآوردهای مربوط به میزان مرگ و میرهای بعدی ناشی از سرطان، محدودهٔ وسیعی را در بر می‌گیرند. کمیتهٔ چرنوبیل<sup>۲</sup>، که گروهی از آژانس‌های وابسته به سازمان ملل متحد است و توسط آژانس بین‌المللی انرژی اتمی (IAEA) و از حامیان انرژی اتمی رهبری می‌شود، تعداد مرگ و میر را تنها ۴۰۰۰ نفر برآورد می‌کند [۳۵]. در عین حال، IAEA هم‌زمان با ترویج انرژی هسته‌ای، وظیفهٔ جلوگیری از گسترش سلاح‌های هسته‌ای را نیز برعهده دارد؛ دو وظیفه‌ای که با یکدیگر در تضاد آشکار قرار دارند. سایر پژوهشگرانی که در زمینهٔ آثار بهداشتی این سانحه کار کرده‌اند بیان می‌دارند که کمیتهٔ چرنوبیل بررسی خود را صرفاً به ساکنین محلی‌ای که در معرض تشعشعات بسیار شدید بوده‌اند محدود کرده است. الیزابت کاردیس<sup>۳</sup> از مؤسسهٔ بین‌المللی پژوهش‌های سرطانی<sup>۴</sup> و همکارانش، با در نظر گرفتن تعداد بسیار بیشتری از ساکنین نواحی دورتر که در معرض تشعشعات نسبتاً ضعیف‌تری بوده‌اند، تخمین می‌زند که تا سال ۲۰۶۵ در حدود ۱۶۰۰۰ مورد مرگ در اثر سرطان (از جمله سرطان خون) در اروپا رخ خواهد داد [۳۶]. یک تیم ۵۱ نفره از پژوهشگران پزشکی اوکراین، روسیه و برخی کشورهای دیگر داده‌های

1 International Nuclear Event Scale

2 Chernobyl Forum

3 Elizabeth Cardis

4 International Agency for Research on Cancer

جدیدی را منتشر کرده‌اند که بر اساس آن تخمین می‌زنند که در مجموع ۹۳۰۰۰ مرگ ناشی از سرطان به علاوه بسیاری بیماری‌های دیگر می‌توانند توسط این سانحه رقم زده شوند [۳۷].

### فوکوشیما

قبل از وقوع فاجعه در نیروگاه هسته‌ای فوکوشیما شماره ۱، بهره‌بردار این نیروگاه، شرکت برق توکیو (TEPCO)، هشدارهایی که توسط متخصصین خارج از شرکت و یک گزارش داخلی شرکت در مورد خطر آب‌گرفتگی نیروگاه در اثر وقوع سونامی داده شده بود را نادیده گرفته بود. به دنبال وقوع این سانحه، گزارش کمیسیون بررسی مستقل سانحه هسته‌ای<sup>۱</sup> که ریاست آن بر عهده کیوشی کوروکاوا<sup>۲</sup>، رییس سابق شورای علوم ژاپن بود، چنین نتیجه‌گیری کرد:

سانحه نیروگاه هسته‌ای فوکوشیما متعلق به TEPCO نتیجه عدم هماهنگی و وجود اختلاف بین دولت، دستگاه‌های نظارتی و TEPCO و فقدان مدیریت صحیح توسط آنها بود. آنها در حقیقت به حق مردم برای در امان بودن از سوانح هسته‌ای خیانت کردند. در نتیجه، ما اعلام می‌کنیم که این سانحه، آشکارا "ساخته دست انسان" بود.

[۳۸]

در زمان وقوع سانحه، زمین‌لرزه موجب خاموش شدن رآکتورها شد و سپس سونامی منجر به آب‌گرفتگی دیزل ژنراتورهایی که وظیفه تغذیه سامانه‌های اضطراری خنک‌کننده قلب رآکتور را بر عهده داشتند گردید. قلب رآکتورها، به دلیل فعالیت رادیواکتیوی که بعد از خاموش شدن رآکتور هم ادامه داشت، دچار اضافه گرما گردیدند. در سه تا از شش رآکتور موجود، ذوب شدن قلب رآکتور و سپس انفجار هیدروژن به وقوع پیوست. در یکی از استخرهای مخصوص ذخیره‌سازی سوخت مصرف شده نیز ذوب شدن اتفاق افتاد. منطقه محل نصب نیروگاه به شدت آلوده شد و ۱۸۰۰۰۰ نفر از ساکنین از منطقه تخلیه شدند. طرح‌های اضطراری برای تخلیه توکیو نیز آماده شدند اما انجام چنین کار عظیمی در مهلت مناسب بسیار کوتاهی که به دلیل تغییر در جهت وزش باد به وجود می‌آمد غیرممکن بود. در نتیجه، ۳۶ میلیون نفر مجبور شدند با یک گلوله رادیواکتیو، رولت روسی بازی کنند! خوشبختانه بخش عمده مواد شدیداً رادیواکتیوی که از رآکتورها و استخر ذخیره سوخت مصرف شده خارج شده بودند به دریا تخلیه شده و یا توسط باد به سمت دریا برده شدند.

1 Nuclear Accident Independent Investigation Commission

2 Kiyoshi Kurokawa

تا ماه آگوست ۲۰۱۳، مواد رادیواکتیو همچنان از رآکتور آسیب دیده خارج شده و به اقیانوس آرام سرازیر می‌شوند و در نتیجه، نوعی "سانحه ادامه‌دار" ایجاد شده که می‌تواند تا چندین دهه ادامه داشته باشد [۳۹].

هرچند که تخمین تعداد موارد سرطان مورد انتظار بسیار دشوار است، و این به دلیل فقدان داده‌های مناسب کافی در ارتباط با تماس انسان با تشعشعات رادیواکتیو است، اما سایر آثاری که این سانحه بر ساکنان داشته است بسیار عمیقند که از جمله می‌توان به تخلیه منطقه، خانواده‌های از هم جدا شده، بیماری‌های گسترده روانی، از بین رفتن صنایع و دارایی‌های ساکنان، و حتی ترس و رفتار تبعیض آمیز نسبت به پناهندگانی که از فوکوشیما به سایر نواحی رفته‌اند، و یادآور رفتار توام با ترس و تبعیضی است که علیه بازماندگان بمباران‌های اتمی در هیروشیما و ناکازاکی (Hibakusha) دیده می‌شد، اشاره کرد [۴۰]. یک پیامد مثبت کوچک این سانحه این بود که دولت ژاپن پرداخت تعرفه‌های حمایتی<sup>۱</sup> به انرژی‌های تجدیدپذیر را تصویب کرد<sup>۲</sup> [۴۱]. قبل از این سانحه، قدرت سیاسی صنایع هسته‌ای توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر در ژاپن را متوقف ساخته بود [۴۲].

### گسترش سلاح‌های هسته‌ای و تروریسم

حتی یک جنگ هسته‌ای منطقه‌ای، مثلاً بین هندوستان و پاکستان، می‌تواند منجر به "زمستان هسته‌ای"<sup>۳</sup> شده که موجب نابودی کشاورزی جهان برای چندین سال و وقوع قحطی و گرسنگی شدید عمومی خواهد شد [۴۳] و این به غیر از ویرانی منطقه‌ای در اثر انفجار، آتش‌سوزی‌های گسترده و تشعشعات است. شواهد فراوانی وجود دارند، و در ادامه ارائه می‌شوند، که انرژی به اصطلاح "صلح آمیز" هسته‌ای منجر به گسترش سلاح‌های هسته‌ای شده و هنوز هم می‌شود و در نتیجه احتمال وقوع جنگ‌های هسته‌ای در آینده را افزایش می‌دهد. برای شروع، آموزش و تربیت دانشمندان و مهندسان

1 Feed-in Tariffs

۲ ذکر این نکته خالی از لطف نیست که در ایران تعرفه‌های حمایتی برای تولید برق از منابع انرژی تجدیدپذیر بر اساس تکلیف بند ۲ ماده ۲۵ قانون برنامه چهارم توسعه اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی، که در سال ۱۳۸۳ به تصویب مجلس شورای اسلامی و شورای نگهبان رسیده و در مهرماه ۱۳۸۳ توسط ریاست جمهوری اسلامی ایران برای اجرا ابلاغ شده بود، تصویب گردیدند و این بدین معنی است که جمهوری اسلامی ایران حداقل ۷ سال (و شاید بیشتر) قبل از ژاپن در این زمینه مهم اقدام نموده است. (مترجمین)

3 Nuclear Winter

هسته‌ای برای اهداف "صلح‌آمیز" باعث می‌شود که بخش عمده دانش مورد نیاز برای تولید سلاح‌های هسته‌ای در اختیار آن قرار گیرد. در مرحله بعد، چرخه عمر انرژی "صلح‌آمیز" هسته‌ای، همانگونه که در شکل ۶-۱ نشان داده شد، منجر به تولید مواد منفجره هسته‌ای می‌شود.

همانگونه که در بخش "وضعیت انرژی هسته‌ای" در بالا ذکر شد، دو مسیر اصلی برای تهیه مواد منفجره لازم برای سلاح‌های هسته‌ای وجود دارند: غنی‌سازی اورانیوم و بازفرآوری سوخت مصرف شده در رآکتورهای مصرف‌کننده اورانیوم به منظور استخراج پلوتونیوم. در صورتی که چرخه توریوم به مرحله تجاری برسد، یک مسیر اضافی دیگر عبارت خواهد بود از جداسازی و تصفیه U-233 از ورودی یک رآکتور توریومی یا از سوخت مصرف‌شده خروجی از آن.

غنی‌سازی اورانیوم شامل فرایندهایی است که از اختلاف جزئی بین وزن اتمی دو ایزوتوپ U-235 و U-238 بهره می‌گیرند. اورانیوم ابتدا با فلورین ترکیب می‌شود تا یک گاز شدیداً سمی به نام هگزا فلوراید اورانیوم (UF<sub>6</sub>) تولید شود. این گاز عامل بسیاری از بیماری‌ها و حتی چندین مورد مرگ در طول پروژه منهن (پروژه آمریکا برای ساخت اولین بمب‌های هسته‌ای در طول جنگ جهانی دوم) بود. (جالب است که یک پژوهشگر-گزارشگر مشهور و برنده جوایز متعدد، به نام کریستوفر برایسون<sup>۱</sup>، نشان می‌دهد که چگونه تصویر فلورین از یک آلاینده زیان‌آور به ماده دارویی‌ای که ادعا می‌شود می‌تواند فساد دندانی را کاهش دهد، تغییر یافت [۴۴]). در اوایل، ایزوتوپ‌های اورانیوم با استفاده از روش انتشار گازی<sup>۲</sup> از یکدیگر جدا می‌شدند اما این کار نیازمند یک تأسیسات بسیار عظیم و مقادیر بسیار زیادی انرژی الکتریکی بود. فرایند فعلی نیز، که از سانتریفیوژهای گازی استفاده می‌کند، نیازمند تأسیساتی عظیم و تولید مقادیر هنگفتی انرژی الکتریکی است و در نتیجه می‌تواند توسط کسانی که می‌خواهند گسترش سلاح‌های هسته‌ای را متوقف سازند تحت نظارت و بازرسی قرار گیرد. در عین حال یک فرایند تحت آزمایش توسط شرکت استرالیایی SILEX، که برای غنی‌سازی اورانیوم از لیزر استفاده می‌کند، تحولی بسیار نگران‌کننده‌تر است. این فرایند به صورت بالقوه قادر خواهد بود که غنی‌سازی اورانیوم را در یک کارگاه کوچک با مصرف نسبتاً کم انرژی الکتریکی انجام دهد و در نتیجه از طریق ماهواره‌های جاسوسی یا سایر روش‌ها قابل کشف نخواهد بود. در ماه می ۲۰۱۳ شرکت SILEX اعلام کرد که این فناوری با موفقیت در آمریکا آزمایش شده است [۴۵].

1 Christopher Bryson  
2 Gaseous Diffusion

از همان فرایندی که اورانیوم را به U-235 با درجه خلوص ۳ تا ۵ درصد برای نیروگاه‌های هسته‌ای غنی‌سازی می‌کند می‌توان برای سطوح بسیار بالاتری از غنی‌سازی اورانیوم برای استفاده در سلاح‌های هسته‌ای استفاده کرد. اورانیوم با کاربرد تسلیحاتی اورانیومی تعریف می‌شود که حداقل ۲۰ درصد U-235 یا حداقل ۱۲ درصد U-233 داشته باشد. میزان خلوص رسمی برای سلاح‌های هسته‌ای معمولاً بین ۸۰ تا ۹۵ درصد U-235 بیان می‌شود اما با ۲۰ درصد نیز می‌توان یک سلاح هسته‌ای ابتدایی بزرگ ساخت. با غنی‌سازی ۲۰ درصدی، یک جرم بحرانی ۳۹۰ کیلوگرمی مورد نیاز خواهد بود و چنین بمبی بیش از حد بزرگ است که بتوان آن را مخفیانه جابجا کرد. برای غنی‌سازی ۹۴ درصدی، اما، جرم بحرانی ۲۵ کیلوگرم است. متأسفانه بسیاری از رآکتورهای تحقیقاتی نیز اورانیوم با درجه غنی‌سازی بالا مصرف می‌کنند و لذا این قبیل رآکتورها نیز باید نوعی ریسک گسترش سلاح‌های هسته‌ای محسوب شوند [۴۶].

بیشتر پلوتونیوم مورد نیاز برای اهداف نظامی در رآکتورهای هسته‌ای ویژه‌ای که پلوتونیوم تسلیحاتی با خلوص بالا تولید می‌کنند ساخته می‌شوند. کمتر از ۴ کیلوگرم پلوتونیوم تسلیحاتی برای ساخت یک بمب هسته‌ای کافی است. پلوتونیوم حاصل از نیروگاه‌های هسته‌ای غیرنظامی به عنوان پلوتونیوم رآکتوری شناخته می‌شود. از این نوع پلوتونیوم می‌توان برای تولید سلاح‌های هسته‌ای استفاده کرد، اما کارآمدی آن از بمب‌های دارای پلوتونیوم تسلیحاتی کمتر است چرا که در این صورت، Pu-239 منفجره "آلوده" به ایزوتوپ‌های شکافت‌ناپذیر اورانیوم خواهد بود. در عین حال، کمتر از ۱۰ کیلوگرم پلوتونیوم رآکتوری برای ساخت یک بمب هسته‌ای کفایت می‌کند. علیرغم همه شواهد موجود، هنوز هم برخی از سخنگویان صنایع هسته‌ای این واقعیت را انکار می‌کنند [۴۷]. این در حالیست که یکی از وظایف IAEA و کمیسیون تنظیم مقررات هسته‌ای آمریکا<sup>۱</sup> دقیقاً همین مسئله است. بطلان ادعای نادرست صنایع هسته‌ای مبنی بر آن که از نیروگاه‌های هسته‌ای غیرنظامی نمی‌توان سلاح‌های هسته‌ای تولید کرد در طی چندین دهه توسط متخصصین علمی، نظامی و سازمان‌های تنظیم مقررات به شرح زیر اثبات شده است [۴۸]:

- دکتر تئودور تیلور<sup>۲</sup>، یک طراح پیشرو بمب‌های هسته‌ای آمریکا (۱۹۷۶):

1 US Nuclear Regulatory Commission  
2 Dr. Theodore Taylor

"با گسترش انرژی صلح آمیز هسته‌ای، تعداد بیشتری از کشورها این فرصت را خواهند داشت که به مواد مورد نیاز برای ساخت بمب دست یابند."

- دکتر ویکتور گیلینسکی<sup>۱</sup>، عضو کمیسیون تنظیم مقررات هسته‌ای آمریکا (۱۹۷۷):

"تا جایی که به پلوتونیوم رآکتوری مربوط می‌شود، واقعیت آن است که از این مواد می‌توان برای ساخت کلاهک‌های هسته‌ای با همه نوع سطح پیچیدگی فنی استفاده کرد ... صرف نظر از آنچه که در گذشته تصور می‌کرده‌ایم، امروز می‌دانیم که حتی طرح‌های ساده، ولو همراه با برخی از عدم قطعیت‌ها، نیز می‌توانند به عنوان سلاح‌های هسته‌ای مؤثر و بسیار قدرتمند عمل کنند."

- وزارت انرژی آمریکا (۱۹۹۷):

"از همه انواع پلوتونیوم [پلوتونیوم سوختی و پلوتونیوم رآکتوری] می‌توان برای ساخت سلاح‌های هسته‌ای استفاده کرد."

یک نیروگاه هسته‌ای معمولی هزار مگاواتی در حدود دویست کیلوگرم پلوتونیوم رآکتوری در سال تولید می‌کند که برای ساخت حداقل بیست بمب هسته‌ای کافی است. گرچه که رآکتورهای تحقیقاتی پلوتونیوم بسیار کمتری تولید می‌کنند، که متناسب با اندازه کوچک‌تر آنها است، این رآکتورها نیز می‌توانند در طول زمان کافی پلوتونیوم مورد نیاز برای ساخت بمب هسته‌ای را فراهم آورند. جدول ۶-۲ لیستی از کشورها را نشان می‌دهد که از انرژی هسته‌ای یا از رآکتورهای هسته‌ای تحقیقاتی (یا هر دو) برای اینکه در مسیر ساخت پنهانی سلاح‌های هسته‌ای قرار گیرند استفاده کرده‌اند. در تهیه این لیست، در مواردی که شواهد آشکاری در خصوص گسترش سلاح‌های هسته‌ای وجود داشته، انکار مقامات رسمی نادیده گرفته شده است.

---

1 Dr. Victor Gilinsky

جدول ۶-۲- برنامه‌های تسلیحات هسته‌ای از فناوری هسته‌ای غیر نظامی

برنامه‌هایی که منجر به تولید سلاح هسته‌ای شدند	برنامه‌هایی که قبل از تولید سلاح هسته‌ای متوقف شدند
بریتانیا	برزیل
فرانسه	آرژانتین
هندوستان	الجزایر؟
پاکستان	استرالیا
کره شمالی	کره جنوبی
آفریقای جنوبی (برنامه متوقف شد)	تایوان (دو بار)
ایران (در حال پیشرفت) *	لیبی

منبع: به متن مراجعه شود. \* به پانویس همین صفحه مراجعه شود (مترجمین)

توضیحات همراه با ذکر منبع درمورد برنامه کشورهای مختلف به شرح زیر است:

- ایران در حال حاضر از مسیر غنی‌سازی برای دسترسی به سلاح‌های هسته‌ای استفاده می‌کند. این کشور ادعا می‌کند که تأسیسات غنی‌سازی اورانیوم فقط برای "استفاده صلح‌آمیز از انرژی هسته‌ای" است.<sup>۱</sup> [۴۹]
- یکی از منابع پلوتونیم برای برنامه تسلیحات هسته‌ای هندوستان، رآکتور هسته‌ای تحقیقاتی CIRUS است که توسط کانادا به آن کشور تحویل داده شده است. سایر منابع احتمالی عبارتند از

۱ ادعای نویسنده مبنی بر آنکه ایران دارای برنامه گسترش سلاح‌های هسته‌ای تحت پوشش استفاده صلح‌آمیز از انرژی هسته‌ای است تاکنون نه توسط IAEA و نه توسط هیچ نهاد قانونی و بی‌طرف بین‌المللی به اثبات نرسیده است. مرجع شماره ۴۹ این فصل، که نشانی مطلبی در وبگاه مؤسسه علوم و امنیت بین‌المللی و مبنای ادعای نویسنده در زمینه فعالیت‌های هسته‌ای ایران است، در زمان ترجمه کتاب (تیر ۱۳۹۴) از دسترس خارج شده و موجود نیست. مؤسسه علوم و امنیت بین‌المللی (ISIS) یک سازمان ظاهراً غیردولتی مستقر در واشنگتن دی‌سی آمریکاست و بنیان‌گذار آن، دیوید آلبرایت، از مشاوران مورد اعتماد دولت‌های مختلف و کنگره آمریکاست که بین سال‌های ۱۹۹۲ تا ۱۹۹۷ نیز عضو گروه بازرسان بین‌المللی برنامه‌های تسلیحاتی عراق بوده است. امضای "برنامه جامع اقدام مشترک" (برجام) بین جمهوری اسلامی ایران و کشورهای موسوم به ۵+۱ در ابتدای سال ۱۳۹۴ خط بطلان قاطعی بر ادعاهایی از این قبیل بود. گزارش مورخ ۱۱ آذر ۱۳۹۴ IAEA مبنی بر آنکه هیچ‌گونه شواهدی مبنی بر انحراف احتمالی نظامی (PMD) در برنامه هسته‌ای ایران بعد از سال ۲۰۰۹ دیده نشده است نیز نشان می‌دهد که ادعای نویسنده (که در سال ۲۰۱۴ صورت گرفته است) فاقد سند و مردود بوده است. (مترجمین)

چندین نیروگاه هسته‌ای CANDU که تحت پادمان‌های نظارتی IAEA نیستند. هندوستان

آزمایش‌های هسته‌ای خود را "انفجارهای صلح‌آمیز هسته‌ای" می‌نامد [۵۰].

- پاکستان یک تأسیسات غنی‌سازی اورانیوم برای اهداف نظامی را با کمک نقشه‌هایی که از یک تأسیسات تحقیقاتی غیرنظامی غنی‌سازی اورانیوم وابسته به URENCO به دست آورد احداث نمود. این نقشه‌ها توسط یک مهندس متالوژی به نام عبدالقدیر خان، که در آن تأسیسات تحقیقاتی کار می‌کرد، به پاکستان منتقل شد [۵۱].

- لیبی در گذشته مسیر ساخت سلاح‌های هسته‌ای از طریق غنی‌سازی اورانیوم را با استفاده از طرح‌ها و فناوری‌ای که توسط عبدالقدیر خان به آن کشور منتقل شده بود در پیش گرفت [۵۲]. در عین حال، این کشور در سال ۲۰۰۳ بلندپروازی‌های تسلیحاتی هسته‌ای خود را کنار گذارد و جزئیات برنامه خود را در برابر لغو تحریم‌های تجاری اعلام نمود [۵۳].

- در مورد توسعه سلاح‌های هسته‌ای توسط کره شمالی، مقالات پتر هایس<sup>۱</sup> را مطالعه کنید [۵۴]. ظاهراً عبدالقدیر خان در این برنامه نیز دخالت داشته است.

- در دهه ۱۹۷۰ میلادی، آفریقای جنوبی یک تأسیسات غنی‌سازی اورانیوم احداث کرد که علاوه بر اورانیوم با درجه غنی‌سازی پایین برای نیروگاه هسته‌ای Koeberg و اورانیوم با درجه غنی‌سازی متوسط برای رآکتور تحقیقاتی آن کشور، به‌طور مخفیانه اورانیوم با درجه غنی‌سازی بسیار بالا برای برنامه تسلیحات هسته‌ای آن کشور نیز تولید می‌کرد [۵۵]. پس از آن که چندین بمب هسته‌ای تولید شد، دولت آفریقای جنوبی برنامه تسلیحات هسته‌ای خود را در اوایل دهه ۱۹۹۰ میلادی از بین برد.

- رقابت بین کشورهای برزیل و آرژانتین هر دو کشور را به سمت پیگیری برنامه‌های سری تسلیحات هسته‌ای با استفاده از انرژی هسته‌ای غیرنظامی سوق داد. با استفاده از فناوری خریداری شده از آلمان غربی، برزیل در سال ۱۹۷۸ یک برنامه هسته‌ای نظامی را آغاز کرد که شامل غنی‌سازی اورانیوم به میزانی بسیار فراتر از میزان مورد نیاز برای تولید برق هسته‌ای بود [۵۶].

- آرژانتین برنامه مخفی تسلیحات هسته‌ای خود را با استفاده از فناوری عرضه شده توسط چندین کشور در سال ۱۹۷۸ آغاز نمود. این کشور یک تأسیسات غنی‌سازی اورانیوم احداث و ساخت یک تأسیسات بازفرآوری به منظور استخراج پلوتونیوم را نیز آغاز کرد [۵۷]. در سال ۱۹۹۲،

<sup>1</sup> Peter Hayes

آرژانتین و برزیل یک توافقنامه دو جانبه در زمینه نظارت متقابل بر تأسیسات هسته‌ای و در سال ۱۹۹۴، پیمان تلاتولکو<sup>۱</sup> برای منع سلاح‌های هسته‌ای در آمریکای لاتین را امضاء نمودند. به دنبال این رویداد، هر دو کشور پیمان منع گسترش سلاح‌های هسته‌ای<sup>۲</sup> (NPT) را نیز امضاء کردند.

- در بریتانیا، رآکتورهای Magnox در نیروگاه‌های Calder Hall و Chapelcross هم‌زمان برای تولید الکتریسیته و تولید پلوتونیوم برای سلاح‌های هسته‌ای، در کنار پلوتونیوم تولید شده در رآکتورهای نظامی، استفاده می‌شدند [۵۸].
- در فرانسه، ارتباط نزدیکی بین برنامه‌های هسته‌ای غیرنظامی و نظامی وجود داشته است. رآکتورهای Celestin هم برای تولید ایزوتوپ‌های غیرنظامی و هم برای تولید پلوتونیوم نظامی استفاده می‌شده‌اند. Phénix به عنوان پیش‌درآمدی بر یک رآکتور بزرگتر قدرت از نوع زاینده سریع، Superphénix، مطرح بوده اما به نظر می‌رسد پلوتونیوم تولید شده توسط آن عمدتاً برای اهداف نظامی بوده است. اظهارات ژنرال‌های فرانسوی نشان می‌دهد که Superphénix، که در سال ۱۹۹۸ از کار انداخته شد، هم برای تولید الکتریسیته و هم برای تولید پلوتونیوم برای ساخت سلاح‌های هسته‌ای در مقیاس وسیع مد نظر بوده است [۵۹].
- کره جنوبی آزمایشاتی سری و در مقیاس کوچک بر روی استخراج پلوتونیوم در سال ۱۹۸۲ و غنی‌سازی اورانیوم در سال ۲۰۰۰ انجام داد [۶۰]. فشارهای آمریکا باعث شد که تحویل یک تأسیسات بازفرآوری توسط فرانسه به کره جنوبی متوقف شود. کره جنوبی همچنان دارای یک رآکتور تحقیقاتی ۳۰ مگاواتی است که می‌تواند پلوتونیوم تسلیحاتی تولید کند.
- تایوان، که دارای ۶ نیروگاه هسته‌ای و یک رآکتور تحقیقاتی هسته‌ای CIRUS است، حداقل تا سال ۱۹۸۸ دارای برنامه‌های مخفی در زمینه سلاح‌های هسته‌ای بود [۶۱].
- استرالیا در سال ۱۹۶۹ احداث یک نیروگاه هسته‌ای در Jerris Bay، که مأموریت آن تولید هم‌زمان الکتریسیته و پلوتونیوم برای سلاح‌های هسته‌ای بود، را آغاز کرد. این نیروگاه در سال ۱۹۷۱ و در مراحل اولیه احداث خود، به دلیل تغییر نخست وزیر استرالیا، متوقف شد [۶۲].

1 Tlatelolco Treaty

2 Non-Proliferation Treaty

• در گذشته این تصور وجود داشت که الجزایر یک برنامه تسلیحاتی هسته‌ای را در تأسیسات هسته‌ای سِرّی خود دنبال کرده است اما شواهد مرتبط با این موضوع به اندازه شواهد مرتبط با سایر کشورهایی که در جدول ۶-۲ آمده‌اند روشن نبود [۶۳].

بنابراین، شواهد فراوانی در خصوص برقراری ارتباطی بسیار نزدیک میان رآکتورهای هسته‌ای غیرنظامی (چه از نوع تحقیقاتی و چه از نوع تولیدکننده الکتریسیته) از یک سو و سلاح‌های هسته‌ای از سوی دیگر وجود دارند. جیمز هانسن، جیمز لاولاک، جرج مونیو و سایر کسانی که از انرژی هسته‌ای حمایت می‌کنند به اشتباه تصور می‌کنند که خطر اصلی در ارتباط با انرژی هسته‌ای، وقوع یک حادثه جدی در یک نیروگاه هسته‌ای یا تأسیسات بازفرآوری است که تعداد قربانیان آن، به فرض آن که شهر بزرگی مانند توکیو در معرض بارش شدید تشعشعات رادیواکتیو قرار گیرد، می‌تواند تا حدود چندین میلیون نفر باشد. سوانح هسته‌ای می‌توانند به قدر کافی بد باشند، اما پیامد استفاده از سلاح‌های هسته‌ای که از انرژی هسته‌ای به دست می‌آیند می‌تواند مرگ صدها میلیون، و حتی چندین میلیارد، انسان باشد چرا که غبارهای ناشی از انفجار هسته‌ای می‌تواند منجر به یک زمستان هسته‌ای شده و کشاورزی در سطح کره زمین را برای چندین سال غیرممکن سازد [۶۴]. در نتیجه، تعداد تلفات انسانی ناشی از یک جنگ هسته‌ای می‌تواند به همان میزانی باشد که در اثر تغییرات آب و هوایی ناشی از افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای در طول یک دوره زمانی طولانی اتفاق خواهد افتاد. عجیب آن که یک زمستان هسته‌ای پدیده گرمایش جهانی را به صورت موقتی متوقف خواهد ساخت.

حملات تروریستی علیه تأسیسات هسته‌ای از ۱۱ سپتامبر ۲۰۰۱ بدین سو بسیار محتمل‌تر شده‌اند. هرچند صنایع هسته‌ای ادعا می‌کنند که محفظه در برگیرنده یک نیروگاه هسته‌ای می‌تواند در برابر برخورد یک جامبوجت پر از سوخت مقاومت کند، اما این ادعا هرگز مورد راستی‌آزمایی قرار نگرفته است. سناریوهای عملی‌تر عبارتند از اشغال ناگهانی نیروگاه‌های هسته‌ای توسط گروه‌های شبه نظامی که می‌تواند آغازکننده ذوب قلب رآکتور از داخل اتاق فرمان نیروگاه یا احتمالاً ایجاد رخنه در محفظه دربرگیرنده رآکتور از طریق جاسازی مواد منفجره در داخل آن باشد. حمل و نقل زباله‌های هسته‌ای رادیواکتیو، از طریق خشکی یا دریا، به‌طور ویژه در برابر حملات تروریستی آسیب‌پذیر است. شواهدی دال بر وجود یک بازار سیاه برای مبادله اورانیوم با درجه غنی‌سازی بالا و Pu-239 در دست است [۶۵].

## جنبه‌های اقتصادی

### داده‌های کمیاب و غیر قابل اعتماد و تجزیه و تحلیل‌های گمراه کننده

یک گزارش خطاب به کمیسیون توسعه پایدار بریتانیا<sup>۱</sup> به مشکلاتی که بر سر راه به دست آوردن داده‌های بی طرفانه در خصوص جنبه‌های اقتصادی انرژی هسته‌ای وجود دارند اشاره می‌کند:

منابع بسیار کمی در زمینه هزینه طرح‌های انرژی هسته‌ای آینده که مستقیماً با شرایط بریتانیا تناسب داشته باشند وجود دارد ... بخش مشکل‌زا هزینه‌های سرمایه‌گذاری است که در آن هیچ‌گونه تجربه معاصر در اروپا یا آمریکای شمالی وجود ندارد. بررسی تعداد محدود برآوردهای منتشر شده در خصوص هزینه سرمایه‌گذاری که مستقیماً به بریتانیا مربوط می‌شوند نشان می‌دهد که همه آن‌ها از مطالعاتی استخراج شده‌اند که از ابتدا قرار بوده در کشورهای دیگری اجرا شوند و همه آن‌ها توسط فروشنندگان سامانه‌های رآکتور تهیه شده‌اند [۶۶]. (زیر جمله آخر را من خط کشیده-م)

پذیرفتن برآوردهایی که توسط سازندگان و توسعه‌دهندگان یک فناوری برای هزینه سرمایه‌گذاری انجام می‌شود و امضای قراردادی که یک هزینه مشخص و ثابت در آن تعیین نشده است کار خطرناکی است، اما این کاری است که برخی از خریداران انجام می‌دهند.

علاوه بر این، موافقان انرژی هسته‌ای اغلب خریداران احتمالی نیروگاه‌های هسته‌ای و سایر

تصمیم‌گیرندگان را با روش‌های زیر گمراه یا سردرگم می‌کنند:

- ارائه صرفاً هزینه سرمایه‌گذاری در ابتدای پروژه و نادیده گرفتن بهره‌پرداختی در طول اجرای پروژه، که می‌تواند بخش بزرگی از هزینه سرمایه‌گذاری باشد، به ویژه زمانی که عملیات احداث به کندی پیش می‌رود.
- در نظر گرفتن یک نرخ بهره پایین غیرواقعی برای تبدیل هزینه سرمایه‌گذاری بر حسب دلار بر کیلووات به یک نرخ مسطح شده الکتریسیته بر حسب سنت بر کیلووات ساعت ( $\$/kWh$ ).

- ارائه برآورد خوش‌بینانه هزینه‌ها برای انواع رآکتورهای جدید یا اصلاح شده که هنوز در مرحله طراحی بوده و ساخته نشده‌اند. این برآوردها تقریباً همواره هزینه‌ها را دست کم می‌گیرند.
- ارائه قیمت مربوط به خرید چندین رآکتور وقتی که تنها خرید یک رآکتور مد نظر است.
- در نظر گرفتن فرضیات بیش از حد خوش‌بینانه در مورد توانایی عملکردی نیروگاه هسته‌ای.
- خودداری کردن از تعیین نرخ تبدیل ارز در سال مورد نظر.
- نادیده گرفتن یارانه‌های پرداختی به انرژی هسته‌ای که هنوز هم پس از پنجاه سال تجربه در حال پرداخت است.

#### یارانه‌های پرداختی به انرژی هسته‌ای

- داده‌های کمی و جامع در ارتباط با یارانه‌های پرداختی ناقص بوده و به دست آوردن آن‌ها نیز دشوار است. داده‌های موجود نشان می‌دهند که یارانه‌ها از نظر مقدار و نوع از کشوری به کشور دیگر تفاوت دارند. وجود یارانه‌ها اثبات می‌کند که ریسک اقتصادی موجود به درستی در بازار منظور نشده و در نتیجه جنبه‌های واقعی اقتصادی انرژی هسته‌ای را پنهان می‌سازند [۶۷]. یارانه‌های گزارش شده شامل موارد زیر هستند:
- بودجه‌های دولتی پرداختی برای تحقیق و توسعه، غنی‌سازی اورانیوم، از مدار خارج کردن نیروگاه‌ها و مدیریت پسماندهای هسته‌ای،
  - ضمانت وام‌های پرداختی توسط دولت‌ها (یعنی توسط مالیات‌دهندگان)،
  - دارایی‌های بلااستفاده که هزینه آن‌ها توسط پرداخت کنندگان سودهای بانکی و مالیات‌دهندگان پرداخت می‌شود؛ و،
  - مسئولیت محدود در سوانح در ارتباط با خسارت پرداختی به قربانیان و مالیات‌دهندگان.
- در آمریکا، یک برآورد برای مجموع یارانه‌های پرداختی در دوره ۵۰ ساله از ۱۹۴۸ تا ۱۹۹۸ در حدود ۷۴ میلیارد دلار [۶۸]، یا در حدود ۱۳۰ میلیارد دلار به نرخ پول در سال ۲۰۱۲ بود. یک پژوهش دیگر در سال ۲۰۰۶ دریافت که یارانه‌های پرداختی به صنایع هسته‌ای آمریکا در حدود ۹ میلیارد دلار در سال است [۶۹].

پرداخت یارانه‌ها هنوز هم ادامه دارد. طبق نظر تحلیل‌گران هسته‌ای مایکل اشنایدر<sup>۱</sup> و آنتونی فروگات<sup>۲</sup>:

قانون سیاست انرژی آمریکا، مصوب جولای ۲۰۰۵، هدف تشویق سرمایه‌گذاری در نیروگاه‌های جدید هسته‌ای را دنبال می‌کرد. تمهیدات دیده شده در این قانون شامل موارد زیر بودند: معافیت مالیاتی برای تولید الکتریسیته، ضمانت وام تا میزان ۸۰ درصد بدهی (بدون در نظر گرفتن ارزش سهام) یا ۱۸/۵ میلیارد دلار برای ۶ گیگاوات اول (در مقابل یک یارانه اعتباری که شرکت برق مربوطه باید به دولت فدرال بپردازد و بر مبنای ریسک نکول وام‌گیرنده محاسبه شده است)، حمایت بیشتر در صورتی که تأخیر چشمگیری در احداث تا ۶ راکتور به وجود آید و تمدید مسئولیت محدود (قانون Price-Anderson) تا سال ۲۰۲۵ [۷۰].

در آلمان، یک پژوهش اخیر که توسط صلح سبز انجام شده است، دریافت که کل یارانه‌ها (مستقیم به علاوه غیرمستقیم) از سال ۱۹۵۰ تا ۲۰۰۸ جمعاً ۱۶۵ میلیارد یورو (۲۳۵ میلیارد دلار) بوده است [۷۱]. بحث‌های بیشتر در ارتباط با یارانه‌های پرداختی در اتحادیه اروپا را می‌توان در وبگاه WISE/NIRS دنبال کرد [۷۲].

زمانی که صنعت برق بریتانیا خصوصی‌سازی شد، دولت بریتانیا مجبور شد عوارضی بر روی نرخ‌های الکتریسیته وضع کند، که به عوارض سوخت فسیلی موسوم بود، تا بتواند به الکتریسیته هسته‌ای از طریق برنامه الزام سوخت غیرفسیلی<sup>۳</sup> (NFFO) یارانه بپردازد. در دهه ۱۹۹۰ این یارانه به اوج خود و به حدود ۱/۳ میلیارد پوند در سال رسید [۷۳]. این میزان معادل یک یارانه به ارزش ۳ پنی بر هر کیلووات ساعت (p/kWh) بود که هزینه کل برق هسته‌ای در آن تاریخ را به حدود ۶ p/kWh می‌رساند. تعهد دولت بریتانیا در خصوص پرداخت هزینه‌های مربوط به از مدار خارج کردن و پاکسازی نیروگاه‌های هسته‌ای موجود نیز هزینه‌ای بالغ بر ۵۹ میلیارد پوند (با احتساب نرخ بهره تا سال ۲۱۳۷) را بر دوش مالیات‌دهندگان تحمیل خواهد کرد. در سال ۲۰۰۳، گزارش دولت بریتانیا در زمینه انرژی<sup>۴</sup> بیان می‌داشت که "جنبه‌های اقتصادی انرژی هسته‌ای در حال حاضر آن را به گزینه نامطلوبی برای

1 Mycle Schneider

2 Antony Froggatt

3 Non-Fossil Fuel Obligation

4 The British White Paper on Energy

ایجاد ظرفیت‌های جدید تولید تبدیل می‌کند" [۷۴]. در عین حال، سامانه تولید انرژی الکتریکی بریتانیا در حال حاضر عمدتاً متعلق به و تحت کنترل شرکت‌های فرانسوی و آلمانی - EDF ، E.ON و RWE - است که برخی از این شرکت‌ها مشارکت گسترده‌ای در انرژی هسته‌ای دارند. بنابراین، این احتمال وجود دارد که نفوذ این شرکت‌ها در تغییر موضع اخیر دولت بریتانیا و پذیرش تعداد بیشتری نیروگاه‌های هسته‌ای مؤثر بوده باشد. در سال ۲۰۱۳، دولت ائتلافی بریتانیا در حال مذاکره با برخی فروشندگان تأسیسات هسته‌ای است و به آن‌ها پیشنهاد ضمانت وام و یک قیمت تضمینی ثابت برای الکتریسیته تولیدی در یک نیروگاه هسته‌ای پیشنهادی جدید می‌دهد در حالی که به مردم اعلام می‌کند که یارانه‌ای پرداخت نخواهد شد [۷۵]. چنین قراردادهای پیشنهادی‌ای مصداق یارانه هستند و احتمالاً یارانه‌های هنگفتی نیز خواهند بود.

در حالی که یارانه‌های پرداختی به انرژی‌های تجدیدپذیر وجود دارند، این یارانه‌ها معمولاً بسیار کمتر از یارانه‌های هسته‌ای هستند (رک فصل ۹، "حذف یارانه‌های سوخت‌های فسیلی و انرژی هسته‌ای") و بر خلاف یارانه‌های انرژی هسته‌ای، با توسعه بازار فناوری‌های تجدیدپذیر و کاهش قیمت آن‌ها، به سرعت در حال کاهش هستند.

### هزینه‌های انرژی هسته‌ای در آمریکا

علیرغم پرداخت یارانه‌های بسیار هنگفت، در طی ۳۰ سال گذشته هیچ نیروگاه هسته‌ای جدیدی در آمریکا وارد مدار نشده است. این موضوع عمدتاً به جنبه‌های نامطلوب اقتصادی نسبت داده شده است [۷۶]، هرچند که حادثه تری مایل آیلند<sup>۱</sup> در سال ۱۹۷۹ و جنبش ضد هسته‌ای نیز در این واقعیت نقش داشته‌اند.

قیمت‌های برآورد شده برای انرژی هسته‌ای در آمریکا از دهه ۲۰۰۰ میلادی به سرعت افزایش یافته‌اند. نتایج برخی از پژوهش‌ها و برآوردها در جدول ۳-۶ و شکل ۲-۶ جمع‌بندی شده‌اند. شکل ۲-۶ یک روند آشکار افزایش هزینه‌های سرمایه‌گذاری به نرخ امروز<sup>۲</sup> (بدون در نظر گرفتن نرخ بهره در طول مدت ساخت. مترجمین) در نیروگاه‌های هسته‌ای در طول دهه‌های ۱۹۸۰ و ۱۹۹۰ را نشان می‌دهد. مطالعاتی که در جدول ۲-۶ لیست شده‌اند نیز افزایش شدید هزینه‌ها در طول دهه ۲۰۰۰ را نشان می‌دهند. یک تحلیل‌گر انرژی، آموری لوینز، این افزایش قیمت‌ها را به "تنگناهای شدید در فرایند

1 Three Mile Island  
2 Overnight Costs

تولید و کمبود شدید مهارت‌های حیاتی مهندسی، ساختمانی و مدیریتی، که در دوران طولانی رکود این صنعت فرسایش یافته‌اند<sup>۱</sup> نسبت می‌دهد [۷۷].

جدول ۳-۶- افزایش قیمت‌های برآوردشده برای هزینه‌های سرمایه‌گذاری انرژی هسته‌ای در آمریکا در دوره ۲۰۰۳-۱۰ [۷۸]

هزینه سرمایه‌گذاری (US\$/kW)	مرجع انجام پژوهش
۲۰۰۰+ بهره در طول مدت ساخت <sup>۱</sup> (IDC)	MIT (2003)
۳۶۰۰-۴۰۰۰	Keystone Center (2007)
۴۳۰۰-۴۵۵۰	Harding (2007)
۴۰۰۰+IDC	MIT (2009) (به‌روز رسانی شده)
۷۵۰۰	Moody's (2008)
۵۴۵۵-۸۱۸۰	Florida Power & Light (2009)
۷۴۰۰ بدون افزایش‌های بعدی ۱۰۵۰۰ با فرض آن که نرخ افزایش موجود ادامه خواهد یافت	Severance (2009)

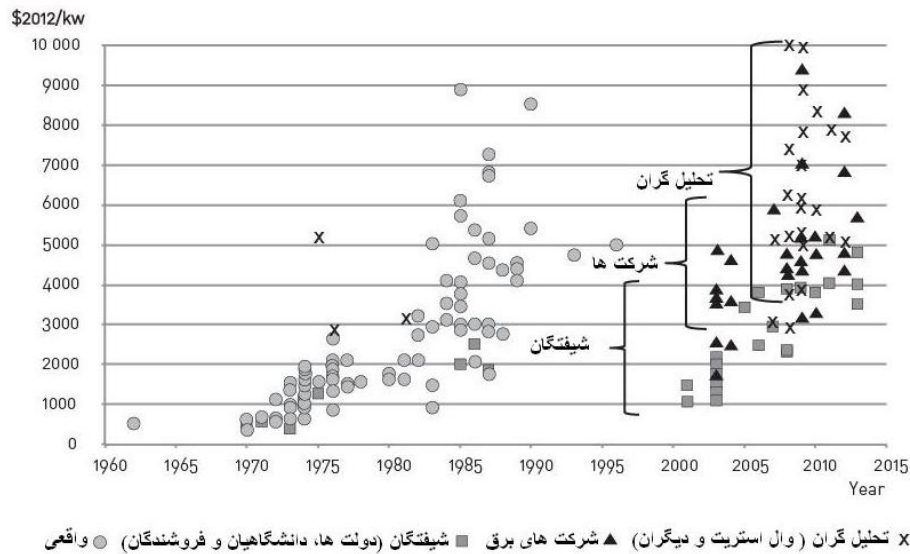
برای مقایسه، قیمت‌های اعلام شده برای رآکتورهای جدید در کانادا، ترکیه، امارات متحده عربی و فنلاند در سال‌های ۲۰۰۹ و ۲۰۱۰ در حدود \$/kW ۱۱۰۰۰ بودند [۷۹].

همانگونه که در شکل ۲-۶ نشان داده شده است، هزینه‌های برآورد شده به نرخ امروز (بدون در نظر گرفتن بهره پرداختی در طول دوران ساخت) که توسط تحلیل گران وال استریت و مستقل ارائه شده‌اند از ۶۰۰۰ تا ۱۰۵۰۰ دلار بر کیلووات در نوسانند که بسیار بیشتر از برآوردی است که توسط مشاوران و شرکت‌های برق ارائه شده است. هزینه واقعی سرمایه‌گذاری، که شامل بهره پرداختی در طول دوران ساخت (IDC) و افزایش قیمت‌ها می‌شود، حتی از این هم بالاتر خواهد بود. در صورتی که به صورت محافظه کارانه فرض بگیریم که این هزینه‌های اضافی موجب افزایش هزینه اولیه به میزان ۲۰ درصد خواهند شد [۸۰]، هزینه‌های سرمایه‌گذاری به ۷۲۰۰ تا ۱۲۶۰۰ دلار بر کیلووات افزایش می‌یابد. در صورتی که همان فرض‌هایی که در فصل ۲ و در بخش "بلوغ فناوری‌های انرژی" بیان شدند

1 Interest During Construction

را در نظر گیریم، محدوده قیمت انرژی از ۱۱ تا ۱۹/۲ سنت بر کیلووات‌ساعت ( $\$/kWh$ ) به دست خواهد آمد.

شکل ۶-۲- هزینه سرمایه‌گذاری به نرخ امروز در نیروگاه‌های هسته‌ای موجود و پیشنهادی آمریکا [۸۲]



توجه: هزینه به نرخ امروز عبارت است از هزینه سرمایه‌گذاری بدون احتساب IDC

در سال‌های اخیر، هزینه‌های بهره‌برداری در آمریکا بسیار کم، در حدود  $2 \$/kWh$  بوده است اما این هزینه پایین بهره‌برداری بخشی به این دلیل است که بالاخره بعد از چندین دهه عملکرد ضعیف نیروگاه‌های هسته‌ای، ضریب‌های ظرفیت بالا به دست آمده‌اند و بخش دیگر به این دلیل است که دولت مسئولیت جابجایی و نگهداری سوخت مصرف شده را با قیمت ناچیز  $0.1 \$/kWh$  بر عهده دارد [۸۱].

جدول ۴-۶- قیمت‌های مسطح شده متوسط پیش‌بینی شده برای تولید انرژی الکتریکی در سال ۲۰۱۸ در کالیفرنیا [۸۴]

تحت مالکیت عمومی (¢/kWh)	متعلق به سرمایه‌گذاران (¢/kWh)	متعلق به تجار (¢/kWh)	توان نامی (MW)	فناوری
۳۷	۷۴	۹۵	۱۰۰	توربین گازی، سیکل باز، بار اوج
۱۵	۱۶	۱۷	۵۰۰	سیکل ترکیبی گازسوز
۱۱	۱۴	۱۸	۳۰۰	زغال‌سوز IGCC بدون CCS
۱۴	۱۶	۱۷	۳۰	زیست‌توده IGCC بدون CCS
۱۷	۲۷	۳۴	۹۶۰	هسته‌ای، وستینگ‌هاوس AP-1000
۱۲	۱۶	۱۶	۱۵	برق‌آبی، کوچک، سایت‌های توسعه یافته
۲۶	۲۹	۳۰	۲۵۰	خورشیدی، آینه‌های سهموی
۲۶	۳۰	۳۱	۲۵	خورشیدی، فتوولتاییک، تک محوری
۹	۱۲	۱۳	۵۰	بادی، واقع در خشکی، سایت کلاس 3/4
۸	۱۱	۱۱	۱۰۰	بادی، واقع در خشکی، سایت کلاس 5
۱۵	۲۰	۲۱۱	۳۵۰	بادی، فراساحلی، سایت کلاس 5

توجه: سال بهره‌برداری: ۲۰۱۸، نرخ ارز: دلار آمریکا در سال ۲۰۱۸. هزینه‌ها شامل هزینه‌های بیمه و معافیت‌های مالیاتی دولت فدرال آمریکا و دولت کالیفرنیا هستند.

ایالت کالیفرنیا رأساً به تجزیه و تحلیل جنبه‌های اقتصادی تولید الکتریسیته با استفاده از فناوری‌های مختلف می‌پردازد. جدول ۶-۴ هزینه‌های مسطح‌شده انرژی که در سال ۲۰۱۰ توسط کمیسیون انرژی کالیفرنیا برای سال ۲۰۱۸ پیش‌بینی شده‌اند را نشان می‌دهد. در این جدول قیمت‌های ارائه شده توسط شرکت‌های خریداری‌شده توسط تجار، شرکت‌های تحت مالکیت سرمایه‌گذاران (IOU) و شرکت‌های تحت مالکیت عمومی (POU) که دارای نرخ‌های بهره مختلف و سایر شرایط متفاوت هستند، از یکدیگر تفکیک شده‌اند [۸۳]. قیمت‌های مسطح شده پیش‌بینی شده برای انرژی هسته‌ای از ۱۷ تا ۳۴ سنت بر کیلووات‌ساعت در نوسانند. از زمانی که این گزارش انتشار یافته است، هزینه نیروگاه‌های خورشیدی فتوولتائیک به شدت کاهش یافته است.

### جنبه‌های اقتصادی انرژی هسته‌ای در اروپای غربی

در اروپای غربی تنها دو نیروگاه هسته‌ای جدید در دست احداث است. رآکتور هر دو نیروگاه از نسل موسوم به III+ شرکت فرانسوی Areva هستند که در مقایسه با نسل II رآکتورهای همان شرکت دارای تفاوت‌های جزئی در طراحی به منظور در برگرفتن برخی جنبه‌های "غیر فعال" ایمنی هستند. در عین حال، این رآکتورها هنوز هم در برابر سوانحی که می‌توانند منجر به ذوب شدن قلب رآکتور شوند مصونیت ندارند. هر دوی این پروژه‌ها تأخیرهایی طولانی در مقایسه با برنامه زمان‌بندی اولیه را تجربه می‌کنند و در نتیجه هزینه سرمایه‌گذاری آن‌ها بسیار فراتر از مقادیر مورد انتظار شده است. در فنلاند، نیروگاه هسته‌ای ۱۶۰۰ مگاواتی Olkiluoto-3 از سال ۲۰۰۵ در دست احداث است.

اشنایدر و فوگات بیان می‌دارند که: "در اوایل سال ۲۰۱۲ و به دنبال مجموعه بزرگی از مشکلات مدیریتی، مسائل کنترل کیفیت، خراب شدن تجهیزات و اشکالات مرتبط با طراحی، نیروگاه Olkiluoto-3 حدود پنج سال از برنامه زمان‌بندی اولیه عقب است و هزینه‌های برآورد شده به ۶ تا ۶/۶ میلیارد یورو، یعنی ۱۰۰ تا ۱۲۰ درصد بیشتر از بودجه مصوب، افزایش یافته است" [۸۵].

صنعت هسته‌ای در ابتدا ادعا می‌کرد که آغاز پروژه Olkiluoto-3 نشان می‌دهد که انرژی هسته‌ای در شرایط موجود بازار قادر به رقابت است. در پاسخ به این ادعا، مفسران مستقل اشاره می‌کردند که این نیروگاه توسط کنسرسیومی ساخته می‌شود که ۴۰ درصد سهام آن متعلق به دولت فنلاند است و این کنسرسیوم برق تولیدی خود را به اعضاء همان کنسرسیوم خواهد فروخت. بنابراین، در

صورت تکمیل، این نیروگاه تحت شرایط یک بازار رقابتی فعالیت نخواهد کرد و قادر خواهد بود که منابع مالی با نرخ‌های بهره بسیار پایین تر از نرخ‌های بازار دریافت دارد.

در فرانسه، در سال ۲۰۰۷ عملیات احداث یک نیروگاه جدید هسته‌ای ۱۶۳۰ مگاواتی واقع در فلانویل<sup>۱</sup> توسط شرکت EDF آغاز شد. پس از چندین مورد تأخیر و افزایش شدید هزینه‌ها، در ماه جولای ۲۰۱۱ شرکت EDF اعلام کرد که هزینه سرمایه‌گذاری تخمینی از ۳/۳ میلیارد یورو به ۶ میلیارد یورو افزایش یافته و تاریخ تکمیل پروژه نیز تا سال ۲۰۱۶ به تعویق افتاده است [۸۶].

### پیامدهای اقتصادی فاجعه فوکوشیما

فاجعه هسته‌ای فوکوشیما، که در ماه مارس ۲۰۱۱ آغاز شد و در سال ۲۰۱۳ هنوز هم ادامه دارد، این تجربه به دست آمده از فاجعه چرنوبیل را تقویت کرد که خسارت‌های ناشی از حوادث نادر اما فاجعه‌بار هسته‌ای فوق‌العاده عظیمند و بایستی به نحو مناسبی در برابر آن‌ها بیمه شد. هزینه‌های مستقیم ناشی از فاجعه فوکوشیما شامل موارد زیر می‌شود: اسکان ۱۸۰۰۰۰ نفر ساکنان تخلیه‌شده از منطقه، خسارات وارد به صنایع ماهی‌گیری، کشاورزی و سایر فعالیت‌های تجاری محلی که آلوده به عناصر رادیواکتیو شده‌اند، پاکسازی زمین و زیرساخت‌های آلوده به مواد رادیواکتیو و ارزش زمین‌هایی که به‌طور دائمی بایستی خالی بمانند و در حال حاضر دارای مساحتی بالغ بر ۸۰۰ کیلومتر مربع هستند. علاوه بر این، هزینه‌های بهداشتی و تأمین اجتماعی نیز وجود دارند که کمی‌سازی آن‌ها دشوار است. مرکز مطالعات اقتصادی ژاپن<sup>۲</sup> برآورد کرده است که بخشی از هزینه‌های کل در محدوده ۷۱ تا ۲۵۰ میلیارد دلار قرار دارد. این هزینه‌ها شامل موارد زیر می‌شوند: ۵۴ میلیارد دلار برای خرید همه زمین‌هایی که در محدوده ۲۰ کیلومتری نیروگاه قرار دارند، ۸ میلیارد دلار برای پرداخت خسارت به ساکنین محل و ۹ تا ۱۸۸ میلیارد دلار برای برچیدن رآکتورهای نیروگاه [۸۷].

فاجعه فوکوشیما موجب بروز خاموشی‌های طولانی در یک محدوده بسیار وسیع‌تر شد و آثار منفی بسیار شدیدی در بازار بورس و اقتصاد ژاپن بر جای گذاشت. کارخانه‌داران مجبور به تعطیلی کارخانه‌های خود شده و صنعت گردشگری نیز آسیب دید. هزینه‌های این پیامدهای اضافی هنوز هم محاسبه نشده‌اند.

1 Flamanville

2 Japan Center for Economic Research

در ژاپن و در سراسر جهان، بهره‌برداران نیروگاه‌های هسته‌ای تنها ملزم به تهیه بیمه برای مبالغ نسبتاً پایینی هستند. شرکت بهره‌بردار نیروگاه شماره ۱ فوکوشیما، TEPCO، تنها ملزم به تهیه پوشش بیمه در مقابل ۱/۵ میلیارد دلار آمریکا خسارت ناشی از نشت مواد رادیواکتیو بود اما این پوشش شامل سوانح ناشی از زمین‌لرزه و سونامی نمی‌شد. بیشتر خسارت‌های فراتر از این مبلغ تحت پوشش بیمه نبوده و به دولت‌ها (یا در واقع مالیات‌دهندگان)، خریداران انرژی الکتریکی و قربانیان تحمیل می‌شوند.

### نتیجه‌گیری

نیروگاه‌های هسته‌ای جدید نمی‌توانند مشارکت مؤثری در کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای داشته باشند چرا که بسیار خطرناکند، بسیار گران‌قیمتند، بسیار آهسته به مرحله عمل می‌رسند، و در درازمدت، خودشان مقادیر زیادی گازهای گلخانه‌ای تولید می‌کنند. هرچند که این احتمال وجود دارد که در آینده دور فناوری‌های هسته‌ای جایگزینی که گازهای گلخانه‌ای کمتری منتشر می‌کنند وارد بازار شوند، اما حتی آن فناوری‌ها هم همچنان از نقطه نظر گسترش سلاح‌های هسته‌ای بسیار خطرناک خواهند بود، حتی از نسل‌های فعلی نیروگاه‌های هسته‌ای گران‌تر خواهند بود و همچنان بسیار آهسته به مرحله عمل خواهند رسید. من در اینجا برخی نکات بالا را بیشتر باز می‌کنم.

از دهه ۱۹۷۰ میلادی متخصصین فناوری هسته‌ای دریافته و به صورت عمومی اعلام کرده‌اند که مواد منفجره سلاح‌های هسته‌ای - U-239 با درجه غنی‌سازی بالا و Pu-239 رآکتوری - را می‌توان از چرخه سوخت هسته‌ای "صلح آمیز"، به ویژه از فرایند غنی‌سازی اورانیوم و فرایند بازفراوری سوخت مصرف‌شده هسته‌ای، هم در رآکتورهای نیروگاهی و هم در رآکتورهای تحقیقاتی، تولید کرد. یک نوع مواد منفجره هسته‌ای دیگر، U-233، را نیز می‌توان با پالایش سوخت هسته‌ای در چرخه سوخت تورپیوم به دست آورد. بنابراین، گسترش انرژی هسته‌ای، لاجرم گسترش توانایی تولید سلاح‌های هسته‌ای تحت پوشش تولید الکتریسیته، و در نتیجه افزایش ریسک وقوع جنگ هسته‌ای را به دنبال دارد. پافشاری وابستگان به صنایع هسته‌ای و سایر طرفداران انرژی هسته‌ای در انکار این واقعیت‌های به خوبی اثبات شده باعث می‌شود که اعتبار سایر ادعاهای آن‌ها در خصوص انرژی هسته‌ای -

ای، مثل میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای در طول چرخه سوخت هسته‌ای و جنبه‌های اقتصادی انرژی هسته‌ای، نیز زیر سوال رود.

مراحل طراحی و ساخت نیروگاه‌های هسته‌ای معمولاً در حدود ۹ سال طول می‌کشد که این دوره در کشورهایی که به جز معادن اورانیوم هیچ زیرساخت صنعتی‌ای ندارند بسیار طولانی‌تر هم می‌شود. بنابراین، انرژی هسته‌ای نمی‌تواند هیچ‌گونه مشارکت چشمگیری در کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای آن‌ها در طول بیست سال آینده داشته باشد. حتی تحت شرایط نامحتمل توسعه آهسته صنعت هسته‌ای در آینده، کمبود جهانی سنگ معدن اورانیوم با درجه خلوص بالا در چند دهه آینده به مانعی بر سر راه این صنعت تبدیل خواهد شد. هرچند که منابع سرشاری از سنگ معدن اورانیوم با درجه خلوص پایین در جهان وجود دارد، اما تولید سوخت هسته‌ای از اورانیوم با درجه خلوص پایین موجب انتشار مقادیر بسیار زیادی دی‌اکسیدکربن خواهد شد. بنابراین، نیروگاه‌های هسته‌ای جدید مبتنی بر فناوری‌های موجود نمی‌توانند به اندازه کافی دی‌اکسیدکربن تولید شده توسط نیروگاه‌های زغال‌سنگی را جایگزین کنند. این نیروگاه‌ها نه راه‌حلی کوتاه‌مدت و نه راه‌حلی بلندمدت برای تغییرات آب و هوایی جهانی نیستند.

در حال حاضر هنوز هم هیچ‌گونه ذخیره‌گاه دائمی برای زباله‌های شدیداً رادیواکتیو هسته‌ای وجود ندارد، هرچند که تعدادی ذخیره‌گاه زیرزمینی در فنلاند و سوئد در دست احداث هستند. علاوه بر این، نسل فعلی نیروگاه‌های هسته‌ای به روشی از استخراج اورانیوم از معدن نیازمند است که مقادیر بسیار عظیمی از زباله‌های رادیواکتیو سطح پایین تولید می‌کند و این زباله‌ها غبارهای زیان‌باری را توسط باد در طی ۱۰۰۰۰۰ سال آینده (یا بیشتر) منتشر می‌سازند. اغلب نیروگاه‌های هسته‌ای مقادیر بسیار زیادی آب برای خنک کردن استفاده می‌کنند. این نیروگاه‌ها باعث می‌شوند که جمعیت‌های بزرگی در معرض سوانح نادر، اما بالقوه فاجعه‌بار، قرار گیرند. انرژی تولیدی این نیروگاه‌ها در حال حاضر از انرژی تولید شده توسط انرژی بادی گران‌تر است و به زودی در بسیاری از کشورها از انرژی تولیدی توسط نیروگاه‌های خورشیدی فتوولتائیک نیز گران‌تر خواهد شد.

خطر گسترش سلاح‌های هسته‌ای، تروریسم و وقوع سوانح هسته‌ای، همراه با نبود ذخیره‌گاه‌های درازمدت برای مدیریت پسماندهای هسته‌ای و آثار سو زیست‌محیطی (از جمله انتشار CO<sub>2</sub>) و هزینه‌های بالای چرخه سوخت هسته‌ای، مشخصات منبعی از انرژی الکتریکی است که، با هر معیار معقولی، نه از نظر زیست‌محیطی پایدار است و نه از نظر اقتصادی مقرون به صرفه. در نتیجه، هزینه

کردن منابع با ارزش مالی برای انرژی هسته‌ای در واقع انحراف پرهزینه‌ای است از فناوری‌های سریع‌تر، مؤثرتر و ارزان‌تری مانند افزایش بهره‌وری انرژی (EE)، سایر روش‌های کاهش تقاضا و انرژی‌های تجدیدپذیر (RE).

### منابع و یادداشت‌های فصل

- 1 Fox, RW (presiding commissioner) (1976) *Ranger Uranium Environmental Inquiry: First Report*, AGPS, Canberra, p 185.
- 2 Chalmers, A (1999) *What is this thing called science?*, 3rd ed, University of Queensland Press, Open University Press and Hackett, Indianapolis; Mitroff, II (1974) *The Subjective Side of Science*, Elsevier, Amsterdam.
- 3 My university webpage <[www.ies.unsw.edu.au/our-people/associateprofessor-mark-diesendorf](http://www.ies.unsw.edu.au/our-people/associateprofessor-mark-diesendorf)> gives more details of research interests, publications, etc.
- 4 Monbiot, G (2011) Why Fukushima made me stop worrying and love nuclear power, *The Guardian*, 22 March, <[www.guardian.co.uk/commentisfree/2011/mar/21/pro-nuclear-japan-fukushima](http://www.guardian.co.uk/commentisfree/2011/mar/21/pro-nuclear-japan-fukushima)>. My reply – Don't stop worrying, George – was published in *New Matilda*: <<http://newmatilda.com/2011/03/23/dont-stop-worrying-george>>.
- 5 Lovelock, J (2006) *The Revenge of Gaia: Why the Earth is fighting back – and how we can still save humanity*, Allen Lane, Santa Barbara CA.
- 6 Schneider, M and Froggatt, A (2013) *World Nuclear Industry Status Report 2013*, Mycle Schneider Consulting, Paris, July.
- 7 Schneider and Froggatt (2013).
- 8 کسر بزرگی از نیروگاه‌هایی که با عنوان "در دست احداث" دسته‌بندی شده‌اند بیش از ۲۰ سال است که "در دست احداث" هستند.
- 9 Schneider and Froggatt (2013).
- 10 Schneider and Froggatt (2013).
- 11 Mudd, GM and Diesendorf, M (2010) Uranium mining, nuclear power and sustainability – rhetoric versus reality, Sustainable Mining Conference, Kalgoorlie WA, 17–19 August. The tailing mass of 137 Mt is updated to 2012 from this paper.
- 12 رآکتورهای کانادایی CANDU نیازی به غنی‌سازی اورانیوم ندارند.
- 13 Jowit, J and Espinoza, J (2006) Heatwave shuts down nuclear power plants, *The Guardian*, <[www.guardian.co.uk/environment/2006/jul/30/energy.weather](http://www.guardian.co.uk/environment/2006/jul/30/energy.weather)>.
- 14 Mortimer, N (1991) Nuclear power and global warming, *Energy Policy*, 19: 76–78.
- 15 Storm van Leeuwen, JW and Smith, P (2005, updated 2008) Nuclear power – the energy balance, <[www.stormsmith.nl/reports.html](http://www.stormsmith.nl/reports.html)>.

- 16 Lenzen, M (2008) Life-cycle energy and greenhouse gas emissions of nuclear energy: A review, *Energy Conversion & Management*, 49: 2178–99.
- 17 Lenzen (2008).
- 18 Mudd, GM (2007) Radon releases from Australian uranium mining and milling projects: Assessing the UNSCEAR approach, *Journal of Environmental Radioactivity*, 99(2): 288–315.
- 19 Mudd and Diesendorf (2010).
- 20 Lenzen, M and Munksgaard, J (2002) Energy and CO<sub>2</sub> life-cycle analyses of wind turbines – review and applications, *Renewable Energy*, 26: 339–62, Table 1.
- 21 ISA (Integrated Sustainability Analysis) (2006) *Life-cycle Energy Balance and Greenhouse Gas Emissions of Nuclear Energy in Australia*, Prepared for the Uranium Mining Processing and Nuclear Energy Review, Department of Prime Minister and Cabinet, Sydney, NSW, 3 November.
- 22 Cours des Comptes (Accounting Office of France) (2012) *The Costs of the Nuclear Power Sector*, January, Paris CEDEX, p 46.
۲۳. عبارت "سریع" اشاره به سرعت تولید نوترون دارد.
- 24 MIT (2003) *The Future of Nuclear Power: An interdisciplinary MIT study*, <<http://web.mit.edu/nuclearpower>>.
- 25 Oak Ridge National Laboratory (2002) *Review*, vol 25, nos 3–4, Ch 4, <[www.ornl.gov/info/ornlreview/rev25-34/chapter4.shtml](http://www.ornl.gov/info/ornlreview/rev25-34/chapter4.shtml)>: 'By 1954, the Laboratory's chemical technologists had completed a pilot plant demonstrating the ability of the THOREX process to separate thorium, protactinium, and uranium-233 from fission products and from each other. This process could isolate uranium-233 for weapons development and also for use as fuel in the proposed thorium breeder reactors.'
۲۶. عمده پسماندها هم دارای طول عمر کوتاه خواهند بود.
- 27 See ITER <[www.iter.org](http://www.iter.org)>. The countries involved are China, European Union, India, Japan, Russia, South Korea and the USA.
- 28 Holdren, JP (1981) Fusion-fission hybrids: Environmental aspects and their role in hybrid rationale, *Journal of Fusion Energy*, 1(2): 197–210; Sievert, F and Johnson, D (2010) Creating Suns on Earth, *Nonproliferation Review*, 17: 323–46.
- 29 Sievert and Johnson (2010); Roser, D et al. (2013) Analysing the nuclear weapons proliferation risk posed by a mature fusion technology and economy, Discussion Paper, Institute of Environmental Studies, UNSW.
- 30 Koomey, J and Hultman, NE (2007) A reactor-level analysis of busbar costs for US nuclear plants, 1970–2005, *Energy Policy*, 35: 5630–42.
- 31 National Academy of Sciences (2005) *BEIR VII: Health Risks from Exposure to Low Levels of Ionising Radiation*, National Academies Press, Washington DC; UNSCEAR (2011) *Report of the United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation 2010*, United Nations, New York.

- 32 Morgan, O (2006) Nuclear costs to hit £90 bn, warns Brown, *Observer-Guardian*, 4 June, <[www.guardian.co.uk/business/2006/jun/04/theobserver.observerbusiness](http://www.guardian.co.uk/business/2006/jun/04/theobserver.observerbusiness)>.
- 33 Nuclear Decommissioning Authority (2013) *Annual Report and Accounts 2012/2013*, p 132.
- 34 Sovacool, B (2011) *Contesting the Future of Nuclear Power*, World Scientific, London, pp 54–68. Sovacool is Director of the Danish Center for Energy Technology at AU Herring.
- 35 Chernobyl Forum (1996) *Chernobyl's Legacy: Health, environmental and socio-economic impacts*, 2<sup>nd</sup> revised ed, IAEA, Vienna.
- 36 Cardis, E et al. (2006) Estimates of the cancer burden in Europe from radioactive fallout from the Chernobyl accident, *International Journal of Cancer*, 119: 1224–35.
- 37 Yablokov, AV, Labunska, I and Bolkov, I (eds) (2006) *The Chernobyl Catastrophe: Consequences on human health*, Greenpeace, Amsterdam.
- 38 National Diet of Japan (2012) *Fukushima Nuclear Accident Independent Investigation Commission*, National Diet of Japan, Tokyo, p 16.
- 39 Sovacool, B (2013) Is Fukushima the new normal for nuclear reactors?, *The Conversation*, 27 August, <<http://theconversation.com/is-fukushima-the-new-normal-for-nuclear-reactors-17391>>.
- 40 Broinowski, R (2012) *Fallout from Fukushima*, Scribe, Melbourne.
- 41 Gipe, P (2012) Japan approves feed-in tariffs, *Renewable Energy World*, 22 June, <[www.renewableenergyworld.com/rea/news/article/2012/06/japan-approves-feed-in-tariffs](http://www.renewableenergyworld.com/rea/news/article/2012/06/japan-approves-feed-in-tariffs)>.
- 42 Broinowski (2012), Ch 10.
- 43 Robock, A and Toon, B (2010) South Asian threat? Local nuclear war = global suffering, *Scientific American*, 302(1), January: 74–81.
- 44 Bryson, C (2004) *The Fluoride Deception*, Seven Stories Press, New York.
- 45 Silex Systems Ltd (2013) Silex completes test loop phase 1 milestone, brr media, 24 May, <[www.brrmedia.com/event/112085](http://www.brrmedia.com/event/112085)>.
- 46 Von Hippel, F (2005) Presentation to UN Secretary-General's Advisory Board on Disarmament Affairs, 24 February, <[www.un.org/disarmament/HomePage/AdvisoryBoard/44th\\_Session/PDF/NuclearFuelCycle.pdf](http://www.un.org/disarmament/HomePage/AdvisoryBoard/44th_Session/PDF/NuclearFuelCycle.pdf)>. The critical masses given here are based on the assumption that a neutron reflector is used in the bomb.

۴۷. به عنوان مثال: "راکتورهای غیرنظامی قدرت، مواد قابل استفاده در سلاح‌های نظامی تولید نمی‌کنند". این مطلب را سخنگوی مرکز اطلاعات اورانیوم استرالیا، Ian Hore-Lacy، در نشریه *Australasian Science*، سال ۲۰۰۵، صفحه ۳۹ ادعا کرده است.

۴۸. این مطالب و بسیاری از نقل قول‌ها از منابع مسئول در مراجعی در "ائتلاف کانادایی برای مسئولیت‌پذیری هسته‌ای" جمع آوری شده‌اند. نشانی: [www.ccnr.org/Findings\\_plute.html](http://www.ccnr.org/Findings_plute.html).

- 49 Institute for Science and International Security (ISIS) [www.isis-online.org/publications/iran/index.html](http://www.isis-online.org/publications/iran/index.html).
- 50 Nuclear Weapons Archive <http://nuclearweaponarchive.org/Nwfaq/Nfaq7-2.html#france>.
- 51 Albright, D and Hibbs, M (1992) Pakistan's bomb: Out of the closet, *Bulletin of the Atomic Scientists*, July–August: 38–43; Corera, G (2006) *Shopping for Bombs: Nuclear proliferation, global insecurity and the rise and fall of the AQ Khan Network*, Scribe, Melbourne.
- 52 Corera (2006).
- 53 Albright, D and Hinderstein, C (2004) Libya's gas centrifuge procurement: Much remains undiscovered, ISIS Online, [www.isis-online.org/publications/libya/cent\\_procure.html](http://www.isis-online.org/publications/libya/cent_procure.html).
- 54 Peter Hayes, Nautilus Institute, <http://nautilus.org/about/staff/peterhayes/#axzz2YE94gjQ5>. Hayes is Executive Director of the Nautilus Institute for Security and Sustainability.
- 55 Albright, D (1994) South Africa and the affordable bomb, *Bulletin of the Atomic Scientists*, 50(4), July–August: 37–47.
- 56 Global Security.org [www.globalsecurity.org/wmd/world/brazil/nuke.htm](http://www.globalsecurity.org/wmd/world/brazil/nuke.htm).
- 57 Federation of American Scientists [www.fas.org/nuke/guide/argentina/nuke/index.html](http://www.fas.org/nuke/guide/argentina/nuke/index.html).
- 58 Nuclear Weapon Archive, Britain's nuclear weapons <http://nuclearweaponarchive.org/Uk/UKFacility.html>; Barnham, KWJ, Nelson, J and Stevens, RA (2000) Did civil reactors supply plutonium for weapons?, *Nature*, 407: 833–34, [www.nature.com/nature/journal/v407/n6806/full/407833c0.html](http://www.nature.com/nature/journal/v407/n6806/full/407833c0.html).
- 59 ISIS <http://isis-online.org>.
- 60 Kang, J, Suzuki, T and Hayes, P (2004) *South Korea's Nuclear Mis-Adventures*, Special Report: September, Nautilus Institute, <http://nautilus.org/napsnet/napsnet-special-reports/south-koreas-nuclear-misadventures/#axzz2drojtfGc>.
- 61 ISIS <http://isis-online.org>.
- 62 Reynolds, W (2000) *Australia's Bid for the Atomic Bomb*, Melbourne University Press, Melbourne; Broinowski, R (2003) *Fact or Fission: The truth about Australia's nuclear ambitions*, Scribe, Melbourne.
- 63 Albright, D and Hinderstein, C (2001) Algeria: Big deal in the desert?, *Bulletin of the Atomic Scientists*, 57(3): 45–52; Federation of American Scientists (FAS) Nuclear Information Project [www.fas.org/nuke/guide/algeria/index.html](http://www.fas.org/nuke/guide/algeria/index.html).
- 64 Robock and Toon (2010).

- 65 Higgins, A (1994) Plutonium 'leaking' on to black market, *The Independent*, 17 August, <[www.independent.co.uk/news/world/europe/plutoniumleaking-on-to-black-market-1376912.html](http://www.independent.co.uk/news/world/europe/plutoniumleaking-on-to-black-market-1376912.html)>; Borger, J (2010) Nuclear bomb material found for sale on Georgia black market, *The Guardian*, 8 November, <[www.guardian.co.uk/world/2010/nov/07/nuclear-materialblack-market-georgia](http://www.guardian.co.uk/world/2010/nov/07/nuclear-materialblack-market-georgia)>.
- 66 MacKerron, G et al. (2006) *Economics of Nuclear Power*, A report to the Sustainable Development Commission, Paper 4 of series, 'The role of nuclear power in a low carbon economy', <[www.sd-commission.org.uk/publications.php?id=339](http://www.sd-commission.org.uk/publications.php?id=339)>.
- 67 Cooper, M (2009a) *All Risk, No Reward for Taxpayers and Ratepayers*, Institute of Energy and the Environment, Vermont Law School, November <[www.vermontlaw.edu/Documents/11\\_03\\_09\\_Cooper%20All%20Risk%20Full%20Report.pdf](http://www.vermontlaw.edu/Documents/11_03_09_Cooper%20All%20Risk%20Full%20Report.pdf)>.
- 68 Public Citizen, *Nuclear's Fatal Flaws: Cost*, <[www.citizen.org/cmep/article\\_redirect.cfm?ID=13449](http://www.citizen.org/cmep/article_redirect.cfm?ID=13449)>.
- 69 Koplow, D (2007) *Subsidies in the US Energy Sector: Magnitude, causes and options for reform*, Earthtrack Inc, Ch 4 <[www.earthtrack.net/content/subsidies-us-energy-sector-magnitude-causes-and-options-reform](http://www.earthtrack.net/content/subsidies-us-energy-sector-magnitude-causes-and-options-reform)>.
- 70 Schneider, M, Thomas, S, Froggatt, A et al. (2009) *The World Nuclear Status Report 2009*, Commissioned by German Federal Ministry of Environment, Nature Conservation and Reactor Safety, p 92.
- 71 Meyer, B, Schmidt, S and Eidems, V (2009) *Staatliche Förderungen der Atomenergie im Zeitraum 1950–2008 (National Subsidies for Nuclear Energy 1950–2008)*, Study by FöS for Greenpeace, <[www.greenpeace.de/themen/atomkraft/nachrichten/artikel/atomenergie\\_kostet\\_bundesbuerger\\_bereits\\_258\\_milliarden\\_euro-1/](http://www.greenpeace.de/themen/atomkraft/nachrichten/artikel/atomenergie_kostet_bundesbuerger_bereits_258_milliarden_euro-1/)>; reported in English by Parkin, B and van Loon, J (2009) Atomic Power's cheap-energy tag belied by aid, Greenpeace says, *Bloomberg.com*, 3 September, <[www.bloomberg.com/apps/news?pid=20601100&sid=aeu3Q6i0rAIQ](http://www.bloomberg.com/apps/news?pid=20601100&sid=aeu3Q6i0rAIQ)>.
- 72 WISE/NIRS (2005) Unfair Aid: The subsidies keeping nuclear energy afloat, WISE, 24 June, <[www10.antenna.nl/wise/index.html?http://www10.antenna.nl/wise/630-31](http://www10.antenna.nl/wise/index.html?http://www10.antenna.nl/wise/630-31)>.
- 73 Mitchell, C (2000) The England and Wales fossil fuel obligation: History and lessons, *Annual Review of Energy and the Environment*, 25: 285–311, Table 4.
- 74 Department of Trade and Industry (2003) *Our Energy Future: Creating a low carbon economy*, Section 4.68, <[www.dti.gov.uk/files/file10719.pdf](http://www.dti.gov.uk/files/file10719.pdf)>.
- 75 Wintour, P (2013) Ed Davey 'will not give an inch' on nuclear power price, *The Guardian*, 6 July, <[www.guardian.co.uk/politics/2013/jul/05/daveyminister-nuclear-power-hinkley-point](http://www.guardian.co.uk/politics/2013/jul/05/daveyminister-nuclear-power-hinkley-point)>.
- 76 Cooper, M (2009b) *The Economics of Nuclear Reactors: Renaissance or relapse?*, Institute of Energy and the Environment, Vermont Law School, June <[www.nonuclear.se/files/cooper200906economics\\_of\\_nuclear\\_reactors.pdf](http://www.nonuclear.se/files/cooper200906economics_of_nuclear_reactors.pdf)>.

- 77 Lovins, AB and Sheikh, I (2008) *The Nuclear Illusion*, Rocky Mountain Institute, Snowmass, <[www.rmi.org/rmi/Library/E08-01\\_NuclearIllusion](http://www.rmi.org/rmi/Library/E08-01_NuclearIllusion)>.
- 78 MIT (2003); Keystone Center (2007) *Nuclear Power Joint Fact-Finding*, 2007, <[www.keystone.org/policy-initiatives-center-for-science-a-publicpolicy/energy/nuclear-power-joint-fact-finding.html](http://www.keystone.org/policy-initiatives-center-for-science-a-publicpolicy/energy/nuclear-power-joint-fact-finding.html)>; Harding, J (2007) Economics of nuclear power and proliferation risk in a carbonconstrained world, *Electricity Journal*, 20 (December): 65–76; MIT (2009) *Future of Nuclear Power: Update of MIT 2003*, <<http://web.mit.edu/nuclearpower/pdf/nuclearpower-update2009.pdf>>; Moody's (2008) *New Nuclear Generating Capacity: Potential credit implications for US investor owned utilities*, May; Florida Power & Light <[www.fpl.com/environment/nuclear](http://www.fpl.com/environment/nuclear)>; Severance, CA (2009) *Business risks and costs of new nuclear power*, <<http://large.stanford.edu/publications/coal/references/nirs/docs/nuclearcosts2009.pdf>>.
- 79 Sovacool (2011), p 109.
- 80 For US nuclear power stations, there are a wide range of construction times and hence a wide range of percentage increases in capital costs from 'overnight' to 'busbar' – see Koomey and Hultman (2007).
- 81 Schneider, Thomas, Froggatt et al. (2009), p 62.
- 82 Cooper (2009b).
- 83 Klein, J (2010) *Comparative Costs of California Central Station Electricity Generation*, California Energy Commission, CEC-200-2009-07SF, January.
- 84 Klein (2010).
- 85 Schneider, M and Froggatt, A (2012) *World Nuclear Industry Status Report 2012*, Mycle Schneider Consulting, Paris, p 33.
- 86 Anon (2011) EDF delays Flamanville 3 EPR project, *Nuclear Engineering International*, 20 July, <[www.neimagazine.com/story.asp?sectioncode=132&storyCode=2060192](http://www.neimagazine.com/story.asp?sectioncode=132&storyCode=2060192)>.
- 87 Kazuma Iwata, cited in NewsOnJapan.com (2001) <<http://newsonjapan.com/html/newsdesk/article/89987.php>>.



## فصل ۷

### حمل و نقل و شکل شهری

استقامت در زندگی شخصی ما به معنای ایستادگی، به معنای گذر از بحران‌ها، به معنای استحکام درونی و به معنای ساختار فیزیکی قوی است ... استقامت را بر شهرها نیز می‌توان اعمال کرد. [۱]

پیتر نیومن<sup>۱</sup>، تیموتی بیتلی<sup>۲</sup> و هدر بویر<sup>۳</sup>

برای تبدیل سامانه عرضه و تقاضای انرژی موجود به یک سامانه با میزان انتشار بسیار کم کربن ما بایستی شهرهایمان را تغییر دهیم، خصوصاً سامانه حمل و نقل شهری را که عملکرد آن شبیه به سامانه گردش خون در بدنمان است. این کار بسیار چالش‌برانگیزتر از جایگزینی نیروگاه‌های مصرف‌کننده سوخت‌های فسیلی با انرژی‌های تجدیدپذیر و روش‌های بهبود بهره‌وری انرژی است. بسیاری از مردم تفاوت چندانی بین دریافت "الکترون سبز" و "الکترون سیاه" احساس نخواهند کرد. هرچند که نیاز به برخی تغییر رفتارها برای کاهش مصرف انرژی در خانه و در محل کار وجود دارد، اما بخش عمده این وظیفه بر دوش فناوری‌ها، از جمله عایق بندی، ساختمان‌ها و لوازم خانگی با بهره‌وری بیشتر و ابزارهای "هوشمند" که لوازم خانگی و تجهیزات مصرف‌کننده انرژی را، وقتی که تقاضا بالا و عرضه کم است، به صورت خودکار خاموش می‌کنند، خواهد بود.

زیرساخت‌های شهری، بسیار غیرفعال‌تر و قدیمی‌تر از لوازم خانگی و حتی نیروگاه‌ها هستند. در یک آینده پایدار، مردمی که در شهرها و محلات پیرامونی شهرها زندگی می‌کنند مکرراً در معرض این تصمیم‌گیری قرار می‌گیرند که چگونه از نقطه الف به نقطه ب بروند، و با توجه به گزینه‌های جایگزینی که در دسترس خواهند بود، اینکه آیا اصلاً بروند یا نه. به تدریج شکل شهری<sup>۴</sup> دستخوش تغییر خواهد شد و با شدت بیشتری با یک سامانه حمل و نقل شهری (ترانزیت) رو به

---

1 Peter Newman  
2 Timothy Beatley  
3 Heather Boyer  
4 Urban Form

گسترش و نیز یک سامانه حمل و نقل فعال و رو به گسترش مبتنی بر دوچرخه‌سواری و پیاده‌روی تجمیع خواهد شد.

این تغییرات تنها به دلیل نیاز به کاستن از انتشار گازهای گلخانه‌ای و آلودگی هوای محلی صورت نمی‌پذیرند. شهرهایی که وابستگی زیادی به خودروها دارند در برابر وقفه احتمالی در عرضه نفت بسیار آسیب‌پذیرند. در این شهرها دسترسی به غذا، مراقبت‌های پزشکی و بیمارستانی، محل کار، مؤسسات آموزشی و فعالیت‌های اجتماعی و فرهنگی همگی وابسته به یک جریان پیوسته ورودی نفت است. تولید محصولات غذایی در مناطق روستایی نیز برای تولید کود شیمیایی و به حرکت درآوردن تراکتورها نیازمند نفت است. اما، همانگونه که در مقدمه این کتاب بحث شد، جهان در نزدیکی نقطه اوج تولید نفت است و حتی این احتمال وجود دارد که آن نقطه را پشت سر گذارده باشد. تعداد زیادی از کشورها به شدت وابسته به واردات نفت از منابع محدود و روبه‌کاهش کشورهای بزرگ صادرکننده نفت هستند که این کشورهای صادرکننده نیز روز به روز کمتر می‌شوند. برای این که اوضاع از این هم بدتر شود، بسیاری از شهرها در کشورهای به سرعت در حال توسعه در بخش عمده-ای از طول روز و در هفت روز هفته به دلیل تعداد بسیار زیاد خودروها قفل شده‌اند. این شهرها، آلوده، غیربهداشتی و ناتوان از انجام فعالیت‌های خود به شکلی مناسب، اقتصادی و اجتماعی هستند.

راه‌حل این مشکلات آشکار است، اما اعمال آن در شهرهای موجود که توسط ترافیک خفه شده‌اند آسان نیست. این راه‌حل، به عقیده پیترو نیومن (متخصص حمل و نقل شهری)، عبارت است از اینکه: باید شهرهایمان را از طریق گسترش حمل و نقل شهری و حمل و نقل فعال مقاوم‌تر کنیم و باید تراکم جمعیت را در مجاورت مراکز اصلی حمل و نقل شهری افزایش دهیم تا در نتیجه سفرهای درون‌شهری با استفاده از خودروهای شخصی کاهش یابد [۲]. امکان مختصری برای بهبود بخشیدن به فناوری خودروهای موتوری به منظور آن که از بهره‌وری انرژی بهتری برخوردار شوند و سوخت مصرفی آن‌ها از سوخت‌های فسیلی مایع و گاز به مایعات، گازها و الکتروسیته تجدیدپذیر تبدیل شود نیز وجود دارد. اما بدون انجام تغییرات شدید در کل سامانه حمل و نقل و شکل شهری، میزان کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای ناچیز بوده و بسیاری از شهرها با خطر فروپاشی مواجه خواهند شد، و یا در واقع همین الان هم مواجه هستند.

این فصل بر روی موضوع حمل و نقل شهری تمرکز دارد، چرا که بیش از نیمی از جمعیت جهان در شهرها زندگی می‌کنند و این نسبت به شدت در حال افزایش است. علت این افزایش جمعیت

شهری سیاست‌های دولتی در برخی از کشورها، از جمله چین، و فقر و نبود فرصت‌های مناسب در بسیاری از مناطق روستایی جهان است. علاوه بر این، در بسیاری از کشورها بیشترین میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای مربوط به حمل و نقل در شهرها رخ می‌دهد.

بخش "عوارض وابستگی به خودرو و وسایل حمل و نقل موتوری سنگین"، که در ادامه آمده است، به عوارض شدید زیست‌محیطی، اجتماعی و اقتصادی وابستگی به خودرو در شهرها می‌پردازد. در ادامه، بخش "برنامه‌ریزی یکپارچه شهری و سامانه حمل و نقل" می‌آید، که بخش اصلی این فصل است و به تفصیل به تشریح راه‌حل‌های اصلی طراحی یکپارچه شهری و حمل و نقل می‌پردازد، تأثیر تراکم شهری بر استفاده از خودروها را بررسی می‌کند، بازسازی شهرها به صورت خوشه‌های جمعیتی، که بر اساس دسترسی به حمل و نقل عمومی و فعال طراحی شده‌اند، را توصیه می‌کند، عوامل مختلفی که موجب سفرهای درون‌شهری می‌شوند را بررسی می‌کند و موضوعات جدیدی در خصوص روان‌شناسی اجتماعی نحوه انتخاب روش‌های حمل و نقل در شهرها را مطرح می‌سازد. بخش "خودروها و سوخت‌های بهبود یافته" نگاهی به برخی روش‌های سنتی برای بررسی مسئله حمل و نقل که مشارکت اندکی در راه حل مورد نظر، یعنی خودروها و سوخت‌های بهبود یافته، دارند می‌اندازد. و در نهایت، بخش کوتاهی به حمل و نقل بین‌شهری و روستایی اختصاص داده شده که با توجه به روندهای موجود تا حدودی زمینه خوش‌بینی را فراهم می‌آورد.

### عوارض وابستگی به خودرو و وسایل حمل و نقل موتوری سنگین

خودروها و وسایل حمل و نقل موتوری سنگین نقش بسیار مهمی در تمدن بشری داشته‌اند. در عین حال، تعداد بی‌شمار خودروها و زمین و زیرساخت‌هایی که این خودروها در کشورهای توسعه‌یافته و سریعاً در حال توسعه جهان طلب می‌کنند مشکلات زیست‌محیطی، بهداشتی، اجتماعی و اقتصادی بسیار شدیدی را به وجود آورده‌اند.

#### عوارض زیست‌محیطی و بهداشتی

در ابتدا اجازه دهید برخی آمار را مرور کنیم. در سال ۲۰۱۰، ۴۳ درصد انتشار جهانی CO<sub>2</sub> ناشی از احتراق سوخت‌های فسیلی توسط زغال‌سنگ، ۳۶ درصد توسط نفت و ۲۰ درصد توسط گاز طبیعی تولید شده است. در حال حاضر، اکثریت عظیم حمل و نقل توسط نفت تغذیه می‌شود - بخش

بسیار کمی از طریق الکتریسیته تولید شده با زغال‌سنگ یا گاز طبیعی تأمین می‌شود. بخش حمل و نقل، ۲۲ درصد انتشار جهانی CO<sub>2</sub> را بر عهده داشت و از این میزان، حمل و نقل جاده‌ای مسئول تقریباً سه‌چهارم گازهای منتشر شده بود [۳].

خودروهای موتوری علاوه بر اینکه تولیدکنندگان بزرگ گازهای گلخانه‌ای هستند، منبع عمده آلودگی هوای محلی در شهرهای بزرگ نیز هستند. به عنوان مثال [۴]:

- خودروهای موتوری ترکیبات آلی بخارشونده<sup>۱</sup> (VOC) منتشر می‌کنند که سرطان‌زا و سمی هستند.
  - خودروهای موتوری عامل انتشار بخش عمده‌ای از مونوکسید کربن، که یک ماده شیمیایی سمی است، هستند.
  - خودروهای موتوری منبع اصلی اکسیدهای نیتروژن (NO<sub>x</sub>)، که برای گیاهان و حیوانات سمی هستند، به شمار می‌روند. NO<sub>x</sub> همچنین با هیدروکربن‌ها واکنش انجام داده و اوزون و مه‌دود فتوشیمیایی<sup>۲</sup>، که عامل بیماری‌های تنفسی است، تولید می‌کنند.
  - اکسیدهای گوگرد (SO<sub>x</sub>) برای گیاهان و حیوانات سمی بوده و باران‌های اسیدی تولید می‌کنند.
  - خودروهای دیزلی ذرات ریزی تولید می‌کنند که سمی و عامل بیماری‌های تنفسی و سرطان هستند. با پیشتازی اروپا در این زمینه، استانداردهای بهبود یافته مربوط به کیفیت سوخت در حال کاهش تولید این ذرات در چندین کشور هستند.
  - برای مردمانی که در نزدیکی جاده‌های پرتردد زندگی یا کار می‌کنند، آلودگی صوتی ناشی از ترافیک می‌تواند منجر به استرس، بی‌خوابی و ناتوانی در تمرکز شود.
  - وابستگی به خودروها منجر به کمبود فعالیت بدنی و در نتیجه چاقی و بیماری‌های قلبی می‌شود.
  - هرچند که استانداردهای کیفی سوخت در حال افزایش مرحله به مرحله هستند، اما این بهبودها تا حدودی بر اثر افزایش مسافت‌های پیموده شده خنثی می‌شوند.
- جاده‌ها و پارکینگ‌ها بخش عمده‌ای از زمین‌های شهری را اشغال و دچار کاهش کیفیت می‌کنند. این زمین‌ها شامل بوته‌زارها، باغ‌های میوه و سایر زمین‌های کشاورزی نیز می‌شوند. در مراکز شهری بیش از نیمی از سطح زمین ممکن است که به خودروهای موتوری اختصاص داده شود و در محلات

1 Volatile Organic Compounds  
2 Photochemical Smog

پیرامونی شهرها ۲۰ تا ۳۰ درصد زمین‌ها به این صورت اشغال می‌شوند. با اشغال بخش عمده‌ای از زیستگاه‌ها، این سطوح پوشانده شده خسارات عظیمی را بر تنوع زیستی وارد می‌سازند. با نشت مایعات جاده‌ای و پارکینگی‌ای که دربرگیرنده نفت، گریس و فلزات سنگین هستند، خودروهای موتوری کیفیت آب را از طریق آلوده ساختن نهرها، رودخانه‌ها، لنگرگاه‌ها و سواحل کاهش می‌دهند. جاده‌ها عامل بسیاری از مرگ‌ها و معلولیت‌های ناشی از تصادف هستند (رک جدول ۷-۱). نرخ مصدومیت‌ها چندین برابر نرخ مرگ‌ومیر است. عوارض اقتصادی این تلفات بسیار عظیم است. خودروهای حمل و نقل سنگین به‌طور خاص عامل بخش بسیار بزرگی از آمار مرگ‌ومیر و مصدومیت‌های جاده‌ای هستند.

جدول ۷-۱- آمار مرگ‌ومیر جاده‌ای در برخی از کشورها

منبع [۵]	سال	تعداد فوت در هر ۱۰۰ میلیون VKT	تعداد فوت در هر ۱۰۰۰۰۰ نفر جمعیت	تعداد کل فوت	کشور
BITRE (2103)	۲۰۱۲	۰/۵۷	۵/۸	۱۳۱۰	استرالیا
China Autoweb (2013)	۲۰۰۷	؟	۶/۲	۸۱۶۴۹	چین (آمار رسمی پلیس)
China Autoweb (2013)	۲۰۰۷	؟	۱۶/۷	۲۲۱۱۳۵	چین (گواهی‌های فوت)
Japan Times (2013)	۲۰۱۲	؟	۳/۵	۴۴۱۱	ژاپن
NHTSA (2011)	۲۰۱۱	۰/۶۸	۱۰/۴	۳۲۳۶۷	آمریکا

توجه: دقت داده‌های مربوط به کشورهای در حال توسعه معمولاً پایین است، همانگونه که دو برآورد متفاوت در مورد چین نشان می‌دهد. VKT عبارت است از: خودرو-km-سفر

### عوارض اقتصادی

طیف وسیعی از عوارض اقتصادی منفی در اثر وابستگی شدید جامعه به خودروهای شخصی به وجود می‌آید. شهرهایی که وابستگی زیادی به خودروهای شخصی دارند تمایل دارند به شکل بی-وجود

رویه‌ای در مناطق وسیع گسترده شوند و در نتیجه، در مقایسه با شهرهای فشرده‌ای که دارای سامانه حمل و نقل عمومی پیشرفته هستند، موجب افزایش شدید هزینه زیرساخت‌ها می‌شوند. در شهرهای در حال گسترش بی‌رویه، جاده‌ها، آب، فاضلاب، گاز، برق، تلفن، آمبولانس، گروه‌های آتش‌نشانی، مدارس و بیمارستان‌ها همگی گران‌ترند. طرفداران اینگونه ساختارهای شهری ادعا کرده‌اند که شهرهای وابسته به خودروی شخصی ثروتمندتر هستند و به‌طور تلویحی خودروهای شخصی را عامل این برتری اقتصادی ادعایی معرفی می‌کنند. این تصور توسط متخصصین حمل و نقل شهری پیتر نیومن و جفری کنورثی<sup>۱</sup> مورد چالش قرار گرفته است. این دو، میزان استفاده از خودروی شخصی، بر حسب کیلومتر طی شده بر نفر بر سال، را با میزان ثروت، بر حسب سرانه تولید ناخالص منطقه‌ای<sup>۲</sup> (GRP) سالانه، در ۳۷ شهر که در سال ۱۹۹۰ با یکدیگر تشکیل یک منطقه داده‌اند مقایسه کرده‌اند. هرچند هیچ‌گونه ارتباط قوی‌ای بین این دو موضوع دیده نمی‌شود، اما آشکاراست که شهرهای دارای میزان سرانه ثروت بالاتر (اغلب شهرهای اروپایی و شهرهای ثروتمند آسیایی) در مقایسه با شهرهای واقع در محدوده ثروت متوسط (شهرهای آمریکایی و استرالیایی) دارای میزان پایین‌تری از استفاده از خودروی شخصی هستند [۶].

یک گزارش مشورتی که توسط سازمان محیط زیست استرالیا تهیه شده است اشاره می‌کند

که:

بر خلاف سایر امکانات عمومی، جاده‌ها هنوز به عنوان یک دارایی سرمایه‌ای، که لازم است یک نرخ بازگشت برای آن‌ها به دست آید، در نظر گرفته نمی‌شوند. اگر این‌گونه عمل شود، نه تنها ارزش سرمایه‌ای پل‌ها و آسفالت جاده‌ها در نظر گرفته می‌شود، بلکه ارزش سرمایه‌ای زمینی که به احداث جاده اختصاص داده شده است نیز منظور خواهد شد. نظریه ارزش‌گذاری زمین بر این استوار است که همه زمین‌ها را باید بر اساس هزینه فرصت<sup>۳</sup> ارزش‌گذاری کرد. اعمال این نظریه بر زمین‌های مورد استفاده در جاده‌ها باعث خواهد شد که ارزش زمین مورد نظر با توجه به املاک مجاور آن تعیین شود. [۷]

1 Jeffrey Kenworthy

2 Gross Regional Product

3 Opportunity Cost

زمین‌های بسیار وسیعی که توسط جاده‌ها و پارکینگ‌ها در مراکز شهرها و مراکز محلات پیرامونی شهرها اشغال شده‌اند دارای ارزش بالایی هستند. به عنوان یک نمونه مطالعاتی و با در نظر گرفتن قیمت متوسط زمین‌های شهری و نرخ بهره ۱۰ درصد، من و همکاران سابقم در دانشگاه صنعتی سیدنی دریافتیم که زمین‌هایی که در محدوده شهری سیدنی توسط جاده‌ها و پارکینگ‌ها اشغال شده‌اند در سال ۱۹۹۶ دارای ارزش به‌سال‌شده‌ای در حدود ۳/۵ میلیارد دلار استرالیا (به نرخ دلار سال ۲۰۰۱) بوده‌اند. این نتایج به‌طور کامل جنبه‌های اقتصادی روش‌های مختلف حمل و نقل را دگرگون می‌کنند و باعث می‌شوند که هزینه سفر با خودرو به ۷۲ سنت بر هر مسافر-کیلومتر (¢/pkm)، قطار به ۴۵ ¢/pkm و اتوبوس به ۲۹ ¢/pkm افزایش یابد. بنابراین، در حال حاضر خودروهای شخصی گران‌ترین وسیله برای رفت و آمد شهری هستند، پس از آن قطار قرار دارد و سپس اتوبوس (که کسر کوچکی از زمین و پارکینگ را اشغال می‌کند) ارزان‌ترین روش رفت و آمد شهری است. دارندگان خودروهای شخصی نسبت به این واقعیت آگاه نیستند، چرا که آن‌ها از روشی استفاده می‌کنند که بیشترین یارانه را در شهر سیدنی دریافت می‌دارد [۸].

ارزش زمین تنها هزینه "خارجی" خودروهای موتوری نیست که باید در نظر گرفته شود. هزینه تراکم بالای ترافیکی در واقع هزینه از دست دادن زمان توسط سایر استفاده‌کنندگان از جاده است که به دلیل تصمیم یک دارنده خودروی شخصی مبنی بر انجام سفر بر آن‌ها تحمیل می‌شود. مجدداً، با استفاده از شهر سیدنی به عنوان یک نمونه، هزینه‌های ناشی از تراکم ترافیکی در سال ۲۰۰۵ در حدود ۱۲/۱ میلیارد دلار برآورد شده و پیش‌بینی می‌شود که در صورت تداوم وضعیت فعلی این مبلغ به ۱۶/۶ میلیارد دلار در سال ۲۰۲۰ افزایش یابد [۹]. همین مطالعه برآورد کرده است که هزینه تصادفات در سیدنی در طی سال ۲۰۰۵ معادل ۳/۹ میلیارد دلار، هزینه بیماری‌های ناشی از آلودگی هوا ۱/۲ میلیارد دلار، یارانه‌های پرداختی به اداره جاده‌ها و ترافیک<sup>۱</sup> معادل ۷۰۰ میلیون دلار و هزینه گازهای گلخانه‌ای منتشرشده (با در نظر گرفتن یک نرخ بسیار کم ۱۰ دلاری برای هر تن CO<sub>2</sub> منتشر شده) در حدود ۱۴۵ میلیون دلار بوده است. ارقام و اعداد مربوط به سیدنی را می‌توان از طریق ضرب آن‌ها در چهار با تقریبی خوب به کل استرالیا تعمیم داد. عملیات ساختمانی مربوط به جاده‌ها سالیانه ۷ میلیارد دلار برای استرالیا هزینه دربردارد و بخش عمده این هزینه توسط وسایل حمل و نقل سنگین تحمیل می‌شود [۱۰]. سایر یارانه‌های پرداختی به جاده‌ها و وسایل نقلیه موتوری عبارتند از: برگرداندن

مالیات به استفاده‌کنندگان وسایل نقلیه موتوری، حمایت از صنایع خودروسازی و انواع بودجه‌های پژوهشی و غیرپژوهشی پرداختی [۱۱].

### عوارض اجتماعی

در یک شهر وابسته به خودروی شخصی تا جایی به خودروهای شخصی اتکا می‌شود که تقریباً همهٔ روش‌های حمل و نقل سازگار با محیط زیست، مانند حمل و نقل عمومی، دوچرخه‌سواری و پیاده‌روی کنار گذاشته می‌شوند. یکی از مشخصات چنین شهری تراکم جمعیتی پایین آن و تمایل آن شهر به گسترش بی‌رویه در سطح مناطق وسیع است. در استرالیا، یک مثال افراطی پایتخت آن، کانبرا، است که با دارا بودن ۳۰۰۰۰۰ نفر جمعیت منطقه‌ای معادل محدودهٔ عمومی لندن (با جمعیت ۱۰ میلیون نفر) را اشغال کرده و تراکم جمعیت آن تنها ده نفر در هر هکتار است. دولت محلی ACT، منطقه‌ای که کانبرا در آن واقع شده است، کنترل اندکی را بر روی خودروهای شخصی از طریق حذف پارکینگ‌های مجانی در مرکز شهر کانبرا و مراکز محلات پیرامونی آن و فراهم کردن یک سامانهٔ اتوبوس‌رانی خوب، حداقل در طول روزهای کاری هفته و با توجه به تراکم جمعیت فوق‌العاده پایین و محدودهٔ وسیع شهر، به دست آورده است.

یکی از پیامدهای اجتماعی گسترش بی‌رویهٔ شهرها عبارت است از انزوای طبقات کم‌درآمد در محلات پیرامونی دوردست که دارای امکانات کمتری هستند. کسانی که بیشترین مشکل را دارند عبارتند از پدر و مادران فاقد خودروی شخصی که هزینه‌های فرزندان خردسال خود را تأمین می‌کنند و آن‌هایی که به دلیل کهولت سن، نرسیدن به سن قانونی یا ابتلا به ناتوانی‌های جسمی رانندگی نمی‌کنند.

در محلات پیرامونی شهرهای وابسته به خودروهای شخصی که به مرکز شهر نزدیکترند، جاده‌های اصلی محلات را از یکدیگر جدا می‌کنند و فضای خطرناکی را برای کودکان خردسال به وجود می‌آورند؛ آنقدر خطرناک که امروزه بسیاری از والدین فرزندان خود را شخصاً و با استفاده از خودروی شخصی به مدرسه می‌برند. جاده‌ها، ترافیک و پارکینگ‌ها فضاهای باز عمومی را اشغال می‌کنند. این کار یا به صورت مستقیم یا به صورت غیرمستقیم، از طریق تخریب وضعیت این فضاها با ایجاد سر و صدا یا آلودگی هوا، صورت می‌گیرد.

شهرهای وابسته به خودروی شخصی و در حال گسترش بی‌رویه در برابر سقوط اجتماعی - اقتصادی ناشی از قطع جریان نفت به آن‌ها نیز بسیار آسیب‌پذیرند.

### جمع‌بندی

خودروهای موتوری و زیرساخت‌های مربوط به آن‌ها تا بدانجایی توسعه پیدا کرده‌اند که در حال آسیب رساندن به محیط زیست، بهداشت، جامعه و اقتصاد هستند. یک خدمتکار باارزش تبدیل به یک ارباب تقریباً غیرقابل کنترل، خصوصاً در شهرها، شده است. اینک زمان آن رسیده است که این خدمتکار دوباره تحت کنترل درآید.

### برنامه‌ریزی یکپارچه شهری و سامانه حمل و نقل

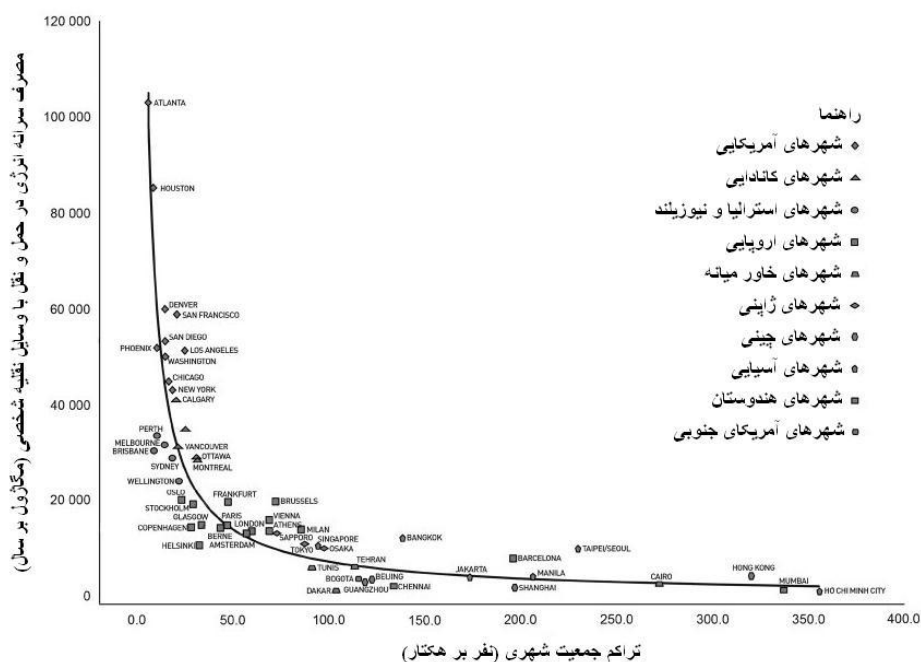
طیفی از عوامل اجتماعی، اقتصادی و فرهنگی بر انتخاب مردم بین حمل و نقل عمومی و حمل و نقل شخصی، که به وسیله سوخت‌های فسیلی یا انرژی انسان به حرکت در می‌آید، اثرگذارند. در عین حال، شواهد موجود دلالت بر این دارند که مهمترین عامل مؤثر در این تصمیم‌گیری، برنامه‌ریزی شهری است [۱۲]. وقتی که چیدمان ساختمان‌های عمومی و شخصی و سایر تأسیسات موجود شرایطی فراهم می‌آورند که رفت و آمد با استفاده از انرژی انسان و یا حمل و نقل عمومی آسان و مقرون به صرفه است، مردم از این گزینه‌ها استفاده می‌کنند. بر عکس، وقتی که جایگزین‌های پاک‌تر در دسترس نیستند، مردم از خودروهای شخصی، بدون توجه به هزینه‌های آن، استفاده خواهند کرد. یک عامل کلیدی در برنامه‌ریزی شهری، تراکم جمعیت، یا به‌طور دقیق‌تر، توزیع جغرافیایی جمعیت نسبت به کانون‌های حمل و نقل (Transfer Nodes) است.

### تراکم شهری و مصرف سوخت

در محله‌های دوردست‌تر برخی از شهرهای آمریکا و استرالیا، تراکم جمعیت، تمرکز مشاغل و درآمد میانگین پایین، و وابستگی به خودروهای شخصی بالاست [۱۳]. در این مناطق خدمات حمل و نقل عمومی ناکافی و نامطلوب هستند. علاوه بر این، اگر به صورت سفر به سفر مقایسه کنیم، خودروهای شخصی ارزان‌تر از حمل و نقل عمومی به نظر می‌رسند - خصوصاً وقتی که همه اعضای خانواده با هم سفر می‌کنند - چرا که استفاده‌کنندگان از جاده‌ها برخی از هزینه‌های اصلی را به‌طور مستقیم پرداخت نمی‌کنند (مثلاً ارزش زمین‌های شهری‌ای که در زیر جاده‌ها و پارکینگ‌ها قرار دارند)

و به این دلیل که هزینه‌های عمده مربوط به خودروهای شخصی، مانند هزینه ثبت پلاک و حق بیمه، صرف نظر از آن که سفری انجام بشود یا نه، باید پرداخت شوند و این هزینه‌ها هم فقط سالی یک بار پرداخت می‌شوند.

شکل ۷-۱- مصرف انرژی بنزین در سفرهای شخصی در برابر تراکم شهری



منبع: نیومن و کنورثی، بانک اطلاعاتی شهرهای جهان، ارتباط شخصی، به‌روزرشده داده‌های قبلی در نیومن و کنورثی (۱۹۹۹)

در نتیجه، تراکم شهری بالاتر، که موجب کوتاه‌تر شدن سفرهای شهری شده و زیرساخت‌های حمل و نقل عمومی را از لحاظ اقتصادی دست‌یافتنی‌تر می‌کند، یکی از راه‌های تشویق استفاده بیشتر از حمل و نقل عمومی است. شکل ۷-۱ با استفاده از داده‌هایی که توسط پیتر نیومن و جفری کنورثی از تعداد زیادی از شهرهای واقع در چهار قاره جهان جمع‌آوری شده‌اند رسم شده است. در این شکل تراکم کلی جمعیت این شهرها و مصرف بنزین آن‌ها نمایش داده شده است. این نمودار نمایانگر میزان وابستگی این شهرها به خودروهای موتوری و میزان انتشار دی‌اکسید کربن آن‌ها در بخش حمل و نقل

است. نتایج مربوط به مقایسه محلات مختلف در داخل یک شهر نیز مشابه همین نتایج است [۱۴]. هرچه تراکم جمعیت یک شهر یا یک محله کمتر باشد، میزان مصرف سرانه بنزین آن بالاتر خواهد بود. شهرها و محلات دارای تراکم جمعیتی بالاتر، می‌توانند اتکای بسیار بیشتری به قطارها، ترامواها، قایق‌های مسافربر، دوچرخه‌سواری و پیاده‌روی داشته باشند و اغلب همینطور هم هستند. وضعیت در اغلب شهرهای اروپایی و تعدادی از شهرهای آسیایی، و در واقع برخی از محلات واقع در شهرهایی در آمریکا و استرالیا، اینگونه است. بر اساس داده‌های موجود، نیومن و کنوورثی دریافته‌اند که وابستگی بسیار بیشتر به خودروهای شخصی همواره زمانی اتفاق می‌افتد که تراکم جمعیتی به سطحی کمتر از ۳۰ تا ۴۰ نفر یا شغل در هکتار کاهش می‌یابد [۱۵].

نیومن و کنوورثی رابطه موجود در شکل ۷-۱ را بر اساس زمان میانگینی که مردم حاضرند صرف سفرهای درون شهری کنند تشریح می‌کنند. آن‌ها دو مقیاس زمانی ویژه را شناسایی می‌کنند: ۱۰ دقیقه پیاده‌روی، که متناظر با طی یک مسافت یک کیلومتری است، زمان قابل قبولی است که مردم برای رفتن به یک ایستگاه حمل و نقل عمومی یا یک مرکز امکانات محلی صرف می‌کنند؛ ۳۰ دقیقه، که زمان میانگین سفر است که مردم برای پیاده‌روی و/یا استفاده از سامانه حمل و نقل عمومی برای رسیدن به خدمات شهری و خصوصاً محل اشتغالشان در یکی از مراکز شهری اختصاص می‌دهند. سپس، این مقیاس‌های ویژه زمانی به عنوان مبنایی برای بهبود طراحی شهری و با هدف کاهش وابستگی به خودروی شخصی، از طریق بازطراحی یک شهر به خوشه‌هایی از ساکنان و مشاغل، استفاده می‌شود.

### خوشه‌ها

نیومن و کنوورثی صورت مسئله را به این صورت مجدداً مطرح می‌کنند:

یک عدم تناسب شدید بین محل زندگی مردم و محل کار آن‌ها به این معنی است که مسافت طی شده در سفرهای روزانه در شهرهای آمریکا و استرالیا بیشتر از شهرهای اروپایی است. در عین حال، تمرکز بالای مشاغل در نواحی مرکزی شهرهای آمریکا و استرالیا ستون فقرات سامانه حمل و نقل عمومی در این شهرها نیز به شمار می‌رود. بنابراین، جابجایی صرف مشاغل از نواحی مرکزی به محلات پیرامونی تضمین‌کننده کاهش مجموع مسافت‌ها نخواهد بود - مگر آن‌که این مشاغل در مناطقی با تراکم

جمعیت بالا قرار گیرند که فعالیت سامانه حمل و نقل عمومی را امکان‌پذیر می‌سازند

[۱۶].

بخش عمده‌ای از راه-حل، بازطراحی و بازسازی یک شهر وابسته به خودروی شخصی به سلسله‌مراتبی از خوشه‌های جمعیتی است. در سطح بالای این سلسله مراتب، شهر دارای تعدادی از "شهرهای ترانزیتی" است که قطر هر یک از آن‌ها ۲۰ تا ۳۰ کیلومتر است. مرکز شهرک‌های واقع در هر یک از این شهرهای ترانزیتی دارای شعاعی در حدود ۳ کیلومتر است، یعنی معادل مسافتی که در طی ۳۰ دقیقه توسط یک عابر پیاده چابک طی می‌شود. بنابراین، چنین مراکزی از نظر ابعاد شبیه شهرهایی هستند که قبل از دوران صنعتی در اروپا و آسیا وجود داشتند و مردم در آن‌ها پیاده‌روی می‌کردند و در حدود ۱۰۰۰۰۰ نفر جمعیت و شغل‌های متناسب را در خود خواهند داشت. این مراکز با استفاده از وسایل سریع حمل و نقل عمومی، ترجیحاً راه آهن سنگین، به یکدیگر و به ناحیه تجاری مرکزی<sup>۱</sup> (CBD) متصل می‌شوند.

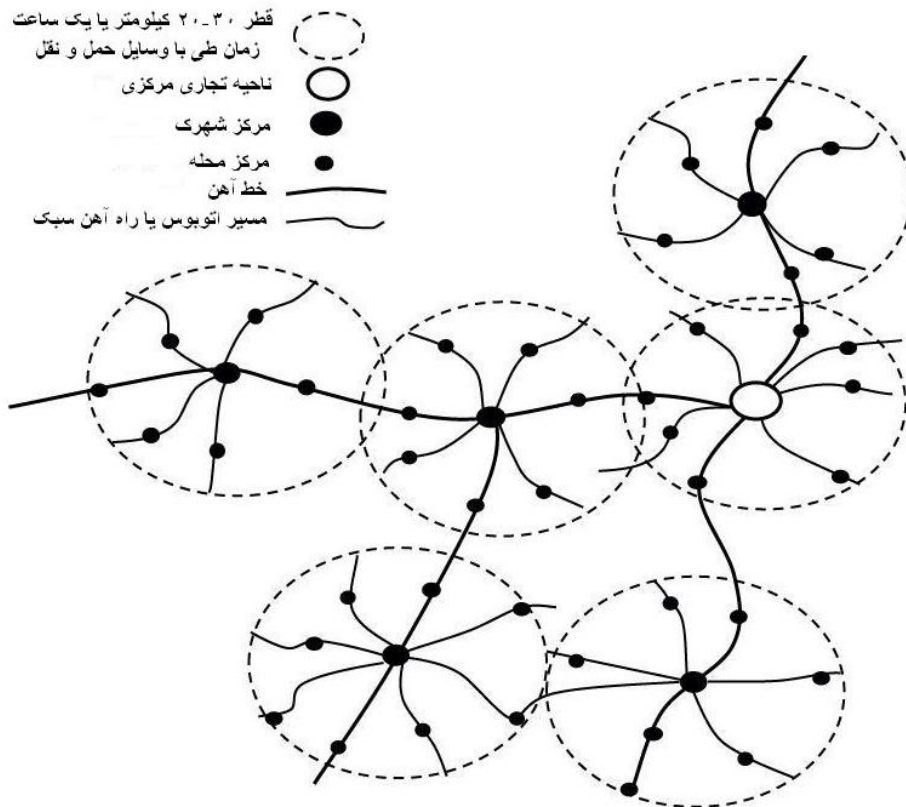
هر شهر ترانزیتی، علاوه بر مراکز شهرک‌ها، دارای چندین مرکز محلی نیز هست که شعاع هر یک از آن‌ها در حدود یک کیلومتر است. این مسافت متناظر با ۱۰ دقیقه پیاده‌روی است و هر یک از این مراکز محلی جمعیتی در حدود ۱۰۰۰۰ نفر و مشاغل متناسب را در خود خواهند داد. در داخل شهرهای ترانزیتی، ساکنان فاصله بین مراکز محلی و بین یک مرکز محلی و مرکز شهرک را با استفاده از اتوبوس، راه آهن سبک یا دوچرخه، بسته به فاصله و توانایی‌های جسمی خود، طی می‌کنند. شکل ۷-۲ یک طرح مفهومی متعلق به نیومن و کنورثی برای بازسازی یک شهر فرضی با استفاده از اصول بالا را نشان می‌دهد [۱۷]. توزیع شهرهای ترانزیتی به نظر می‌رسد که متناظر با مراکز پیرامونی شهر سیدنی در استرالیا است. یک نسخه ابتدایی از ایده سلسله مراتب خوشه‌ها، بدون در نظر گرفتن فاصله‌های ویژه، در کتاب "بذرهایی برای تغییر"<sup>۲</sup> نوشته دבורا وایت<sup>۳</sup> و همکارانش ارائه شده بود [۱۸].

1 Central Business District

2 Seeds for Change

3 Deborah White

شکل ۲-۲- یک طرح مفهومی برای بازطراحی یک شهر وابسته به خودروی شخصی [۱۷]



در حال حاضر حجم قابل توجهی از مبانی نظری و تجربیات عملی در ارتباط با مراکز محلی وجود دارد. این مراکز گاهگاهی "ساخت و سازهای فشرده"<sup>۱</sup> یا "روستاها شهری"<sup>۲</sup> نیز نامیده می-شوند. این مبانی نظری و تجربیات عملی با جزئیات بیشتری توسط مؤسسه سیاست حمل و نقل ایالت ویکتوریا<sup>۳</sup> [۱۹] و در بسیاری از آثار نیومن و کنورثی [۲۰] مورد بحث قرار گرفته‌اند. این مراکز محلی در شهرهای اروپایی بسیار پرطرفدارند و در حال ظاهر شدن در آمریکای شمالی و حتی چین، که دارای تراکم جمعیتی به مراتب بیشتر از کشورهای غربی است، هستند. مشخصات کلیدی مراکز محلی عبارتند از:

1 Compact Developments  
 2 Urban Villages  
 3 Victoria Transport Policy Institute

- استفاده ترکیبی از زمین، که در آن دفاتر تجاری و مغازه‌ها در مسیرهای اصلی قرار گرفته و کاربری‌های مسکونی آن‌ها را احاطه کرده‌اند.
  - ساختار فشرده با تراکم بالا، که همه بخش‌های خوشه در فاصله قابل پیاده‌روی واقع شده‌اند.
  - وجود جمعیت کافی برای استفاده از امکانات موجود اجتماعی، از قبیل مغازه‌ها، یک مدرسه ابتدایی، خدمات حرفه‌ای و دفاتر اداری.
  - فضاهای عمومی، با جنبه‌های طراحی پیشرفته (آب، مبلمان خیابانی، زمین‌های بازی و غیره) [۲۱] که دسترسی به آن‌ها با خودروی شخصی دارای محدودیت است. پارکینگ‌ها معمولاً یا در زیرزمین و یا در محیط اطراف خوشه قرار دارند.
  - متصل شده به بقیه بخش‌های شهر با استفاده از سامانه‌های حمل و نقل عمومی، ترجیحاً راه‌آهن سبک یا سنگین.
  - علاوه بر این، مراکز محلی ممکن است برخی از جنبه‌های ویژه زیر را نیز داشته باشند:
  - طراحی گسترده فضاهای سبز، شامل باغ‌هایی بر فراز ساختمان‌ها و در بالکن‌ها، و باغ‌های میوه و سبزیجات،
  - ترکیبی از خانه‌های شخصی و عمومی، با تأکید بر سکونت خانوادگی و در نتیجه فضاهای داخلی بسیار بزرگ،
  - فضاهای پیش‌بینی شده وسیع برای کودکان و در دیدرس آسان منازل،
  - امکانات شهری از قبیل کتابخانه‌ها، مهد کودک، سرای نگهداری سالمندان، و در برخی از موارد، مزارع کوچک شهری،
  - مسیرهای مخصوص عابر پیاده و پارکینگ‌های زیرزمینی و نصب سرعت‌گیرها و ابزارهای مشابه برای کاستن از سرعت تردد در جاده‌های حاشیه‌ای.
- بسیاری از شهرهای اروپایی در مسیر تکامل خود این خوش‌اقبالی را داشته‌اند که از شهرهای فشرده قابل پیاده‌روی شروع کنند، سپس ناحیه داخل شهر را با استفاده از راه‌آهن سبک یا مترو توسعه دهند، سپس با استفاده از راه‌آهن سنگین در امتداد مسیرهای شعاعی به سمت بیرون گسترش یابند و در نهایت محلات پیرامونی وابسته به خودروی شخصی را به خارج از شهر بیفزایند. در نتیجه، این شهرها از ابتدا ساختار پایه‌ای لازم که تشویق‌کننده پیاده‌روی، دوچرخه‌سواری و استفاده از حمل و نقل عمومی است را در اختیار داشته‌اند و بدین ترتیب نیازمند سرانه پایینی در استفاده از خودروهای

شخصی هستند. امروزه بسیاری از شهرهای اروپایی به الگوهایی برای فرایند بسیار دشوارتر تبدیل مورد نیاز در آمریکای شمالی و استرالیا، و شهرهایی در آسیا که وابسته به خودروی شخصی هستند، بدل شده‌اند. به عنوان مثال، شهرک خورشیدی جدید Vauban در فرایبورگ (آلمان) از طریق راه آهن سبک در دسترس است و پارکینگ خودروهای شخصی را پرهزینه و محدود به حاشیه شهرک کرده است. طرح‌های جدید ساخت و ساز مسکن در استکهلم (سوئد) باید در فاصله قابل پیاده‌روی از یک ایستگاه قطار قرار داشته باشند و برنامه‌های توسعه‌ای کلانی برای راه آهن شهری-شهرکی و اتوبوس-های روستایی طراحی شده‌اند [۲۲]. مثال‌های سازنده زیادی در مورد شهرهای مقاوم در آثار پیتر نیومن و همکارانش، که در این فصل مورد استناد قرار گرفتند، ذکر شده‌اند.

### تضعیف فرهنگ خودروهای شخصی

روش سنتی در برنامه‌ریزی حمل و نقل - احداث یا تعریض جاده‌های اصلی و فراهم آوردن تعداد زیادی فضاهای پارکینگ در مراکز شهری - بر این باور غلط مبتنی بود که این کارها ابزارهای مؤثری برای کاستن از تراکم ترافیک هستند. در عمل، پس از کاهش اولیه مختصری در تراکم ترافیک، جاده‌های جدید و جاده‌های بهبودیافته تعداد بیشتری از خودروهای شخصی را به سمت خود جذب می‌کنند. به‌طور مشابه، احداث فضاهای پارکینگ بیشتر در مقاصد اصلی مسافرت‌های شهری، تعداد بیشتری از افراد را به استفاده از خودروی شخصی برای رسیدن به آن مقاصد تشویق می‌کند. پدیده "رشد القاشده ترافیک"<sup>۱</sup> اینک توسط بسیاری از برنامه‌ریزان شهری به رسمیت شناخته شده است. این برنامه‌ریزان به این مشکل از طریق بستن خطوطی در جاده‌های اصلی و جایگزینی آنها با راه آهن سبک یا خطوط دوچرخه‌سواری یا محل‌های عبور عابران پیاده، دریافت عوارض تراکم ترافیک برای ورود خودروها به مراکز شهرها (مثلاً لندن، استکهلم و سنگاپور)، کاهش تعداد فضاهای پارکینگ در مراکز شهری و هم‌زمان افزایش فضاهای پارکینگ برای خودروهای شخصی و دوچرخه‌ها در ایستگاه‌های قطار واقع در شهرک‌های پیرامونی و دریافت هزینه‌هایی از محل‌های پارکینگ باقیمانده که منعکس‌کننده ارزش زمین است پاسخ داده‌اند.

سایر راه‌بردهایی که برای کاهش انگیزه استفاده از خودروهای شخصی در دسترس هستند

عبارتند از:

1 Induced Traffic Growth

- فراهم کردن اتوبوس‌های شاتل به و از کانون‌های عمده حمل و نقل عمومی،
- چاپ نقشه‌های سامانه حمل و نقل عمومی بر روی بلیط‌ها و اقلام تبلیغاتی،
- اهدای جوایزی به استفاده‌کنندگان از سامانه حمل و نقل عمومی،
- فراهم کردن شبکه‌هایی از خطوط ایمنی برای دوچرخه‌سواری،
- حصول اطمینان از اینکه محل‌های برگزاری رویدادهای عمده ورزشی و فرهنگی به خوبی توسط سامانه حمل و نقل عمومی خدمات‌دهی می‌شوند.

### روانشناسی اجتماعی رفتار سفر

یک عنصر بسیار مهم که در حال حاضر موجب تقویت فرهنگ استفاده از خودروی شخصی می‌شود، اثرگذاری اجتماعی است. این اثرگذاری اجتماعی در قالب پیام‌هایی رخ می‌دهد که مردم از تبلیغات تجاری، رسانه‌ها، فیلم‌ها و دوستانشان دریافت می‌کنند. این پیام‌ها چنین القا می‌کنند که خودروی شخصی طبیعی‌ترین و مطلوب‌ترین روش رفت و آمد است. به منظور جلب حمایت عموم و تصمیم‌گیرندگان در خصوص انتقال از خودروهای شخصی به حمل و نقل عمومی و فعال، بایستی از غلبه این پیام‌ها کاسته شود. با استفاده از متون جامعه‌شناسانه و روان‌شناسانه مرتبط با اثرگذاری اجتماعی بر رفتار، یک دانشجوی دکتری به نام ژاکلین هیکس<sup>۱</sup> این پیام‌ها را تجزیه و تحلیل کرده، یک چهارچوب مفهومی ابداع نموده و این چهارچوب را بر روی مسئله تشویق مردم به انتخاب روش‌های عمومی و/یا فعال حمل و نقل شهری به جای خودروهای شخصی پیاده‌سازی کرده است. او راه‌بردهایی را توصیه می‌کند که این موارد را در نظر می‌گیرند: روش‌های به تصویر کشیدن استفاده از سامانه حمل و نقل توسط پیام‌ها، میزان شیوع استفاده از سامانه حمل و نقل، سطح دسترسی مردم به روش‌های گوناگون در سامانه حمل و نقل، به چهارچوب کشیدن مسائل سامانه حمل و نقل و راه‌حل‌ها و مسئولیت‌های مربوط به آن، به تصویر کشیدن حسی از انصاف و قدرت و روشی که پیام‌ها منجر به توانایی سروکله زدن با پیچیدگی و تنوع سامانه حمل و نقل می‌شوند. او همچنین برخی از تجربیات به دست آمده در خلال یک کارزار عمومی موفقیت‌آمیز برای کاهش استفاده از دخانیات در استرالیا را بر رفتار ترددی مردم اعمال می‌کند [۲۳].

1 Jacqueline Hicks

## خودروها و سوخت‌های بهبود یافته

### فناوری‌های خودرویی بهبود یافته

در طی یکی دو دهه گذشته پیشرفت‌های چشمگیری در طراحی خودروهای موتوری در جهت کاهش مصرف سوخت در هر کیلومتر و از طریق کاهش مقاومت بدنه خودرو در برابر هوا و استفاده از موتورهایی با بازده‌های بالاتر در مصرف سوخت به دست آمده است. استانداردهای اجباری در خصوص بازده سوختی مورد نیازند تا این فرایند بیشتر به جلو رانده شود.

در عین حال، پتانسیل بهبود بازده سوختی محدود است و مجموع بهبودهایی که تا به حال در زمینه بازده سوختی حاصل شده است نیز به دلیل افزایش تعداد خودروهای موجود بی‌اثر شده است. گرچه که استفاده از خودروهای شخصی را می‌توان با به‌کارگیری سیاست‌هایی که در بخش "برنامه-ریزی یکپارچه شهری و سامانه حمل و نقل" پیشنهاد شدند کاهش داد، اما همواره به تعدادی خودروی موتوری، حتی در شهرهایی که دارای امکانات عالی برای حمل و نقل عمومی و فعال هستند، نیاز خواهد بود. برای برخی از سفرها، برخی از اهداف و برخی از مردم هیچ جایگزین عملی‌ای به جای خودروی موتوری برای تردد شخصی یا حمل کالاها وجود ندارد.

در حال حاضر، بهترین راه حل ممکن شهری برای این وضعیت عبارت است از استفاده از خودروهای ترکیبی، خودروهای ترکیبی پلاگین<sup>۱</sup> و خودروهای کاملاً برقی که با استفاده از الکتریسیته تجدیدپذیر شارژ شده‌اند. خودروهای ترکیبی دارای دو یا تعداد بیشتری سامانه‌های معجزای پیشران هستند، معمولاً یک موتور درون‌سوز که از سوخت‌های مایع یا گازی استفاده می‌کند و موتورهای الکتریکی‌ای که توسط باتری‌ها تغذیه می‌شوند. موتورهای الکتریکی اغلب در شرایط رانندگی توقف-حرکت در شهرها استفاده می‌شوند چرا که در این شرایط بازده موتورهای الکتریکی بسیار بالاتر از بازده موتورهای بنزینی یا دیزلی است. باتری‌های خودروهای برقی ترکیبی<sup>۲</sup> (HEV) توسط بنزین یا گازوییل، در شرایطی که خودرو با سرعت ثابتی در حال حرکت است، و یا با استفاده از سامانه ترمز بازیاب انرژی<sup>۳</sup> شارژ می‌شود. سامانه ترمز بازیاب بخشی از انرژی‌ای که در فرایند کاهش

1 Plug-in Hybrid

2 Hybrid Electric Vehicle

3 Regenerative Braking

سرعت خودرو تلف می‌شود را بازیابی می‌کند. خودروی برقی ترکیبی پلاگین<sup>۱</sup> (PHEV) دارای برد بیشتری در مقایسه با HEV ساده است که در نتیجه صرف هزینه بیشتر برای نصب باتری‌های ذخیره‌ساز بزرگ‌تر به دست می‌آید. این باتری‌ها را می‌توان با اتصال آن‌ها به شبکه برق، وقتی که خودرو پارک شده است، و نیز به روشی که باتری خودروهای HEV شارژ می‌شوند، شارژ مجدد کرد. خودروی مدل Chevy Volt یک خودروی PHEV با برد طولانی است که موتور بنزینی آن کار پیش راندن خودرو را، وقتی که باتری‌ها در حد مجاز تخلیه شده‌اند، بدون وقفه بر عهده می‌گیرد. برای اغلب رانندگان شهری که به ندرت در هر سفر بیش از ۵۰ کیلومتر طی می‌کنند، خودروهای کاملاً برقی<sup>۲</sup> (EV) روز به روز طرفدارتر می‌شوند. در واقع، در آمریکا در طول نیمه اول سال ۲۰۱۳ تعداد EV فروخته شده بیش از تعداد PHEV به فروش رسیده بود [۲۴]. علیرغم برد محدودشان، EVها دارای این مزیت هستند که از سادگی یک سامانه پیش‌ران کاملاً الکتریکی برخوردارند، اغلب گزینه مناسبی به عنوان خودروی دوم خانواده به شمار می‌روند و به عنوان تنها خودروی خانواده، برای خانواده‌ها و افرادی که ترجیح می‌دهند موارد نادر سفرهای شهری طولانی خود را با استفاده از تاکسی و یا سامانه حمل و نقل عمومی انجام دهند، نیز خریداری می‌شوند.

در کشورهایی که نیروگاه‌های زغال‌سنگی سهم بزرگی در سبد تولید برق دارند، شارژ کردن باتری خودروهای برقی از شبکه برق ممکن است تأثیر ناچیزی بر کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای، در مقایسه با استفاده از خودروهای بنزینی یا دیزلی، داشته و یا اصولاً تأثیری نداشته باشد. این وضعیت در حال حاضر در لهستان، آفریقای جنوبی، استرالیا (به جز جزیره تاسمانیا) و چین مشاهده می‌شود. یک راه‌حل برای این مشکل عبارت است از خرید توان سبز<sup>۳</sup>، به شرطی که چنین طرح‌هایی وجود داشته باشند. این کار مستلزم پرداخت مقدار اندکی پول بیشتر به خرده‌فروشان انرژی الکتریکی در ازای دریافت الکتریسیته تجدیدپذیر تأیید شده است.

حمایتی که از سوی دولت‌های محلی و بنگاه‌های تجاری برای EVها و PHEVها مورد نیاز است عبارت است از پیش‌بینی نقاط شارژ مناسب در پارکینگ‌های واقع در مراکز شهرها و شهرک‌ها که الکتریسیته تجدیدپذیر را به این خودروها به فروش برسانند. این موضوع مصداق بارزی از مسئله مرغ یا تخم مرغ است: در غیاب شبکه‌ای از نقاط شارژ، اغلب مردم خودروهای الکتریکی نخواهند

1 Plug-in Hybrid Electric Vehicle

2 All-Electric Vehicle

3 Green Power

خرید اما تا زمانی که به اندازه کافی خودروی الکتریکی در جاده‌ها نباشد، دولت‌ها و بنگاه‌های تجاری نیز تمایلی به احداث تعداد زیادی نقاط شارژ نخواهند داشت.

برای سفرهای طولانی جاده‌ای که در مسیر آن‌ها تأسیسات شارژ سریع یا تعویض باتری EVها وجود ندارد در حال حاضر تنها جایگزین ممکن سوخت‌های زیستی به نظر می‌رسند. مشوق‌های دولتی برای تحقیق، توسعه و انجام پروژه‌های آزمایشی در زمینه تولید سوخت‌های زیستی کارآمد و از نظر زیست‌محیطی پایدار مورد نیاز هستند.

### سوخت‌های مایع و گازی از منابع تجدیدپذیر

برای خودروهای موتوری مبتنی بر سوخت، موتورهای ثابت و توربین‌های گازی، انرژی در داخل پیوندهای شیمیایی سوخت ذخیره می‌شود. سوخت می‌تواند فسیلی باشد - به عنوان مثال: بنزین، گازوئیل، گاز مایع<sup>۱</sup> (LPG) یا گاز طبیعی مایع<sup>۲</sup> (LNG) - یا سوخت تجدیدپذیر حاصل از زیست-توده باشد - مانند: اتانول، متانول، بوتانول، بیودیزل یا بیوگاز. یک مشخصه مهم یک سوخت، یا هر حامل ذخیره‌ساز انرژی دیگر، چگالی انرژی است که یا بر حسب انرژی ذخیره‌شده در کیلوگرم (kg) یا انرژی ذخیره شده در متر مکعب (m<sup>3</sup>) منبع بیان می‌شود. بالا نگه داشتن چگالی انرژی در هر متر مکعب، تا جایی که ممکن باشد، برای خودروها مهم است اما برای موتورهای ثابت به آن اندازه مهم نیست. همان‌طور که در جدول ۷-۲ نشان داده شده است، اتانول دارای چگالی انرژی بسیار کمتری نسبت به بنزین است. متانول دارای چگالی انرژی در حدود نیمی از چگالی انرژی بنزین است، اما این عیب تا حدودی به دلیل این واقعیت که متانول با بازدهی بیشتری نسبت به بنزین در موتور می‌سوزد جبران می‌شود. در واقع از متانول به عنوان سوخت برخی از خودروهای مسابقه‌ای استفاده می‌شود.

1 Liquefied Petroleum Gas  
2 Liquefied Natural Gas

جدول ۲-۷- چگالی انرژی سوخت‌های مایع و گازی گوناگون [۲۵]

چگالی انرژی		سوخت	فسیلی یا تجدیدپذیر
MJ/L	MJ/kg		
۳۳	۴۶	بنزین، گازوئیل، نفت سفید	فسیلی
۲۵-۲۸	۵۰	گاز مایع	
۰/۰۳۸-۰/۴۰۰	۵۳	گاز طبیعی در فشار اتمسفر	
۸-۱۱	۵۳	گاز طبیعی فشرده شده	
۱۶	۲۰	متانول	تجدیدپذیر
۲۳	۳۰	اتانول	
۳۴	۴۰	بیودیزل	
۱/۹-۲/۷	۱۲۰	H <sub>2</sub> گازی	
۸/۷	۱۲۰	H <sub>2</sub> مایع	
۵-۱۵	۲-۹	H <sub>2</sub> متال هیدرید	

سوخت‌های زیستی مایع یا گازی را می‌توان به راحتی برای ماه‌ها و حتی سال‌ها ذخیره کرد بدون آن‌که تلفات ماندگاری چندانی داشته باشند. در این وضعیت‌ها، می‌توان از زیست‌توده برای تولید الکتروسیته، گرمایش صنعتی، موتورهای ثابت یا خودروهای موتوری استفاده کرد. تنها عامل محدودکننده در حال حاضر عبارت است از میزان محدود پسماندهای زیست‌توده از فعالیت‌های کشاورزی و جنگل‌داری. این محدودیت با توجه به این که تقاضا برای این پسماندها برای استفاده در حمل و نقل جاده‌ای و هوایی، تولید مواد شیمیایی، از جمله کودهای شیمیایی، و تولید فولاد ممکن است بالا باشد، چشمگیرتر می‌شود. روش نسل اولی موجود برای تولید سوخت‌های زیستی (مانند اتانول) از تخمیر و تقطیر مواد قندی ناکارآمد است و در نتیجه، در صورتی که این روش در مقیاس وسیعی به کار گرفته شود ممکن است بر سر استفاده از زمین‌های موجود با صنایع تولید مواد غذایی به رقابت برخیزد. نسل دوم روش‌های تولید سوخت‌های زیستی از اجزاء چوبی-سلولزی گیاهان از نظر میزان محصول در هکتار بسیار کارآمدتر است اما این صنعت هنوز یک صنعت بالغ نیست.

هیدروژن و متانول حامل‌های انرژی هستند و نه انواع اولیه‌ای از انرژی و در نتیجه، روش تولید آن‌ها برای یک سامانه انرژی کم کربن بسیار مهم است. در حال حاضر، روش اصلی تولید هیدروژن از

منابع انرژی تجدیدپذیر از طریق الکترولیز آب است. این فرایند دارای بازدهی در حدود ۷۰ درصد است. تحقیقات برای یافتن روش‌های جایگزین تولید هیدروژن، که کم‌کربن و دارای مصرف انرژی پایین باشند، مثل تولید از جلبک‌ها و باکتری‌هایی که تحت مهندسی ژنتیک قرار گرفته‌اند، در جریان است. از آنجایی که هیدروژن در فشار اتمسفر دارای چگالی حجمی پایینی است، برای آن که بتوان آن را در یک مخزن با حجم متوسط ذخیره کرد لازم است که فشرده شود. در حال حاضر مخازن ذخیره-ساز تجاری هیدروژن گازی می‌توانند فشارهایی معادل ۲۰ تا ۳۰ میلیون پاسکال (MPa) را تحمل کنند. این فشار تقریباً متناظر با ۲ تا ۳ مگاژول انرژی در هر لیتر (MJ/L) است که تنها معادل چند درصد از چگالی انرژی نفت محسوب می‌شود. تحقیقات اخیر نشان می‌دهند که امکان افزایش فشار تا ۷۰ MPa از طریق استفاده از مواد کامپوزیت مانند فیبرهای کلواری<sup>۱</sup> وجود دارد. هیدروژنی که به صورت مایع در یک مخزن برودتی ذخیره شده است دارای چگالی حجمی انرژی بالاتری است، اما چگالی انرژی آن هنوز هم از چگالی انرژی بنزین پایین‌تر است. به علاوه، این نوع هیدروژن به مخزن سنگین‌تری نیاز دارد. به دلیل میزان بالای انرژی‌ای که برای فشردن و مایع‌سازی گاز هیدروژن مورد نیاز است، بهره‌وری انرژی کل فرایند تولید و ذخیره‌سازی هیدروژن بسیار پایین‌تر از بهره‌وری انرژی بنزین است. همه روش‌های دیگر ذخیره‌سازی و حمل هیدروژن دارای چگالی‌های انرژی بر مترمکعب بسیار پایین‌تری هستند و در نتیجه برای استفاده در خودروهای کوچک (یعنی خودروهای شخصی و موتورسیکلت‌ها) مناسب نیستند. در عین حال، از این روش‌ها می‌توان در خودروهای بزرگ، از قبیل کامیون‌ها و اتوبوس‌ها و منابع ثابت انرژی، استفاده کرد [۲۶].

کارآمدترین روش برای استفاده از هیدروژن به عنوان یک سوخت در خودروهای بزرگ عبارت است از ترکیب هیدروژن با اکسیژن موجود در جو در یک رآکتور شیمیایی که پیل سوختی نام دارد. در پیل سوختی، الکتروسیته (به علاوه آب و گرما) تولید می‌شود که می‌توان از آن برای پیش راندن خودروها با استفاده از موتورهای الکتریکی استفاده کرد. بازده پیل‌های سوختی در حدود ۴۰ تا ۶۰ درصد است. این میزان برای موتورهای درون‌سوز در حدود ۲۵ درصد است. در عین حال، پیل‌های سوختی از نظر بلوغ فناوری هم در مرحله توزیع اولیه بوده و گران قیمت هستند. تعداد کمی از اتوبوس‌های مجهز به پیل سوختی در تعدادی از کشورها به کار گرفته شده‌اند اما هنوز هیچ خودروی

1 Kelvar Fibers

شخصی‌ای مجهز به پیل سوختی نیست. واضح است که استفاده وسیع از هیدروژن به عنوان یک حامل انرژی‌های تجدیدپذیر هنوز چندان در دسترس نیست.

متانول به عنوان سوخت خودروی موتورهای نسبت به هیدروژن مزایایی دارد. در واقع متانول تولید شده از متان موجود در گاز طبیعی به راحتی به عنوان یک سوخت دارای اکتان بالا در برخی از خودروهای مسابقه‌ای استفاده می‌شود. از متانول می‌توان در خودروهای معمولی نیز، با اندکی تغییرات در موتورها و سامانه سوخت رسانی آن‌ها، استفاده کرد. متانول در مقایسه با اتانول سمی‌تر، اسیدی‌تر و خورنده‌تر است و نیاز به مخزن بزرگتری برای عرضه میزان مشخصی از انرژی دارد، اما با همه این احوال قادر به جایگزینی صددرصدی بنزین است. در عین حال، تولید متانول از سوخت‌های فسیلی از نقطه نظر انتشار گازهای گلخانه‌ای مقبول نیست. خوشبختانه قدیمی‌ترین روش تولید آن، از یک منبع انرژی تجدیدپذیر، یعنی چوب، است - در واقع متانول زیستی قبلاً "الکل چوب" نامیده می‌شد. متانول را می‌توان از طریق یک فرایند کم کربن با گازی کردن زیست‌توده و تولید یک گاز سنتز، که ترکیبی است از مونوکسید کربن (CO) و هیدروژن (H<sub>2</sub>)، تولید کرد. این گازها از طریق یک کاتالیست با یکدیگر واکنش انجام داده و متانول تولید می‌کنند. به صورت نظری، اگر در مخزن سوخت خودروی خود متانول داشته باشید می‌توانید آن را مستقیماً در یک پیل سوختی متانولی به الکتریسیته تبدیل کنید، اما این کار دارای بازده کافی نیست و مانند پیل سوختی هیدروژنی گران قیمت است. ضایعات تولید شده توسط پیل سوختی متانولی، گاز CO<sub>2</sub> و آب است. در عین حال دی‌اکسید کربنی که از طریق فتوسنتز جذب شده و باعث رشد دوباره زیست‌توده می‌شود موجب خنثی شدن دی‌اکسید کربن منتشر شده می‌شود، مشروط بر آن‌که نرخ استفاده از متانول بیشتر از نرخ جذب CO<sub>2</sub> در فرایند فتوسنتز نباشد.

دانشمندان استرالیایی بارنی فوران<sup>۱</sup> و کریس ماردون<sup>۲</sup> سناریویی طراحی کرده‌اند که بر اساس آن جنگل‌هایی بر روی اراضی نیمه‌بایر کاشته می‌شوند تا برای تولید متانول زیستی و/یا اتانول زیستی قابل مصرف در خودروهای موتوری در مقیاس بالا مورد استفاده قرار گیرند. این سناریو بازسازی زمین را با تولید سوخت ترکیب می‌کند و شایسته بررسی جدی است. غلات سالیانه دارای ریشه‌های عمیق پرورش داده می‌شوند تا فعالیت زیست‌بوم‌هایی که یا از بین رفته و یا غیر فعال هستند را تقلید

1 Barney Foran  
2 Chris Mardon

کنند. این غلات نشت آب و مواد مغذی که امروزه در شور شدن اراضی خشک و اسیدی شدن خاک در استرالیا نقش دارند را متوقف می‌سازند. علاوه بر سوخت‌های مایع، محصولات جانبی با ارزش این سناریو می‌توانند شامل مواد شیمیایی، پلاستیک، روغن موتور، حل‌کننده‌ها، رنگ‌ها، مصالح ساختمانی و فراورده‌های نشاسته‌ای و پروتئینی باشند [۲۷].

### حمل و نقل بین شهری

برای سفرهای بین شهری، راه آهن پرسرعت<sup>۱</sup> (HSR) دارای این مزایاست که مراکز شهرها را به یکدیگر متصل می‌کند، فضای بیشتری برای مسافران فراهم می‌آورد، استفاده مکرر از تلفن همراه را ممکن می‌سازد (به جز در واگن‌هایی که به عنوان "واگن آرام" طراحی شده‌اند)، دسترسی به WiFi را امکان‌پذیر می‌نماید و مسافران را در معرض تشعشعات یونیزه‌کننده کیهانی بسیار کمتری در مقایسه با سفرهای هوایی قرار می‌دهد. برای مسافت‌هایی تا حدود ۶۰۰ کیلومتر، زمان مسافرت از نقطه شروع تا نقطه پایان برای این قطارها با زمان مسافرت هوایی تقریباً یکسان است. HSR در ژاپن، چین و اروپا بسیار متداول است اما سرمایه‌گذاری در HSR در آمریکای شمالی و استرالیا هنوز انجام نشده و بسیار عقب است.

### نشانه‌های امیدوارکننده‌ای از تغییر

مشابه وضعیت عرضه و تقاضای انرژی، نشانه‌های اولیه‌ای از تغییر به سمت یک مسیر توسعه پایدار مشاهده می‌شود. هرچند که استفاده از خودروهای شخصی در مقیاس جهانی همچنان رو به افزایش است، اما این نرخ رشد به‌طور پیوسته‌ای طی دهه‌های اخیر در کشورهای توسعه‌یافته در حال کاهش بوده است. نیومن و کنورثی با استفاده از داده‌های پایگاه داده شهرهای جهانی خودشان نشان داده‌اند که نرخ رشد سرانه خودرو-کیلومتر در شهرهای کشورهای در حال توسعه از ۴۲ درصد در دهه ۷۰-۱۹۶۰ به ۵ درصد در دهه ۲۰۰۵-۱۹۹۵ کاهش یافته است [۲۸]. در شهرهای آمریکا، که بالاترین سرانه استفاده از خودروی شخصی جهان را دارد (رک شکل ۷-۱)، رشد سرانه استفاده از خودروی شخصی در سال ۲۰۰۰ به سمت صفر میل کرد و از سال ۲۰۰۵، بر حسب مقادیر مطلق، رو

1 High-speed Rail

به کاهش نهاد [۲۹] و در همان حال استفاده از حمل و نقل عمومی رو به افزایش گذاشت. در شهرهای استرالیا، کشور دارنده دومین سرانه استفاده از خودروی شخصی در دنیا، این کاهش نرخ رشد از سال ۲۰۰۳-۰۴ آغاز شد. هم در آمریکا و هم در استرالیا این کاهش نرخ رشد قبل از افزایش قیمت‌های نفت در سال ۲۰۰۷ و ۲۰۰۸ اتفاق افتاد. پیش‌بینی خدمات ریلی جدیدتر و پیشرفته‌تر در استرالیا احتمالاً در این موضوع مؤثر بوده است [۳۰].

در برخی از شهرهای عمده کشورهای به سرعت در حال توسعه، توسعه ناپایدار و پایدار دوشادوش هم در جریانند. در حالی که استفاده از خودروهای شخصی در این شهرها به سرعت در حال افزایش است، ترافیک سنگین، آلودگی صوتی و آلودگی هوا برای شهروندان غیرقابل تحمل شده است. این موضوع موجب رشد سریع حمل و نقل عمومی شده است. در چین، ۸۲ شهر در حال احداث مترو هستند و در ده‌ها شهر دیگر راه آهن سبک به شبکه افزوده شده است. متروی شانگهای به ۱۳ خط افزایش یافته که بخش عمده آن پس از سال ۲۰۰۰ ساخته شده و روزانه ۸ میلیون سفر شهری در آن انجام می‌شود. قطار بین شهری سریع در چین با شتاب در حال گسترش است و در نتیجه برخی از خطوط هوایی موجود بین این شهرها در حال تعطیل شدن هستند. این موضوع امیدوارکننده است چرا که از نقطه نظر انتشار گازهای گلخانه‌ای، حمل و نقل هوایی داخلی باید به جز در کشورهای پهناور متوقف شود. هندوستان در حال احداث مترو در ۱۶ شهر است. برخی از شهرهای خاورمیانه در حال ساخت خطوط ریلی برای اولین بار هستند [۳۱].

امروزه شمار در حال افزایشی از برنامه‌ریزان شهری نیاز به افزایش چگالی جمعیت، در طول روز و شب و در اطراف ایستگاه‌های حمل و نقل عمومی، را به رسمیت شناخته‌اند. در حقیقت توسعه مبتنی بر حمل و نقل به‌طور هم‌زمان موجب افزایش تعداد مسافران سامانه حمل و نقل عمومی و ایجاد منبعی برای تأمین منابع مالی مورد نیاز سامانه‌های حمل و نقل عمومی می‌شود. در عین حال، صاحبان خانه‌های بزرگ که به مواهب داشتن قطعه‌های بزرگ زمین در داخل شهرها عادت کرده‌اند هنوز هم در برابر افزایش چگالی جمعیت مقاومت می‌کنند.

## نتیجه‌گیری

بسیاری از شهرهای ما جزو عوامل بزرگ توسعه ناپایدار هستند. آنها در حقیقت موجب تغییرات آب و هوایی، آلودگی هوا، آب و خاک و بیماری‌های برخاسته از آن، از دست رفتن زمین‌های ارزشمند برای احداث جاده‌ها و پارکینگ‌ها و انزوای اجتماعی افراد می‌شوند. این شهرها هزینه‌های اقتصادی فراوانی را برای تأمین زیرساخت‌های شهری در محلات دوردست خود بر شهروندان تحمیل می‌کنند. این شهرها در برابر اوج فعلی تولید جهانی نفت آسیب‌پذیرند. عامل اصلی این مشکلات وابستگی شدید به خودروهای موتوری است. با این وجود، با حمایت اجتماعی و اراده سیاسی می‌توان این شهرها را به محیط‌های سالم و قابل سکونت تبدیل کرد.

ما می‌توانیم و باید از بذرهایی که کاشته شده و اینک در حال جوانه زدن هستند برای تغییر و بازسازی شهرهایمان استفاده کنیم به گونه‌ای که شهروندان تعداد کمتری مسافرت شهری انجام داده و اکثریت سفرهای شهری نیز با استفاده از سامانه حمل و نقل عمومی، دوچرخه‌سواری و پیاده‌روی انجام شود. برای رسیدن به این هدف ما باید این نظریه که توسط برخی از اقتصاددانان نئوکلاسیک ترویج می‌شود که برنامه‌ریزی شهری (و بیشتر تصمیم‌گیری‌های دیگر) باید بر عهده بازار گذاشته شود را رد کنیم. شهرها باید با دریافت گسترده نظرات و پیشنهادات شهروندان طراحی و برنامه‌ریزی شوند. برنامه‌ریزی شهری و برنامه‌ریزی سامانه حمل و نقل باید به‌طور کامل در یکدیگر ادغام شوند به گونه‌ای که چگالی جمعیت در اطراف کانون‌ها و ایستگاه‌های حمل و نقل عمومی افزایش یابد و تعداد بزرگ‌راه‌ها و پارکینگ‌های عمومی در مراکز شهرها کاهش یابند. یک راه‌حل عملی برای بازطراحی شهرها عبارت است از طراحی و اجرای برنامه‌های انتقال به شهرهای دارای سلسله مراتبی از خوشه‌ها، به گونه‌ای که در بخش "برنامه‌ریزی یکپارچه شهری و سامانه حمل و نقل" و شکل ۷-۲ بحث شد. حمل و نقل شهری عمومی و شخصی باید با استفاده از منابع الکتریسیته تجدیدپذیر تغذیه شود.

یک گام اولیه در این انتقال باید فاصله گرفتن از این عادت کهنه، که همه ما به آن مبتلا هستیم، باشد که خودروهای شخصی به عنوان طبیعی‌ترین وسایل حمل و نقل در جوامع مدرن در نظر گرفته می‌شوند.

برای حمل و نقل روستایی و مسافرت‌های هوایی بین‌المللی، نسل دوم سوخت‌های زیستی، به شرط آن‌که چرخه عمر آن‌ها از نظر بوم‌شناختی پایدار بوده و فرایندهای تولید این سوخت‌ها توسعه بیشتری بیابند، آینده روشنی را نوید می‌دهند.

### منابع و یادداشت‌های فصل

- 1 Newman, P, Beatley, T and Boyer, H (2009) *Resilient Cities: Responding to peak oil and climate change*, Island Press, Washington.
- 2 Newman et al. (2009).
- 3 IEA (2012a) *CO<sub>2</sub> Emissions from Fuel Combustion: Highlights*, OECD/IEA, Paris.
- 4 For Australian readers, further information on air pollutants in Australia is available from the National Pollutant Inventory, <[www.npi.gov.au](http://www.npi.gov.au)>; State of the Environment reports, <[www.deh.gov.au/soe/2001/index.html](http://www.deh.gov.au/soe/2001/index.html)>; and the international IPCDS INCHEM website, <[www.inchem.org](http://www.inchem.org)>.
- 5 Bureau of Infrastructure, Transport and Regional Economics (2013) Road Deaths Australia 2012 Statistical Summary, <[www.bitre.gov.au/publications/ongoing/files/RDA\\_Summary\\_2012\\_June.pdf](http://www.bitre.gov.au/publications/ongoing/files/RDA_Summary_2012_June.pdf)>; Traffic fatalities in China dropped to 60 000 in 2012: Minister of Transport (2013) China Autoweb, <<http://chinaautoweb.com/2013/06/traffic-fatalitiesin-china-dropped-to-60000-in-2012-minister-of-transport>>; Fewest traffic deaths seen since '51 (2013) Japan Times, <[www.japantimes.co.jp/news/2013/01/05/national/fewest-traffic-deaths-seen-since-51](http://www.japantimes.co.jp/news/2013/01/05/national/fewest-traffic-deaths-seen-since-51)>; US Department of Transportation (2011) State Traffic Data, <[www-nrd.nhtsa.dot.gov/Pubs/811801.pdf](http://www-nrd.nhtsa.dot.gov/Pubs/811801.pdf)>.
- 6 Newman, P and Kenworthy, J (1999) *Sustainability and Cities: Overcoming automobile dependence*, Island Press, Washington DC, p 113.
- 7 National Institute of Economics and Industry Research (NIEIR) (1996) *Subsidies to the Use of Natural Resources*, Section 2.6, Road Transport, A Report to Department of the Environment, Sport & Territories, Commonwealth of Australia, Canberra.
- 8 Data from Banfield, K, Hutabarat, R and Diesendorf, M (1999) Sydney's passenger transport: Accounting for different modes, *ATRF* (Proceedings of 23<sup>rd</sup> Australasian Transport Research Forum) 23: 269–85. The following paper corrected an error in this paper and extended the results: Diesendorf, M (2002) The effect of land costs on the economics of urban transport systems. In Wang, KCP et al. (eds) *Traffic and Transportation Studies*, Proceedings of Third International Conference on Traffic and Transportation Studies (ICTTS2002), pp 1422–29 <[www.ies.unsw.edu.au/sites/all/files/TransportCosts.pdf](http://www.ies.unsw.edu.au/sites/all/files/TransportCosts.pdf)>.
- 9 Centre for International Economics (2005) *Sydney's Transport Infrastructure: The Real Economics*, A report for the *Sydney Morning Herald*.
- 10 Laird, P, Newman, P and Bachels, M (2001) *Back on Track: Rethinking transport policy in Australia and New Zealand*, UNSW Press, Sydney.

- 11 Riedy, C and Diesendorf, M (2003) Financial subsidies to the Australian fossil fuel industry, *Energy Policy*, 31: 125–37; Riedy, CJ (2007) *Energy and Transport Subsidies in Australia: 2007 Update*, Institute for Sustainable Futures, Sydney.
- 12 Newman, P (1996) Urban design, transportation and greenhouse. In: Samuels, R and Prasad, D (eds) *Global Warming and the Built Environment*, E&FN Spon, London, pp 69–84.
- 13 Newman (1996), p 77.
- 14 Newman, P and Kenworthy, J (2006) Urban design to reduce automobile dependence, *Opolis: An International Journal of Suburban and Metropolitan Studies*, 2(1), Art 3, <<http://repositories.cdlib.org/cssd/opolis/vol2/iss1/art3>>.
- 15 Newman and Kenworthy (2006).
- 16 Newman (1996), p 74.
- 17 Newman and Kenworthy (2006).
- 18 White, D, Sutton, P, Pears, A et al. (1978) *Seeds for Change: Creatively confronting the energy crisis*, Conservation Council of Victoria and Patchwork Press, Melbourne.
- 19 Victoria Transport Policy Institute, British Columbia, <[www.vtpi.org](http://www.vtpi.org)>.
- 20 For example, Newman and Kenworthy (1999), Ch 4.
- 21 Newman (1996), p 81.
- 22 Stockholm Public Transport Plan in Brief 2020, <[http://sl.se/PageFiles/838/Public\\_Transport\\_Plan\\_2020\\_in\\_brief.pdf](http://sl.se/PageFiles/838/Public_Transport_Plan_2020_in_brief.pdf)>.
- 23 Hicks, J (2013) *The Social Context of Urban Travel Behaviour*, PhD thesis, UNSW.
- 24 Shahan, Z (2013) 100% electric cars outselling plug-in hybrid electric cars in the US, *RenewEconomy*, <<http://reneweconomy.com.au/2013/100-electric-cars-outselling-plug-in-hybrid-electric-cars-in-us-2013>>.
- 25 BREE (2012); Sørensen, B (2011) *Renewable Energy*, 4<sup>th</sup> ed, Academic Press, Burlington MA.
- 26 Sørensen (2011), p 588.
- 27 Foran, B and Mardon, C (1999) *Beyond 2025: Transitions to a biomassalcohol economy using ethanol and methanol*, Working Paper Series 99/07, December, CSIRO Wildlife and Ecology, Canberra.
- 28 Newman, P (2012) Australia in the World Scene: Some surprising trends, Presentation to Climate Action Summit, Sydney, April.
- 29 Puentes, R and Tomer, A (2008) *The Road ... Less Traveled: An analysis of vehicle miles traveled trends in the US*, Brookings Institution, Washington DC.
- 30 Newman, P, Kenworthy, J and Glazebrook, G (2013) Peak car use and the rise of global rail, *Journal of Transportation Technologies*, doi:10.4236/jyys.2013.
- 31 Newman, Kenworthy and Glazebrook (2013).



# **بخش سوم**

**سیاست‌ها، راه‌بردها، جنبه‌های  
سیاسی و اقدامات**



## فصل ۸

### سیاست‌های کلی برای گذار بزرگ

ما اینک در میانه کارزاری بین گذشته و آینده قرار داریم. [۱]

کریستین میلن<sup>۱</sup>

- ممکن است پرسید: کدام کشور در امر گذار بزرگ به یک سامانه انرژی پایدار از همه پیشرفته‌تر است؟ کدام سیاست‌ها این کشور را قادر ساخته‌اند که به موقعیت فعلی خود برسد و همچنان در مسیر توسعه پایدار به پیش رود؟ پاسخ همه این سؤالات بستگی به زاویه دید خود شما دارد.
- ایسلند در حال حاضر دارای ۱۰۰ درصد برق تجدیدپذیر و مقادیر زیادی گرمایش تجدیدپذیر است. منابع سرشار آبی و زمین‌گرمایی طبیعی آن کشور این اجازه را به بازار داده‌اند که به این مرحله برسد. در عین حال، ایسلند نیازمند سیاست‌هایی است که سامانه حمل و نقل جاده‌ای آن کشور، که هنوز هم متکی بر سوخت فسیلی است، را متحول سازند.
  - هرچند دانمارک فاقد منابع آبی یا زمین‌گرمایی است، این کشور در حال حاضر ۳۰ درصد انرژی الکتریکی خود را از باد تولید می‌کند، کسر قابل توجهی از الکتریسیته و گرمایش خانگی خود را از پسماندهای کشاورزی تأمین می‌کند و دارای یک سامانه حمل و نقل عمومی عالی و سامانه حمل و نقل فعال است. این کشور برای رسیدن به ۱۰۰ درصد انرژی الکتریکی و گرمایش تجدیدپذیر تا سال ۲۰۳۵ و سامانه حمل و نقل بدون کربن تا سال ۲۰۵۰ هدف گذاری کرده و این اهداف را با مقررات و استانداردهایی برای بهره‌وری انرژی در ساختمان‌ها، تعرفه‌های حمایتی برای برق تجدیدپذیر و عضویت در طرح مبادله انتشار گاز اتحادیه اروپا (EU) پشتیبانی نموده است.
  - به دنبال اتخاذ یک سیاست متنوع سازی منابع انرژی، چین به گونه‌ای در حال ساخت نیروگاه‌های زغال‌سنگی جدید است که انگار فردایی وجود ندارد! در همین حال، این کشور دارای بیشترین ظرفیت نصب شده نیروگاه‌های بادی (بر حسب GW) در جهان است، بزرگترین تولیدکننده و

---

1 Christine Milne

مصرف‌کننده سامانه‌های آبگرمکن خورشیدی و تولیدکننده شماره یک ماژول‌های فتوولتاییک خورشیدی (PV) است. سیاست‌های مختص این کشور شامل موارد زیر می‌شوند: اهداف بلندپروازانه در زمینه توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر، تعرفه‌های حمایتی برای انرژی بادی، پشتیبانی و ارتقای صنایع انرژی‌های تجدیدپذیر در مراحل اولیه توسعه آنها، استانداردهای اجباری برای میزان مصرف انرژی بر هر واحد تولید در صنایع کلیدی، طرح‌های مبادله انتشار گاز آزمایشی در چندین شهر، توسعه سریع راه‌آهن شهری و راه‌آهن سریع بین‌شهری و حمایت مالی از طرح‌های تحقیق و توسعه.

فعالیت‌ها و تجربیات این کشورها در ترویج انرژی پایدار نیاز به اتخاذ طیف وسیعی از سیاست‌ها را آشکار می‌سازند. در این فصل سیاست‌هایی که مخصوص فناوری خاصی نیستند مطرح شده و فصل ۹ به سیاست‌هایی که فناوری‌های خاص تجدیدپذیر را هدف قرار می‌دهند خواهد پرداخت. در عین حال، در ابتدا باید شدت چالش پیش‌رو را دریابیم.

### موانع تغییر

شرکت‌های عظیم چندملیتی (به بیان خودشان، مافیای گازهای گلخانه‌ای) و حامیان آنها در بخش‌های دولتی و خدمات عمومی، سازمان‌های تخصصی و رسانه‌ها بر سر راه گذار بزرگ مانع‌تراشی می‌کنند. آنها به استفاده کارآمد از انرژی به صورت تهدیدی علیه منافع مادی خویش، و نه فرصتی برای پیشرفت جامعه و بهبود وضعیت محیط زیست، می‌نگرند. وقتی آنها به اشتباه ادعا می‌کنند که انتخاب‌های ممکن برای تولید انرژی الکتریکی تنها بین سوخت‌های فسیلی و انرژی هسته‌ای وجود دارند، آنها در حقیقت می‌گویند که ما می‌توانیم یا صنعتی که تحت تسلط BHP Billiton و Rio Tinto است را انتخاب کنیم و یا صنعتی را انتخاب کنیم که تحت تسلط BHP Billiton و Rio Tinto است! صنایع سوخت‌های فسیلی و هسته‌ای قدرت سیاسی عظیمی را، هم به صورت مستقیم از طریق لابی‌کردن با دولت‌ها و هم به صورت غیرمستقیم از طریق رسانه‌ها، اعمال می‌کنند. این شرکت‌ها یارانه‌های عظیمی دریافت می‌کنند تا سود فناوری‌های کاملاً توسعه‌یافته و نهادینه‌شده خود را افزایش دهند (رک فصل ۶، "جنبه‌های اقتصادی" و فصل ۹، "حذف یارانه‌های پرداختی به سوخت-های فسیلی و انرژی هسته‌ای"). این شرکت‌ها از یک ساختار سازمانی که از فروش انرژی به جای

ارائه خدمات انرژی حمایت می‌کند (رک فصل ۴، "تعاریف" و فصل ۴، "غلبه بر موانع: راه‌بردها و سیاست‌ها") و از زیرساخت‌هایی که به نیروگاه‌های بسیار بزرگ متمرکز و سامانه‌های بسیار گسترده جاده‌ای و اختصاص بودجه به احداث جاده‌ها علاقه‌مندند بیشتر بهره‌مند می‌شوند. این شرکت‌ها سمت و سوی فعالیت‌ها را به گونه‌ای تعیین می‌کنند که آموزش، تربیت نیروی کار، اطلاع‌رسانی و تحقیقات عمدتاً در جهت منافع صنایع آن‌ها صورت پذیرد و در همان حال اطلاعات گمراه‌کننده‌ای در ارتباط با انرژی‌های تجدیدپذیر منتشر کرده و برای به تأخیر انداختن یا کم‌رنگ کردن استانداردهای بهره‌وری انرژی لابی می‌کنند.

موانع موجود صرفاً برخاسته از تمایل مصرف‌کنندگان به استفاده از فناوری‌های ارزان و کثیف نیست. همانگونه که با استفاده از تساوی  $I=PAT$ ، که در مقدمه کتاب معرفی شد، نشان داده شد، رشد جمعیت و رشد مصرف سرانه انرژی نیز باید متوقف شود. آنچه که این عوامل توسعه ناپایدار را تقویت می‌کند سامانه اقتصادی معیوبی است که مبلغ رشد اقتصادی بی‌پایان در یک سیاره دارای ظرفیت محدود است و در نتیجه دائماً به فرهنگ مصرف‌گرایی دامن می‌زند. این دل‌نگرانی توسط نیکولاس استرن<sup>۱</sup>، اقتصاددان ارشد سابق بانک جهانی و نویسنده "مطالعه استرن در زمینه جنبه‌های اقتصادی تغییرات آب و هوایی"<sup>۲</sup>، نیز احساس می‌شود یا احساس می‌شد. از استرن نقل قول شده است که: برای مقابله با تغییرات آب و هوایی، کشورهای ثروتمند باید رشد اقتصادی را کنار بگذارند [۲]. در عین حال، او دیگر این نظریه را به صورت عمومی تکرار نکرده و همین‌اخرراً به نظریه ترویج رشد اقتصادی بازگشته است.

یک سیاست، بیان یک اراده است. برای این که یک سیاست مؤثر باشد، باید با یک راه‌برد و نیز فرایندی برای اجرا و اعمال همراه گردد. تغییرات آب و هوایی ساخته دست بشر نتیجه کنش و واکنش بین دو سامانه پیچیده است: اقلیم زمین و سامانه اجتماعی-اقتصادی بشر. می‌توان گفت که: "برای هر مشکل پیچیده‌ای یک راه حل ساده وجود دارد ... و آن راه حل هم غلط است!". هیچ سیاستی به تنهایی برای کاهش تغییرات آب و هوایی و یا حتی اعمال راه‌کاری ناقص برای پیشبرد گذار بزرگ به یک سامانه انرژی پایدار کافی نیست. این واقعیت، بخشی به تنوع موانع موجود بر سر راه تغییر، بخشی به این واقعیت که سیاست‌های انرژی بخش‌های زیادی از اقتصاد را تحت تأثیر قرار

1 Nicholas Stern

2 Stern Review on the Economics of Climate Change

می‌دهند و بخشی نیز به تنوع فراوان فناوری‌ها و تمهیدات انرژی پایدار در مراحل متفاوت بلوغ فنی و در مقیاس‌های مختلف ساخت و استفاده برمی‌گردد. فناوری‌های مختلف در مقیاس‌های مختلف و مراحل مختلف بلوغ فنی به طیف وسیعی از سیاست‌گذاری‌ها نیازمندند که به این موضوع در فصل ۲، "بلوغ فناوری‌های انرژی" و فصل ۹ پرداخته شده است. مقیاس‌های مختلف فناوری - مقیاس کوچک برای مصارف خانگی، مقیاس متوسط برای مصارف تجاری، محلات و صنایع کوچک و مقیاس بزرگ برای استفاده در صنایع بزرگ و زیرساخت‌های عمومی - نیازمند سیاست‌گذاری‌های هدف‌دار هستند.

گوناگونی موانع، بخش‌های اقتصادی، فناوری‌ها و مقیاس‌ها ایجاب می‌کند که چندین نوع سیاست‌گذاری، به شرح زیر، تصویب و به مرحله اجرا درآیند:

- اهرم‌های اقتصادی، از قبیل مالیات بر کربن، مبادله انتشار گاز، تعرفه‌های حمایتی، طرح‌های مربوط به گواهی‌های قابل مبادله، وام‌های کم بهره، کمک‌های بلاعوض، نرخ‌ها، تخفیف‌ها و یارانه‌ها،
- قوانین، مقررات، استانداردها و برچسب‌گذاری انرژی،
- تحقیقات، آموزش، تربیت نیروی کار و اطلاعات،
- تغییرات سازمانی، به عنوان مثال جایگزینی شرکت‌های عرضه انرژی توسط شرکت‌های خدمات انرژی، که در فصل ۴ بحث شد،
- برنامه‌ریزی و طراحی برای شهرها، ساختمان‌ها و سایر محصولات،
- حمایت از مشارکت‌های اجتماعی و توسعه پروژه‌های انرژی پایدار در جامعه،
- پایدارسازی جمعیت،
- سیاست‌های صنعتی به منظور ترویج رشد صنایع راه‌بردی مورد نیاز برای نیل به آینده کم‌کربن،
- بازسازی سامانه اقتصادی به گونه‌ای که در آن رشد مصرف انرژی، مواد و زمین تشویق نشود.

در هر یک از انواع گروه‌های سیاست‌گذاری، طیفی از گزینه‌های مختلف وجود دارد. برای راحتی کار، سیاست‌گذاری‌های کلی لازم برای مقابله با تغییرات آب و هوایی، یعنی آن‌ها که ارتباط با فناوری خاصی ندارند، در این فصل بررسی شده‌اند و اهرم‌های سیاستی طراحی شده برای فناوری‌های خاص در مقیاس‌های مختلف در فصل ۹ مورد بحث قرار گرفته‌اند. برای بررسی سیاست‌های کلی، ابتدا نقاط قوت و ضعف اهرم‌های اقتصادی در برگیرنده یک نرخ کربن<sup>۱</sup> را بررسی می‌کنیم و سپس به

1 Carbon Price

سیاست‌هایی برای مقابله با دو عامل غیرفنی تغییرات آب و هوایی و به‌طور کلی مشکلات زیست-محیطی، یعنی رشد جمعیت و توسعه اقتصادی، یا به عبارت دقیق‌تر رشد مصرف مواد، انرژی و زمین، خواهیم پرداخت.

### نرخ کربن چیست؟

اقتصاددانان نئوکلاسیک به‌طور طبیعی اهرم‌های اقتصادی را بر اهرم‌های غیراقتصادی ترجیح می‌دهند. علاوه بر این، از میان طیف وسیع اهرم‌های اقتصادی، این‌ها معمولاً اهرم‌های بازار، مانند نرخ کربن، را بر اهرم‌های غیربازار، مانند کمک‌های بلاعوض، نرخ‌گذاری، تخفیف‌ها و یارانه‌ها، برتر می‌دانند. این موضوع جای تعجب ندارد چرا که یکی از باورهای کلیدی در اقتصاد نئوکلاسیک (که در یادداشت ۸-۱ معرفی شده است) آن است که بهترین تصمیم‌ها در بازار گرفته می‌شوند [۳]. توجه این باور آن است که به صورت نظری، اهرم‌های بازار از نظر اقتصادی کارآمدتر (یعنی برای یک خروجی معین، ارزان‌تر) از اهرم‌های اقتصادی غیربازار و مقررات مربوط به کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای هستند. توضیحات استاندارد برای این مزیت به صورت زیرند:

- بازارها به شرکت‌ها و اشخاص انعطاف بیشتری می‌دهند تا تصمیم بگیرند چگونه و چه وقت اقدام به کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای بکنند، و،
  - بازارها اولویت را به اقداماتی که کمترین هزینه را به دنبال دارند می‌دهند.
- در عین حال، خواهیم دید که در عمل ابزارهای بازار، که توسط دولت‌ها و تحت فشار گروه‌هایی که دارای منافع ویژه هستند طراحی می‌شوند، می‌توانند برای مصرف‌کنندگان گران‌قیمت بوده و از نقطه نظر زیست‌محیطی نیز ناکارآمد باشند. این واقعیت در دو مرحله ابتدایی برنامه مبادله انتشار<sup>۱</sup> (ETS) اتحادیه اروپا، که در زیر معرفی می‌شود، به خوبی مشاهده شد. با این پیش‌زمینه، در اینجا گروهی از اهرم‌های بازار که در بین اقتصاددانان نئوکلاسیک از بیشترین محبوبیت برخوردارند را در نظر می‌گیریم.

نرخ کربن یک اصطلاح عمومی برای یک ارزش اقتصادی است که بر روی انتشار گازهای گلخانه‌ای به اتمسفر در اثر فعالیت‌های انسانی گذاشته می‌شود. نرخ کربن معمولاً به شکل یک مالیات

1 Emissions Trading Scheme

بر کربن یا به صورت قیمت مجوزهای صادر شده در طرح‌های محدود کردن و مبادله<sup>۱</sup> گاز تعیین می‌شود. این نرخ به گونه‌ای طراحی می‌شود که انگیزه‌ای برای کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای ایجاد کند. نرخ کربن را می‌توان به عنوان ابزاری برای منظور کردن همه یا بخشی از خسارت‌های زیست-محیطی، بهداشتی و اقتصادی ناشی از سوزاندن سوخت‌های فسیلی در قیمت این سوخت‌ها تلقی کرد.

در شرایط ایده‌آل، نرخ کربن، که بر حسب قیمتی برای هر تن گاز منتشر شده تعریف می‌شود، باید در طول زمان افزایش یابد تا مراکز تولید انرژی، صنایع و بنگاه‌های تجاری به تدریج به سمت انتشار گازهای گلخانه‌ای کمتر حرکت کنند. سناریو پژوهی‌های انجام شده نشان می‌دهند که برای رسیدن به انتشار خالص کربن صفر در برخی از کشورها، احتمالاً لازم خواهد بود که نرخ کربن در طی چند دهه به ۱۰۰ دلار بر هر تن و یا بیشتر افزایش یابد. این ممکن است یک مالیت هنگفت به نظر برسد اما باید دقت کرد که تا زمانی که نرخ کربن به چنین سطوحی برسد، برنامه‌های بهبود بهره‌وری انرژی احتمالاً میزان انرژی لازم برای انجام بسیاری از خدمات انرژی را به نصف کاهش داده‌اند و بخش عمده مصرف باقیمانده انرژی نیز توسط منابع تجدیدپذیر تأمین خواهد شد. قیمت هر تن گاز گلخانه‌ای بالا خواهد بود اما مقدار گاز منتشر شده برای هر خدمت انرژی نیز بسیار کمتر از امروز خواهد بود و در نتیجه هزینه‌های انتشار کربن محدود خواهند ماند.

یک مالیت کربن قیمت مشخصی را برای انتشار گازهای گلخانه‌ای تعیین کرده و اجازه می‌دهد که بازار مقدار انتشار را تنظیم کند. در نتیجه، اگر اهرم‌های بازار و اقدامات مکمل در ایجاد مکانیسم‌های کاهش انتشار گاز کند باشند، مالیت کربن هزینه اقتصادی کاهش انتشار گاز در برابر ریسک ناشی از افزایش انتشار گاز را تعیین می‌کند. از سوی دیگر، یک طرح محدود کردن و مبادله گاز مقدار انتشار مجاز گازها را تعیین می‌کند (محدود کردن) و به بازار اجازه می‌دهد که نرخ انتشار گاز را تطبیق دهد (مبادله). بنابراین، این روش مقدار مجاز انتشار گازها در برابر ریسک ناشی از افزایش انتشار گاز، اگر اهرم‌های بازار و اقدامات مکمل در ایجاد مکانیسم‌های کاهش انتشار گاز کند باشند، را تعیین می‌کند.

---

1 Cap-and-Trade

**یادداشت ۸-۱- اقتصاد نئو کلاسیک**

اقتصاد نئو کلاسیک بر این موضوع تمرکز دارد که چگونه بازارهای ایده آل قیمت‌ها، خروجی‌ها و درآمدها را تعیین می‌کنند. این اقتصاد به دنبال آن است که نشان دهد که چگونه تعامل بین تقاضا و عرضه موجب تعیین قیمت‌های تعادلی (قیمت تسویه بازار) می‌شود. تقاضا توسط مصرف‌کنندگان ایجاد می‌شود که فرض بر آن است که به دنبال حداکثر کردن مصرف (یا ارضای) خود از طریق به دست آوردن کالاها و خدمات هستند. عرضه این کالاها و خدمات توسط بنگاه‌هایی صورت می‌گیرد که فرض بر آن است که به دنبال حداکثر کردن سود خود هستند. نظریه نئو کلاسیکی، بازارها را کارآمد و ارضا کننده معرفی می‌کند، مشروط بر آنکه شرایط رقابتی بر بازار حکمفرما بوده و قیمت‌ها بتوانند به‌طور پیوسته خود را با تغییرات کوچک (یا جزئی) در عرضه و تقاضا تطبیق دهند. بحث در این خصوص که آیا این نظریه نئو کلاسیکی با دقت کافی نحوه کار بازارها در عالم واقع را نشان می‌دهد یا نه همچنان ادامه دارد.

نظریه پردازان نئو کلاسیک برخی از اوقات اذعان می‌کنند که قیمت‌های بازار به نحو مناسبی همه هزینه‌های اجتماعی مرتبط را منعکس نمی‌کنند. گفته می‌شود که "هزینه‌های خارجی"، مثلاً وقتی که به دلیل فعالیت‌های خودمحورانه بازار خسارت‌های زیست‌محیطی به وجود می‌آیند، وجود دارند. برخی از اقتصاددانان نئو کلاسیک نتیجه‌گیری می‌کنند که: تحت این شرایط، لازم است که دولت در بازار مداخله کند و قیمت‌ها را، به عنوان مثال از طریق وضع مالیات کربن که موجب می‌شود فعالیت‌های آسیب‌زننده به محیط زیست فاقد جذابیت شوند، تعدیل کند. منتقدان نظریه نئو کلاسیک تمایل دارند که در خصوص میزان اثربخشی این روش افزایش قیمت در برخورد با چالش‌های بزرگی مانند مقابله با تغییرات آب و هوایی بدبینانه‌تر برخورد کنند. نقدهای کلی بر اقتصاد نئو کلاسیک به استناد عدم برخورد کافی این نظریه با موضوعات زیست‌محیطی و عدالت اجتماعی، تناقض‌های درونی نظریه، فرضیات ارزشی غیر واقع‌بینانه (علیرغم ادعاهای "بی‌طرفی") و استفاده از این نظریه به عنوان مبنای یک ایدئولوژی سیاسی شکل گرفته و منتشر شده‌اند. [۴]

قبل از آن که این دو مکانیسم اصلی بازار برای کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای را مقایسه کنیم، بررسی می‌کنیم که آیا تعیین یک نرخ کربن برای کاستن از تغییرات آب و هوایی ناشی از فعالیت‌های بشر ضرورت دارد؟ و اگر دارد، آیا این روش کافی است؟

### آیا نرخ کربن لازم است؟ آیا کافی است؟

یک نرخ کربن پایین، چه به صورت یک مالیات کربن باشد و چه به صورت یک ETS، ممکن است به اندازه کافی بالا نباشد تا رفتار مردم در مصرف انرژی را تغییر دهد. به عبارت دیگر و با استفاده از فرهنگ لغات اقتصادی، کشش قیمتی تقاضا بیش از حد کم است. در عین حال، حتی یک نرخ کربن پایین هم پیامی به سرمایه‌گذاران ارسال می‌کند که با سرمایه‌گذاری مستقیم یا غیرمستقیم در زمینه سوخت‌های فسیلی، چه سرمایه‌گذاری پیشنهادی در زمینه احداث یک نیروگاه زغال‌سوز جدید یا یک پالایشگاه نفت باشد و چه برای ساخت یک جاده، آن‌ها در حال قبول یک ریسک مالی هستند. حتی یک نرخ کربن پایین هم دارای حمایت دولتی است و بنابراین به سادگی می‌توان آن را در آینده افزایش داد و موجب افزایش ریسک مالی سرمایه‌گذاران در زمینه سوخت‌های فسیلی و کالاها و خدمات مرتبط با آن‌ها شد. در نظر من، نقش کلیدی یک نرخ کربن ارسال همین پیام است. هرچند که پیام ریسک کربنی هنوز هم توسط بسیاری از سرمایه‌گذاران جدی گرفته نشده است اما آلودگی هوا تأثیر خود را داشته است. در آمریکا تحقیقی که توسط آسوشیتدپرس انجام شد نشان داد که بیش از ۳۲ نیروگاه، که اغلب آن‌ها زغال‌سوز هستند، در سال ۱۵-۲۰۱۴ به دلیل مقررات جدید سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا در ارتباط با آلودگی هوا بسته خواهند شد و ۳۶ نیروگاه دیگر را نیز می‌توان مجبور به تعطیلی کرد [۵]. تنها برای افزایش ریسک مالی من معتقدم که اعمال یک نرخ کربن لازم است. در عین حال، دلایل دیگری هم وجود دارند.

یک نرخ کربن که در "بالادست" اعمال می‌شود - مثلاً در معادن زغال‌سنگ و چاه‌های نفت و گاز - به سمت "پایین دست" و به همه تراکنش‌های اقتصادی مرتبط با کالاها و خدماتی که به‌طور غیرمستقیم مبتنی بر مصرف سوخت‌های فسیلی هستند نیز تسری می‌یابد. یک مصرف‌کننده بزرگ انرژی، مثل یک کارخانه ذوب آلومینیوم که اغلب الکتریسیته مصرفی خود را از سوخت‌های فسیلی به دست می‌آورد، مجبور خواهد بود که بهای بالاتری برای الکتریسیته بپردازد، همان‌طور که خریدار یک نوشابه در قوطی آلومینیومی نیز مجبور خواهد بود. در نتیجه، از نقطه نظر کاهش هزینه‌های تراکنش، بسیار مؤثرتر است که نرخ کربن در بالادست اعمال شود تا اینکه بخواهیم نرخ‌های کربن را برای میلیون‌ها محصول مجزای پایین دستی محاسبه یا معامله تک‌تک آن‌ها را کنترل کنیم.

علاوه بر این، مصرف‌کنندگان کالاها و خدماتی که گازهای گلخانه‌ای زیادی منتشر می‌کنند (که معمولاً یا انرژی زیادی مصرف می‌کنند یا مقادیر زیادی انرژی غیرمستقیم برای تولید آنها مصرف شده است) اگر از یک طرف در معرض برنامه‌های آموزشی و مقررات سخت‌گیرانه برای کاهش مصرف این کالاها و خدمات قرار گیرند و از سوی دیگر این کالاها و خدمات را بسیار ارزان قیمت ببینند، در اثر دریافت این پیام‌های متناقض دچار سردرگمی خواهند شد. سیاست‌های مختلف باید با یکدیگر کار کنند نه در جهت مخالف هم.

یک توجیه دیگر برای اعمال نرخ کربن، ایجاد درآمد برای دولت‌هاست تا بتوانند منابع مالی لازم برای یک گذار عادلانه به آینده انرژی پایدار را تأمین نمایند. یک دولت مرکزی احتمالاً قادر خواهد بود که میلیاردها دلار از این رهگذر به دست آورده و آن را صرف حمایت از خانوارها و کارکنانی که در اثر گذار دچار خسارت شده‌اند و احداث زیرساخت‌های جدید، مثل راه‌آهن و خطوط انتقال، نماید.

و در نهایت، این واقعیت را باید پذیرفت که نرخ کرن در واقع یک مالیات اضافی نیست، چرا که شهروندان همین حالا هم در حال پرداخت غیرمستقیم بسیاری از هزینه‌های ناشی از تغییرات آب و هوایی هستند. موج‌های گرما، خشکسالی‌ها، آتش‌سوزی‌ها در جنگل‌ها، سیل‌ها، طوفان‌های شدیدی که به دفعات بیشتری رخ می‌دهند و بالا آمدن سطح آب دریاها همگی موجب تحمیل هزینه‌هایی می‌شوند که از طریق مالیات‌ها، و یا رنج‌های وارد شده بر مردم فاقد پوشش‌های حمایتی دولتی، پرداخت می‌شوند. یک نرخ کربن صرفاً باعث می‌شود که برخی از هزینه‌ها در قیمت کالاهایی که این عوارض را به دنبال دارند منظور شوند. به زبان اقتصاددانان، نرخ کربن یک مالیات پیگویی<sup>۱</sup> (مالیات بر انتشار آلاینده‌ها) است. و به زبان مدیران بخش حفاظت محیط زیست، نرخ کربن اعمال اصل "آلوده‌کننده می‌پردازد"<sup>۲</sup> است. در عمل، آلوده‌کنندگان معمولاً هزینه‌ها را به مصرف‌کنندگان کالاها و خدمات آلاینده خود منتقل می‌کنند. بنابراین، اگر نرخ کربن به اندازه کافی بالا باشد موجب می‌شود که انتشاردهندگان بزرگ گازهای گلخانه‌ای و مصرف‌کنندگان کالاهای آنها به سمت فرایندهای تولید، محصولات و خدماتی که گازهای کمتری منتشر می‌کنند حرکت کنند.

1 Pigovian Tax

2 Principle of Polluter Pays

برخی از اقتصاددانان نئو کلاسیک ادعا می‌کنند که یک نرخ کربن نه تنها لازم است بلکه کافی نیز هست، یا به عبارت دیگر، به محض آن که یک نرخ کربن اعمال شود، سایر مقررات مربوط به کاهش انتشار کربن بلا موضوع خواهند شد. در حقیقت، بسیاری از این اقتصاددانان حتی از این هم فراتر می‌روند و ادعا می‌کنند که سیاست‌های "مکمل"، مانند تعرفه‌های حمایتی و طرح‌های مربوط به تأیید کاربرد انرژی‌های تجدیدپذیر، در عمل باعث می‌شوند که پاسخ دریافتی از نظر اقتصادی کمتر کارآمد باشد، یعنی این سیاست‌ها دسترسی به اهداف معین زیست‌محیطی را گران‌تر می‌کنند. توجیه آن‌ها این است که نوعی رقابت بین نرخ کربن و برنامه‌های ترویج انرژی‌های تجدیدپذیر وجود دارد. از آنجایی که فرض می‌شود که نرخ کربن از نظر اقتصادی کارآمدتر از سیاست‌های خاص ترویج انرژی‌های تجدیدپذیر است، این رقابت موجب افزایش هزینه‌های مقابله با تغییرات آب و هوایی می‌شود. در ارتباط با ETS (برنامه مبادله انتشار که در بخش قبلی معرفی شد)، توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر موجب کاهش مصرف سوخت‌های فسیلی شده و در نتیجه تقاضا برای مجوز انتشار را کاهش می‌دهد که خود منجر به کاهش قیمت این مجوزها می‌شود. کاهش قیمت مجوز انتشار نیز به نوبه خود انگیزه برای کاستن از انتشار گازهای گلخانه‌ای را کاهش می‌دهد.

هرچند که این مشکل واقعاً وجود دارد، اما می‌توان آن را با کم کردن پیوسته حداکثر انتشار مجاز حل کرد، یعنی با کم کردن تعداد کل مجوزهای موجود در بازار. این امر مستلزم ایجاد هماهنگی بیشتری میان برنامه‌های مبادله انتشار و سیاست‌های ترویج‌دهنده انرژی‌های تجدیدپذیر است [۶].

ایراد اساسی وارد به این ادعا که یک ETS مؤثرترین اهرم است آن است که این ادعا بر مبنای این فرض نادرست که عرضه و تقاضای انرژی در یک بازار کاملاً رقابتی صورت می‌پذیرد، بیان می‌شود. دلایل متعددی بر نادرستی این فرض وجود دارند:

- تولیدکنندگان و مصرف‌کنندگان اطلاعات ناقص دارند. این امر به‌طور ویژه درباره مصرف‌کنندگان خانگی برق، که اغلب با ساختارهای قیمتی‌ای مواجهند که منعکس کننده قیمت واقعی برق با توجه به زمان مصرف در شبانه‌روز و حداکثر دیمانند دریافت شده نیست، صادق است.
- بازار به ندرت مقادیر هنگفت یارانه‌هایی که به تولید و مصرف سوخت‌های فسیلی و تولید انرژی هسته‌ای پرداخته می‌شود را آشکار می‌سازد. این یارانه‌ها باعث می‌شوند که یارانه‌های جزئی و رو

به کاهشی که به انرژی‌های تجدیدپذیر اختصاص می‌یابند خنثی شوند (رک فصل ۶، "جنبه‌های اقتصادی" و فصل ۹، "حذف یارانه‌های پرداختی به سوخت‌های فسیلی و انرژی هسته‌ای").

- یک نرخ کربن، خصوصاً نرخ کربنی که با استفاده از مبادله انتشار تعیین شود، همه مزایای انرژی‌های تجدیدپذیر (فراتر از مقابله با تغییرات آب و هوایی) را در نظر نمی‌گیرد. مثال‌های این مزایای اضافی عبارتند از: افزایش امنیت انرژی (از جمله افزایش مصونیت در برابر بالا رفتن قیمت سوخت‌های فسیلی)، کاهش آلودگی هوا، آب و خاک و کاهش مصرف آب.
- بازار به ندرت زیرساخت‌های گران قیمتی همچون خطوط انتقال، راه آهن و شبکه مسیره‌های دوچرخه‌سواری و مسیره‌های عبور عابر پیاده را تأمین می‌کند. این موضوع معمولاً به تصمیمات سیاسی دولت‌ها در سطوح مختلف وابسته است. یک نرخ کربن ممکن است که موجب تسریع در تصمیم‌گیری شود اما به ندرت می‌تواند بر موانع بودجه‌ای و نفوذ سیاسی غلبه کند.
- بازار در هر دو زمینه انرژی‌های تجدیدپذیر و بهره‌وری انرژی در منازل و دفاتر، که معمولاً در آن‌ها انگیزه‌های متضاد وجود دارد (مثل انگیزه‌های متضاد صاحبان خانه‌ها و مستأجرین)، به شدت ناتوان است. بدون مداخله دولت، به عنوان مثال از طریق اعمال استانداردها و مقررات، این نه به نفع مالک است و نه به نفع مستأجر که بدنه یک ساختمان را دارای بهره‌وری انرژی بیشتری بکنند (رک فصل ۴، "موانع بهره‌وری انرژی").
- در غیاب مشوق‌های دولتی، بازار به ندرت به فعالیت‌های پژوهشی، توسعه و آزمایش فناوری‌های جدید کمک مالی می‌کند.
- بازار به‌طور عام، و آنالیز هزینه-فایده به‌طور خاص، ریسک‌های فیزیکی متفاوت فناوری‌های مختلف را به خوبی در نظر نمی‌گیرد. به عنوان مثال، بازار ممکن است ارزش یکسانی به یک نیروگاه هسته‌ای جدید و گروهی از نیروگاه‌های خورشیدی متمرکزکننده با ذخیره‌ساز حرارتی، که هر دو دارای انرژی خروجی و قابلیت اطمینان یکسانی هستند، بدهد. در حالی که نیروگاه هسته‌ای احتمال اندکی از وقوع یک سانحه ویرانگر را با خود همراه دارد و هرگز به اندازه کافی برای جبران خسارت چنین سوانحی بیمه نشده است (رک فصل ۶).
- بازار، بر مبنای اقتصاد مارژینال<sup>۱</sup>، تغییرات کوتاه مدت فناوری را در نظر می‌گیرد. بنابراین، یک نرخ کربن پایین ممکن است جایگزینی یک نیروگاه پیشنهادی زغال‌سوز توسط یک نیروگاه

1 Marginal Economics

گازسوز، که هنوز هم سطح بالا و غیر قابل قبولی از انتشار گازهای گلخانه‌ای دارد، را جذاب‌تر بنمایاند. در حالی که راه‌حل درازمدت عبارت است از حمایت از گذار مستقیم به انرژی‌های تجدیدپذیر. گرچه که اغلب فناوری‌های تجدیدپذیر در حال حاضر گران‌تر هستند، اما به احتمال خیلی زیاد این فناوری‌ها طی چند دهه آینده ارزان‌تر می‌شوند، در حالی که سوخت‌های فسیلی به احتمال خیلی زیاد کمیاب‌تر و گران‌قیمت‌تر خواهند شد. در نتیجه، وقتی که یک تغییر درازمدت و بلندپروازانه در سامانه ضروری است، یک تصمیم اخذشده بر مبنای اقتصاد مارژینال، حتی بر مبنای جنبه‌های اقتصادی، معمولاً بهترین تصمیم نیست.

- شکست سیاست‌ها در اعمال یک سامانه نرخ کربن، خصوصاً یک ETS، می‌تواند این سامانه را به چیزی بسیار متفاوت از سامانه ایده‌آلی که اقتصاددانان نئوکلاسیک ادعا می‌کنند از نظر اقتصادی کارآمدترین سامانه است تبدیل کند. به عنوان مثال، طرح‌های ETS اروپا و استرالیا معافیت‌هایی برای انتشاردهندگان عمده گازهای گلخانه‌ای در نظر گرفته‌اند، به آلوده‌کنندگان اجازه می‌دهند که مجوزهای انتشار اضافی ارزان و شبه‌ناک خارجی را خریداری کنند، اهداف نسبتاً کوتاه‌بینانه-ای دارند که به جای معیارهای کارآمدی اقتصادی، توسط نیروهای سیاسی و لابی‌کنندگان تعیین می‌شوند و احتمال اینکه بتوانند به دقت هزینه‌های خارجی زیست‌محیطی و غیر زیست‌محیطی را در داخل هزینه‌ها منظور کنند به شدت کم است [۷].
- به‌طور خاص، اگر نرخ کربن به دلیل شکست سیاست‌ها خیلی پایین باشد، این نرخ قادر به ایجاد هیچ‌گونه تغییری در سامانه انرژی نیست، چه برسد به ایجاد تغییرات گسترده. این وضعیت در ماه آوریل ۲۰۱۳، پس از آن‌که پارلمان اروپا یک پیشنهاد اضطراری برای کاهش صدور مجوزهای انتشار کربن و در نتیجه افزایش قیمت آن‌ها را رد کرد و باعث شد که قیمت این مجوزها به ۲/۸ یورو برای هر تن CO<sub>2</sub> تولید شده سقوط کند، در اروپا حکم فرما شد. به‌طور کلی‌تر، اگر شکست سیاست‌ها منجر به نوسان شدید نرخ کربن شود، اعتماد سرمایه‌گذاران دچار تزلزل شده و برای بازگرداندن این اعتماد سیاست‌های مکمل مورد نیاز خواهند بود.

بنابراین، این تصور که اعمال یک نرخ کربن به تنهایی برای به حرکت درآوردن چرخ گذار به یک سامانه انرژی پایدار کفایت می‌کند مبنای صحیحی ندارد. به بیان جوزف استیگلتز<sup>۱</sup>، اقتصاددان برنده جایزه نوبل در اقتصاد، "وقتی که اطلاعات ناقصند و بازارها کامل نیستند ... و یا وقتی که

1 Joseph Stiglitz

فناوری‌ها در حال تغییر هستند ... بازارها به خودی خود نمی‌توانند خروجی‌های مؤثرتری تولید کنند" [۸]. فناوری‌ها، صنایع، مشاغل، زیرساخت‌ها و روش‌های زندگی جایگزین باید به وجود آیند و تحقق این اقدامات علاوه بر قیمت‌گذاری، به طیف وسیعی از اهرم‌های سیاستی نیاز دارند. در غیر این صورت، مصرف‌کنندگان در نهایت نرخ کربن را پرداخت خواهند کرد بدون آن‌که قادر باشند تغییری در رفتار مصرفی خود در زمینه انرژی ایجاد کنند. این بی‌معنی است که از ساکنان خانه‌ها بخواهیم که مصرف برق حاصل از سوزاندن زغال‌سنگ را کاهش دهند اگر آن‌ها در خانه‌های اجاره‌ای با عایق‌بندی نامناسب و فاقد دسترسی به انرژی خورشیدی و شبکه گاز طبیعی زندگی می‌کنند. این بی‌معنی است که از مسافرینی که در حومه شهرها زندگی می‌کنند بخواهیم که استفاده از خودروی شخصی را کاهش دهند اگر آن‌ها به نحو مطلوبی توسط سامانه حمل و نقل عمومی خدمت‌رسانی نمی‌شوند. در نتیجه، ما به مجموعه‌ای از سیاست‌ها که به صورت متقابل یکدیگر را تقویت نمایند، از جمله یک نرخ کربن، نیاز داریم تا به مردم گزینه‌هایی برای تغییر رفتارشان ارائه کنیم. در ادامه، روش‌های عمده نرخ‌گذاری بر کربن را بررسی می‌کنیم.

## مالیات کربن

"مالیات کربن" به‌طور کلی معادل خلاصه شده مالیات بر انتشار گازهای گلخانه‌ای، از جمله گازهای گلخانه‌ای که فاقد کربن هستند، مانند اکسیدنیتروژن ( $\text{NO}_2$ )، است. مالیات کربن، یک مالیات غیرمستقیم است - مالیاتی که به جای مردم بر کالاها و خدمات و به جای درآمد بر هزینه‌کرد اعمال می‌شود. در عین حال، بر خلاف نوع متداول مالیات کالاها و خدمات<sup>۱</sup> (GST)، مالیات کربن دارای یک تأثیر متفاوت بر قیمت‌های کالاها و خدمات است که بر اساس مقدار سوخت فسیلی مصرف‌شده در تولید آن‌ها تعیین می‌شود [۹]. یک مالیات بر انتشار  $\text{CO}_2$  بیشترین افزایش قیمت را بر آلاینده‌ترین سوخت فسیلی از نقطه نظر انتشار گازهای گلخانه‌ای، یعنی زغال-سنگ، و کالاهایی که از آن تولید می‌شوند و کمترین افزایش قیمت را بر تمیزترین سوخت فسیلی از نقطه نظر انتشار گازهای گلخانه‌ای، یعنی گاز طبیعی، و کالاهایی که از آن تولید می‌شوند تحمیل می‌کند (لازم به ذکر است که مطالعات اخیر نشان می‌دهند که میزان گازهای منتشرشده در طول چرخه

1 Goods and Services Tax

عمر گاز شیل، در صورتی که در طول یک افق زمانی بیست‌ساله ارزیابی شود، با میزان گاز منتشرشده توسط زغال‌سنگ قابل مقایسه است [۱۰]. به بیان دقیق‌تر، یک مالیات کربن که برای هر گیگاژول (GJ) انرژی یک دلار به قیمت زغال‌سنگ می‌افزاید برای نفت ۰/۸۴ دلار بر گیگاژول و برای گاز طبیعی ۰/۵۷ دلار بر گیگاژول اضافه می‌کند. در عین حال، محاسبه نرخ کربن بر واحد انرژی نهفته در سوخت تنها اولین گام است - بازده فرایند تبدیل را نیز باید در نظر گرفت. به عنوان مثال، برای تولید برق، گاز طبیعی می‌تواند با بازده تبدیلی در حدود ۶۰ درصد در یک نیروگاه سیکل ترکیبی سوزانده شود، در حالی که بالاترین میزان بازده تبدیل یک نیروگاه زغال‌سوز مدرن در حدود ۴۰ درصد است. در نتیجه، در این شرایط میزان نسبی تولید  $CO_2$  بین برق یک نیروگاه زغال‌سوز و برق یک نیروگاه گازسوز عبارت است از:  $2/6 = 60 / (57 \times 0/4)$ . بنابراین، مالیات کربنی که یک دلار بر گیگاژول به قیمت زغال‌سنگ می‌افزاید تنها  $0/38 = 1/2/6$  دلار به قیمت گاز طبیعی مصرفی در یک نیروگاه سیکل ترکیبی اضافه خواهد کرد.

همانگونه که در فصل ۵ در بخش "بازگشت انرژی" بحث شد، اغلب فناوری‌های تجدیدپذیر در مقایسه با انرژی تولیدی در طول حیاتشان دارای ورودی سوخت‌های فسیلی کمی در مراحل ساخت و نصب بوده و در مرحله بهره‌برداری نیز هیچ‌گونه گاز گلخانه‌ای تولید نمی‌کنند. در نتیجه، این فناوری‌ها دارای انتشار  $CO_2$  پایینی در طول چرخه عمرشان هستند و مالیات کربن ناچیزی در قیمت انرژی‌ای که تولید می‌کنند منظور خواهد شد. دو فناوری تجدیدپذیر از این قاعده کلی مستثنی هستند. طرح‌های برق‌آبی‌ای که دره‌های سرسبز وسیعی را به زیر آب می‌برند در اثر تجزیه غیرهوازی گیاهان گاز متان تولید می‌کنند که یکی از گازهای گلخانه‌ای قوی است. برخی از انواع انرژی‌های زیستی مقادیر زیادی سوخت فسیلی به عنوان ورودی استفاده می‌کنند و در نتیجه از طریق فراوری، استفاده از کودهای شیمیایی و حمل و نقل در طول مسیرهای طولانی گاز  $CO_2$  تولید می‌کنند. این انرژی‌ها حتی ممکن است دارای مقدار خالص انتشار گاز هم باشند چرا که برای تولید آن‌ها جنگل‌های طبیعی انبوه توسط جنگل‌های دست‌ساز کم‌تراکم‌تر جایگزین می‌شوند (رک فصل ۵).

نکات کلیدی در طراحی یک مالیات کربن عبارتند از: گازهای گلخانه‌ای و سوختی که صرفه‌جویی می‌شوند، نرخ مالیات و اینکه این نرخ چگونه در طول زمان تکامل می‌یابد، محل اخذ مالیات (تا کجا به طرف بالادست)، رابطه آن با مالیات‌های موجود، هرگونه معافیت یا تخفیفی که به برخی ذینفعان خاص اعطاء می‌شود، و اینکه درآمدهای حاصل چگونه خرج می‌شوند. این عوامل

میزان تأثیر مالیات کربن و آثار اجتماعی آن را تعیین می‌کنند. اغلب مالیات‌های زیست‌محیطی در کشورهای عضو سازمان همکاری و توسعه اقتصادی (OECD) که هدف کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای را دنبال می‌کنند بر محصولات انرژی و خودروها اعمال می‌شوند و نه مستقیماً بر انتشار CO<sub>2</sub>. در عین حال، چند کشور اروپایی دارای یک مالیات آشکار کربن هستند، هرچند که برای برخی از صنایع مورد حمایت معافیت‌هایی در نظر گرفته‌اند. چند کشور عضو اتحادیه اروپا نیز علاوه بر مشارکت در طرح تبادل انتشار (ETS) اتحادیه اروپا دارای مالیات کربن مجزا هستند. یکی از محدود کشورهای غیراروپایی دارای مالیات کربن کاستاریکاست. این کشور بخشی از درآمد حاصل از طریق این مالیات را برای تشویق مالکان اراضی به حفظ و توسعه جنگل‌ها هزینه می‌کند.

### مبادله انتشار از طریق محدود کردن و مبادله

مبادله انتشار از طریق محدود کردن و مبادله بسیار پیچیده‌تر از یک مالیات است. این فرایند در برگیرنده تعیین یک میزان مجاز هدف برای انتشار گاز، اختصاص مجوزها یا سهمیه‌ها به تولیدکنندگان (مستقیم یا غیرمستقیم) گازهای گلخانه‌ای به گونه‌ای که تعداد مجوزهای صادر شده متناسب با هدف انتخاب شده باشد، اجبار تولیدکنندگان به این که به میزان گاز تولیدی خود مجوز انتشار تهیه کنند، و پایش فرایند است. شرکت کنندگان در بازار اجازه دارند که مجوزها را داد و ستد کنند و همین موجب تعیین نرخ کربن می‌شود. آنگاه، به صورت نظری، شرکت کنندگانی که می‌توانند با هزینه کمی میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای خود را کم کنند بخشی از مجوزهای خود را به شرکت کنندگانی که با هزینه بالاتری می‌توانند میزان انتشار گاز خود را کاهش دهند خواهند فروخت. در نتیجه، ابتدا روش‌های ارزان‌قیمت‌تر کاهش انتشار گاز به کارگیری می‌شوند و زمان لازم برای کسانی که باید از روش‌های گران‌قیمت‌تر برای اصلاح نحوه فعالیتشان استفاده کنند خرید می‌شود. این مبنای ادعای اقتصاددانان نئوکلاسیک است که می‌گویند یک ETS از نظر اقتصادی مؤثرتر از یک مالیات کربن یا هرگونه اهرم سیاستی دیگر است. اما، این ادعا بر فرض‌هایی در خصوص نحوه عملکرد بازار در زمینه مجوزها استوار است که در عمل برآورده نمی‌شوند. در نتیجه، ادعای کارآمد بودن اقتصادی این روش را نمی‌توان تأیید کرد [۱۱].

الزامات اساسی برای یک ETS موفقیت‌آمیز عبارتند از یک کالای قابل داد و ستد، خریداران دارای تمایل خرید و فروشندگان آماده فروش [۱۲]. برای آن‌ها که خریداران متمایل به خرید پیدا شوند، لازم است که برای بخش‌هایی از اقتصاد مشارکت در این طرح اجباری شود. بنابراین، برخلاف این شعار که تبادل انتشار یک مکانیسم بازار است، این طرح برای آن‌ها که مؤثرتر واقع شود نیازمند یک ساختار تنظیم مقررات قدرتمند است. فروشندگان آماده فروش زمانی قدم پیش می‌گذارند که اهداف تعیین شده و نحوه اختصاص مجوزهای انتشار، آن‌ها را به این کار تشویق کند. در عمل راه‌های فراوانی برای طراحی و اجرای مبادله انتشار وجود دارند. انتخاب‌های مهمی باید صورت پذیرند تا مشخص شود که طرح‌ها با چه اهدافی طراحی شده‌اند:

- کاهش انتشار گازهایی که به صورت فیزیکی می‌توان آن‌ها را اندازه‌گیری کرد، یا در نظر داشتن کاهش‌هایی که غیرقطعی و تخمینی هستند،
  - اختصاص رایگان مجوزهای انتشار به صنایع منتشرکننده گاز به نسبت مقدار انتشار فعلی آن‌ها (اختصاص حق آب و گل)، یا به مزایده گذاشتن مجوزها به گونه‌ای که همه شرکت‌کنندگان اجازه پیشنهاد قیمت داشته باشند،
  - تعیین طرف‌های مسئول (آن‌ها که باید مجوز انتشار تهیه کنند) به عنوان گروه نسبتاً کوچکی از صنایع که در عمل و به صورت مستقیم گاز منتشر می‌کنند، یا تعداد فراوان مصرف‌کنندگانی که به صورت غیرمستقیم و به دلیل خرید کالاها و خدمات این صنایع موجب انتشار گاز می‌شوند،
  - بازپرداخت درآمد حاصل به مردمی که در اثر اعمال نرخ کربن متضرر شده‌اند،
  - جبران خسارت وارد شده به صنایع پرمصرفی که در معرض مبادله انتشار قرار گرفته‌اند،
  - تمرکز بر گاز CO<sub>2</sub> به تنهایی، یا در نظر گرفتن گازهای گلخانه‌ای دیگر هم که میزان انتشار آن‌ها به صورت معادل CO<sub>2</sub> اندازه‌گیری می‌شود،
  - صدور مجوز برای پس‌انداز و وام گرفتن مجوزهای انتشار،
  - تعیین محدودیت‌های شدید برای خرید مجوزهای انتشار اضافی از کشور،
  - تعیین جرایم و مقررات الزام‌کننده اصلاحی شدید برای بنگاه‌هایی که مقدار انتشار گاز آن‌ها بیش از حدی است که توسط مجوزهای آن‌ها پوشش داده می‌شود.
- انعطاف‌پذیری هم فرصت به وجود می‌آورد و هم ریسک. این طرح‌ها و مقررات مربوط به آن‌ها توسط دولت‌ها یا سازمان‌های بین‌المللی خلق می‌شوند که بر اساس اهداف سیاسی به این طرح‌ها

شکل می‌دهند تا به فشارهای سیاسی وارد از سوی ذی‌نفعان قدرتمند پاسخ دهند. علاوه بر این، برخی از نسخه‌های این طرح‌ها به‌طور ذاتی از شکست‌های بازار رنج می‌برند و همه آن‌ها به بازارهای انرژی-ای منتهی می‌شوند که خود آن بازارها هم شکست‌های بازار مخصوص به خود را دارند. بنابراین، طراحی، تنظیم مقررات، نحوه اعمال و شفافیت طرح‌های مبادله انتشار نقشی حیاتی در موفقیت این طرح‌ها در کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای بازی می‌کنند.

اختصاص مجوزهای انتشار گاز بر اساس حق آب و گل باعث می‌شود که امتیازات ویژه‌ای به برخی از صنایع موجود، که بسیاری از آن‌ها تولیدکنندگان بزرگ گازهای گلخانه‌ای هستند، اعطا شود و ورود به بازار را برای فناوری‌های جدیدتر و پاک‌تر دشوارتر می‌سازد. از سوی دیگر، شروع طرح-های مبادله انتشار با استفاده از سامانه‌ای که مجوزهای انتشار گاز را بر اساس مزایده اختصاص می‌دهد می‌تواند منجر به خارج از فعالیت شدن دارایی‌ها، تحمیل خسارات اقتصادی هنگفت بر عرضه‌کنندگان موجود انرژی و محصولاتی که برای تولید نیاز به انرژی زیادی دارند و بروز اختلال جدی در تأمین نیازهای مصرف‌کنندگان شود. یک روش عملی‌تر عبارت است از شروع به کار با اختصاص نیمی از مجوزها بر اساس حق آب و گل و سپس بازنگری در نحوه توزیع مجوزها در فواصل زمانی (مثلاً) سه-ساله به گونه‌ای که تعداد بیشتری از مجوزها به صورت مزایده توزیع شوند و ادامه کار تا جایی که همه مجوزها بعد از یک دوره زمانی (مثلاً) ده ساله از طریق مزایده اختصاص داده شوند.

طرح‌های ETS موجود با هدف مقابله با تغییرات آب و هوایی، هم طرح‌های در حال اجرا و هم طرح‌هایی که هنوز اجرایی نشده‌اند، در جدول ۸-۱ آمده‌اند. طیف وسیعی از ساختارها و پتانسیل‌های اثرگذاری در این طرح‌ها دیده می‌شود. همه موارد به جز چین دارای طرح محدود کردن و مبادله هستند.

اولین طرح عمده ETS جهان طرح اتحادیه اروپا بود که از ابتدای سال ۲۰۰۵ آغاز شد (رک یادداشت ۸-۲). به دنبال این طرح، ابتکار منطقه‌ای گازهای گلخانه‌ای<sup>۱</sup> (RGGI) در ۱۰ ایالت شمال شرق آمریکا در سال ۲۰۰۸-۹ اجرایی شد [۱۳]. طرح‌های آزمایشی ETS در چند شهر چین دارای محدودیت برای حجم انتشار گازهای گلخانه‌ای نیستند و فقط برای شدت انتشار گاز محدودیت قائل شده‌اند. شدت انتشار گاز برابر است با مقدار کل انتشار گاز تقسیم بر تولید ناخالص داخلی (GDP). وقتی که نرخ رشد GDP از نرخ رشد انتشار گازهای گلخانه‌ای بیشتر می‌شود، شدت انتشار گاز

کاهش می‌یابد. بنابراین، اگر رشد سالیانه اقتصادی ۹ درصد است، رشد انتشار گاز (مثلاً) ۸/۹ درصد هم سقف تعیین شده برای شدت انتشار را رعایت می‌کند. با درک این محدودیت، کمیسیون قدرتمند توسعه ملی و اصلاحات چین پیشنهاد کرده است که تا سال ۲۰۱۶ یک سقف مشخص برای میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای تعیین شود. برای اینکه این پیشنهاد تبدیل به سیاست رسمی دولت شود باید مورد قبول شورای دولتی واقع گردد.

جدول ۸-۱- طرح‌های مبادله انتشار گاز بر اساس کشورها یا مناطق [۱۴]

کشور / منطقه	نام طرح	وضعیت	توضیح
اتحادیه اروپا	EU ETS	فعال	CO <sub>2</sub> مجوز رایگان در شروع، حمل و نقل منظور نشده است، رک یادداشت ۸-۲.
سوئیس	Swiss ETS	فعال، قرار است به EU ETS بپیوندد	مشابه EU ETS
نروژ	به EU ETS پیوسته است	فعال	مشابه EU ETS اما تنها ۱۰٪ انتشار گاز نروژ را پوشش می‌دهد.
ایسلند	به EU ETS پیوسته است	فعال	-
لیختن اشتاین	به EU ETS پیوسته است	فعال	-
نیوزیلند	New Zealand ETS	فعال	کشاورزی، که عمده‌ترین بخش منتشرکننده گاز در نیوزیلند است، منظور نشده است.
۱۰ ایالت آمریکا <sup>(a)</sup>	RGGI	فعال	فقط بخش الکتریسیته، مجوزها در مزایده عرضه می‌شوند، درآمدها در بخش انرژی‌های پایدار سرمایه‌گذاری می‌شوند.
کالیفرنیا	ETS ممکن است به Quebec ETS بپیوندد	فعال	اغلب گازهای گلخانه‌ای، انرژی ثابت، حمل و نقل و صنایع را پوشش می‌دهد.
کبک	ETS، ممکن	فعال	مشابه California ETS

		است به California ETS پیوندد	
به صورت آزمایشی در منطقه کلان‌شهر توکیو و تنها CO <sub>2</sub> را پوشش می‌دهد، طرح پیشنهادی برای ETS ملی به تعویق افتاده است.	فعال	ETS	ژاپن
در حال حاضر یک مالیات کربن دارد که قرار است در سال ۲۰۱۵ به ETS تبدیل شود، اما دولت جدید قصد دارد آن را حذف کند.	قرار است به EU ETS پیوندد	Carbon Tax → ETS	استرالیا
-	آزمایشی	ETS	قزاقستان
سقف تعیین شده برای شدت انتشار گازهای گلخانه‌ای، که سقف تعیین شده برای انتشار گازهای گلخانه‌ای نیست.	در سال ۲۰۱۳ آغاز شده است	ETS آزمایشی در چند شهر و استان	چین
از سال ۲۰۱۵ آغاز خواهد شد، در ابتدا همه مجوزهای انتشار رایگان هستند، خرید مجوز از خارج منظور نشده است.	در دست توسعه	ETS	کره جنوبی
اطلاعاتی در دسترس نیست.	در دست توسعه	ETS	بلاروس

(a) کانکتیکات، دلاویر، مین، مریلند، ماساچوستس، نیوهمپشایر، نیوجرسی، نیویورک، زُدآیلند و ورمونت.

**یادداشت ۸-۲- ETS اروپا**

به دنبال تصویب پیمان کیوتو، اتحادیه اروپا متعهد شد که تا سال ۲۰۱۲ میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای خود را به ۸ درصد زیر سطح انتشار این گازهای خود در سال ۱۹۹۰ برساند. یکی از سیاست‌هایی که برای تسهیل این کاهش طراحی شد عبارت بود از EU ETS، یک طرح ETS محدود کردن و مبادله انتشار که از ابتدای سال ۲۰۰۵ آغاز شد. این طرح دارای سه مرحله است: یک مرحله آزمایشی سه‌ساله (۲۰۰۵-۲۰۰۷)، یک مرحله دوم که با دوران تعهد پیمان کیوتو مطابقت دارد (۲۰۱۲-۲۰۰۸) و یک مرحله سوم (۲۰۱۳-۲۰۲۰) که از اهداف پیمان کیوتو نیز فراتر رفته و هدف بالاتری مبنی بر کاهش گازهای گلخانه‌ای به میزان ۲۰ درصد کمتر از سطح گازها در سال ۱۹۹۰ را دنبال می‌کند. این طرح انتشار گاز CO<sub>2</sub> توسط تولیدکنندگان بزرگ آن در بخش‌های تولید برق، تولید گرما و صنایعی که مصرف انرژی بالایی دارند را پوشش می‌دهد. در مجموع، بیش از ۱۱۰۰۰ واحد صنعتی در ۳۱ کشور پوشش داده شده‌اند که برابر با تقریباً نیمی از انتشار CO<sub>2</sub> اتحادیه اروپا و حدود ۴۵ درصد از کل CO<sub>2</sub> به علاوه معادل CO<sub>2</sub> برای سایر گازهای گلخانه‌ای در اروپاست [۱۵].

در مرحله اول تقریباً همه مجوزهای انتشار به صورت رایگان در اختیار صنایع قرار گرفتند. مرحله اول موفق شد که یک نرخ برای کربن تعیین کند، تجارت آزاد مجوزهای انتشار در سراسر اتحادیه اروپا را

برقرار سازد و زیرساخت‌های لازم برای پایش، گزارش‌دهی و راستی‌آزمایی مقادیر واقعی انتشار گاز توسط بنگاه‌های تحت پوشش را فراهم آورد. در ماه‌های اولیه اجرای طرح، قیمت مبادله نقدی مجوزها به ۳۰ یورو بر هر تن CO<sub>2</sub> رسید، و همانگونه که پیش‌بینی می‌شد، شرکت‌های برق و برخی دیگر از صنایع قیمت کربن را در قیمت محصولاتشان، مانند الکتریسیته، منظور کردند که سود بادآورده‌ای در حد میلیاردها یورو برای آن‌ها به همراه داشت. بدتر از این، دولت‌ها تحت فشار صناعی که مصرف بالای انرژی داشتند کار اختصاص مجوزها در سطح ملی را بر اساس حدس و گمان انجام دادند. بنابراین، همانگونه که قابل پیش‌بینی بود، مقدار کل مجوزهای صادر شده در اتحادیه اروپا از مقدار کل انتشار گازهای گلخانه‌ای توسط بنگاه‌های تحت پوشش در اتحادیه اروپا فراتر رفت. وقتی که بازار این حقیقت را دریافت، قیمت مبادله نقدی مجوزها به صفر سقوط کرد [۱۶].

در مرحله دوم اکثریت عمده مجوزهای انتشار هنوز هم به صورت رایگان صادر می‌شدند. اتحادیه اروپا به میزانی جزئی محدودیت انتشار را افزایش داد اما بحران مالی جهانی (GFC) که در اواخر سال ۲۰۰۸ آغاز شد موجب کاهش فعالیت بنگاه‌های اقتصادی، و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و در نتیجه کاهش حتی بزرگ‌تری در میزان تقاضا برای مجوزهای انتشار شد. این موضوع باعث شد که حجم زیاد و رو به افزایشی از مجوزهای انتشار استفاده نشده در بازار سرگردان بماند که قیمت کربن را در تمام طول دوره مرحله دوم پایین نگاه داشت. در پایان مرحله دوم، مشخص نبود که آیا طرح EU ETS هیچ کاهش قابل توجهی در انتشار گاز به دنبال داشته است یا نه. گزاره‌برگی که توسط کمیسیون اروپا منتشر شده است کاهشی در حدود ۱۷ هزار تن برای هر منتشرکننده بزرگ گاز، یا ۸ درصد، بین سال‌های ۲۰۰۵ و ۲۰۱۰ را نشان می‌دهد [۱۷]، اما اغلب این کاهش‌ها می‌توانند در اثر بحران مالی جهانی و سیاست‌های مکملی که موجب گسترش انرژی‌های تجدیدپذیر و بهبود بهره‌وری انرژی شدند به وجود آمده باشند. بر اساس پژوهشی که توسط دو نفر اقتصاددان به نام‌های Stefano Clò و Emanuele Vendramin انجام شد، در بخش الکتریسیته در طی سال‌های ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۱، طرح EU ETS انتقال کوچکی از زغال‌سنگ به گاز را به وجود آورد که موجب کاهش انتشار گاز به میزان ۱۹۳ میلیون تن شد [۱۸]. اگر طرح EU ETS واقعاً در طول مراحل اول و دوم ناموفق بوده است، بار تحقق اهداف پیمان کیوتو در اتحادیه اروپا بر دوش آن بخشی از صنعت قرار داشته که توسط ETS پوشش داده نشده است.

در پایان سال ۲۰۱۲، طرح EU ETS به کما رفته بود. بازنگری‌های بعدی این طرح، که در طراحی مرحله سوم صورت گرفته‌اند، ممکن است یک قطره تزریق وریدی فراهم کنند. اختصاص مجوزها به صورت ملی جای خود را به یک سقف مجاز انتشار واحد برای کل اتحادیه اروپا، که برای یک کاهش

جزئی ۱/۷۴ درصدی در هر سال تا سال ۲۰۲۰ و احتمالاً بعد از آن طراحی شده، داده است. در سال ۲۰۱۳ ۲۰۱۳

چهل درصد مجوزها از طریق مزایده توزیع خواهند شد و این نسبت در سال‌های پس از آن افزایش خواهد یافت. در عین حال، در اتحادیه اروپا این نگرانی روزافزون وجود دارد که برای احیای این بیمار اقدامات شدیدتری لازم است. اقداماتی که توسط کمیسیون اروپا در دست بررسی هستند عبارتند از [۱۹]:

- افزایش هدف اتحادیه اروپا برای کاهش گازهای گلخانه‌ای در سال ۲۰۲۰ به ۳۰ درصد،
- افزایش درصد کاهش سالیانه مجوزها از ۱/۷۴ درصد،
- حذف بلافاصله تعداد زیادی از مجوزها از بازار (یک گزینه طولانی مدت تر می‌تواند ایجاد یک بانک کربن مرکزی با وظیفه کنترل عرضه مجوزها به منظور تضمین پایداری قیمت کربن در داخل یک محدوده مجاز نوسان از پیش تعیین شده، باشد [۲۰])،
- افزودن حمل و نقل جاده‌ای به ETS،
- کاهش دسترسی به مجوزهای انتشار خارجی،
- اعمال یک کف قیمت، یعنی یک حد پایینی، برای نرخ کربن.

این اصلاحات باید توسط پارلمان اروپا و با ۷۴ درصد آراء کمیسیون اروپا، نمایندگان کشورهای عضو اتحادیه اروپا، تصویب شوند. این کار، خصوصاً در شرایطی که لهستان، یک تولیدکننده و مصرف‌کننده عمده زغال‌سنگ، با آن مخالف است، بسیار دشوار خواهد بود.

### مالیات کربن یا EST؟

مزایای اصلی‌ای که برای یک ETS ادعا می‌شوند از این قرارند: این روش یک هدف برای میزان انتشار مجاز تعریف می‌کند، به صورت نظری این روش از نظر اقتصادی کارآمدتر است، این طرح‌ها را می‌توان با طرح‌های مشابه در سایر کشورها پیوند داد و این روش این داغ‌ننگ را بر پیشانی خود ندارد که یک مالیت خوانده شود. با کمال تأسف، در دنیای واقعی قدرت سیاسی دیده‌ایم که این مزایای ظاهری ممکن است در عمل به تحقق نرسند. طرح ETS اروپا، آنگونه که در دسامبر ۲۰۱۲ در پایان مرحله دوم خود بود، نتوانسته بود به تنهایی اهداف اتحادیه اروپا در ارتباط با انتشار گازهای گلخانه‌ای را محقق سازد. مقدار ناچیز کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای که تاکنون به این طرح نسبت

داده شده است را باید در برابر منافع بادآورده عظیمی که از جیب عموم به سوی شرکت‌های برق سرازیر شد سنجید (رک یادداشت ۸-۲).

یک مالیات کربن دارای چندین مزیت در مقایسه با یک ETS است [۲۱]:

- مالیات‌ها اهرم‌های به خوبی شناخته‌شده‌ای هستند که به سادگی می‌توان آن‌ها را با استفاده از سامانه اجرایی موجود اعمال کرد. مالیات‌ها معمولاً پیچیدگی کمتری دارند، شفاف‌ترند و اجرای آن‌ها در مقایسه با مبادله انتشار گاز به هزینه کمتری نیاز دارد.
  - یک مالیات معمولاً از نقطه نظر سبد درآمدهای دولت نیز مطلوب‌تر است، چرا که تأثیر آن بر بودجه دولت، حداقل در کوتاه مدت، آشکاراست.
  - درآمدهای حاصل از مالیات (و نیز درآمدهای ناشی از صدور مجوزهای انتشار از طریق مزایده) می‌تواند برای جبران خسارت واردشده به خانوارهای کم‌درآمدی که در برابر افزایش قیمت انرژی آسیب‌پذیرند، برای کمک‌های مالی جبرانی به جوامعی که تولیدکننده سوخت‌های فسیلی هستند و برای توسعه فناوری‌ها و زیرساخت‌های کم‌کربن استفاده شوند.
  - یک مالیات کربن، در مقایسه با طرح‌های متزلزل ETS، منجر به قیمت پایداری برای کربن می‌شود، خصوصاً اگر در تصویب قوانین مربوط به این مالیات امکان افزایش آن نیز پیش‌بینی شده باشد. این امر باعث می‌شود که سرمایه‌گذاران در فناوری‌ها و زیرساخت‌های کم‌کربن از اطمینان بیشتری برخوردار شوند.
  - یک مالیات کربن را می‌توان به سادگی، در چهارچوب یک مسیر مشخص از ابتدا تعیین شده، تغییر داد تا بتوان سایر جنبه‌های فناوری انرژی، از قبیل کاهش عرضه، آلودگی هوا و آب، مصرف آب و کاهش کیفیت زمین، را در نظر گرفت. این مالیات را حتی می‌توان به صورت یک مالیات زیست‌محیطی توسعه داد.
  - بر خلاف یک ETS، یک مالیات کربن این اجازه را به دلالت نمی‌دهد که اهرم‌های مالی‌ای به وجود آورند که موجب خلق فرصت‌های پول درآوردن برای برخی و در نتیجه افزایش قیمت کربن برای همه می‌شوند.
- مالیات‌های کربن دارای محدودیت‌های خاص خود هستند، هرچند که این محدودیت‌ها راه-حل‌های سرراستی دارند. مالیات‌های کربن وضع‌شده در کشورهای مختلف نمی‌توانند به سادگی با یکدیگر پیوند داده شوند تا یک مالیات بین‌المللی کربن شکل گیرد. در عین حال، از آنجایی که در

حال حاضر دورنمای چندانی برای ایجاد یک مالیات بین‌المللی کربن وجود ندارد می‌توان اینطور استدلال کرد که بهتر است هر کشور یک مالیات کربن مؤثر داشته باشد تا اینکه طرح ETS غیرمؤثری داشته باشد که ممکن است در آینده بهبود داده شود. یک مالیات کربن را می‌توان در صورت نیاز به یک ETS تبدیل نمود. یک محدودیت ادعایی دیگر آن است که محاسبه بی‌طرفانه نرخ از مالیات کربن که منجر به تحقق اهداف زیست‌محیطی می‌شود غیرممکن است. بهترین کاری که می‌توان کرد آن است که یک مسیر حرکت برای آینده تعیین شود که در طی آن نرخ مالیات کربن به تدریج تا جایی افزایش می‌یابد که اهداف زیست‌محیطی محقق شوند. برای انجام این کار، مسیر افزایش نرخ مالیات یک خط نیست، بلکه یک محدوده است که اجازه تغییرات جزئی نرخ مالیات در بازه‌های زمانی تعریف شده در ابتدای اجرای طرح را می‌دهد.

هم مالیات کربن و هم ETS هر دو کاهش<sup>۱</sup> هستند، بدین معنی که تأثیر آن‌ها بر طبقات کم-درآمد بیشتر است تا بر دارندگان درآمدهای بالاتر. این عیب را می‌توان از طریق روش‌های جبرانی برطرف نمود. به عنوان نمونه، استرالیا به عنوان بخشی از "برنامه آینده انرژی پاک"<sup>۲</sup> خود در زمان اجرای یک نرخ کربن، سقف معافیت مالیاتی بر درآمد را به میزان چشمگیری و حقوق بازنشستگی را به میزان کمتری افزایش داد.

قضاوت‌های سلیقه‌ای در تصمیم‌گیری برای اینکه از یک مالیات کربن حمایت بکنیم یا نه و در انتخاب بین یک مالیات کربن و یک طرح ETS محدود کردن و مبادله انتشار، اجتناب‌ناپذیر است. نظر شخصی من این است که یک مالیات کربن لازم است و باید توسط همه کشورهای اعمال شود، مشروط بر آن که طبقات کم‌درآمد با استفاده از درآمدهای حاصل از مالیات حمایت شوند و مشروط بر آن که سیاست‌های مکملی وجود داشته باشند که به جای روش‌های متداول فعلی، که جز به فجایع زیست‌محیطی، اجتماعی و اقتصادی منجر نخواهند شد، راه‌های جایگزینی را در اختیار مردم قرار دهند. علاوه بر این، مزایای یک مالیات کربن بسیار فراوان‌تر از معایب آن است و یک مالیات کربن، در مقایسه با یک طرح ETS که توسط سیاستمداران طراحی شده است، احتمال تأثیرگذاری بیشتری دارد. در عین حال، برای هر دوی این اهرم‌های اقتصادی ضروری است که مراحل طراحی هر کدام

1 Regressive  
2 Clean Energy Future Plan

- کاملاً شفاف بوده و نتایج بالقوه جنبه‌های مختلف طراحی آن‌ها برای نظارت و بحث مردمی در دسترس باشند. اگر یک طرح ETS انتخاب شود، این طرح باید دارای موارد زیر باشد:
- یک سقف انتشار سخت‌گیرانه که به تدریج پایین‌تر آورده می‌شود تا موجب کاهش عمده در انتشار گازها شود،
  - پوشش گسترده (دربرگیرنده حداقل انرژی ثابت، حمل و نقل و گازهای منتشرشده توسط صنایع که ربطی به مصرف انرژی ندارند) و اعمال آن در بالادست،
  - مجوزهایی که دارای ماهیت موقتی برای انتشار گاز هستند، و نه حقوق مالکانه دائمی،
  - برگزاری مزایده به عنوان مجرای اصلی اختصاص مجوزهای انتشار،
  - یک ساختار شفاف با هزینه تراکنش پایین،
  - برنامه‌های جبرانی برای طبقات کم‌درآمد و کارگرانی که در اثر برنامه‌های ETS دچار ضرر و زیان شده‌اند،
  - عدم وجود معافیت یا برنامه‌های جبرانی برای صنایع تولیدکننده گازهای گلخانه‌ای، به جز تخفیف‌های احتمالی برای صنایع مصرف‌کننده انرژی که در معرض مبادله<sup>۱</sup> (EITE) قرار دارند،
  - محدودیت‌های شدید در خصوص حداکثر میزان مجاز خرید مجوز انتشار از خارج از کشور.
- حتی با مشخصات بالا هم مشخص نیست که آیا یک طرح ETS مؤثر خواهد بود یا نه. علاوه بر این، چه نرخ کربن به شکل یک مالیات ظاهر شود و چه به صورت یک طرح ETS، این نرخ در بهترین حالت تنها می‌تواند تأثیر بر انواع فناوری‌ها و صناعی که آن‌ها را تولید می‌کنند، یعنی عبارت T در معادله  $I=PAT$ ، و بر بخشی از عبارت A (مصرف سرانه) از طریق افزایش بهره‌وری، داشته باشد. در عین حال، برای انتقال به یک اقتصاد با کربن صفر لازم است که به رشد در مصرف کل نیز خاتمه دهیم.

### تغییر سامانه اقتصادی

در زمان نگارش این کتاب، بحران مالی جهانی موجب توقف رشد اقتصادی در آمریکا و بخش اعظم اروپا شده است. نتیجه این توقف، بیکاری گسترده نیروی کار در ماه می ۲۰۱۳ تا حد

1 Energy-Intensive Trade Exposed Industries

۲۷/۶ درصد در یونان و ۲۶/۳ درصد در اسپانیا، از دست دادن پس‌انداز و مزایای بازنشستگی بسیاری از مردم، اعمال اقدامات ریاضت اقتصادی سخت‌گیرانه بر خدمات اجتماعی و مقاوت شدید شهروندان در برابر این اقدامات بوده است. من معتقدم آنچه که مشاهده می‌کنیم عوارض شدید یک اقتصاد رشدمحور شکست‌خورده است. یکی دیگر از این عوارض، ناتوانی مزمن سامانه اقتصادی موجود در کاهش قابل‌توجه فاصله عظیم طبقاتی بین غنی و فقیر است. یک پژوهش انجام‌شده توسط شبکه عدالت مالیاتی<sup>۱</sup> دریافته است که بخش اعظم ثروت مالی ثروتمندان، که در حدود ۲۱ تا ۳۲ هزار میلیارد دلار تخمین زده می‌شود، به جای آن‌که موجب ایجاد شغل و منافع برای طبقات فقیر شود در بهشت‌های مالیاتی سرمایه‌گذاری شده است [۲۲]. حتی بدتر از این، شواهد موجود دلالت بر این دارند که ثروت معمولاً از طرف طبقات فقیر به طرف طبقات ثروتمند جذب می‌شود [۲۳].

خطرناک‌ترین پیامد وضع موجود، شکست سامانه اقتصادی در حفاظت از محیط زیست طبیعی‌ای است که همه ما به آن وابسته‌ایم. طبیعت، فرایند فتوسنتز را ممکن می‌سازد که طی آن انرژی خورشیدی به شکلی تبدیل می‌شود که موجودات زنده می‌توانند آن را بخورند و استفاده کنند و اکسیژنی در هوا عرضه می‌کند که ما آن را تنفس می‌کنیم. همچنین، ما برای چرخه‌های عظیم زیستی-زمینی-شیمیایی، که ما و سایر گونه‌ها را قادر به زندگی و فعالیت بر روی زمین می‌کنند، به طبیعت وابسته‌ایم. به عنوان مثال، چرخه کربن که (تا همین اواخر) آب و هوای ما را در یک وضعیت متعادل نگه می‌دارد، چرخه مایع حیات، یعنی آب، چرخه نیتروژن، که جزء مهمی از آمینواسیدهایی است که همه پروتئین‌های مورد نیاز موجودات زنده را تولید می‌کنند و چرخه ماده غذایی اساسی، فسفر، که یک عنصر حیاتی در استخوان‌های ما و در ملکول‌های ATP (که در سلول‌های ما انرژی تولید می‌کنند) است [۲۴].

همه این مواهب طبیعی مجانی در معرض تهدید قرار دارند. یکی از اضطراری‌ترین و جدی‌ترین تهدیدات عبارت است از تغییرات آب و هوایی ناشی از انتشار گازهای گلخانه‌ای در اثر فعالیت‌های بشر (رک "پیش‌گفتار"). دلایل مستحکمی می‌توان ارائه کرد که سامانه اقتصادی موجود، که بر مبنای اندیشه رشد اقتصادی بی‌پایان بر روی یک سیاره محدود بنیادگذاری شده است، یکی از عوامل اصلی این تهدید است. در پاسخ به این تهدید، تخصص میان‌رشته‌ای اقتصاد بوم‌شناختی<sup>۲</sup> در حال

1 Tax Justice Network  
2 Ecological Economics

توسعه است. برخی از متخصصین این رشته به مفهوم یک اقتصاد حالت دائمی<sup>۱</sup> به عنوان راه‌حل می‌نگرند [۲۵].

یک اقتصاد حالت دائمی به عنوان اقتصادی تعریف می‌شود که در آن از انرژی و مواد کمتری استفاده می‌شود، رشدی در مصرف انرژی و مواد ندارد و رشد جمعیت نیز در آن متوقف شده است. بنابراین، این اقتصاد بر اساس مفاهیم بیوفیزیکی، که برای حفاظت از محیط زیست ضروری هستند، تعریف می‌شود. در این اقتصاد، محدودیتی برای رشد فعالیت‌های اقتصادی که بر اساس تولید ناخالص داخلی (GDP) اندازه‌گیری می‌شوند تجویز نمی‌شود. به صورت نظری، برخی از فعالیت‌های اقتصادی نیازمند استفاده چندانی از مواد و انرژی نیستند- در حقیقت، این فعالیت‌ها می‌توانند جایگزین برخی محصولات و خدمات دیگر که به مقادیر زیادی از مواد و انرژی نیاز دارند بشوند. در عین حال، در عمل بخش عمده رشد GDP با رشد اقتصاد بیوفیزیکی مرتبط است [۲۶].

اقتصاددانان سیاسی، برخی از اقتصاددانان بوم‌شناختی و کسانی که در زمینه توسعه پایدار کار می‌کنند بر این باورند که اقتصاد جدید باید از نظر اجتماعی عادلانه و از نظر بوم‌شناختی پایدار باشد. منظور آن‌ها از عدالت اجتماعی دسترسی برابر همگان به نیازهای ابتدایی انسانی، از قبیل غذا و آب، مسکن، امنیت فردی، خدمات بهداشتی-درمانی و آموزش است. یک روش عبارت است از شروع کار با یک تعریف قوی از توسعه پایدار که هرگونه بده-بستان بین جنبه‌های بوم‌شناختی، اجتماعی و اقتصادی را رد می‌کند. پیشنهاد من این است:

*توسعه پایدار شامل انواع توسعه اجتماعی و اقتصادی‌ای است که محیط زیست طبیعی*

*و برابری اجتماعی را حفظ و تقویت می‌کنند [۲۷].*

یک روش دیگر، که توسط گروهی متشکل از ده دانشمند برجسته و سایر متخصصین پیشنهاد

شده است، عبارت است از تعریف توسعه پایدار بر حسب مفاهیم بوم‌شناختی، یعنی:

*توسعه پایدار ... توسعه‌ای است که نیازهای حال را برآورده می‌سازد و هم‌زمان از*

*سامانه پشتیبانی از حیات زمین، که بهزیستی نسل‌های فعلی و آینده به آن وابسته است،*

*محافظت می‌کنند [۲۸].*

و سپس قرارداد این تعریف در چهارچوبی که اهداف توسعه هزاره<sup>۱</sup>، که تمرکز آن بر کاهش فقر شدید در کشورهای فقیر است [۲۹]، را در بر می‌گیرد.

یک اقتصاد حالت دائمی با اقتصاد رشدمحور شکست خورده<sup>۲</sup> متفاوت است. این اقتصاد، یک سامانه اقتصادی نوین است که دیدگاه‌های گفته‌شده در خصوص توسعه‌ای که از نظر بوم‌شناختی پایدار و از نظر اجتماعی عادلانه است را مورد حمایت قرار می‌دهد و در آن توسعه معادل رشد اقتصادی انگاشته نمی‌شود. به بیان "بنیاد اقتصاد نوین"<sup>۳</sup>، اقتصاد حالت دائمی طراحی شده است تا "منابع محدود کره زمین به گونه‌ای تقسیم شوند که عادلانه و پایدار بوده و رفاه همه ما را به دنبال داشته باشد"<sup>۴</sup> [۳۰]. هرچند که این مفهوم در مراحل اولیه توسعه قرار دارد، اما مدل‌سازی‌های اقتصاد کلان توسط پیترو ویکتور<sup>۴</sup> نشان می‌دهند که تحت برخی از شرایط، اقتصاد حالت دائمی می‌تواند با نرخ پایین بیکاری سازگار باشد [۳۱]. در حالی که چندین چالش عمده پژوهشی، مثلاً این که چگونه در شرایط انتقال به یک اقتصاد حالت دائمی می‌توان اشتغال کامل را حفظ کرد، وجود دارند، برخی از الزامات کلی سیاست‌گذاری توسط نویسندگانمانند هرمان دالی<sup>۵</sup>، پیترو ویکتور، تیم جکسون<sup>۶</sup>، راب دیتز<sup>۷</sup> و دان اونیل<sup>۸</sup> مشخص شده‌اند [همان]. این نویسندگان یک اقتصاد بازار که تحت محدودیت‌ها، مشوق‌ها و عوامل بازدارنده جدیدی فعالیت می‌کند را به تصویر می‌کشند. در اینجا تنها برخی از سیاست‌های اصلاح اقتصادی پیشنهادی را لیست می‌کنیم:

- اعمال سقف مجاز مورد توافق بین‌المللی برای استخراج منابع تجدیدناپذیر و برای نرخ استخراج منابع تجدیدپذیر، به گونه‌ای که نرخ استخراج کمتر از نرخ تولید آن‌ها باشد.
- اعمال سقف بین‌المللی برای دور ریختن زباله‌های سمی و خطرناک.
- اعمال مقررات، استانداردها و پایش به منظور حصول اطمینان از این که همه ساختمان‌ها و کالاهای مصرفی از نظر مصرف انرژی بازده بالا دارند، مقدار مواد سمی آن‌ها کم است، با دوام و قابل استفاده مجدد، و در غیر این صورت قابل بازیافت، هستند.
- اعمال اصلاحات مالیاتی زیست‌محیطی و طیف وسیعی از سایر سیاست‌های اصلاحی به گونه‌ای که کالاها و خدماتی که از نظر زیست‌محیطی ناسالم و آسیب‌زننده هستند گران‌تر تمام شده و

---

1 Millenium Development Goals

2 Failed Growth Economy

3 New Economics Foundation

4 Peter Victor

5 Herman Daly

6 Tim Jackson

7 Rob Dietz

8 Dan O'Neil

درآمدهای مالیاتی حاصل به توسعه و تجاری‌سازی جایگزین‌هایی که از نظر زیست‌محیطی سالم و بی‌ضرر هستند کمک کنند.

- کنترل بیشتر روی تبلیغات کالاهایی که بالقوه مضر هستند.
- میزان وام‌های اعطایی توسط بخش خصوصی به صد درصد ذخایر وام‌دهنده محدود شود. در عین حال، الزامات مربوط به ذخایر را می‌توان بر اساس منافع اجتماعی و زیست‌محیطی پروژه‌ها تغییر داد به گونه‌ای که اطمینان حاصل شود که عرضه پول فقط زمانی می‌تواند بیشتر شود که ارزش حقیقی‌ای تولید شود.
- پرداخت وام‌های کم بهره توسط مؤسسات مالی عمومی به پروژه‌هایی که از نظر بوم‌شناختی پایدار و از نظر اجتماعی عادلانه هستند.
- وضع یک مالیات توین<sup>۱</sup> بر نقل و انتقالات مالی بین‌المللی، که درآمد حاصل از آن به توسعه پایدار کشورهای فقیر اختصاص خواهد یافت.
- کم کردن وزن GDP به عنوان شاخصی برای عملکرد اجتماعی و اقتصادی و جایگزینی آن با مجموعه‌ای از شاخص‌ها که تصویر جامعی از وضعیت و روند حرکت در زمینه‌های محیط زیست، بهداشت، عدالت اجتماعی، اشتغال، توزیع درآمدها و دسترسی به امکانات/خدمات عمومی را ارائه می‌کند.
- وضع مالیات مستغلات و زمین برای برخورد با ثروت‌های انباشته شده.
- تضمین حداقل دستمزد و تعیین سقف برای حداکثر درآمد.
- کاهش ساعات کار.
- اصلاح قوانین برای تسهیل شکل‌گیری و فعالیت تعاونی‌ها و سایر سازمان‌های غیرانتفاعی.
- انجام تحقیقات بیشتر بر روی سامانه‌های اقتصادی حالت دائمی و راه‌های احتمالی انتقال به این وضعیت، هم از نظر اقتصاد کلان و هم از نقطه نظر بیوفیزیکی.
- اعمال محدودیت بر قدرت شرکت‌های بزرگ در جهت تقویت تصمیم‌گیری‌های مردم‌سالارانه و بازارهای عادلانه.

---

1 Tobin Tax

هرچند که تصویب و اجرای اغلب این سیاست‌ها از نظر سیاسی دشوار خواهد بود، اما دشوارترین - و احتمالاً مهم‌ترین - آن‌ها مورد آخری است.

### توقف بدون اجبار رشد جمعیت

سیاست‌های جمعیتی متفاوتی برای کشورهای غنی و فقیر مورد نیازند. در کشورهای غنی و با مقادیر انتشار گاز سرانه بسیار بالا، مثل آمریکا و استرالیا، هر فردی که به جمعیت اضافه شود، در مقایسه با فرد جدیدی که به یک کشور کمتر توسعه‌یافته اضافه می‌شود، به‌طور میانگین مسئول انتشار مقادیر بسیار بیشتری از گازهای گلخانه‌ای در طول دوران حیات خود است. بنابراین، رشد توقف جمعیت باید به عنوان یک موضوع اولویت‌دار در کشورهای غنی اتفاق بیفتد، در حالی که هنوز هم رشد جمعیت وجود دارد [۳۲]. در این خصوص، سیاست‌های اتخاذ شده باید شامل توقف تبلیغات و قطع مشوق‌های مالی در جهت تشویق زاد و ولد و کاهش سهمیه‌های مهاجرتی باشد. مهاجران به کشورهای ثروتمند در سه گروه طبقه‌بندی می‌شوند: بزرگترین گروه معمولاً تجاری/تخصصی است، سپس اعضاء خانواده‌هایی که می‌خواهند دوباره به هم پیوندند و کوچکترین گروه هم معمولاً پناه‌جویان هستند. از یک دیدگاه انسان‌دوستانه، اولویت باید به پناه‌جویان داده شود و میزان مهاجرت از طریق کم کردن تعداد مهاجران تجاری/تخصصی به شدت محدود شود. این امر دارای این مزیت اضافی نیز هست که به کاهش فرار مغزها از کشورهای فقیر، که معمولاً به سختی به پزشکان، مهندسين و مدیران دسترسی دارند، نیز کمک خواهد کرد. وقتی که وضعیت انقباض و همگرایی<sup>۱</sup> در انتشار گازهای گلخانه‌ای به دست آمد، که در آن میزان سرانه انتشار گازهای گلخانه‌ای در همه کشورهای یکسان است، آنگاه سهمیه‌بندی در مهاجرت را می‌توان حذف کرد. در عین حال، سیاست‌های مربوط به حفظ نرخ تولد در حد جایگزینی فوت‌شدگان هنوز هم ضروری خواهد بود.

در کشورهای کمتر توسعه‌یافته، سیاست‌های اصلی مورد نیاز برای کاهش نرخ تولد عبارت است از آموزش و پرورش برای زنان، پیش‌بینی دسترسی افراد به خدمات تنظیم خانواده و توسعه اقتصادی‌ای که تأمین اجتماعی برای افراد سالخورده را فراهم می‌آورد [۳۳]. برای کمک به دسترسی

به این اهداف، کشورهای توسعه‌یافته باید بودجه کمک‌های خارجی خود را افزایش دهند و بندهایی که باعث می‌شوند کمک‌های آن‌ها فقط به بنگاه‌های اقتصادی خودشان برسد را آزادتر سازند.

موانع عمده بر سر راه سیاست‌های کنترل جمعیت عبارتند از کلیسای کاتولیک، که هنوز هم با روش‌های کنترل بارداری مخالفت می‌کند، صنایع تولید کالا و مسکن و در واقع بنگاه‌های اقتصادی بزرگ که با هدف پایین نگه داشتن دستمزدها، تشویق‌کننده افزایش شمار نیروی کار هستند. بسیاری از سازمان‌های غیردولتی هوادار محیط زیست از ترس آن که به صورت غیرمنصفانه‌ای متهم به نژادپرستی یا مخالفت با مهاجرین بشوند از پرداختن به موضوع جمعیت پرهیز کرده و یا این بحث را در لوای بحث‌های کلی و عمومی پوشش داده‌اند.

### توافق‌نامه‌های بین‌المللی

تغییرات آب و هوایی ساخته دست بشر یک تهدید زیست‌محیطی، اجتماعی و اقتصادی جهانی است که باید هم در مقیاس‌های جهانی و هم در مقیاس‌های ملی و استانی/ایالتی به آن پرداخت. متأسفانه پیشرفت کار در مقیاس جهانی حتی از پیشرفت کار در مناطق کوچک‌تر هم آهسته‌تر بوده است. کنوانسیون چهارچوبی تغییرات آب و هوایی سازمان ملل متحد<sup>1</sup> (UNFCCC)، که از سال ۱۹۹۴ اجرایی شده است، هدف ارزشمند نهایی "تثبیت تمرکز گازهای گلخانه‌ای در اتمسفر در سطحی که از مداخله‌های خطرناک اتمسفری در سامانه آب و هوایی زمین جلوگیری کند" را دنبال می‌کند. این کنوانسیون اضافه می‌کند که سطح مورد نظر باید در یک چهارچوب زمانی کافی حاصل شود تا به زیست‌بوم‌ها اجازه دهد که به‌طور طبیعی خود را با تغییرات آب و هوایی تطبیق دهند، تا تولید مواد غذایی مورد تهدید قرار نگیرد و تا توسعه اقتصادی به شکلی پایدار تداوم یابد [۳۴].

کنوانسیون‌های چهارچوبی کلی بوده و از مفاهیم ارزشی‌ای مانند "خطرناک"، که تفسیربردار هستند، استفاده می‌کنند. بنابراین، در سال ۱۹۹۷ کنوانسیون تغییرات آب و هوایی از طریق تصویب پیمان کیوتو، که کشورهای توسعه‌یافته را به صورت قانونی ملزم به کاهش (جزئی) در میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای می‌کند، تقویت شد. پیمان کیوتو اذعان می‌کند که کشورهای توسعه‌یافته بیشترین سهم را در افزایش گازهای گلخانه‌ای در اتمسفر داشته‌اند. اولین دوره الزام پیمان کیوتو در سال ۲۰۰۸

1 United Nation Framework Convention on Climate Change

آغاز و در سال ۲۰۱۲ به پایان رسید. دومین دوره الزام در سال ۲۰۱۳ آغاز شد و در سال ۲۰۲۰ به پایان خواهد رسید. در حال حاضر کنوانسیون ۱۹۵ عضو و پیمان کیوتو ۱۹۱ عضو دارند. آمریکا پیمان کیوتو را تصویب نکرده است. دلیل ادعایی این کشور برای عدم تصویب پیمان کیوتو آن است که کشورهای در حال توسعه مشمول این پیمان نمی‌شوند. چند کشور نیز که در دوره اول الزام شرکت کرده بودند از دور دوم کنار کشیدند (به‌طور خاص، کانادا، ژاپن، روسیه و نیوزیلند) [۳۵].

آیا پیمان کیوتو مؤثر بوده است؟ این پیمان یک گام اولیه مهم در دیپلماسی جهانی اقلیمی بوده و این اعتراف ضمنی قوی را با خود دارد که دولت‌های صدها کشور علم اقلیم‌شناسی را به رسمیت می‌شناسند. از زمانی که مذاکرات در مورد پیمان کیوتو در سال ۱۹۹۷ آغاز شد تا سال ۲۰۱۲، میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای در جهان ۵۰ درصد افزایش داشته است، این افزایش عمدتاً توسط چین و چند کشور سریعاً در حال توسعه دیگر که این پیمان را امضا نکرده‌اند صورت گرفته است. میزان انتشار گاز توسط کشورهای پیمان را امضاء کرده‌اند کاهش یافته است، هرچند که بیشتر این کاهش را می‌توان به تعطیلی صنایع منتشرکننده گازهای گلخانه‌ای در اروپای شرقی، و در همین اواخر، بحران مالی جهانی نسبت داد. علاوه بر این، بسیاری از صنایع سنگین از کشورهای توسعه یافته به کشورهای در حال توسعه منتقل شده‌اند و نتیجه این انتقال آن است که، اگر واردات و صادرات را در نظر بگیریم، مقدار خالص انتشار گاز توسط کشورهای امضاء کننده افزایش یافته است [۳۶].

ما به جانشینی برای پیمان کیوتو نیاز داریم که اهداف سنگین‌تری را برای کشورهای ثروتمند در نظر گیرد، کشورهای سریعاً در حال توسعه را پوشش دهد و نیاز کشورهای فقیر به توسعه اقتصادی و تقویت برابری اجتماعی را به رسمیت بشناسد. و این انتظار بزرگی است! نه تنها دولت‌های کشورها فشارهای زیادی را از سوی صنایع تولیدکننده گازهای گلخانه‌ای تحمل می‌کنند بلکه بسیاری از این دولت‌ها تمایلی ندارند که جزو اولین‌هایی باشند که اقدام می‌کنند، چرا که بر این اعتقادند که چنین کاری برتری اقتصادی کوتاه‌مدتی به اقتصادهای کشورهای رقیبشان می‌بخشد. این وضعیت تحت عنوان دو راهی زندانی زیست‌محیطی<sup>۱</sup> [۳۷] شناخته می‌شود. بهترین مسیر عمل برای فرار از این دوراهی آن است که هر ملت به صورت اضطراری عمل کند و با این کار الگویی برای اقدام دیگر ملت‌ها بر جای بگذارد.

یک چهارچوب ممکن، مفهوم انقباض و همگرایی است که در بخش قبلی در ارتباط با محدود کردن رشد جمعیت به اختصار به آن اشاره شد. در این فرایند، کشورهای ثروتمند سرانه انتشار گاز خود را کاهش می‌دهند و کشورهای فقیر در ابتدا سرانه انتشار گاز خود را افزایش می‌دهند تا این-که هر کشور به یک سطح مقبول‌تر میانگین سرانه انتشار گاز در یک زمان آینده، مثلاً سال ۲۰۴۰ می-رسد [۳۸]. به منظور اجتناب از ایجاد انگیزه غلط در برخی از کشورها برای افزایش جمعیت خود، میزان جمعیت مورد استفاده برای محاسبه سرانه انتشار گاز هر کشور باید از سالی قبل از شروع این فرایند انتخاب شود. چون یک سطح ایمن انتشار گاز می‌تواند در درازمدت برابر صفر باشد، ممکن است که لازم باشد یک سطح همگرایی اولیه (مثلاً) ۵ تن بر نفر بر سال انتخاب شده و سپس به صورت تدریجی کاهش یابد تا این که پس از آن که استفاده از انرژی‌های پایدار و سایر اقدامات لازم در سطح جهانی فراگیر شد به صفر برسد. به‌طور طبیعی مقاومت شدیدی در برابر انقباض و همگرایی از سوی کشورهای ثروتمند و نیز طبقات ثروتمند در کشورهای فقیر صورت خواهد گرفت.

نزدیک‌ترین زمان ممکن برای تصویب یک جایگزین قوی برای پیمان کیوتو سال ۲۰۱۵ است. در همین حال، دولت‌هایی که به اقدامات مؤثر اقلیمی پایبند هستند تمرکز خود را بر روی مقیاس‌های ملی و استانی/ایالتی قرار داده‌اند. اگر واقع‌بینانه بنگریم، همینجا جایی است که بیشترین پتانسیل تأثیرگذاری در آینده کوتاه مدت را دارد.

### نتیجه‌گیری

کاهش تغییرات آب و هوایی ساخته دست بشر و راه‌حل اصلی، اما ناکافی آن، یعنی یک سامانه انرژی پایدار، با موانع بسیار بزرگی از سوی دارندگان منافع ویژه در صنایع تولیدکننده گازهای گلخانه‌ای و سایر صنایعی که راه‌حل‌های ادعایی دیگری پیشنهاد می‌کنند، مثل انرژی هسته‌ای که یک راه‌حل انحرافی گران‌قیمت و خطرناک و با درجه تأثیرگذاری پایین است (رک فصل ۶)، مواجه است. یک راه‌حل انحرافی دیگر عبارت است از مهندسی زمین<sup>۱</sup> که دربرگیرنده روش‌های جدید و خطرناک اعمال اصلاحات توسط انسان در اقلیم به منظور کاستن از تغییرات موجود است [۳۹].

به منظور تبدیل سامانه انرژی و برای اینکه ریسک مالی سرمایه‌گذاری در سوخت‌های فسیلی و زیرساخت‌های مرتبط با آن‌ها زیاده‌تر شده و سیگنالی به کل سامانه اقتصادی فرستاده شود که موجب گران‌تر شدن کالاها و خدمات تولیدکننده کربن زیاد بشود، اعمال یک نرخ کربن ضروری است. در نتیجه، یک نرخ کربن موجب می‌شود که حداقل برخی از هزینه‌های زیست‌محیطی، بهداشتی و اقتصادی سوخت‌های فسیلی در قیمت واقعی کالاها و خدمات منظور شود و بدین ترتیب تعیین این نرخ با سایر سیاست‌های معطوف به کاهش گازهای گلخانه‌ای سازگاری داشته و موجب تقویت آن‌ها می‌شود.

اعمال یک نرخ کربن به تنهایی کافی نیست، چرا که بازار انرژی شباهت کمی به بازارهای رقابتی ایده‌آل، که توسط اقتصاددانان نئوکلاسیک به تصویر کشیده می‌شوند، دارند. از جمله ناتوانی‌های بازار می‌توان به یارانه‌های عظیم پرداختی به سوخت‌های فسیلی و انرژی هسته‌ای، که به مراتب بیشتر از یارانه‌های ناچیز و رو به کاهش پرداختی به انرژی‌های تجدیدپذیر هستند، ساختار قیمت-گذاری مصارف خانگی برق که در بسیاری از مناطق و کشورها هزینه واقعی را منعکس نمی‌کنند، انگیزه‌های تقسیم‌شده برای بهبود بهره‌وری انرژی، غلبه تصمیم‌گیری سیاسی در زمینه احداث زیرساخت‌ها، ناتوانی یک نرخ کربن در منظور کردن بسیاری از مزایای بهره‌وری انرژی و انرژی‌های تجدیدپذیر که فراتر از مقابله با تغییرات آب و هوایی هستند و ناتوانی اقتصاد مارژینال در ایجاد تغییرات بلندپروازانه در درازا اشاره کرد. علاوه بر این، شکست سیاست طراحی و اجرای یک سامانه نرخ‌گذاری برای کربن، خصوصاً در یک طرح ETS، می‌تواند این سامانه را به چیزی بسیار متفاوت‌تر از سامانه ایده‌آلی که اقتصاددانان نئوکلاسیک آن را از نظر اقتصادی بسیار کارآمد می‌دانند تبدیل کند. بنابراین، علاوه بر یک نرخ کربن به طیف وسیعی از اهرم‌های سیاستی دیگر هم نیاز داریم.

جدای از سیاست‌های خاصی که مورد نیازند تا به فناوری‌های انرژی پایدار برای پیشرفت در مراحل گوناگون بلوغ فنی یاری رسانند (که در فصل بعدی مورد بحث قرار گرفته‌اند)، ما باید رشد جمعیت را بدون توسل به اجبار متوقف کنیم و سامانه اقتصادی نوینی به وجود آوریم که به رشد پایان‌ناپذیر مصرف مواد و انرژی در یک سیاره محدود دامن نمی‌زند و در ایجاد فرصت‌های برابر برای همه انسان‌ها در نسل‌های فعلی و آینده بسیار کارآمدتر از سامانه موجود است.

و در نهایت، برای کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و ترویج انرژی‌های پایدار به هدف-گذاری‌های بسیار بلندپروازانه‌تری در سطح جهانی نیاز داریم. در عین حال، در غیاب پیمان‌های مؤثر

بین‌المللی، به نظر می‌رسد اقدام در سطح ملی و استانی/ایالتی بهترین چشم‌اندازها را در برابر ما قرار می‌دهد.

### منابع و یادداشت‌های فصل

- 1 Senator Milne's keynote address to Solar 2013 conference, Melbourne, 24 May 2013. Milne is Leader of the Australian Greens (2013).
- 2 Watts, J (2009) Stern: Rich nations will have to forget about growth to stop climate change, <[www.guardian.co.uk/environment/2009/sep/11/sterneconomic-growth-emissions](http://www.guardian.co.uk/environment/2009/sep/11/sterneconomic-growth-emissions)>.
- 3 Hamilton, C (1997) Foundations of ecological economics. In: Diesendorf, M and Hamilton, C (eds) *Human Ecology Human Economy: Ideas for an ecologically sustainable future*, Allen & Unwin, Sydney, pp 35–63, Table 2.1.
- 4 Mishan, EJ (1969) *The Costs of Economic Growth*, Penguin, Harmondsworth; Blatt, JM (1983) *Dynamic Economic Systems: A post-Keynesian approach*, ME Sharpe Inc, Armonk, New York, and Wheatsheaf Books, Brighton, Sussex; Self, P (1993) *Government by the Market?: The politics of public choice*, Macmillan, London; Ormerod, P (1994) *The Death of Economics*, Faber and Faber, London; Davies, G (2004) *Economia: New economic systems to empower people and support the living world*, ABC Books, Sydney; Keen, S (2011) *Debunking Economics: The naked emperor dethroned*, 2<sup>nd</sup> ed, Zed Books, London.
- 5 Smith, V (2011) Power plant closures to cost US towns jobs, taxes, *The Guardian*, 20 December, <[www.guardian.co.uk/world/feedarticle/10003995](http://www.guardian.co.uk/world/feedarticle/10003995)>.
- 6 Kemfert, C and Diekmann, J (2009) Emissions trading and promotion of renewable energy – we need both, *Weekly Report*, DIW Berlin (German Institute for Economic Research), 5(14), 28 May.
- 7 Lehmann, P and Gawel, E (2013) Why should support schemes for renewable electricity complement the EU emissions trading scheme?, *Energy Policy*, 52: 597–607.
- 8 Stiglitz, JE (2008) Is there a post-Washington consensus consensus? In: Serra, N and Stiglitz, JE (eds) *The Washington Consensus Reconsidered: Towards a new global governance*, Oxford University Press, Oxford, p 42.
- 9 Stilwell, F (2011/12) Marketising the environment, *Journal of Australian Political Economy*, no 68: 108–27.
- 10 Howarth, RW, Santoro, R and Ingraffea, A (2011) Methane and greenhouse-gas footprint of natural gas from shale formations, *Climatic Change*, 106: 679–90; Howarth, RW, Santoro, R and Ingraffea, A (2012) Venting and leakage of methane from shale gas development: Reply to Cathles et al, *Climatic Change*, 113: 537–49.
- 11 Spash, C (2010) The brave new world of carbon trading, *New Political Economy*, 15(2): 169–95; Clò, S and Vendramin, E (2012) *Is the ETS still the best option?*,

- Istituto Bruno Leoni special report,  
<[www.brunoleoni.it/nextpage.aspx?codice=11541](http://www.brunoleoni.it/nextpage.aspx?codice=11541)>.
- 12 Betz, R and MacGill, I (2005) *Emissions Trading for Australia: Design, transitions and linking options*, Draft discussion paper, Centre for Energy and Environmental Markets, UNSW, <[www.ceem.unsw.edu.au/publications](http://www.ceem.unsw.edu.au/publications)>.
  - 13 Regional Greenhouse Gas Initiative <[www.rggi.org](http://www.rggi.org)>.
  - 14 Carbon pricing <[www.climatechange.gov.au/international/actions/countries-acting-now/carbon-pricing](http://www.climatechange.gov.au/international/actions/countries-acting-now/carbon-pricing)>.
  - 15 European Commission, Climate Action <[http://ec.europa.eu/clima/policies/ets/index\\_en.htm](http://ec.europa.eu/clima/policies/ets/index_en.htm)>.
  - 16 European Commission, Climate Action <[http://ec.europa.eu/clima/policies/ets/pre2013/index\\_en.htm](http://ec.europa.eu/clima/policies/ets/pre2013/index_en.htm)>; Clò and Vendramin (2012).
  - 17 European Commission factsheet (undated), The EU ETS is delivering Emission Cuts, <[http://ec.europa.eu/clima/publications/docs/factsheet\\_ets\\_emissions\\_en.pdf](http://ec.europa.eu/clima/publications/docs/factsheet_ets_emissions_en.pdf)>.
  - 18 Clò and Vendramin (2012).
  - 19 EurActive (2012) EU reveals carbon-market reform package, <[www.euractiv.com/climate-environment/eu-reveals-carbon-market-reform-news-516023?utm\\_source=EurActiv%20Newsletter&utm\\_campaign=c6204bac22-newsletter\\_climate\\_environment&utm\\_medium=email](http://www.euractiv.com/climate-environment/eu-reveals-carbon-market-reform-news-516023?utm_source=EurActiv%20Newsletter&utm_campaign=c6204bac22-newsletter_climate_environment&utm_medium=email)>.
  - 20 De Perthuis, C (2011) *Carbon Market Regulation: The case for a CO<sub>2</sub> central bank*, Paris Dauphin University Climate Economic Chair Information and Debates Series.
  - 21 Muller, F (1996) Mitigating climate change: The case for energy taxes, *Environment*, 38(2): 13–20, 36–43.
  - 22 Henry, JS (2012) *The Price of Offshore Revisited: New estimates for 'missing' global private wealth, income, inequality, and lost taxes*, Tax Justice Network, <[www.taxjustice.net/cms/front\\_content.php?idcat=148](http://www.taxjustice.net/cms/front_content.php?idcat=148)>.
  - 23 Stiglitz (2008). For a popular account see Stiglitz, JE (2011) Of the 1%, by the 1%, for the 1%, *Vanity Fair*, May.
  - 24 Washington, H (2013) *Human Dependence on Nature: How to help solve the environmental crisis*, Routledge-Earthscan, London.
  - 25 Jacobs, M (1991) *The Green Economy: Environment, sustainable development and the politics of the future*, Pluto Press, London; Victor, P (2008) *Managing without Growth: Slower by design, not disaster*, Edward Elgar, Cheltenham UK; Jackson, T (2009) *Prosperity without Growth*, Earthscan, London; Daly, HE and Farley, J (2010) *Ecological Economics: Principles and applications*, 2<sup>nd</sup> ed, Island Press, Washington DC; Dietz, R and O'Neill, D (2013) *Enough is Enough: Building a sustainable economy in a world of finite resources*, BK, San Francisco; Czech, B

- (2013) *Supply Shock: Economic growth at the crossroads and the steady state solution*, New Society Publishers, Gabriola Island BC.
- 26 Stern, N (2006) *The Stern Review Report on the Economics of Climate Change*, Cambridge University Press, Cambridge, p xi; Schandl, H and West, J (2012) Material flows and material productivity in China, Australia and Japan, *Journal of Industrial Ecology*, 16: 352–64.
- 27 Diesendorf, M (2000) *Sustainability and sustainable development*. In: Dunphy, D et al. (eds) *Sustainability: The Corporate Challenge of the 21<sup>st</sup> Century*, Allen & Unwin, Sydney, pp 19–37.
- 28 Griggs, D, Stafford-Smith, M, Gaffney, O et al. (2013) Sustainable development goals for people and planet, *Nature*, 495: 305–07.
- 29 Griggs et al. (2013). See UN, Millennium Development Goals and Beyond, <[www.un.org/millenniumgoals/](http://www.un.org/millenniumgoals/)>.
- 30 New Economics Foundation (NEF) (2009) *The Great Transition: A tale of how it turned out right*, New Economics Foundation, London, p 1.
- 31 Victor (2008).
- 32 Diesendorf, M (2010) A big Australia?, *Overland*, 201: 22–25, 29–30; O'Connor, M and Lines, WJ (2010) *Overloading Australia: How governments and media dither and deny on population*, 4<sup>th</sup> ed, Envirobook, Sydney.
- 33 Chambers, R (1983) *Rural Development: Putting the last first*, Wiley, New York.
- 34 UNFCCC <[http://unfccc.int/essential\\_background/items/6031.php](http://unfccc.int/essential_background/items/6031.php)>.
- 35 UNFCCC website.
- 36 Schiermeier, Q (2012) The Kyoto Protocol: Hot air, *Nature*, 491: 656–58.
- 37 Clemons, EK and Schimmelbusch, H (2007) The environmental prisoners' dilemma, The Green Dilemma, <<http://opim.wharton.upenn.edu/~clemons/blogs/prisonersblog.pdf>>.
- 38 Global Commons Institute <[www.gci.org.uk/contconv/cc.html](http://www.gci.org.uk/contconv/cc.html)>.
- 39 Hamilton, C (2013) *Earthmasters: The dawn of the age of climate engineering*, Allen & Unwin, Sydney.



## فصل ۹

### سیاست‌گذاری‌های هدفمند برای انرژی‌های تجدیدپذیر

به نظر من ... مسیر به سمت یک آینده انرژی پایدار بسیار بدیهی به نظر می‌رسد ... من معتقدم بر چالش فنی می‌توان غلبه کرد ... اما باید منتظر ماند و دید که آیا بر چالش‌های ساختاری و سیاسی مربوط به تشخیص و پاسخگویی به نیاز به تغییر وضعیت موجود نیز می‌توان در یک بازه زمانی معقول غلبه کرد یا نه؟ [۱]

مارتین گرین<sup>۱</sup>

آیا نمایش جدیدی که در برگیرنده عناصر زیر است را دیده‌اید؟

- پرداخت یارانه به تولید و مصرف سوخت‌های فسیلی که در یک مقیاس جهانی احتمالاً بالغ بر هزاران میلیارد دلار در طول سال می‌شوند.
- یک طرح مبادله انتشار که میلیاردها یورو پول مصرف‌کنندگان انرژی را به جیب شرکت‌های عظیم تولیدکننده انرژی ریخته است بدون آن که کاهشی در انتشار گازهای گلخانه‌ای یا افزایشی در عرضه الکتریسیته به وجود آورد.
- یک صنعت الکتریسیته که مدل اقتصادی آن ورود به گرداب مرگ<sup>۲</sup>، علی‌رغم وجود نهادهای حمایتی، است.
- جایگزینی تعرفه‌های حمایتی سخاوتمندانه انرژی‌های تجدیدپذیر با هزینه‌های عطف به‌ماسبق شونده‌ای که پس از تغییر دولت بر مصرف‌کنندگان تحمیل می‌شوند.
- همسایه‌های ساکن در حومه شهرها که شرکت‌های برق را از طریق فروش برق خورشیدی به یکدیگر با استفاده از کابل دور می‌زنند.

---

1 Martin Green

۲ گرداب مرگ (Death Spiral) به وضعیتی در صنعت بیمه گفته می‌شود که در آن هزینه‌های بیمه‌گر در اثر کاهش شدید جمعیت بیمه‌گذاران به شدت افزایش می‌یابد. (مترجمین)

آیا این طرح یک سریال هیجان‌انگیز تلوزیونی در تلوزیون ملی دانمارک است؟ نه! این‌ها تنها برخی از موضوعاتی هستند که باید دولت‌ها از طریق وضع سیاست‌های جدید اقدامات آب و هوایی به آن‌ها پاسخ دهند. ما به این موضوعات در این فصل می‌پردازیم [۲]. اما قبل از آن، باید به مجموعه سیاست‌ها برگردیم.

در فصل قبل من ادعا کردم که یک نرخ کربن برای کاهش تغییرات آب و هوایی و به‌طور ویژه، گذار به یک سامانه انرژی پایدار لازم است، اما کافی نیست. بر خلاف اعتقاد برخی از اقتصاددانان نئوکلاسیک، که برای آن‌ها حتی عنوان این فصل هم کفرآمیز است، لازم است که یک نرخ کربن به وسیله برخی سیاست‌گذاری‌ها، که رشد برخی فناوری‌های خاص و اتخاذ برخی اهرم‌های خاص، از جمله تغییر در رفتار مصرف‌کنندگان، را تسهیل می‌کنند، تکمیل شود. در زمینه انرژی پایدار، فناوری‌های گوناگون زیادی در مراحل مختلف بلوغ فنی وجود دارند [۳]. فناوری‌ها در مراحل مختلف بلوغ فنی نیازمند ترکیب‌های مختلفی از سیاست‌های حمایتی هستند تا آن‌ها را در مسیر سنگلاخ تجاری شدن و رقابتی شدن با فناوری‌های آلاینده موجود کمک کنند. در این فصل ابتدا موانع موجود بر سر راه انرژی‌های تجدیدپذیر معرفی می‌شوند، آنگاه ترکیب مناسب سیاست‌های لازم برای کمک به عبور فناوری‌های تجدیدپذیر از هر مرحله از بلوغ فنی تعیین خواهند شد. سیاست‌های لازم برای حمایت از برنامه‌های بهبود بهره‌وری انرژی در فصل ۴ و سیاست‌های لازم در خصوص حمل و نقل و شکل شهری در فصل ۷ مورد بحث قرار گرفته‌اند. از آنجایی که علم به ما می‌گوید که نیاز به اجرای این سیاست‌ها فوری است، تمرکز اصلی ما بر سیاست‌های لازم برای ترویج فناوری‌هایی است که در مراحل پیشرفته آزمایشی، توزیع اولیه و در دسترس بودن به صورت تجاری هستند. یارانه‌های پرداختی به انرژی‌های تجدیدپذیر با توجه به یارانه‌های بسیار هنگفت تر پرداختی به سوخت‌های فسیلی و انرژی هسته‌ای مورد بحث قرار می‌گیرند.

### موانع بلوغ فنی

در تلاش برای عبور دادن یک فناوری از مراحل مختلف بلوغ فنی، که در فصل ۲ بحث شد، یک چالش مربوط به مرحله میان آزمایش و توزیع اولیه است که اغلب دره مرگ<sup>۱</sup> نامیده می‌شود.

1 Valley of Death

شروع کار با چند واحد در مقیاس متوسط و ساختن فناوری یا سامانه‌ای که می‌تواند در مقیاس محدودی تولید شود مرحله‌ایست که به سرمایه‌زیادی نیاز دارد. سرمایه‌گذاری در طرح‌های تولیدی نوپا درجهٔ ریسک بالایی دارد و کسانی که در این قبیل سرمایه‌گذاری‌ها شرکت می‌کنند ترجیح می‌دهند که در کالاهایی سرمایه‌گذاری کنند که از سامانه‌های انرژی ارزان‌ترند و در صورت موفقیت-آمیز بودن، بازگشت سرمایهٔ سریعی خواهند داشت. حداقل یک مزیت برخی از فناوری‌های تجدیدپذیر، مانند نوع جدیدی از آبگرمکن خورشیدی یا ماژول‌های خورشیدی فتولتاییک، آن است که اندازهٔ یک واحد سخت‌افزاری که از نظر فنی به بلوغ رسیده است کوچک است و در نتیجه تعهدی که در خصوص تجاری‌سازی آن وجود دارد در مقایسه با یک نیروگاه زغال‌سوز با CCS یا فناوری‌های جدید هسته‌ای بسیار کمتر است. درعین حال، رساندن نیروگاه‌های زمین‌گرمایی مهندسی‌شده یا توربین‌های بادی شناور به مرحلهٔ توزیع اولیه ارزان نخواهد بود.

به محض آن که یک فناوری به مرحلهٔ توزیع اولیه می‌رسد، دارای قابلیت نقل و انتقال بانکی می‌شود و منابع سنتی مالی، مثل وام بانکی و به رهن‌گذاری شخصی، وارد صحنه می‌شوند. این به شرط آن است که سیاست‌های دولتی برای پوشاندن شکاف بین قیمت فناوری جدید و فناوری‌های قدیمی وجود داشته باشند تا بازار فناوری جدید به اندازهٔ کافی رشد کرده و به برابری با فناوری‌های قدیمی برسد. در عین حال، فناوری‌های جدید با موانع دیگری هم مواجه هستند:

- موانع فرهنگی، مثل تصویری که توسط برخی از اقتصاددانان نئوکلاسیک ترویج می‌شود که یک نرخ کربن برای کاهش تغییرات آب و هوایی و گسترش سامانه‌های انرژی پایدار کفایت می‌کند.
- موانع صنعتی، مثل بنگاه‌هایی که مدل تجاری آن‌ها فروش انرژی به جای عرضهٔ خدمات انرژی است و بازارهای برقی که برای نیروگاه‌های بزرگ متمرکز و تشکیلات اداری گسترده، اما کند، طراحی شده‌اند.
- موانع اقتصادی، مثل سیستم‌های قیمت‌گذاری که هزینهٔ کامل فناوری‌های موجود را منعکس نکرده و یارانه‌های پرداختی به تولید و مصرف سوخت‌های فسیلی را نادیده می‌گیرند. فقدان زیرساخت‌های لازم را نیز می‌توان در اینجا آورد، هرچند که این مانع یک مانع سیاسی هم هست.
- موانع سیاسی، عمدتاً برنامه‌های تبلیغاتی با بودجه‌های هنگفت که توسط دارندگان منافع ویژه و حامیان آن‌ها علیه انرژی‌های پایدار انجام می‌شوند - یک مانع اساسی در آمریکا و استرالیا.
- فقدان آموزش، تربیت نیروی انسانی و اطلاعات در مورد انرژی‌های پایدار.

جدول ۹-۱- گزینه‌های سیاست‌های دولتی در مراحل مختلف بلوغ فنی [۴]

سیاست‌ها	مرحله
کمک‌های بلاعوض پژوهشی، معافیت مالیاتی، حمایت از ثبت اختراع.	تحقیق و توسعه
کمک‌های بلاعوض سرمایه‌ای، معافیت مالیاتی، حمایت از ثبت اختراع.	آزمایش
تعرفه‌های حمایتی، گواهی‌های انرژی تجدیدپذیر (RECs) (رک بخش "گواهی‌های قابل مبادله انرژی تجدیدپذیر" در ادامه)، زیرساخت‌های جدید (به عنوان مثال خطوط انتقال، خطوط آهن، مسیرهای دوچرخه‌سواری)، مزایه معکوس (مناقصه)، تغییرات سازمانی، خریدهای دولتی، آموزش متخصصین و تربیت نیروی کار، اعمال سقف انتشار گاز بر نیروگاه‌های موجود، حذف یارانه‌های پرداختی به سوخت‌های فسیلی، مقررات و استانداردهای بهره‌وری انرژی، استانداردهای مربوط به فناوری‌های تجدیدپذیر، ضمانت‌های وام و سایر وام‌های کم‌بهره.	توزیع اولیه
افزایش قیمت‌های کربن، تعرفه‌های حمایتی یا RECs که فقط زمانی از بازار خارج می‌شوند که قیمت‌های کربن به اندازه کافی بالا هستند تا آن‌ها را بلاموضوع سازند، زیرساخت‌های جدید، ادامه تغییرات سازمانی، خریدهای دولتی، آموزش، تربیت نیروی کار و اطلاعات، قیمت‌گذاری برق بر اساس زمان مصرف.	بلوغ تجاری

جدول ۹-۱ ترکیب گزینه‌های اصلی سیاست‌های دولتی برای عبور دادن فناوری‌های انرژی پایدار از موانع و در طی مراحل مختلف بلوغ فنی را نشان می‌دهد. این موضوع البته مشروط بر آن است که عملکرد این فناوری‌ها توجیه‌کننده حمایت از آن‌ها باشد. نبود یک سیاست خاص در یکی از مراحل این جدول به این معنی نیست که این سیاست رد شده است، بلکه صرفاً به این دلیل است که اهمیت آن به اندازه اهمیت سایر سیاست‌ها نیست. به عنوان مثال، سیاست‌های حامی تحقیق و توسعه (R&D) ممکن است حتی در مرحله بلوغ تجاری هم، وقتی که رقابت شدیدی برای کاهش قیمت وجود دارد، قابل توجیه باشند. درعین حال، در این مرحله معمولاً معافیت‌های مالیاتی بر کمک‌های بلاعوض پژوهشی ترجیح داده می‌شوند و سیاست‌های غالب آن‌هایی هستند که موجب توسعه بازار می‌شوند. در ادامه، برخی از سیاست‌های کلیدی خاص که در مراحل توزیع اولیه و بلوغ فنی مورد نیاز هستند را بررسی می‌کنیم.

## اهداف انرژی پایدار

سناریویی که در فصل ۳ تشریح شد می‌تواند ما را در شکل‌دهی چشم‌اندازهای عملی از یک آینده انرژی پایدار برای سیاره زمین و کشورها و استان‌ها/ایالت‌ها و جوامع محلی خودمان یاری رساند. سپس، ما باید به این سؤال پاسخ دهیم که: ما چگونه می‌توانیم از حال و از اینجا به آن آینده برسیم؟ یکی از مراحل کلیدی اولیه عبارت است از انتخاب اهداف چالش‌برانگیز، اما قابل تحقق، در طول مسیر رسیدن به پایداری. اتحادیه اروپا و ایالت کالیفرنیا نمونه‌هایی هستند از یک آغاز فعالانه با اهدافی برای سال ۲۰۲۰ و مکانیسم‌هایی برای تحقق آن اهداف. البته اهداف و مکانیسم‌هایی هم برای سال ۲۰۳۰ و پس از آن مورد نیاز هستند.

اتحادیه اروپا متعهد شد که تا سال ۲۰۲۰ انتشار گازهای گلخانه‌ای خود را به سطح ۲۰ درصد زیر میزان انتشار در سال ۱۹۹۰ برساند. این اتحادیه حتی پیشنهاد کرده است که تا سال ۲۰۲۰ میزان انتشار خود را به سطح ۳۰ درصد زیر میزان انتشار در سال ۱۹۹۰ برساند، به شرط آن‌که سایر کشورهای تولیدکننده عمده گازهای گلخانه‌ای در جهان توسعه‌یافته و جهان در حال توسعه نیز تعهد کنند که سهم عادلانه خود در کاهش انتشار گاز را بر عهده گیرند [۵]. به عنوان بخشی از اجرای تعهدات خود در زمینه کاهش گازهای گلخانه‌ای، اتحادیه اروپا اهدافی را مبنی بر تأمین ۲۰ درصد از انرژی مصرفی خود از منابع تجدیدپذیر و ۲۰ درصد بهبود در بهره‌وری انرژی تا سال ۲۰۲۰ به صورت قوانین لازم‌الاجرا به تصویب رسانده است. دستورالعمل انرژی تجدیدپذیر 2009/28/EC اهداف تجدیدپذیر اجباری در سطح کشورها برای تحقق سهم ۲۰ درصدی انرژی‌های تجدیدپذیر در مصرف نهایی انرژی و یک سهم ۱۰ درصدی در حمل و نقل برای کل اتحادیه اروپا تعیین کرده است. داده‌های موجود نشان می‌دهند که اتحادیه اروپا در مسیر صحیحی برای رسیدن به اهداف خود در سال ۲۰۲۰ قرار دارد و در حال حاضر سهم انرژی‌های تجدیدپذیر در آن اتحادیه ۱۲/۷ درصد است. در عین حال، پیشرفت در میان کشورهای عضو اتحادیه اروپا یکنواخت نیست و شواهدی وجود دارد که نشان می‌دهند که تداوم بحران مالی جهانی موجب کند شدن روند سرمایه‌گذاری در این زمینه شده است. در حالی که فناوری فتوولتائیک از برنامه تعیین شده جلوتر است، انرژی بادی فراساحلی از برنامه عقب است [۶]. به منظور رسیدن به اهداف تعیین شده، بسیاری از کشورهای عضو اتحادیه اروپا از تعرفه‌های حمایتی (رک ادامه) و برخی از آن‌ها از گواهی‌های قابل مبادله انرژی تجدیدپذیر (رک ادامه) استفاده می‌کنند

اما نرخ کربن در سال ۲۰۱۳ در EU ETS بیش از حد پایین است که محرک قابل توجهی به حساب آید.

در کالیفرنیا قانون راه‌حل‌های گرمایش جهانی<sup>۱</sup> (AB32)، که در سال ۲۰۰۶ به تصویب رسید، مقرر می‌دارد که انتشار گازهای گلخانه‌ای باید تا سال ۲۰۱۰ به سطح انتشار در سال ۲۰۰۰، تا سال ۲۰۲۰ به سطح انتشار در سال ۱۹۹۰ و تا سال ۲۰۵۰ به ۸۰ درصد زیر سطح انتشار در سال ۱۹۹۰ برسد. هرچند که قانون AB32 مستقیماً مرتبط با تولید انرژی‌های تجدیدپذیر نیست، اما ایالت کالیفرنیا برای رسیدن به این اهداف بلندمدت نیازمند افزایش ظرفیت تولید انرژی‌های تجدیدپذیر است. بر همین اساس، قانون منابع انرژی تجدیدپذیر کالیفرنیا<sup>۲</sup> (SBX1-2)، که در سال ۲۰۱۱ به تصویب رسید، مقرر می‌دارد که تا سال ۲۰۲۰، ۳۳ درصد تولید برق ایالت باید از منابع تجدیدپذیر باشد. برای تحقق این هدف، ایالت کالیفرنیا به استاندارد سبد تجدیدپذیر<sup>۳</sup> (رک "گواهی قابل مبادله انرژی تجدیدپذیر" در ادامه)، که برای خرده‌فروشان الکتریسیته و شرکت‌های دارای مالکیت عمومی اجباری است، اتکا دارد [۷].

تعیین اهداف ضروری است اما کافی نیست. بدون طراحی و اجرای سیاست‌های لازم برای تحقق اهداف، این اهداف صرفاً آرزوهایی بی‌حاصلند. در فصل قبل این واقعیت که تعیین یک نرخ کربن برای گذار اجتناب‌ناپذیر از سوخت‌های فسیلی به یک سامانه انرژی پایدار ضروری است اما کافی نیست تبیین شد. یکی از گزینه‌های کلیدی در بین سیاست‌های لازم برای ترویج منابع تجدیدپذیر الکتریسیته که در مرحله توزیع اولیه یا بلوغ فنی هستند تعرفه‌های حمایتی است.

## تعرفه‌های حمایتی

تعرفه‌های حمایتی (FiTs) قیمت‌ها یا تعرفه‌هایی هستند که برای هر کیلووات‌ساعت (kWh) برقی که از سامانه‌های انرژی تجدیدپذیر تعیین شده به شبکه برق تزریق می‌شود پرداخت می‌شوند. این تعرفه‌ها معمولاً مرتبط با قوانینی هستند که اولویت دسترسی به شبکه برق را به انرژی‌های تجدیدپذیر می‌دهند. سطح این تعرفه‌ها، که توسط دولت‌ها تعیین می‌شود، ممکن است بسته به نوع فناوری و

1 Global Warming Solutions Act

2 California Renewable Energy Resources Act

3 Standard Renewable Portfolio

موقعیت جغرافیایی و اینکه آیا فناوری‌های تجدیدپذیر تحت پوشش مجبور به رقابت با قیمت‌های عمده‌فروشی یا خرده‌فروشی برق در شبکه هستند یا نه، تغییر کند. این تعرفه‌ها معمولاً برای چندین سال تضمین می‌شوند. تعرفه‌های حمایتی با هدف ایجاد رشد در بازار فناوری‌های تجدیدپذیر از طریق حذف، یا حداقل کاستن از، شکاف قیمتی بین انرژی‌های تجدیدپذیر و انرژی‌های متعارف تعیین می‌شوند و در نتیجه موجب افزایش اعتماد سرمایه‌گذاران در زمینه انرژی‌های تجدیدپذیر می‌گردند. تا اینجای کار، تعرفه‌های حمایتی در ابتدای امر بسیار بالاتر از نرخ‌های خرید الکترونیسته از شبکه بوده‌اند. در عین حال، با افزایش گستره بازار، قیمت‌های فناوری‌های برق تجدیدپذیر کاهش یافتند و سطح تعرفه‌های حمایتی نیز پایین آورده شد. به این فرایند فرودروی یا پایین‌روی<sup>۱</sup> گویند.

تعرفه‌های حمایتی ابتدا در سال ۱۹۸۴ در کالیفرنیا تحت نام قرارداد پیشنهاد استاندارد شماره<sup>۲</sup> ۲۴ تعریف شدند. در سال ۱۹۹۱ این تعرفه‌ها در آلمان نیز تعریف شدند و در کمک به توسعه انرژی‌های بادی و خورشیدی فتوولتائیک در آن کشور بسیار موفق عمل کرده‌اند. تا همین اواخر تعرفه‌های حمایتی در خدمت توسعه انرژی‌های بادی، خورشیدی فتوولتائیک و نیروگاه‌های خورشیدی حرارتی متمرکز (CST) با ذخیره‌ساز حرارتی در اسپانیا بودند. امروزه انواع گوناگونی از تعرفه‌های حمایتی در سراسر قاره‌های مسکون توسعه یافته‌اند. وضعیت فعلی این تعرفه‌ها به صورت گسترده‌ای توسط تحلیل‌گر صنایع انرژی‌های تجدیدپذیر پاول گیپ<sup>۳</sup> مستندسازی شده است [۸].

در بسیاری از کشورها یا استان‌ها/ایالت‌ها، هزینه تعرفه‌های حمایتی از طریق یک افزایش جزئی در قیمت برق پرداختی توسط همه یا اکثر مصرف‌کنندگان پوشش داده می‌شود. در تعداد کمی از موارد که دولت‌ها به این طرح یارانه می‌پرداختند، تعرفه‌های حمایتی در اثر تغییر شرایط یا تغییر احزاب حاکم ناگهان به شدت کاهش یافتند یا کلاً متوقف شدند. این وضعیت در اسپانیا، که به دنبال بحران مالی جهانی تغییرات عطف به‌ماسبق شونده‌ای اعمال شد [۹]، و در نیوساوت ولز، به دنبال تغییر دولت ایالتی، مشاهده شده است.

دو روش اندازه‌گیری برای تعرفه‌های حمایتی، یعنی "ناخالص" و "خالص" وجود دارند. برای یک تعرفه حمایتی ناخالص، تعرفه برای هر کیلووات‌ساعت برق تولید شده توسط یک سامانه متصل به شبکه، صرف نظر از اینکه این برق توسط مالک سامانه مصرف شده یا به شبکه تزریق شده است،

1 Degression

2 Standard Offer Contract No 4

3 Paul Gipe

پرداخت می‌شود. مالک سامانه، قیمت خرده‌فروشی برق برای هر کیلووات‌ساعت برق خریداری شده از شبکه را می‌پردازد. یک تعرفه حمایتی خالص فقط بر مقادیر اضافی برق تجدیدپذیر، که پس از کسر مصرف محلی به شبکه تزریق می‌شود، اعمال می‌گردد. اگر ارزش تعرفه حمایتی برابر با قیمت الکتریسیته شبکه در محل استقرار سامانه باشد، به این وضعیت "اندازه‌گیری خالص" می‌گویند و معادل آن است که وقتی برق تجدیدپذیر به شبکه تزریق می‌شود، عقربه‌های کنتور را در خلاف جهت بچرخاند.

یک تعرفه حمایتی ناخالص این مزیت را دارد که هر مالک بالقوه، می‌تواند مبالغ دریافتی خود را تخمین بزند بدون آن‌که الگوی مصرف خود را بداند و برای یک تعرفه حمایتی مشخص، درآمد مالک بیشتر خواهد بود. اگر یک تعرفه حمایتی خالص اعمال شود، ممکن است مزایای کم یا ناچیزی برای خانوارهایی داشته باشد که اغلب اعضای آن بیشتر طول روز را در منزل می‌گذرانند. نیروگاه‌های بزرگ تجدیدپذیر با قیمت عمده‌فروشی برق، که اغلب بسیار پایین است، رقابت می‌کنند. از آنجایی که این نیروگاه‌ها هیچ مقدار الکتریسیته‌ای از شبکه خریداری نمی‌کنند، یا مقادیر کمی خریداری می‌کنند، تفاوت بین تعرفه‌های حمایتی خالص و ناخالص معمولاً برای آن‌ها اهمیتی ندارد.

مزایای تعرفه‌های حمایتی در مقایسه با گواهی‌های قابل مبادله انرژی تجدیدپذیر (که در ادامه مورد بحث قرار گرفته‌اند) به شرح زیرند [۱۰]:

- کاهش ریسک توسعه‌دهندگان انرژی‌های تجدیدپذیر که شامل دسترسی آن‌ها به منابع سرمایه‌ای با نرخ‌های بهره پایین‌تر می‌شود،
  - هزینه‌های تراکنش پایین،
  - ورود آسان به بازار برای بنگاه‌های کوچک و متوسط،
  - انعطاف‌پذیری سیاست‌ها - می‌توان با تغییر فناوری‌ها و بازارها، در طول زمان، سیاست‌ها را تطبیق داد،
  - به سادگی می‌توان تعرفه‌ها را متناسب با محل استقرار و نوع فناوری تعیین کرد.
- معایب احتمالی زمانی به وجود می‌آیند که تعرفه‌ها برای مطابقت با شرایط تغییر یافته، تغییر نکنند و یا سرمایه‌گذاری در پروژه‌هایی انجام شود که یا بیش از حد بودجه دریافت کرده و یا دارای عملکرد ضعیفی هستند.

### گواهی‌های قابل مبادله انرژی تجدیدپذیر

این مکانیسم سیاستی که برای گسترش بازار فناوری‌های تجدیدپذیر استفاده می‌شود معمولاً با یک هدف ملی یا ایالتی/استانی برای تولید انرژی‌های تجدیدپذیر و یک سهمیه یا الزام تعیین شده برای عرضه کنندگان الکتریسیته، معمولاً خرده‌فروشان، برای تولید بخش معینی از برق خودشان از منابع تجدیدپذیر مرتبط است. تولیدکنندگان مورد تأیید انرژی‌های تجدیدپذیر، از جمله منازل مسکونی، گواهی‌های قابل مبادله انرژی تجدیدپذیر (RECs) را برای هر مگاوات ساعت برقی که تولید می‌کنند دریافت کرده و می‌توانند این گواهی‌ها را همراه با برق تولیدی خود به شرکت‌های توزیع برق بفروشند. شرکت‌های توزیع نیز برای اثبات آن‌که به تعهدات خود در زمینه تولید انرژی الکتریکی تجدیدپذیر عمل کرده‌اند این گواهی‌ها را به دستگاه نظارتی مربوطه تسلیم کرده و این گواهی‌ها توسط دستگاه نظارتی باطل می‌شوند. در صورتی که شرکت‌های توزیع به اندازه کافی گواهی برای پوشش دادن سهم اجباری خود در تولید برق تجدیدپذیر نداشته باشند این شرکت‌ها باید کمبود گواهی‌های مورد نیاز خود را با نرخ‌ی که از پیش تعیین شده است خریداری نمایند. RECها را می‌توان با نرخ‌های بازار، که با نرخ رسمی فروش آن‌ها متفاوت است، مبادله کرد. در صورتی که تعداد گواهی‌های صادرشده بیش از تعدادی باشد که توسط سهمیه اجباری تعیین شده است، قیمت این گواهی از قیمت رسمی کمتر خواهد شد. در صورتی که هزینه‌های تولید برق تجدیدپذیر و برق تجدیدنپذیر برابر شوند، قیمت گواهی‌ها می‌تواند به صفر برسد و در نتیجه یارانه کمی به تولید انرژی تجدیدپذیر پرداخت شده و یا اصلاً یارانه‌ای پرداخت نخواهد شد. در صورتی که تولید برق تجدیدپذیر کمتر از مقدار اجباری باشد، قیمت گواهی‌ها به بالاتر از سطح قیمت رسمی افزایش خواهد یافت.

این مکانیسم در ابتدا در برخی از ایالت‌های آمریکا، که در آنجا استاندارد سبد تجدیدپذیر (RPS) نامیده می‌شود، ابداع شد. در اروپا این مکانیسم اغلب گواهی قابل مبادله سبز<sup>۱</sup> (TGC) نامیده می‌شود، هرچند که بریتانیا عنوان گواهی الزام تجدیدپذیر<sup>۲</sup> (ROC) را برگزیده است. استرالیا یک هدف کلان انرژی تجدیدپذیر<sup>۳</sup> (LRET)، که مکانیسم اصلی پرداخت یارانه به مزارع بادی است، و

1 Tradable Green Certificate

2 Renewable Obligation Certificate

3 Large-Scale Renewable Energy Target

یک طرح مقیاس کوچک انرژی تجدیدپذیر<sup>۱</sup> (SRES)، که دارای قیمتی ثابت برای RECها و فاقد هدف است، دارد. SRES عمدتاً سامانه‌های خورشیدی فتوولتاییک خانگی و تجاری کوچک را مورد حمایت قرار می‌دهد. به کارگیری SRES بدون سقف انتشار، از محدودیت‌های احتمالی طرح-های صدور گواهی که موجب می‌شوند اقدام داوطلبانه افراد و خانوارها کمکی به کاهش گازهای گلخانه‌ای نکند جلوگیری می‌کند و باعث می‌شود که باری که در قالب یک هدف کلی برای تولید برق تجدیدپذیر بر دوش توزیع کنندگان و صنعت برق قرار می‌گیرد کاهش یابد.

نقطه قوت طرح REC، به صورت نظری، آن است که این طرح یک مقدار از پیش تعیین شده و مشخص برق تجدیدپذیر را به شبکه تزریق می‌کند و در درون خود یک مکانیسم تشویقی برای عرضه کنندگان الکتریسته دارد تا کم‌هزینه‌ترین انواع الکتریسته تجدیدپذیر را شناسایی و عرضه کنند. معایب عمده این طرح نیز آن است که هیچ مکانیسم درونی‌ای برای تشویق خرید الکتریسته از طیف وسیعی از فناوری‌های تجدیدپذیر ندارد، در مقایسه با تعرفه‌های حمایتی ضمانت قیمتی کمتری به سرمایه‌گذاران می‌دهد و هیچ مکانیسم درونی‌ای که در صورت نیاز در طول زمان حمایت اختصاص-یافته به برق تجدیدپذیر را کاهش دهد نیز ندارد [۱۱]. مشکل اول از آنجایی به وجود می‌آید که، در ساده‌ترین شکل این طرح، یک REC متناظر است با یک مگاوات ساعت برق تولیدشده از هر فناوری تجدیدپذیری که مشمول طرح است. تولیدکنندگانی که نیاز به خرید گواهی‌های مورد نیاز خود با کمترین هزینه ممکن دارند به‌طور طبیعی به دنبال ارزان‌ترین گواهی‌ها می‌روند که معمولاً از نوع بادی، آبی و گاز دفن‌گاه‌های زباله هستند. برق خورشیدی در مقیاس بزرگ، چه از نوع فتوولتاییک و چه از نوع حرارتی متمرکز، بیش از حد گران هستند که از رهگذر RECها منفعتی نصیبشان گردد. اخیراً که قیمت برق فتوولتاییک به صورت چشمگیری کاهش یافته است، RECها می‌توانند تا حدودی به تقویت بازار آن‌ها در برخی از مناطق جهان کمک کنند. در عین حال، شکل ساده این طرح معمولاً نمی‌تواند طیف وسیع فناوری‌های تجدیدپذیر مورد نیاز یک سامانه برق، که در حال گذار به یک سامانه عمدتاً تجدیدپذیر است، را تقویت کند. فناوری‌های متفاوت تجدیدپذیر دارای نوسانات متفاوتی در طول روز، فصل و سال هستند. منابع این انرژی تمایل دارند که در مناطق جغرافیایی متفاوتی گسترده شوند به گونه‌ای که انرژی خورشیدی عمدتاً در مناطق دارای عرض جغرافیایی کمتر و انرژی بادی عمدتاً در مناطق دارای عرض جغرافیایی بیشتر متمرکزند. در نتیجه، یک ترکیب متنوع

1 Small-Scale Renewable Energy Scheme

از فناوری‌های تجدیدپذیر دارای کمترین نوسانات و کمترین نیاز به سامانه‌های ذخیره‌ساز پشتیبان است. این ترکیب را می‌توان با استفاده از تعرفه‌های حمایتی و یا با استفاده از یک سامانه REC، که در آن هر فناوری قابل قبولی دارای هدف خاص خود است، به دست آورد.

با یا بدون این اصلاحات، منافع نظری طرح‌های REC می‌توانند به دلیل طراحی ضعیف از دست بروند. به عنوان مثال، در طرح استرالیا، قیمت REC‌ها برای چندین سال پایین بوده است چرا که به دلیل گنجاندن آب‌گرم‌کن‌های خورشیدی در میان فناوری‌های قابل قبول مقادیر زیادی REC صادر شد و نیز در اثر صدور پنج REC برای هر یک مگاوات‌ساعت برق فتوولتائیک در ابتدای اجرای طرح، مقادیر زیادی REC‌های "خیالی" منتشر شد [۱۲]. اکثریت مطالعاتی که REC‌ها را با تعرفه‌های حمایتی مقایسه کرده‌اند دریافته‌اند که تعرفه‌های حمایتی مؤثرترند [۱۳].

### حذف یارانه‌ها از سوخت‌های فسیلی و انرژی هسته‌ای

پرداخت مقادیر عظیمی از یارانه‌ها به سوخت‌های فسیلی، و در برخی از کشورها به انرژی هسته‌ای، موجب کندشدن روند گسترش فناوری‌های انرژی پایدار شده‌اند. نانسی فاند<sup>۱</sup>، که یک شرکت مدیریت کننده در بنگاه سرمایه‌گذاری DBL Investor است، و دانشجوی تحصیلات تکمیلی بن هیلی<sup>۲</sup> یارانه‌های دولت فدرال آمریکا را "در چهارچوب تاریخ غنی گذار انرژی آمریکا" مورد بررسی قرار داده‌اند. آن‌ها دریافتند که در طول اولین ۱۵ سال از دوره پرداخت هر یارانه و بر اساس دلار سال ۲۰۱۰ که نرخ تورم در آن منظور شده است، یارانه‌های پرداختی سالیانه به نفت و گاز به صورت میانگین برابر با ۱/۸ میلیارد دلار، یارانه‌های پرداختی سالیانه به انرژی هسته‌ای به صورت میانگین برابر با ۳/۳ میلیارد دلار و یارانه‌های پرداختی سالیانه به انرژی‌های تجدیدپذیر به صورت میانگین کمتر از ۰/۴ میلیارد دلار بوده‌اند [۱۴]. در عین حال، بر خلاف یارانه‌های پرداختی به انرژی‌های تجدیدپذیر، یارانه‌های سوخت‌های فسیلی و انرژی هسته‌ای در طول دهه‌های متمادی برقرار بوده و هنوز هم رو به کاهش نگذاشته‌اند.

وقتی که عمل یا بی‌عملی دولت باعث می‌شود که هزینه تولید پایین بیاید، یا قیمت دریافتی توسط تولیدکننده افزایش یابد، یا قیمتی که توسط مصرف‌کننده پرداخته می‌شود کاهش یابد و یا از

1 Nancy Pfund  
2 Ben Healey

پرداخت هزینه کامل یک خدمت جلوگیری شود، در عمل یک یارانه انرژی یا یارانه حمل و نقل پرداخت می‌شود. برخی از یارانه‌ها شامل پرداخت مستقیم از دولت به بنگاه‌های اقتصادی است، اما بسیاری از یارانه‌ها به صورت غیرمستقیم و از طریق قوانین مالیاتی و اقدامات دولتی به وجود می‌آیند. انواع متداول یارانه‌های پرداختی توسط دولت‌ها شامل موارد زیر می‌شوند [۱۵]:

- پرداخت‌های مستقیم و بازپرداخت هزینه‌ها،
  - رفتار مالیاتی سهل‌گیرانه،
  - ایجاد زیرساخت‌ها و عرضه خدمات انرژی عمومی با کمتر از هزینه واقعی،
  - کمک به طرح‌های تحقیق و توسعه از محل منابع عمومی،
  - تأمین سرمایه با نرخ بهره کمتر از نرخ بازار،
  - ناتوانی بنگاه‌های اقتصادی دولتی در برخورداری از نرخ بازگشت سرمایه طبیعی،
  - دریافت هزینه‌های ناشی از سرمایه‌گذاری ناکافی در شرکت‌های برق از مصرف‌کنندگان برق، و،
  - سیاست‌های بازرگانی، از قبیل تعرفه‌های واردات و صادرات و موانع غیرتعرفه‌ای.
- به یارانه‌های اقتصادی/مالی بالا باید یارانه‌های ناشی از منظور نکردن هزینه‌های زیست‌محیطی و بهداشتی سوخت‌های فسیلی در قیمت‌های واقعی را نیز افزود. نرخ‌گذاری بر کربن، یا به‌طور کلی‌تر انجام اصلاحات مالیاتی زیست‌محیطی، یک راه برای انجام این کار است. هرچند که همواره بر سر سطح مناسب نرخ یا مالیات کربن بحث و جدل وجود خواهد داشت، اما پژوهش‌های انجام شده در خصوص هزینه‌های جانبی استفاده از انرژی اغلب به این نتیجه رسیده‌اند که محدوده هزینه‌های اضافی از برابری با نرخ‌های موجود انرژی تا سطوحی بسیار بالاتر از آن در نوسانند. به عبارت دیگر، قیمت واقعی انرژی با منظور کردن هزینه‌های جانبی تا چندین برابر بیشتر از قیمت انرژی بدون در نظر گرفتن هزینه‌های جانبی است [۱۶].

بدون در نظر گرفتن هزینه‌های جانبی، آژانس بین‌المللی انرژی (IEA) تخمین می‌زند که بخشی از یارانه‌های جهانی پرداختی به سوخت‌های فسیلی در سال ۲۰۱۱ در حدود ۵۲۳ میلیارد دلار در سال، یعنی شش برابر یارانه‌های پرداختی به انرژی‌های تجدیدپذیر، بوده است. IEA افزایش سی درصدی این یارانه‌ها نسبت به سال ۲۰۱۰ را به دلیل "قیمت‌های جهانی بالاتر انرژی و افزایش استفاده از سوخت‌های یارانه‌ای" تفسیر می‌کند [۱۷].

برآورد انجام شده توسط IEA تنها یک نوع از انواع یارانه‌های معرفی شده در ابتدای این بخش، یعنی یارانه‌هایی که قیمت‌های مصرف‌کننده را "به کمتر از قیمت‌هایی که در یک بازار آزاد و رقابتی حکمفرما خواهند بود" کاهش می‌دهند، پوشش می‌دهد. مجموع کل یارانه‌ها بسیار بالاتر است. این واقعیت با همین یافته IEA که استرالیا هیچ یارانه‌ای پرداخت نمی‌کند اثبات می‌شود، چرا که یک تجزیه و تحلیل عمیق و گسترده توسط پژوهشگری به نام کریس راییدی<sup>۱</sup> میزان یارانه‌های پرداختی سالیانه به تولید و مصرف سوخت‌های فسیلی در استرالیا را حداقل ده میلیارد دلار تعیین می‌کند [۱۸].

IEA دریافته است که بیشترین سهم یارانه‌های سوخت‌های فسیلی به تولید و مصرف فرآورده‌های نفتی اختصاص دارد. در بین مصرف‌کنندگان، تا اینجای کار بیشترین سهم یارانه‌های پرداختی به جیب دارندگان درآمدهای بالا سرازیر می‌شود. در عین حال، مقادیر کمی از منافع مادی به طبقات کم درآمد کشورهای فقیر نیز می‌رسد. به عنوان نمونه می‌توان به یارانه‌های پرداختی به نفت سفید مورد استفاده روستائیان هندوستان و بنگلادش برای تولید روشنایی کم نور و آلاینده اشاره کرد. به منظور جلوگیری از فقیرتر شدن این مردم به دلیل حذف یارانه‌ها، سیاست‌های تکمیلی برای تسهیل جایگزینی نفت سفید با روشنایی خورشیدی، که پرنورتر و غیرآلاینده است، مورد نیازند. در غیاب یارانه‌های نفت سفید، روشنایی خورشیدی در بسیاری از مناطق روستایی گزینه کم هزینه‌تری خواهد بود، به شرط آن که بتوان هزینه آن را به صورت اقساطی پرداخت و یا آن را اجاره کرد [۱۹].

به طور کلی‌تر، منابعی که در اثر حذف یارانه‌ها صرفه‌جویی می‌شوند را می‌توان به جامعه بازگرداند تا موجب تسهیل در گذار به یک سامانه انرژی پایدار و کمک به کارگران و خانوارهایی شود که در اثر این گذار دچار خسارت شده‌اند.

### روش‌های ابتکاری تأمین منابع مالی برای انرژی پایدار

پروژه‌های انرژی‌های تجدیدپذیر و بهبود بهره‌وری انرژی معمولاً دارای هزینه‌های سرمایه‌گذاری بالا و هزینه‌های بهره‌برداری اندک هستند. در نتیجه، برای شروع یک پروژه، یک چالش کلیدی عبارت است از تأمین منابع مالی. برای برنامه‌های دولتی، درآمدهای ناشی از نرخ گذاری برای کربن و حذف یارانه‌های پرداختی به سوخت‌های فسیلی منابع بالقوه تأمین مالی به شمار می‌روند. در

1 Chris Riedy

حالی که دولت‌ها می‌توانند موجب تشویق سرمایه‌گذاری بشوند، سهم اصلی در سرمایه‌گذاری باید توسط شرکت‌ها و سرمایه‌گذاران بخش خصوصی تأمین شود. به دلیل تداوم بحران مالی جهانی، بانک‌ها میزان اختصاص منابع برای پرداخت وام به پروژه‌های انفرادی که در مقایسه با سایر گزینه‌ها، مانند افزایش مشارکت در پروژه‌های موفقیت‌آمیز، دارای ریسک مالی بیشتری به نظر می‌رسند را کاهش داده‌اند. حتی در مواردی که منابع کافی برای تأمین مالی پروژه وجود دارد هم یک راه‌برد جهانی یا ملی مبتنی بر درخواست وام برای یک پروژه انفرادی معمولاً بسیار کندتر از آنی است که برای مقابله با تغییرات آب و هوایی مورد نیاز است. در حقیقت، IEA در سناریوی ۴۵۰ خود تخمین می‌زند که یک سرمایه‌گذاری جمعی بالغ بر شانزده هزار میلیارد دلار بیشتر از برآورد سناریوی سیاست‌های جدید<sup>۱</sup> [۲۰] آن آژانس باید در طول دوره زمانی ۲۰۱۲ تا ۲۰۱۳ در سطح جهان انجام شود. بخش اعظم این سرمایه‌گذاری برای بهبود بهره‌وری انرژی (از طریق کاهش تقاضای برق، ساختمان‌ها و صنایع) و انرژی‌های تجدیدپذیر خواهد بود. طبق سناریوی ۴۵۰، در سال ۲۰۲۰ بهره‌وری انرژی سه‌چهارم کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و انرژی‌های تجدیدپذیر ۱۵ درصد کاهش را بر عهده خواهند داشت و در سال ۲۰۳۵ سهم بهره‌وری انرژی در کاهش انتشار گاز ۴۵ درصد و سهم انرژی‌های تجدیدپذیر ۲۳ درصد خواهد بود [۲۱].

فراهم‌آوردندگان سرمایه در بخش خصوصی معمولاً ترجیح می‌دهند در پروژه‌هایی سرمایه‌گذاری کنند که دارای نرخ بازگشت سرمایه بالا بوده و بر خلاف انرژی‌های تجدیدپذیر به مقادیر زیادی سرمایه اولیه نیاز نداشته باشند. فناوری اطلاعات یک نمونه از این پروژه‌های مطلوب است. دولت کارگری استرالیا سعی کرده است که بازار سرمایه‌گذاری در انرژی‌های تجدیدپذیر را از طریق راه‌اندازی یک تأمین‌کننده دولتی سرمایه، یعنی شرکت سرمایه‌گذاری انرژی پاک<sup>۲</sup>، به فعالیت درآورد [۲۲]. این فرایند نیز یک فرایند کند بوده و می‌تواند توسط دولت‌های بعدی به مخاطره افتاده و دستخوش تغییرات ناگهانی شود (در حقیقت، دولت ائتلافی که در سپتامبر ۲۰۱۳ انتخاب شد برنامه‌هایی را برای تعطیلی این صندوق اعلام کرده است).

یک ابزار مالی جایگزین "اوراق مشارکت اقلیمی"<sup>۳</sup>، که در پاره‌ای مواقع "اوراق مشارکت سبز"<sup>۱</sup> نیز خوانده می‌شود، است. اوراق مشارکت اقلیمی این امکان را فراهم می‌سازند که پروژه‌های

1 New Policies Scenario  
2 Clean Energy Finance Corporation  
3 Climate Bond

درازمدت با یکدیگر تجمع شوند تا برای سرمایه‌گذاران جذابیت بیشتری داشته باشند. به صورت نظری، اینگونه اوراق مشارکت می‌توانند هزاران میلیارد دلار سرمایه برای انرژی‌های تجدیدپذیر و پروژه‌های کلان بهبود بهره‌وری انرژی فراهم سازند.

### اوراق مشارکت اقلیمی برای تجمع پروژه‌های کلان

یک برگه مشارکت از برخی جهات شبیه یک سپرده مدت دار است. سرمایه‌گذاران گواهی‌هایی دریافت می‌کنند که مشخص می‌کنند ورقه مشارکت چقدر ارزش دارد، نرخ سودی که در تاریخ‌های معین (معمولاً شش ماهه) پرداخت می‌شود چقدر است و تاریخ سررسید، که در آن اصل قیمت ورقه مشارکت به سرمایه‌گذار پس داده می‌شود، چه زمانی است. اوراق مشارکت به‌طور خاص برای سرمایه‌گذاران بزرگ، مانند صندوق‌های بازنشستگی، صندوق‌های بیمه، صندوق‌های دارایی‌های شخصی و بنگاه‌های اقتصادی بزرگ، طراحی شده‌اند. برخلاف سپرده‌های مدت دار، اوراق مشارکت را می‌توان داد و ستد کرد. به‌طور کلی، اوراق مشارکت سود پایین می‌پردازند اما دارای ریسک پایین هم هستند. هرچند که اوراق مشارکت پدیده جدیدی نیستند، اما استفاده گسترده از آن‌ها در گذار به سامانه پایدار انرژی کار جدیدی خواهد بود. اوراق مشارکت اقلیمی نیازمند استانداردهای تأییدشده هستند تا اطمینان حاصل شود که منابع مالی به دست آمده خرج پروژه‌های کم‌کربن می‌شوند. به علاوه، یک راه‌برد مدیریتی مناسب باید اتخاذ شود تا آژانس‌های اعتبارسنجی این پروژه‌ها را با ریسک پایین طبقه‌بندی کنند.

"برنامه اوراق مشارکت اقلیمی"<sup>۱</sup> شبکه‌ای سرمایه‌گذار محور و غیرانتفاعی است که سرمایه‌گذاری کلان در اقتصاد کم‌کربن را ترویج می‌کند. این شبکه سرمایه‌گذاری‌های با ضریب امنیت بالا، که مناسب با نیازهای صندوق‌های بازنشستگی و بیمه هستند، را تشویق می‌کند. هدف این شبکه آن است که به ایجاد سریع یک بازار کلان فروشندگان اوراق مشارکت اقلیمی و یک بازار کلان خریداران اوراق مشارکتی کمک کرده و سپس این دو بازار را در پیوستن به یکدیگر یاری رساند. هیئت مدیره این برنامه استانداردهایی برای اوراق مشارکت مربوط به انرژی بادی وضع و اولین اوراق مشارکت را تأیید کرده‌اند که فروش آن‌ها به زودی با عنوان "کم‌کربن" آغاز خواهد شد. اوراق مشارکت خورشیدی و بهره‌وری انرژی در مرحله بعدی تأیید خواهند شد [۲۳].

1 Green Bond  
2 Climate Bond Initiative

- مطالعه‌ای که توسط برنامه مشارکت اقلیمی انجام شده دریافت شده است که در سال ۲۰۱۳ "بازار اوراق مشارکت با محوریت مسائل اقلیمی بازاری اختصاصی نیست و فاقد مقیاس و سیالیت کافی است" [۲۴]. اوراق مشارکت آماده فروش در مجموع ۳۴۶ میلیارد دلار ارزش دارند که ۸۹ درصد این میزان دارای "طبقه‌بندی سرمایه‌گذاری" است. سرمایه‌گذاری‌های مدنظر در هفت گروه موضوعی دسته‌بندی می‌شوند. به ترتیب سهم هر گروه در مجموع سرمایه‌گذاری، این گروه‌ها به شرح زیرند:
- حمل و نقل ریلی، به استثنای خطوط آهن مخصوص زغال‌سنگ،
  - انرژی: انرژی‌های تجدیدپذیر به استثنای نیروگاه‌های برقی بزرگ در مناطق استوایی، اما شامل انرژی هسته‌ای (این قسمت محل مناقشه و بحث است)،
  - تأمین منابع مالی اقلیمی،
  - ساختمان‌سازی و صنایع، با تمرکز بر بهره‌وری انرژی،
  - کنترل زباله و آلودگی، عمدتاً بازیافت صنعتی،
  - کشاورزی مقاوم در برابر شرایط سخت اقلیمی (هنوز هیچ موردی یافت نشده است) و جنگل‌داری تأیید شده "پایدار"،
  - منابع آبی مقاوم در برابر شرایط سخت اقلیمی (هیچ موردی در مطالعه بالا یافت نشد).
- برنامه اوراق مشارکت اقلیمی بیان می‌کند که سازمان‌های ارزیابی‌کننده هنوز هم ریسک مربوط به سیاست‌ها و منابع انرژی تجدیدپذیر را بیش از حد بزرگ‌نمایی می‌کنند و در همان حال ریسک ناشی از نرخ‌گذاری کربن در پروژه‌های سوخت فسیلی را دست‌کم می‌گیرند. در نتیجه، به منظور افزایش اطمینان سرمایه‌گذاران و توسعه بازار اوراق مشارکت اقلیمی، نقش سیاست‌های دولتی حامی اوراق مشارکت اقلیمی - مانند معافیت‌های مالیاتی، ضمانت وام، تعرفه‌های حمایتی و طرح‌های گواهی‌های قابل داد و ستد - برای موفقیت این اوراق نقشی حیاتی است.

#### تجمیع سرمایه‌گذاری‌های کوچک برای پروژه‌های متوسط

پروژه‌های تجدیدپذیر متوسط معمولاً با پیچیدگی‌های مقرراتی بیشتری در مقایسه با پروژه‌های کوچک خانگی مواجه هستند و در نتیجه هر واحد انرژی تولیدشده در این واحدها معمولاً گران‌تر است. به علاوه، خصوصاً برای واحدهای متوسط بادی، هزینه‌های ثابتی از قبیل هزینه اتصال به شبکه بخش بزرگتری از کل هزینه‌ها را در مقایسه با پروژه‌های بزرگ به خود اختصاص می‌دهند. در

نتیجه، دریافت منابع مالی از وام دهندگان تجاری برای پروژه‌های متوسط اغلب دشوارتر است. در عین حال، پروژه‌های برخاسته از اجتماع، مسیر پیشرفت را برای پروژه‌های متوسط در دانمارک و آلمان نشان داده‌اند و این موضوع در فصل ۱۰، "اقدامات شرکت‌های تعاونی و سایر گروه‌های اجتماعی"، مورد بررسی قرار گرفته است.

یک اقدام ابتکاری برای تأمین منابع مالی مورد نیاز پروژه‌های متوسط اخیراً توسط شرکت اینترنتی Mosaic (قبلاً با نام Solar Mosaic) در آمریکا آغاز شده و زمینه را برای هماهنگی سرمایه-گذاری‌های از ۲۵ دلار به بالاتر در پروژه‌های خورشیدی فتوولتائیک فراهم آورده است. در این طرح، سرمایه‌گذاری‌های دارای ریسک پایین با یک نرخ بازگشت خوب، معمولاً ۴/۵ درصد در سال، در طول یک دوره مشخص عرضه می‌شوند. در ماه می ۲۰۱۳ این شرکت اعلام کرد که ۸۲۳ نفر مجموعاً بیش از یک میلیون دلار در بزرگترین پروژه آن، که یک تأسیسات ۴۸۷ کیلوواتی در منطقه Wild Woods ایالت نیوجرسی است، سرمایه‌گذاری کرده‌اند [۲۵].

### اجاره برای پروژه‌های کوچک

اجاره کردن یکی دیگر از گزینه‌های ابتکاری برای تأمین منابع مالی مورد نیاز پروژه‌های الکتریسیته تجدیدپذیر، خصوصاً فتوولتائیک مسکونی، است. یک شرکت خورشیدی موسوم به Sungevity سامانه‌های فتوولتائیک مسکونی را در آمریکا و استرالیا اجاره می‌دهد. با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای از واحد مسکونی، این شرکت از طریق اینترنت یک برآورد قیمت می‌دهد. برای شروع پروژه هیچ پیش‌پرداختی دریافت نمی‌شود و هزینه پرداختی ماهیانه همه هزینه‌های نصب، اجاره سامانه، پایش، نگهداری، تعمیرات و یک ضمانت عملکرد را پوشش می‌دهد [۲۶].

### زیرساخت انتقال

مانند سوخت‌های فسیلی، منابع انرژی تجدیدپذیر نیز به‌طور یکنواخت در جهان یا حتی در هر کشور گسترده نشده‌اند. برای انتقال الکتریسیته تجدیدپذیر از مناطق بادخیز و مناطق دارای تابش خورشید زیاد به مراکز تجمع مصرف کنندگان و صنایع به خطوط انتقال جدید نیاز است. این همان کاری است که در زمان احداث نیروگاه‌های قدیمی تر زغال‌سوز موجود انجام شد. مشکل انتقال در حقیقت به قبل از زمان ظهور انرژی‌های تجدیدپذیر بازمی‌گردد. در اروپا خطوط انتقال کافی بین

چندین کشور وجود ندارد و در نتیجه داد و ستد الکتریسیته در سطح قاره را محدود می‌سازد. در ژاپن، روند بازیابی سلامت سامانه برق پس از سونامی و فاجعه فوکوشیما به دلیل وجود نواحی انتقال ناهمخوان با یکدیگر با تأخیر مواجه است.

اینک که انرژی‌های تجدیدپذیر با سرعت زیادی در حال رشد هستند تا به بخش قابل توجهی از تولید الکتریسیته در چندین منطقه تبدیل شوند، نیاز به سیاست‌های دولتی در جهت ارتقای خطوط موجود و احداث خطوط جدید بیشتر احساس می‌شود. چین با چنان سرعت بالایی اقدام به احداث مزارع بادی کرده است که برخی از آن‌ها هنوز هم دارای امکان اتصال به خطوط انتقال نیستند [۲۷]. ایالت تگزاس در آمریکا و ایالت استرالیای جنوبی پتانسیل‌های عظیم انرژی بادی دارند که تا زمانی که خطوط انتقال جدید به ایالت‌های همجوارشان احداث نشود امکان بهره‌برداری از این پتانسیل‌ها وجود نخواهد داشت. سیاست‌هایی که به‌طور اضطراری مورد نیازند به احداث خطوط انتقال جدیدی که به مثابه ستون فقرات سامانه برق در کشور عمل می‌کنند مربوط می‌شوند. علاوه بر فراهم کردن امکان بهره‌برداری از منابع عظیم تجدیدپذیر، مزایای خطوط انتقال طولانی دربرگیرنده این موارد نیز هستند: امنیت بیشتر انرژی، تقویت داد و ستد و رقابت، کاهش نوسانات انرژی‌های تجدیدپذیر به دلیل گستردگی جغرافیایی و کاهش نوسانات روزانه منحنی مصرف از طریق اتصال مناطق با افق مختلف به یکدیگر.

برای ساخت مدارهای انتقال فشار قوی زیر دریایی با هدف اتصال مزارع بادی فراساحلی به شبکه یا اتصال نیروگاه‌های برقابی و خورشیدی بین دو کشور یا دو ایالت پیشنهادهایی مطرحند. خطوط انتقال فراساحلی دارای این مزیت اضافی هستند که نقاط تراکم سامانه اصلی را دور زده و با مقاومت ساکنین محلی نیز روبرو نمی‌شوند. انجمن انرژی بادی اروپا<sup>۱</sup> سناریوهایی برای احداث یک شبکه فراساحلی در دریا‌های شمال و بالتیک را بررسی کرده [۲۸] و چنین تحولاتی فعلاً توسط صنعت برق دنبال می‌شوند. در آمریکا، کنسرسیومی به نام Atlantic Wind Connection طراحی برای احداث یک مدار انتقال فشار قوی جریان مستقیم (HVDC) زیردریایی در نزدیکی ساحل شرقی آمریکا را پیشنهاد کرده که مزارع بادی فراساحلی از مرلند تا نیوجرسی را به شبکه قدرت درون قاره-ای متصل می‌کند [۲۹]. یک طرح درازمدت‌تر بین قاره‌ای طرح Desert است که نیروگاه‌های خورشیدی و مزارع بادی در شمال آفریقا را به اروپا متصل می‌کند [۳۰]. این پروژه با برخی موانع

1 European Wind Energy Association

سیاسی مواجه است و اخیراً با کنار کشیدن دو عضو عمده کنسرسیوم، یعنی زیمنس و بوش، دچار وقفه شده است.

### سیاست‌های گرمایش تجدیدپذیر

در مناطق شمالی اروپا، آسیا و آمریکای شمالی، بخش گرمایش مسئول بخش بزرگی از مصرف انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای است. هرچند ایستگاه‌های پربازده تولید هم‌زمان گرما و توان<sup>۱</sup> (CHP)، که گرمایش مناطق وسیعی را فراهم می‌کنند، از مدت‌ها قبل احداث شده و فعالند، اما سیاست‌های لازم برای حمایت از منابع تجدیدپذیر گرمایش از نقطه نظر اجرا از سیاست‌های مربوط به الکتریسیته تجدیدپذیر عقب‌ترند. مشابه وضعیت الکتریسیته تجدیدپذیر، در این بخش نیز سیاست‌هایی باید اتخاذ شوند که با مرحله بلوغ فنی هر فناوری، همان‌طور که در جدول ۹-۱ نشان داده شده است، مطابقت داشته باشند. تفاوت اصلی در آن است که اعمال RECها برای گرمایش بسیار پیچیده‌تر است و در غیاب یک شبکه برای انتقال گرما، اعمال تعرفه‌های حمایتی غیرممکن است. در عین حال، طرح‌های تشویقی، که در آن‌ها یک بهره‌بردار نیروگاه برای هر مگاژول گرما یک مبلغ تشویقی به علاوه نرخ معمول دریافت می‌کند، می‌تواند در جهت تولید گرما برای استفاده محلی عملی باشد. بریتانیا اخیراً یک برنامه تشویقی گرمایش تجدیدپذیر<sup>۲</sup> برای دیگ‌های بخاری که از زیست‌توده استفاده می‌کنند و پمپ‌های گرمایی که از منابع گرمایی هوا و زمین برای گرمایش ساختمان‌ها بهره می‌برند معرفی کرده است [۳۱].

### مدل‌های تجاری جدید برای صنعت برق

همچنان که روش‌های بهبود بهره‌وری انرژی، صرفه‌جویی در مصرف انرژی و برق تجدیدپذیر روبه‌رشدند، مدل‌های تجاری موجود در صنعت برق نیز در حال فروپاشی هستند. فناوری‌ها و رفتارهای "مزاحم" انرژی پایدار، ساختارهای موجود صنعت - هم ساختارهای سنتی عمودی و هم ساختارهای مبتنی بر بازار - را در همه سطوح تولید عمده و مراحل بازار خرده‌فروشی و انتقال و توزیع به چالش کشیده‌اند.

1 Combined Heat and Power  
2 Renewable Heat Incentive

**اثر ترتیب شایستگی<sup>۱</sup>**

در سطح تولید عمده یک صنعت برق تجدید ساختار یافته، نیروگاه‌های مختلف در پله‌های زمانی مشخص نسبت به پیشنهاد قیمت برای عرضه الکتریسیته به بازار اقدام می‌کنند. به صورت نظری، هر شرکت کننده در بازار برق دارای این انگیزه است که قیمت پیشنهادی را بر اساس هزینه مارژینال کوتاه‌مدت تولید، یعنی هزینه سوخت به علاوه سایر هزینه‌های بهره‌برداری، تنظیم کند، هرچند که در عمل همواره همه شرکت کنندگان چنین تصمیمی که از نظر اقتصادی "منطقی" محسوب می‌شود را اتخاذ نمی‌کنند. سپس، بهره‌بردار بازار برق نیروگاه‌ها را بر حسب قیمت پیشنهادی از کمترین قیمت به بالاترین قیمت رتبه‌بندی می‌کند. این ترتیب تحت عنوان "ترتیب شایستگی" شناخته شده و نیروگاهی که کمترین قیمت را پیشنهاد داده است "در صدر ترتیب شایستگی" قرار می‌گیرد و اولین نیروگاهی است که برای تولید فراخوانده خواهد شد. در هر پله زمانی، بهره‌بردار بازار نیروگاه‌ها را بر اساس ترتیب شایستگی و با توجه به طیفی از قیود ایمنی و غیره به تولید فرا می‌خواند تا جایی که به تقاضای بازار پاسخ داده شده و، حداقل به صورت نظری، الکتریسیته با کمترین نرخ عرضه شود. قیمت پیشنهاد شده توسط آخرین نیروگاهی که به تولید فراخوانده می‌شود نرخ قابل پرداخت به همه نیروگاه‌هایی که در آن پله زمانی به تولید فراخوانده شده‌اند را تعیین می‌کند.

در صورتی که قیمت گذاری در نزدیکی اوج تقاضا یا در زمانی که بخش عمده‌ای از ظرفیت عرضه در دسترس نیست رخ دهد، یکی از "نیروگاه‌هایی" که به تولید فراخوانده می‌شود می‌تواند در واقع یک نیروگاه مجازی باشد که از طریق کاهش تقاضا در یک صنعت پرمصرف یا در یک گروه اجتماعی موقتاً به وجود می‌آید. کاهش تقاضا، در صورتی که از قبل برنامه‌ریزی شده باشد، می‌تواند اوج تقاضای مصرف را کاهش داده و یا کمک کند که شکاف موجود در عرضه پر شود.

مزارع بادی، نیروگاه‌های خورشیدی و اغلب انواع دیگر نیروگاه‌های تجدیدپذیر، در مقایسه با نیروگاه‌های متعارف که یک سوخت را می‌سوزانند یا شکافت می‌دهند، دارای هزینه بهره‌برداری کمتری هستند. در نتیجه، این نیروگاه‌های تجدیدپذیر در جایگاه‌های بالاتری در ترتیب شایستگی برای فراخواندن به شبکه قرار می‌گیرند. بنابراین، با افزایش ظرفیت نیروگاه‌های تجدیدپذیر، نیروگاه‌های متعارف بار پایه، مانند زغال‌سوز و هسته‌ای، کمتر وارد مدار می‌شوند. ضریب ظرفیت این نیروگاه‌ها

---

1 Merit Order Effect

کاهش می‌یابد و جایگاه آن‌ها از بار پایه به بار میانی منتقل می‌شود. بدین ترتیب، بازپرداخت هزینه‌های اولیه سنگین این نیروگاه‌ها روزبه‌روز دشوارتر شده و برخی از آن‌ها حتی ممکن است مجبور به تعطیلی شوند. در عین حال، مشکل اقتصادی نیروگاه‌های متعارف بار پایه از مشکل کلی کاهش دوره‌های کاری فراتر هم می‌رود: به‌طور ویژه، این نیروگاه‌ها در بازه اوج مصرف، که همه تولیدکنندگان بالاترین نرخ برق را دریافت می‌کنند، کمتر تولید می‌کنند. این بازه‌ها بازه‌هایی هستند که نیروگاه‌های متعارف قبلاً بیشترین درآمد را در آن‌ها داشتند.

بدتر از این، اغلب نیروگاه‌های حرارتی که برای کار در بار پایه طراحی شده‌اند معمولاً به دلیل تنش‌های حرارتی و سطح بالای کف تولید مجاز، از نظر فنی قادر به تحمل تغییرات سریع در خروجی‌شان نیستند. بنابراین، این نیروگاه‌ها قادر به پاسخگویی به تغییرات سریع در تقاضا نیستند. برای این‌که این قبیل نیروگاه‌ها بتوانند در بازار برق به کار خود ادامه دهند مجبورند که قیمت‌هایی کمتر از هزینه مارژینال خود پیشنهاد کنند و در نتیجه چالش مربوط به امکان تداوم حیات اقتصادی خود را تشدید خواهند کرد.

ظهور نیروگاه‌های تجدیدپذیر (تا اینجای کار عمدتاً مزارع بادی) و جایگزینی نیروگاه‌های فسیلی باعث شده است که قیمت‌های نقدی عمده‌فروشی الکتریسیته کاهش یابند. این کاهش قیمت، که ناشی از جایگزینی نیروگاه‌های متعارف است، به عنوان "اثر ترتیب شایستگی" شناخته می‌شود. رشد برق خورشیدی فتوولتائیک در مرحله خانگی نیز، از طریق کاهش اوج تقاضا در طول روز و در نتیجه کاسته شدن از درآمد نیروگاه‌های متعارف، به اثر ترتیب شایستگی دامن زده است. اثر ترتیب شایستگی تا همین جای کار در دانمارک [۳۲]، آلمان [۳۳]، اسپانیا [۳۴]، گروهی از کشورهای اروپایی [۳۵]، تگزاس [۳۶] و ایالت استرالیای جنوبی [۳۷] مشاهده شده و/یا مدل‌سازی شده است.

الزامات سیاستی اثر ترتیب شایستگی چیست؟ از نقطه نظر انرژی پایدار، جایگزینی نیروگاه‌های سنتی بار پایه بخش ضروری‌ای از فرایند گذار به یک آینده انرژی پایدار است. سهامداران سامانه‌های متعارف به دلیل بی‌استفاده شدن دارایی‌هایشان، که به‌طور اجتناب‌ناپذیری از ارزش آن‌ها کاسته خواهد شد، دچار خسارات مالی می‌شوند. تنها اضافه کردن سامانه‌های به دام‌اندازی و ذخیره‌سازی کربن (CCS) به نیروگاه‌های آلاینده می‌تواند از این سرنوشت محتوم جلوگیری کند. با توجه به اینکه سامانه‌های CCS برای نیروگاه‌های زغال‌سوز بزرگ از نظر بلوغ فنی حتی هنوز وارد مرحله آزمایش هم نشده‌اند، افزوده شدن آن‌ها به نیروگاه‌های موجود در یک مقیاس قابل توجه در ۱۵ تا ۲۰ سال آینده

بسیار بعید به نظر می‌رسد. وقتی هم که این سامانه‌ها به نیروگاه‌های موجود افزوده شوند، اگر بشوند، احتمالاً از نظر اقتصادی قادر به رقابت با انرژی‌های تجدیدپذیر نخواهند بود، مگر احتمالاً در نقاط کمی که سازه‌های زمین‌شناختی و تجهیزات مناسب برای اعمال CCS در نزدیکی آن‌ها وجود دارد [۳۸].

از نظر طرفداران حفظ محیط زیست و بسیاری از اقتصاددانان، دولت‌ها باید در برابر درخواست پرداخت غرامت از سوی تولیدکنندگان برق فسیلی مقاومت کنند. این صنایع و سرمایه‌گذاران در آن‌ها هشدارهای فراوانی مبنی بر این که برای آلاینده‌گی کربن باید بهایی پرداخته شده و فناوری‌های آلاینده باید کنار گذاشته شوند دریافت کرده‌اند. شرکت کداک به دلیل جایگزینی عکاسی فیلمی توسط دوربین‌های دیجیتال غرامتی دریافت نکرد و به شرکت‌های تلفن ثابت به دلیل گسترش تلفن‌های همراه خسارتی پرداخته نشد. مقاومت در برابر درخواست غرامت کلیدی‌ترین الزام سیاستی اثر ترتیب شایستگی است.

هرچند که در حال حاضر اثر ترتیب شایستگی به نفع انرژی‌های تجدیدپذیر کار می‌کند، اما در دراز مدت این اثر به چالشی بر سر راه سرمایه‌گذاری در همه فناوری‌هایی که سهمی در پاسخگویی به تقاضای انرژی الکتریکی دارند، و از جمله انرژی‌های تجدیدپذیر، تبدیل خواهد شد. علت این امر آن است که کاهش قیمت عمده‌فروشی برق موجب طولانی‌تر شدن دوره بازگشت سرمایه فناوری می‌شود و در نتیجه از جذابیت سرمایه‌گذاری در نیروگاه‌های جدیدی که به سرمایه اولیه زیادی نیاز دارند می‌کاهد. یک راه‌حل که در آلمان و استرالیا در دست بررسی است و در بسیاری از صنایع برق تجدیدساختاریافته اعمال شده آن است که به نیروگاه‌ها، علاوه بر انرژی‌ای که عرضه می‌کنند، برای ظرفیت تولیدی که عرضه می‌کنند نیز مبالغی پرداخت شود. در عین حال، برای آن که قابلیت اطمینان عرضه انرژی الکتریکی در حضور مقادیر زیادی از انرژی تجدیدپذیر هم تضمین شود، ضرورت دارد که چنین پرداخت‌هایی به نیروگاه‌های انعطاف‌پذیر و دارای سرعت پاسخگویی بالا، مثل توربین‌های گازی استفاده کنند. از سوخت‌های زیستی، نیروگاه‌های برقابی ذخیره‌ای، نیروگاه‌های حرارتی خورشیدی CST با ذخیره‌ساز حرارتی و سایر فناوری‌های ذخیره‌ساز انرژی که می‌توانند مقادیر زیادی توان را در صورت نیاز در زمان کوتاهی، مثلاً ۱۰ دقیقه یا کمتر، عرضه کنند، اختصاص یابند. به نیروگاه‌های تجدیدپذیر با ورودی متغیر، مانند مزارع بادی و نیروگاه‌های خورشیدی فاقد ذخیره‌ساز، نیز می‌توان مبالغ کمتری، متناسب با "اعتبار ظرفیت" [۳۹] پایین‌تر آن‌ها، پرداخت کرد.

هرچند که خریداران عمده برق، از جمله توزیع‌کنندگان و خرده‌فروشان برق، به دلیل کاهش قیمت‌های ناشی از اثر ترتیب شایستگی منافع بیشتری کسب می‌کنند، اما بسیاری از این خرده‌فروشان منافع حاصل از کاهش قیمت‌ها را به مشتریان خود منتقل نمی‌کنند. علت این امر می‌تواند آن باشد که خرده‌فروشان و توزیع‌کنندگان برق نیز نسبت به مدل تجاری خود از جانب انرژی‌های تجدیدپذیر احساس تهدید می‌کنند. تهدیدی که به "گرداب مرگ" موسوم است.

### گرداب مرگ

آژانس بین‌المللی انرژی در سناریوی سیاست‌های جدید خود تا سال ۲۰۳۵ پیش‌بینی می‌کند که "تقاضای انرژی دارای رشد ناچیزی در کشورهای عضو سازمان همکاری اقتصادی و توسعه (OECD) خواهد بود، هرچند که یک انتقال از نفت و زغال‌سنگ (و در برخی از کشورها، انرژی هسته‌ای) به سمت گاز طبیعی و انرژی‌های تجدیدپذیر قطعی است" [۴۰]. در حال حاضر در سطح خرده‌فروشی صنعت توزیع برق، تقاضای انرژی الکتریکی از شبکه در چندین بخش از جهان صنعتی، از جمله آمریکا [۴۱] و استرالیا [۴۲] در حال کاهش بوده و یا رشد آن متوقف شده است. این کاهش دارای دلایل به‌هم‌پیچیده‌ای است که جداسازی این دلایل از یکدیگر آسان نیست: برنامه‌های بهبود بهره‌وری انرژی، رشد انرژی خورشیدی فتوولتاییک در بخش‌های مسکونی و صنعتی به دلیل کاهش قیمت‌های آن، کاهش فعالیت‌های اقتصادی و قیمت‌های خرده‌فروشی برق که عمدتاً در اثر رشد استفاده از تجهیزات تهویه مطبوع در منازل به علاوه (با درصد اهمیت کمتری) اعمال نرخ‌های کربن و یارانه‌های پرداختی به انرژی‌های تجدیدپذیر (در جاهایی که این موارد وجود دارند) رو به افزایش نهاده‌اند.

خرده‌فروش معمولاً صورتحساب مشتری را بر اساس دو مؤلفه عرضه برق صادر می‌کند: یک هزینه ثابت برای "عرضه" یا "خدمت" و یک هزینه متغیر که با افزایش الکتریسیته خریداری شده توسط مشتری افزایش می‌یابد. هزینه ثابت می‌تواند یک عدد مشخص مجزا در صورتحساب باشد و یا می‌تواند روی یک بخش ابتدایی از انرژی مصرف‌شده یا بر روی کل انرژی مصرف‌شده سرشکن شود. نسبت مؤلفه‌های مختلف هزینه صورتحساب از محلی به محل دیگر تغییر می‌کند و در برخی از مناطق، به دلیل آن که قیمت‌ها با تغییر تقاضا تغییر می‌کنند، می‌تواند در طول روز نیز متغیر باشد. اجزاء

مختلف هزینه‌ای که توسط مشتریان در منطقه پایتخت استرالیا<sup>۱</sup> (ACT) پرداخت می‌شود در جدول ۹-۲ نشان داده شده‌اند [۴۳]. بر خلاف کالیفرنیا، ACT یک گزینه تعرفه ثابت برای مشتریان کوچک دارد، یعنی تعرفه‌ای که وابسته به زمان استفاده نیست.

جدول ۹-۲- اجزاء تعرفه خرده‌فروشی برق در ACT، سال ۲۰۱۰-۱۱

هزینه بر حسب \$/MWh	جزء
۵۸/۵۷	خرید الکتریسیته
۰/۷۶	فعالیت میز مبادله انرژی
۵/۱۵	هزینه‌های سازگاری با محیط زیست، به عنوان مثال "هدف اجباری انرژی تجدیدپذیر"
۰/۷۶	هزینه‌های بازار ملی برق
	تلفات انرژی: ۵/۹۲٪
۶۹/۰۱	هزینه‌های کل خرید انرژی
۷۱/۴۴	هزینه‌های شبکه
۱۵۱/۰۱	کل خرده‌فروشی + انرژی + هزینه شبکه
	سود خرده‌فروشی: ۵/۴۰٪ (از فروش)
۱۵۹/۱۶	کل قیمت خرده‌فروشی

توجه: یک تعرفه ثابت "عرضه" معادل ۷۳ سنت در روز نیز منظور می‌شود.

کاهش تقاضای الکتریسیته مشکلی جدی برای خرده‌فروشان و توزیع‌کنندگان (بهره‌برداران شبکه) برق ایجاد می‌کند. اگر آن‌ها قیمت هر واحد الکتریسیته را به منظور جبران کم‌شدن میزان فروش افزایش دهند این موضوع انگیزه بیشتری در مشتریان برای نصب تجهیزات مربوط به بهره‌وری انرژی و ماژول‌های فتوولتائیک ایجاد می‌کند که به نوبه خود تقاضای الکتریسیته از شبکه را کاهش می‌دهد و باز هم موجب افزایش تعرفه می‌شود و این چرخه همچنان ادامه می‌یابد. این مسیر، که منجر به فروپاشی مدل تجاری خرده‌فروش و بهره‌بردار شبکه می‌شود "گرداب مرگ" نام دارد [۴۴].

1 Australian Capital Territory

بهره‌بردار شبکه و خرده‌فروش برای آن که بتوانند، حداقل در حال حاضر، به بقای خود ادامه دهند می‌توانند مسیر جایگزین افزایش تعرفه ثابت مشتریان را برگزینند. این همان کاری است که شرکت‌های تلفن ثابت در پاسخ به گسترش بازار تلفن‌های همراه انجام دادند. این کار موجب تسریع در رویکرد مشتریان مسکونی و تجاری کوچک به سمت تلفن‌های همراه شد، یعنی یک گرداب مرگ دیگر. در عین حال، این گذار برای مشتریان کوچک برق آهسته‌تر انجام می‌شود چرا که در حال حاضر تعداد بسیار کمی از آن‌ها توانایی اقتصادی لازم برای نصب یک باتری‌خانه بزرگ به منظور تأمین برق موردنیازشان در طول شب را دارند، و حتی به گونه‌ای چالش‌برانگیزانه‌تر، تعداد بسیار کمتری نیز می‌توانند به سطوح قابلیت اطمینانی مشابه قابلیت اطمینان شبکه (به عنوان مثال، در طول یک هفته با هوای ابری) دست یابند. بدون داشتن چنین سطحی از قابلیت اطمینان، بسیار بعید به نظر می‌رسد که تعداد قابل توجهی از مشتریان شبکه اقدام به جداسدن از شبکه توزیع نکنند. آن‌ها گزینه چندانی به جز متصل ماندن به خرده‌فروش و پرداخت هزینه ثابت را ندارند تا اینکه قیمت‌های باتری‌ها، که در حال کاهش با سرعت بسیار کمی هستند، به سطحی برسند که قطع شدن و استقلال از شبکه از نظر اقتصادی معقول باشد. تعیین یک هزینه ثابت بالا این اثر شدیداً منفی زیست محیطی را هم به دنبال خواهد داشت که انگیزه اقتصادی خانوارها، بنگاه‌های اقتصادی کوچک و سایر مشتریان خرده‌فروشان برق برای کاهش تقاضای مصرفشان را از بین می‌برد. اگر در عمل شما مجبور هستید که، صرف‌نظر از میزان مصرف انرژی‌تان، یک صورتحساب تقریباً ثابت را پردازید طبیعتاً انگیزه چندانی برای افزایش بهره‌وری انرژی و صرفه‌جویی در مصرف انرژی نخواهید داشت.

یک واکنش دیگر خرده‌فروشان و بهره‌برداران شبکه عبارت است از لابی‌کردن با دولت‌ها برای حذف یارانه پرداختی به انرژی‌های تجدیدپذیر. در نتیجه، تعرفه‌های حمایتی و طرح‌های REC در چندین کشور و ایالت/استان با سرعت بسیار بیشتری نسبت به آنچه که از قبل برنامه‌ریزی شده بود متوقف شده‌اند [۴۵]. برخی از خرده‌فروشان و توزیع‌کنندگان برق حتی از این هم فراتر رفته‌اند و دولت‌ها را تحت فشار قرار داده‌اند تا کاهش در تعرفه‌های حمایتی را عطف به‌ماسبق کنند و حتی هزینه‌های بیشتری را بر مالکان سامانه‌های الکتریسیته تجدیدپذیری که در طرف مشتری کنترل قرار گرفته‌اند تحمیل نمایند. دولت‌های محلی سه ایالت استرالیا اقدام به چنین کارهایی کرده‌اند اما هر بار قدرت سیاسی فزاینده مالکان مازول‌های فتوولتاییک و صنایع انرژی تجدیدپذیر با موفقیت جلوی چنین طرح‌هایی را گرفته است. صنعت برق ادعا می‌کند که مالکان مازول‌های خورشیدی استفاده از

تیرها و سیم‌ها را افزایش می‌دهند، تا جایی که در برخی از موارد، نیاز به ارتقاء این تجهیزات قطعی است، بدون آن که هزینه این ارتقاء را پردازند. مالکان ماژول‌ها و صنایع انرژی تجدیدپذیر متقابلاً استدلال می‌کنند که هزینه‌های شبکه در دل تعرفه‌های برق منظور شده‌اند، همانگونه که به عنوان مثال در جدول ۹-۲ نشان داده شده است، و نیز تزریق انرژی‌های تجدیدپذیر به شبکه منافع دیگری نیز دارد که تا به حال کمی‌سازی نشده‌اند [۴۶].

مالکان و صنایع انرژی‌های تجدیدپذیر اضافه می‌کنند که افزایش فعلی در هزینه‌های نصب تیر و سیم و نیز سرمایه‌گذاری در نیروگاه‌های جدید اوج بار در برخی از مناطق به دلیل استفاده روز افزون از سامانه‌های تهویه مطبوع، که برخی از آن‌ها بسیار ارزان بوده و بازده بسیار پایینی از نقطه نظر مصرف انرژی دارند، اتفاق افتاده و تنها بخش کوچکی از این افزایش به پرداخت یارانه به انرژی‌های تجدیدپذیر مربوط می‌شود. یک گزارش دولت استرالیا در زمینه انرژی<sup>۱</sup> در سال ۲۰۱۲ بیان می‌دارد که: "به عنوان مثال، در حالی که خرید و نصب یک دستگاه تهویه مطبوع دو کیلوواتی با چرخه معکوس در حدود ۱۵۰۰ دلار هزینه دارد، چنین دستگاهی می‌تواند هزینه‌های سرمایه‌گذاری بالغ بر ۷۰۰۰ دلار بر کل سامانه انرژی، به دلیل افزایش اوج تقاضا، تحمیل کند" [۴۷]. بنابراین، من توصیه می‌کنم که این هزینه‌ها باید از طریق اعمال یک هزینه دیماندا، که متناسب با حداکثر تقاضایی است که مشتری انتخاب می‌کند، جبران شوند.

### یک سناریوی سامانه الکتریکی پایدار

نزاع گذرای موجود بین صنعت برق از یک سو و مشتریان برق خرده‌فروشی و مالکان سامانه‌های انرژی تجدیدپذیر از سوی دیگر تا حد زیادی معلول مقاومت صنعت برق در برابر تغییر است. متصدیان صنعت برق معمولاً علاقه دارند که با همان ساختار و مدل تجاری قدیمی به کار ادامه دهند، بدون توجه به این واقعیت که شرایط - و به‌طور ویژه فضای کسب و کار - تغییر کرده‌اند. حفظ ساختارهای متعلق به گذشته آشکارا غیرممکن است. برای دسترسی به راه حل، ما به یک سناریوی عملی برای آینده صنعت برق و به سیاست‌هایی که تحقیق چنین سناریویی را ممکن می‌سازند نیازمندیم. هدف نهایی باید داشتن یک سامانه عرضه-تقاضا باشد که هیچ میزانی از گازهای گلخانه‌ای منتشر نمی‌کند، یا مقادیر بسیار کمی منتشر می‌کند، ایمن است، دارای یک منبع انرژی قابل اطمینان در

درازمدت است، به اندازه سیستم فعلی قابل اطمینان است، و مقرون به صرفه است، هرچند که الزاماً به ارزیابی سامانه موجود فعلی نیست. در اینجا یک سناریوی ناقص عرضه می‌شود.

در، مثلاً، سال ۲۰۳۵ هنوز هم شبکه‌ای از خطوط طولانی انتقال و خطوط محلی توزیع وجود دارد. شبکه و بازار برق (در جاهایی که هنوز بازار برق حفظ شده است) ساختار و نحوه عمل خود را تغییر داده‌اند به گونه‌ای که بخش اعظم عرضه، در هر دو سطح عمده‌فروشی و خرده‌فروشی، با استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر انجام می‌شود. خطوط فشارقوی جدید مناطقی که دارای منابع چشمگیر بادی و خورشیدی هستند را به مراکز مصرف متصل می‌کنند. برای متعادل نگه داشتن عرضه و تقاضا و به منظور ثابت نگه داشتن فرکانس، بخش کلان سامانه دارای ظرفیت ذخیره‌سازی بسیار بیشتری نسبت به سال ۲۰۱۳ است. ظرفیت ذخیره‌سازی در شکل‌های تلمبه آبی، توربین‌های گازی با سوخت‌های زیستی، نیروگاه‌های خورشیدی حرارتی متمرکز با ذخیره ساز حرارتی و باتری‌های جریان‌ی بزرگ در شبکه‌های انتقال و توزیع و نیز در محل نیروگاه‌های تجدیدپذیر نصب شده است. نقش بسیار بزرگتری به تولیدکنندگان محلی، که به صورت جغرافیایی پراکنده شده‌اند، برای استفاده محلی واگذار شده است، به گونه‌ای که فناوری‌های کوچک مصرف‌کنندگان خانگی را تغذیه می‌کنند و فناوری‌های با اندازه متوسط برای تغذیه گروه‌های اجتماعی، بخش تجاری و صنایع کوچک تا متوسط به کار گرفته می‌شوند. در شهرک‌ها و شهرها، مصرف‌کنندگان صنعتی و ساختمان‌های بلند مرتبه برق را از شبکه خریداری می‌کنند، و در جاهایی که امکان آن وجود داشته باشد، از برق خورشیدی فتوولتاییک، چه به صورت مستقر در محل و چه از محل‌های مجاور، به عنوان مکمل استفاده می‌کنند. در مناطق دور از شبکه که منابع کافی در آن‌ها وجود دارد صنایع بزرگ عمدتاً از انرژی‌های تجدیدپذیر استفاده می‌کنند. برخی از مصرف‌کنندگان مسکونی دارای برق فتوولتاییک مجهز به باتری ذخیره‌ساز بوده و از شبکه جدا هستند. برخی دیگر به شبکه متصلند و از باتری‌های ذخیره‌ساز در خودروی خود برای فروش برق اضافی خود به شبکه در زمان‌هایی که قیمت برق بالاست استفاده می‌کنند. برخی دیگر، در رقابت با شبکه توزیع، برق اضافی خود را مستقیماً به همسایگانشان و با استفاده از کابل‌های فشار-ضعیف و کم ظرفیت خود می‌فروشند [۴۸].

نیروگاه‌های مجازی، متشکل از عرضه هماهنگ‌شده از هزاران سامانه فتوولتاییک خانگی که از نظر جغرافیایی توزیع شده‌اند، مقادیر عمده توان را با نوسانات کمتری، در مقایسه با یک نیروگاه خورشیدی فتوولتاییک متمرکز که در یک محل نصب شده است، عرضه می‌کنند. بر خلاف نیروگاه-

های متمرکز فتوولتاییک و نیروگاه‌های خورشیدی حرارتی CST، این نوع "نیروگاه" توزیع شده و هماهنگ‌شده و دارای جمع‌آورنده‌های خورشیدی تخت، تحت بسیاری از شرایط ابری هم همچنان به تولید خود، هرچند در سطحی کمتر، ادامه می‌دهند.

نوع دیگری از "نیروگاه‌های مجازی"، به عرضه "نگاوات"<sup>۱</sup> (یعنی کاهش تقاضا) اختصاص دارد. این نوع نیروگاه خارج کردن بلوک‌های بزرگی از مصرف در زمان‌های بحرانی را هماهنگ می‌کند و نقش مهمی در سطح عمده‌فروشی در کاستن از اوج تقاضا (پیک سایه) و جبران کمبود عرضه بر عهده دارد. چنین ایستگاه‌هایی در زمان مقتضی از افزایش شدید تقاضا بر روی خطوط و نقاط توزیع نیز جلوگیری می‌کنند. ابزارهای هوشمندی که به سامانه برق دستگاه‌های تهویه مطبوع، یخچال‌ها و سایر لوازم خانگی متصل شده‌اند به گونه‌ای از پیش برنامه‌ریزی می‌شوند که در زمانی که قیمت برق از حد از پیش تعیین شده‌ای فراتر می‌رود این لوازم را از برق قطع می‌کنند. این ابزارهای هوشمند می‌توانند توسط مصرف‌کنندگان، و به شرطی که قراردادهای مناسبی عقد شده باشند، توسط عرضه‌کنندگان نگاوات و توزیع‌کنندگان/خرده‌فروشان برق تنظیم شوند.

در این سامانه، متعلق به سال ۲۰۳۵، نقش تجاری توزیع‌کنندگان و خرده‌فروشان برق با نقش آن‌ها در سال ۲۰۱۳ متفاوت است. متخصص بهره‌وری انرژی آلن پرز پیش‌بینی می‌کند که برخی از توزیع‌کنندگانی که جان سالم از گذار به در برده‌اند سامانه‌های ذخیره‌ساز انرژی منطقه‌ای خواهند داشت که برق کم‌کربن تولیدشده توسط تولیدکنندگان را ذخیره کرده و در زمان نیاز با قیمت‌های بالاتری به مشتریان خواهند فروخت. اگر ذخیره‌سازها در محل‌های راه‌بردی مناسبی نصب شوند می‌توانند صادرات تولیدکننده‌های کوچک و پراکنده انرژی‌های تجدیدپذیر به شبکه توزیع را نیز ذخیره کنند و از نیاز به توسعه شدید شبکه‌های موجود بکاهند. در کنار سایر بنگاه‌های اقتصادی، توزیع‌کنندگان (یا شرکت‌های زیرمجموعه آن‌ها) نیز می‌توانند مجوزهایی دریافت کنند تا در بازار عمده-فروشی برق برای کاهش تقاضا پیشنهاد قیمت بدهند [۴۹].

در عین حال، در سال ۲۰۳۵ توزیع‌کنندگان برق دیگر به صورت انحصاری در یک منطقه عمل نمی‌کنند. آن‌ها و خرده‌فروشان (اگر خرده‌فروشی وجود داشته باشد) با رقابت واقعی مواجه خواهند بود. همسایگان به یکدیگر برق می‌فروشند. سازندگان لوازم خانگی، سامانه‌های مجتمع انرژی

1 Negawatt

ساختمانی‌ای<sup>۱</sup> به واحدهای مسکونی و بنگاه‌های تجاری می‌فروشند که شامل تولید در محل، ذخیره-سازی، کنترل‌های هوشمند و لوازم خانگی هوشمند و کارآمد هستند. "این شرکت‌ها می‌فهمند که افزایش سود در اثر گسترش بازار منحصراً از طریق تولید سامانه‌های بزرگ به دست نمی‌آید بلکه با تولید انبوه نیز می‌توان به این هدف دست یافت" [۵۰].

وقتی که در مورد سیستم قیمت‌گذاری برق در سال ۲۰۳۵ از من سؤال می‌شود، من متوجه می‌شوم که برخی از بخش‌های جام جهان‌بین من تیره و تارند. به نظر می‌رسد در آن زمان بازاری وجود دارد که از برخی جنبه‌ها آزادتر و از برخی جنبه‌های دیگر برنامه‌ریزی‌شده‌تر است. در عین حال، جام جهان‌بین پیش‌بینی می‌کند که مدل تجاری قدیمی صنعت برق در حدود سال ۲۰۲۰ دچار فروپاشی می‌شود و خرده‌فروشان برق توسط بنگاه‌های اقتصادی‌ای جایگزین خواهند شد که فناوری‌های بهبود بهره‌وری انرژی، تولید محلی، مشارکت در تولید در طرف مشتری کنتور و روش‌های کاهش تقاضا را به فروش می‌رسانند. این بنگاه‌های اقتصادی مشابه شرکت‌های خدمات انرژی (ESCOs) هستند که در فصل ۴ (بخش "غلبه بر موانع: راه‌بردها و سیاست‌ها") معرفی شدند. از آنجایی که بخش اعظم هزینه‌های یک سامانه تولیدی عمدتاً مبتنی بر انرژی‌های تجدیدپذیر، هزینه ثابت سرمایه‌گذاری اولیه است، مشتریان در سال ۲۰۳۵ هزینه ظرفیتی می‌پردازند که متناسب با حداکثر دیماند منظور شده در قراردادشان است. در عین حال، هزینه ثابتی که توسط مصرف‌کننده کوچک پرداخت می‌شود برای جبران هزینه‌های عرضه‌کننده انرژی کافی نیست. بنابراین، قسمت متغیر صورتحساب برق تجدیدپذیر، یعنی هزینه هر واحد انرژی مصرف‌شده، به گونه‌ای افزایش می‌یابد که این هزینه‌های ثابت را جبران کند. این سیستم قیمت‌گذاری دارای یک نرخ کربن بالا و تعرفه‌های حمایتی برای انرژی‌های تجدیدپذیر نیز هست. این تعرفه‌ها هرگونه هزینه اضافی که توسط انرژی‌های تجدیدپذیر بر شبکه تحمیل می‌شود و هرگونه منفی که از سوی انرژی‌های تجدیدپذیر به شبکه می‌رسند را در نظر می‌گیرند. مانند خرید الکتریسیته از شبکه، این تعرفه‌های حمایتی از محلی به محل دیگر و بسته به وضعیت عرضه و تقاضا تغییر می‌کنند. یک چیز واضح است: به محض آن که این گذار دشوار به سرانجام برسد، قیمت‌های برق در سامانه‌های ۱۰۰ درصد مبتنی بر انرژی‌های تجدیدپذیر کاملاً پایدار خواهند بود.

### سیاست‌هایی برای تحول صنعت برق

سناریوی ۲۰۳۵ نوع جدیدی از بازار را برای برق، و به‌طور کلی‌تر برای خدمات انرژی، پیشنهاد می‌کند. سیاست‌های پیشنهادی، به صورت کلی، برای تحقق چنین آینده‌ای شامل موارد زیر هستند:

- به سیاست‌های موجود که به سوخت‌های فسیلی یارانه می‌پردازند، قوانین بازار را به‌طور یکجانبه به سمت نیروگاه‌های متمرکز بزرگ متمایل می‌سازند و به توزیع کنندگان برق امکان انحصار می‌دهند، باید خاتمه داده شود.
- قوانین جدید و مقررات بازار باید به گونه‌ای اعمال شوند که احداث و فعالیت نیروگاه‌های مجازی را تسهیل کنند. این نیروگاه‌ها قادرند که تعداد زیادی از مصرف‌کنندگان برق یا تولیدکنندگان برق یا تولیدکنندگان کوچک برق تجدیدپذیر را هماهنگ کنند و می‌توانند در بازار عمده‌فروشی برق برای کاهش تقاضا و یا فروش برق تجدیدپذیر به توزیع کنندگان قیمت پیشنهاد کنند.
- به تولیدکنندگان برق که از سوخت‌های فسیلی استفاده می‌کنند و دارای سرمایه‌های بلااستفاده هستند نباید غرامتی پرداخت شود.
- برای صدور صورتحساب مصرف‌کنندگان برقی که به شبکه متصل هستند می‌توان از نرخ‌های جداگانه برای دیماندر و مصرف انرژی استفاده کرد. نرخ دیماندر می‌تواند شامل یک حداکثر دیماندر مورد توافق برای مصرف‌کننده و یک حداکثر مجاز مورد توافق انرژی تجدیدپذیر تزریقی از سوی مصرف‌کننده به شبکه باشد. نرخ مصرف انرژی وابسته به زمان مصرف خواهد بود (واضح است که مزایا و معایب این نحوه صدور صورتحساب و گزینه‌های جایگزین آن نیازمند تحقیق و بحث بیشتر است).
- تولیدکنندگان برق تجدیدپذیر، تولیدکنندگان برق قابل فراخوانی که دارای پاسخ سریع هستند (از جمله توربین‌های گازی مصرف‌کننده سوخت‌های فسیلی) و عرضه‌کنندگان انرژی ذخیره‌سازی شده باید هم برای در دست بودن ظرفیتشان و هم برای انرژی‌ای که به بازار عرضه می‌کنند به صورت جداگانه پول دریافت کنند.
- سیاست‌هایی باید اعمال شوند که تأمین منابع مالی مورد نیاز و تأیید سامانه‌های تولیدکننده برق تجدیدپذیر در اندازه متوسط از سوی جوامع محلی، بنگاه‌های تجاری و صنایع کوچک تسهیل

شود. این تولیدکنندگان باید بتوانند الکتریسیته تولیدی را در ولتاژ پایین در بین مصرف‌کنندگان واقع در سایت خود یا سایت‌های مجاور منتقل کنند. استانداردها و مقررات لازم برای این قبیل انتقال انرژی نیز باید تنظیم شوند.

از آنجایی که ما هنوز در مراحل ابتدایی بحث در خصوص آینده صنعت برق هستیم، در حالی که این صنعت در حال تجربه کردن تغییرات شدیدی است، سیاست‌هایی که در بالا پیشنهاد شدند باید به عنوان ورودی‌های یک بحث عمیق‌تر مورد نظر قرار گیرند و نه یک طرح قطعی.

### نتیجه‌گیری

گذار به یک سامانه انرژی عمدتاً مبتنی بر منابع تجدیدپذیر نیازمند سیاست‌گذاری‌های چندوجهی است که به مرحله بلوغ فنی فناوری‌ها بستگی دارند. این گذار، چالش‌های عمیق ساختاری و عملیاتی با خود همراه دارد.

به دلیل نیاز به اقدام سریع و اضطراری برای مقابله با تغییرات آب و هوایی، تمرکز این فصل بر توسعه بازار برای فناوری‌هایی بود که در مرحله توزیع اولیه بوده و یا از نظر تجاری بالغ محسوب می‌شوند. در این مسیر، اهداف و جداول برنامه‌بندی زمانی ضروری هستند. همانگونه که از سوی آژانس بین‌المللی انرژی (IEA) نیز تأکید شده است، لازم است که یارانه‌های پرداختی به تولید و مصرف سوخت‌های فسیلی نیز حذف شوند.

برای آن که توسعه بازار فناوری‌های تولید برق تجدیدپذیری که در این مراحل هستند مورد حمایت قرار گیرد، تعرفه‌های حمایتی موفق‌ترین سیاست‌ها بوده‌اند و طرح‌های گواهی‌های انرژی تجدیدپذیر قابل داد و ستد (RECs) هم حمایت خوبی را برای فناوری‌های تجدیدپذیر ارزان‌تر، خصوصاً بادی، فراهم آورده‌اند. تولید برق تجدیدپذیر در مقیاس کلان نیز نیازمند اصلاح و تقویت شبکه‌های موجود است. هرچند که در زمینه سیاست‌های مربوط به توسعه گرمایش تجدیدپذیر فعالاً تجربه اندکی وجود دارد، اما طرح‌های پرداخت تشویقی ممکن است گزینه موفق‌تری برای مرحله فعلی باشد. علاوه بر این، برای تأمین منابع مالی مورد نیاز برق تجدیدپذیر، گرمایش تجدیدپذیر و افزایش بهره‌وری، به ابزارهای ابتکاری نیاز داریم. از جمله این ابزارها می‌توان به اوراق مشارکت اقلیمی برای

تجمع سرمایه‌گذاری‌ها در بسیاری از پروژه‌های کلان، سرمایه‌گذاری‌های کوچک هماهنگ‌شده برای تأمین منابع مالی پروژه‌های دارای اندازه متوسط و اجاره برای پروژه‌های کوچک اشاره کرد. رشد سریع برق تجدیدپذیر در برخی از مناطق، مدل‌های تجاری صنعت برق در هر دو سطح عمده‌فروشی و خرده‌فروشی را به چالش کشیده است. در سطح عمده‌فروشی یا تولید، نفوذ بالای برق بادی، همراه با نفوذ برق خورشیدی فتوولتاییک در سطح خرده‌فروشی، موجب کاهش قیمت برق و جایگزینی نیروگاه‌های زغال‌سوز بار پایه شده است. این "اثر ترتیب شایستگی" دقیقاً همان چیزی است که مورد نیاز است. دولت‌ها باید در مقابل درخواست‌های قابل پیش‌بینی برای دریافت خسارت از سوی مالکان نیروگاه‌ها و سایر تجهیزات از مدار خارج‌شده مقاومت کنند.

در سطح توزیع/خرده‌فروشی، تقاضای الکتریسته در برخی از کشورها به دلیل توسعه برق فتوولتاییک، بهره‌وری انرژی، صرفه‌جویی در مصرف انرژی و تداوم بحران مالی جهانی به میزان ثابتی رسیده و در برخی دیگر از کشورها رو به کاهش است. در واکنش به این وضعیت، خرده‌فروشان برق در حال افزایش قیمت هر واحد انرژی برق و آبونمان‌های ثابت هستند که بی‌تردید منجر به تولید یک "گرداب مرگ" برای تجارتشان خواهد شد. برخی از این خرده‌فروشان در حال لابی کردن با دولت‌ها برای کند کردن سرعت رشد برق فتوولتاییک هستند. برخی توصیه‌های ابتدایی برای حرکت به سمت مدل‌های تجاری جدید، با توجه به اینکه گذار به سمت انرژی پایدار ادامه دارد، در این فصل ارائه شدند.

برای غلبه بر موانع و جهت‌دهی جامعه و اقتصاد به سمت یک گذار سریع به انرژی پایدار، ما نیازمند یک جنبش اجتماعی بزرگ، مطلع و متعهد هستیم تا یک فشار متقابل برای اعمال سیاست‌های مؤثر بر تصمیم‌گیرندگان در دولت، بنگاه‌های اقتصادی، اتحادیه‌های تجاری، سازمان‌های حرفه‌ای و کل جامعه وارد آورد. ایجاد این جنبش اجتماعی در فصل ۱۱ مورد بحث قرار گرفته است.

## منابع و یادداشت‌های فصل

1 Green, MA (2002) Acceptance Speech, Right Livelihood Award, <[www.rightlivelihood.org/speech\\_green.html](http://www.rightlivelihood.org/speech_green.html)>. Green is Scientia Professor and Director of the Centre for Advanced Photovoltaics at UNSW.

۲. واضح است که چنین شرایطی، یک فرصت مناسب را برای یک نماینده‌نویس خوب فراهم می‌آورد.

۳. در این فصل، از عبارت "فناوری‌ها" در یک مفهوم وسیع استفاده شده است تا دربرگیرنده تمهیداتی از قبیل تغییر در رفتار، که نیازمند سخت‌افزار نیستند، نیز بشود.

- 4 Foxon, TJ, Gross, R, Chase, A et al. (2005) UK innovation systems for new and renewable energy technologies: Drivers, barriers and systems failures, *Energy Policy*, 33: 2123–37.
- 5 See EU Climate Action, What is the EU Doing About Climate Change?, <[http://ec.europa.eu/clima/policies/brief/eu/index\\_en.htm](http://ec.europa.eu/clima/policies/brief/eu/index_en.htm)>.
- 6 European Commission (2013) *Renewable Energy Progress Report*, Report from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions, <<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2013:0175:FIN:EN:PDF>>.
- 7 Keppley, JM (2012) A comparative analysis of California and German renewable energy policy, *Josef Korbel Journal of Advanced International Studies*, 4 (summer); Grueneich, DN (2011) California State Policy on Sustainable Energy, *AIP Conf. Proc.*, 1401:153–61, doi: 10.1063/1.3653849.
- 8 See Paul Gipe's website <[www.wind-works.org/cms](http://www.wind-works.org/cms)>.
- 9 Couture, TD and Bechberger, M (2013) Pain in Spain: New retroactive changes hinder renewable energy, *Renewable Energy News*, 19 April, <[www.renewableenergyworld.com/rea/news/article/2013/04/pain-in-spain-new-retroactive-changes-hinders-renewable-energy](http://www.renewableenergyworld.com/rea/news/article/2013/04/pain-in-spain-new-retroactive-changes-hinders-renewable-energy)>.
- 10 Fripp, M (2008) European Experience with tradable Green certificates and feed-in Tariffs for Renewable Electricity support, Report to FPL Energy, <[www.academia.edu/1017216/European\\_Experience\\_with\\_Tradable\\_Green\\_Certificates\\_and\\_Feed-In\\_Tariffs\\_for\\_Renewable\\_Electricity\\_Support](http://www.academia.edu/1017216/European_Experience_with_Tradable_Green_Certificates_and_Feed-In_Tariffs_for_Renewable_Electricity_Support)>.
- 11 Buckman, G and Diesendorf, M (2010) Design limitations in Australian renewable energy policies, *Energy Policy*, 38: 3365–76; addendum 38: 7539–40.
- 12 Buckman and Diesendorf (2010).
- 13 Haas, R, Resch, G, Panzer, C et al. (2011) Efficiency and effectiveness of promotion systems for electricity generation from renewable energy sources – Lesson from EU countries, *Energy*, 36: 2186–93.
- 14 Pfund, N and Healey, B (2011) *What Would Jefferson Do? The historical role of Federal subsidies in shaping America's energy future*, <[www.dblinvestors.com/documents/What-Would-Jefferson-Do-Final-Version.pdf](http://www.dblinvestors.com/documents/What-Would-Jefferson-Do-Final-Version.pdf)>.
- 15 Riedy, C and Diesendorf, M (2003) Financial subsidies to the Australian fossil fuel industry, *Energy Policy*, 31: 125–37; Riedy, C (2007) *Energy and Transport Subsidies in Australia: 2007 Update*, Institute for Sustainable Futures, UTS, Sydney.
- 16 ExternE studies <[www.externe.info/externe\\_d7](http://www.externe.info/externe_d7)>.

- 17 International Energy Agency (IEA) (2012) *World Energy Outlook 2012*, OECD/IEA, Paris, pp 1, 69–71. For more detail on the method, see <[www.worldenergyoutlook.org/resources/energysubsidies](http://www.worldenergyoutlook.org/resources/energysubsidies)>.
- 18 Riedy and Diesendorf (2003); Riedy (2007).
- 19 Biswas, W, Diesendorf, M and Bryce, P (2004) Can photovoltaic technologies help attain sustainable rural development in Bangladesh?, *Energy Policy*, 32: 1199–207.
- ۲۰ سناریوی سیاست‌های جدید IEA عبارت است از وضعیت موجود (BAU) به علاوه سیاست‌هایی که اعلام شده‌اند اما هنوز اجرایی نشده‌اند. سناریوی 450 تمرکز CO<sub>2</sub> در اتمسفر را با یک احتمال ۴۵٪ به ۴۵۰ ppm محدود می‌سازد.
- 21 IEA (2012), pp 252–53.
- 22 Clean Energy Finance Corporation <[www.cleanenergyfinancecorp.com.au](http://www.cleanenergyfinancecorp.com.au)>.
- 23 Climate Bonds Initiative <<http://climatebonds.net/about>>.
- 24 Climate Bonds Initiative (2013) *Bonds and Climate Change: The state of the market in 2013*, <<http://climatebonds.net>>.
- 25 Solar Mosaic <<https://joinmosaic.com/how-it-works>>.
- 26 Kennedy, D (2012) *Rooftop Revolution*, Berrett-Koehler, San Francisco; see also Sungevity <[www.sungevity.com](http://www.sungevity.com)>.
۲۷. در عین حال، چین یک پروژه بزرگ احداث خطوط بسیار فشارقوی (UHV) برای انتقال توان بادی از مناطق غربی به مراکز تقاضا در شرق را آغاز کرده است.
- 28 European Wind Energy Association (2011) *Offshore Electricity Grid Infrastructure in Europe*, <[www.ewea.org/fileadmin/files/library/publications/reports/OffshoreGrid\\_report.pdf](http://www.ewea.org/fileadmin/files/library/publications/reports/OffshoreGrid_report.pdf)>.
- 29 Atlantic Wind Connection <<http://atlanticwindconnection.com/news>>.
- 30 Desertec Foundation <[www.desertec.org](http://www.desertec.org)>.
- 31 Department of Energy and Climate Change (2013) The heat is on for householders, <[www.gov.uk/government/news/the-heat-is-on-for-householders](http://www.gov.uk/government/news/the-heat-is-on-for-householders)>.
- 32 Munksgaard, J and Morthorst, PE (2008) Wind power in the Danish liberalised power market – policy measures, price impact and investor incentives, *Energy Policy*, 36: 3940–47.
- 33 Sensfuss, F, Ragwitz, M and Genoese, M (2008) The merit-order effect: A detailed analysis of the price effect of renewable electricity generation on spot market prices in Germany, *Energy Policy*, 36: 3086–94; Weigt, H (2009) Germany's wind energy: The potential for fossil capacity replacement and cost saving, *Applied Energy*, 86: 1857–63.
- 34 Sáenz de Miera, G, Gonzalez, PdR and Vizcaino, I (2008) Analysing the impact of renewable energy support schemes on power prices: The case of wind energy in Spain, *Energy Policy*, 36: 3345–59.

- 35 Ray, S, Munksgaard, J, Morthorst, PE et al (2010) Wind Energy and Electricity Prices, Exploring the Merit Order Effect, A Literature Review by Póyry for the European Wind Energy Association, <[www.ewea.org/fileadmin/ewea\\_documents/documents/publications/reports/MeritOrder.pdf](http://www.ewea.org/fileadmin/ewea_documents/documents/publications/reports/MeritOrder.pdf)>.
- 36 Woo, C, Horowitz, J, Moore, J et al. (2011) The impact of wind generation on the electricity spot-market price level and variance: The Texas experience, *Energy Policy*, 39: 3939–44.
- 37 Cutler, NJ, Boerema, ND, MacGill, IF et al. (2011) High penetration wind generation impacts on spot prices in the Australian national electricity market, *Energy Policy*, 39: 5939–49; McConnell, D, Hearps, P, Eales, D et al. (2013) Retrospective modelling of the merit order effect on wholesale electricity prices from distributed photovoltaic generation in the Australian electricity market, *Energy Policy*, 58: 17–27.
- 38 Elliston, B, MacGill, I and Diesendorf, M (2013b) Comparing least cost scenarios for 100% renewable electricity with low emission fossil fuel scenarios in the Australian National Electricity Market, Discussion paper to be published <[www.ies.unsw.edu.au/about-us/news-activities/2013/08/does-coal-have-future](http://www.ies.unsw.edu.au/about-us/news-activities/2013/08/does-coal-have-future)>.
۳۹. "اعتبار ظرفیت" (Capacity Credit) توان بادی را می‌توان به این صورت تعریف کرد: میزانی از انرژی بادی در یک شبکه برق که می‌تواند جایگزین ظرفیت تولید نیروگاه‌های متعارف شود. برای سطوح پایین نفوذ توان بادی در شبکه، اعتبار ظرفیت تقریباً برابر با مقدار میانگین توان بادی است. در عین حال، برای سطوح بالای نفوذ، اعتبار ظرفیت به سمت یک مقدار ثابت میل می‌کند که متناسب است با احتمال وجود توان بادی صفر در محل سایت. نگاه کنید به:
- Haslett, J and Diesendorf, M (1981) The capacity credit of wind power: A theoretical analysis, *Solar Energy*, 26: 391–401.
- 40 IEA (2012) *World Energy Outlook 2012*, OCED/IEA, Paris, p 1.
- 41 Smith, R (2013) US electricity use on wane, *Wall Street Journal*, 2 January.
- 42 Brazzale, R (2013) Electricity demand's speedy descent, *Climate Spectator*, 8 January, <[www.businessspectator.com.au/article/2013/1/8/smart-energy/electricity-demands-speedy-descent](http://www.businessspectator.com.au/article/2013/1/8/smart-energy/electricity-demands-speedy-descent)>.
- 43 Independent Competition and Regulatory Commission (2011) Final decision, retail prices for non-contestable electricity customers 2011–2012, p 11, <[www.icrc.act.gov.au/energy/electricity](http://www.icrc.act.gov.au/energy/electricity)>.
- 44 Parkinson, G (2013) Energy death spiral – consume more, or prices will rise, *RenewEconomy*, 25 March <<http://reneweconomy.com.au/2013/energydeath-spiral-consume-more-or-prices-will-rise-90603>>.
- 45 Couture and Bechberger (2013); Parkinson, G (2012) Germany slashes solar tariffs, *RenewEconomy*, 24 February, <<http://reneweconomy.com.au/2012/mixed-greens-germany-slashes-solar-tariffs-88470>>; Harvey, F (2013) Solar companies to sue UK government for £140m over feed-in tariff cuts, *The Guardian*, 23 January,

- <[www.guardian.co.uk/environment/2013/jan/23/solar-companies-feed-in-tariff-cuts](http://www.guardian.co.uk/environment/2013/jan/23/solar-companies-feed-in-tariff-cuts)>; Hurst, D (2012) Solar shake-up slashes feed-in tariff, *Brisbane Times*, 25 June, <[www.brisbanetimes.com.au/queensland/solar-shakeup-slashes-feedin-tariff-20120625-20y6c.html](http://www.brisbanetimes.com.au/queensland/solar-shakeup-slashes-feedin-tariff-20120625-20y6c.html)>.
- 46 e-Lab (2013) *A Review of Solar PV benefit and Cost Studies*, Rocky Mountain Institute, Boulder CO, <[www.rmi.org/elab\\_emPower](http://www.rmi.org/elab_emPower)>.
- 47 Australian Government (2012) *Energy White Paper 2012*, Department of Resources, Energy & Tourism, Canberra, p 184. (The calculation is from Queensland, Australia, in 2011.)
- 48 Pears, A (2013a) Energy revolution or bloody war – it's our choice, *The Conversation*, 20 April, <<http://theconversation.com/energy-revolution-or-bloody-war-its-our-choice-13294>>. Such transfers would be subject to reasonable and standardised safety and power system stability requirements.
- 49 Pears, A (2013b) If I ran an electricity network, *ReNew*, issue 123: 86–87, April–June, <[www.businessspectator.com.au/article/2013/3/27/energymarkets/if-i-ran-electricity-network...](http://www.businessspectator.com.au/article/2013/3/27/energymarkets/if-i-ran-electricity-network...)>.
- 50 Pears (2013a).

## فصل ۱۰

### چه کسی گذار را انجام خواهد داد؟

به تنهایی ما کارهای کمی می‌توانیم انجام دهیم؛ با یکدیگر، بسیار زیاد. [۱]

هلن کلر<sup>۱</sup>

با قبول اینکه ما به یک اقدام اضطراری سریع و مؤثر برای دورشدن از سوخت‌های فسیلی و رسیدن به سامانه انرژی‌ای که از نظر بوم‌شناختی پایدار و مبتنی بر استفاده کارآمد از انرژی‌های تجدیدپذیر باشد نیاز داریم، کدام بخش‌های جامعه محرکه‌های اصلی تغییر خواهند بود؟ در اغلب کشورها، دولت‌ها بیشترین پتانسیل برای قبول این نقش را دارند. در درون ملت‌هایی که بر آن‌ها حکم می‌رانند، دولت‌ها می‌توانند استانداردهای بهره‌وری انرژی برای ساختمان‌ها و لوازم برقی وضع کنند، اهداف ملی برای بهره‌وری انرژی و انرژی‌های تجدیدپذیر تعیین کنند، قوانین مربوط به کنترل آلاینده‌ها را تصویب نمایند، فرآورده‌ها و خدمات "خوب" را بخرند و بر فرآورده‌ها و خدمات "بد" مالیات ببندند، یک نرخ کربن اعمال کنند، مجوزهای قابل داد و ستد انتشار گاز یا گواهی‌های انرژی تجدیدپذیر قابل داد و ستد صادر کنند، وام‌های کم‌بهره و ضمانت‌های وام بدهند و صنعت برق را بازسازی نمایند. آن‌ها می‌توانند بودجه لازم برای تحقیق، توسعه، آزمایش، ایجاد زیرساخت، آموزش و اطلاع‌رسانی را فراهم آورند. در عرصه خارجی، دولت‌ها می‌توانند با مشکل جهانی تغییرات آب و هوایی از طریق عقد پیمان‌های مستحکم بین‌المللی برای کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای، کمک به کشورهای فقیر برای مقابله با آثار ناشی از تغییرات آب و هوایی و ترویج فناوری‌ها و اقدامات مرتبط با انرژی پایدار در سطح جهانی برخورد کنند. متأسفانه آنچه که تا حال حاضر در عرصه بین‌المللی محقق شده است حتی کمتر از آن چیزی است که در سطح محلی در بسیاری از کشورها به دست آمده است (رک فصل ۸، "توافق نامه‌های بین‌المللی").

---

1 Hellen Keller

در عمل، دست برخی از دولت‌ها به دلیل روابط نزدیک با صنایع تولیدکننده سوخت‌های فسیلی، مصرف‌کنندگان بسیار بزرگ انرژی مانند آلومینیم و فولاد و اتحادیه‌های کارگری این صنایع بسته است. این یک مانع عمده بر سر راه تغییر در آمریکا، لهستان، استرالیا و برخی کشورهای دیگر است. دارندگان منافع ویژه از طریق لابی کردن، که توسط برنامه‌های تبلیغاتی پشتیبانی می‌شود، از طریق تأثیر گذاری بر رسانه‌های عمومی فراگیر و از طریق برقراری ارتباطات نزدیک با مقامات دولتی که مسئول تنظیم مقررات مربوط به صنایع دارای منافع ویژه هستند، بر دولت‌ها فشار می‌آورند [۲].

بنگاه‌های اقتصادی بزرگ حتی بیشتر از دولت‌ها توانایی تغییر سریع جهت‌گیری دارند. این امر عجیبی نیست، چون این بنگاه‌ها دارای فرایند تصمیم‌گیری مردم‌سالارانه نبوده و اغلب مقررات سهل‌گیرانه‌ای نیز بر آن‌ها حکمفرماست. در عین حال، مسئولیت قانونی این بنگاه‌ها در برابر سهامدارانشان است و نه در برابر منافع عموم. مادامی که یک بنگاه اقتصادی مشتریان کافی برای فروش کالاها و خدمات و کسب سود دارد، نیازی به تغییر احساس نمی‌کند. امروزه بسیاری از بنگاه‌های اقتصادی و صنایع بزرگ ادعا می‌کنند که در حال پیاده‌سازی مفهوم "تجارت سبز" هستند، اما در اکثریت عظیم موارد این اقدامات تنها اقداماتی نمایش بوده و تأثیر چندانی بر ماهیت آلاینده فعالیت‌های آن‌ها ندارد [۳]. بدین ترتیب، شرکت‌های برقی که سوخت اصلی آن‌ها زغال‌سنگ است صرفاً تصاویر مزارع بادی و نیروگاه‌های خورشیدی را در وبسایت‌های خود به نمایش می‌گذارند.

به عنوان واکنش در برابر این وضعیت، برخی از هواداران اقدامات زیست‌محیطی بحث کرده‌اند که اقدامات انجام شده توسط افراد و خانوارها می‌توانند جایگزین اقدامات دولتی‌هایی شوند که در این زمینه تمایلی ندارند. آیا این واقعیت دارد؟ این فصل به بررسی نقش بالقوه افراد/خانوارها، گروه‌های اجتماعی و بنگاه‌های بزرگ اقتصادی در گذار بزرگ انرژی می‌پردازد.

### محدودیت‌های اقدام فردی

هرچند که اقدامات افراد/خانوارها دارای نقشی در تغییرات اجتماعی است، اما در مورد میزان تأثیر آن معمولاً با استفاده از استدلال‌های ساده‌انگارانه اغراق می‌شود. یک نمونه از چنین استدلال‌هایی اشاره به این حقیقت آشکار است که همه سازمان‌ها از افراد تشکیل شده‌اند و سپس از این حقیقت چنین نتیجه‌گیری می‌شود که برای آن‌ها که یک تغییر جهت در دولت و بنگاه‌های اقتصادی ایجاد شود

کل فعالیتی که لازم است انجام شود آن است که اکثریت سیاستمداران، مقامات دولتی و کارکنان بنگاه‌های اقتصادی باید نسبت به الزامی بودن تغییر متقاعد شوند.

آنچه این استدلال در نظر نمی‌گیرد آن است که سازمان‌ها، چه از نوع دولتی و چه از نوع خصوصی، دارای ساختارها و اهدافی هستند که آن‌ها را وادار می‌سازند تا به روش‌هایی کاملاً متفاوت با روش‌های اعضایشان رفتار کنند. به عنوان مثال، شرکت‌های عمومی از نظر قانونی در مقابل سهامدارانشان مسئول هستند، در حالی که شرکت‌های خصوصی از نظر قانونی در مقابل مالکانشان مسئولیت دارند. در سیستم وست مینستر<sup>۱</sup>، دستگاه‌های دولتی در برابر وزاری متبوعشان مسئولند در حالی که در سیستم‌های آمریکایی وزرا و سایر مدیران ارشد دستگاه‌های دولتی توسط رئیس جمهور منصوب شده و در برابر او مسئولیت دارند. حتی زمانی که اکثریت اعضای یک شرکت عمومی یا خصوصی یا یک دستگاه دولتی از اقدامات جدی زیست‌محیطی حمایت می‌کنند، ساختار این تشکیلات مانع از هرگونه تغییری می‌شود. شایع‌ترین ساختار سازمانی ساختار دیوان‌سالاری است، یعنی یک سیستم سلسله‌مراتبی که تک‌تک کارکنان در آن قابل جابجایی هستند. این سیستم، یک سیستم عالی برای انجام کارآمد اقدامات روزمره تحت یک مدیریت مرکزی است اما در مقابل تغییر از پایین به شدت مقاوم است [۴].

در تعداد کمی نمونه نادر، قوی‌ترین اشخاص در داخل یک سیستم دیوان‌سالار تغییراتی را در جهت منافع عموم آغاز کرده‌اند. این کار یا در اثر فشار خارجی، مثل تحریم از سوی مشتریان، یا یک بحث منطقی و یا افشاگری صورت می‌گیرد. یک نمونه مشهور مرحوم ری اندرسون<sup>۲</sup>، بنیان‌گذار و رئیس شرکت Interface است. این شرکت یکی از بزرگ‌ترین شرکت‌های تولیدکننده پوشش کف ساختمان در جهان است. اندرسون با یک افشاگری، یا به تعبیر خودش "نیزه‌ای در سینه"، مواجه شد و یک "اصلاح در میانه راه" انجام داد تا شرکتش را به مسیر توسعه پایدار هدایت کند [۵]. این داستان الهام‌بخش، استثنایی است که قاعده را به ما نشان می‌دهد. اندرسون قوی‌ترین عضو سازمان خودش بود.

یک استدلال ساده‌انگارانه دیگر برای بسنده کردن به اقدامات فردی آن است که حتی اگر دولت‌ها و بنگاه‌های بزرگ اقتصادی هیچ کاری نکنند، تغییرات در شیوه زندگی بسیاری از

1 Westminster System  
2 Ray Anderson

افراد/خانوارها می‌تواند به تغییرات اجتماعی مورد نظر منجر شود. این استدلال توسط حکایتی موسوم به "میمون صدم" تقویت می‌شود. در جزیره‌ای یک قبیله صدتایی میمون زندگی می‌کنند. یک میمون تکنیک جدیدی را یاد می‌گیرد: شستن سیب‌زمینی شیرین، که یک غذای سابقاً غیر قابل خوردن را خوردنی می‌کند. این میمون تکنیک جدید را به میمون دیگری آموزش می‌دهد، سپس هر دو میمون سایر میمون‌ها را آموزش می‌دهند و این کار تا جایی ادامه پیدا می‌کند که همه صد میمون قبیله این کار را انجام می‌دهند [۶].

جامعه انسانی (و احتمالاً جامعه میمونی هم) بسیار پیچیده‌تر از این چیزی است که در این حکایت به تصویر کشیده شده است. اقدامات و ابداعات فردی، مشروط بر آن‌که از فردی به فرد دیگر منتقل شوند، دارای مقداری ارزش آموزشی در درون اجتماع انسان‌ها هستند، اما سرعت انتشار دانش به این روش معمولاً بسیار کم است. در نتیجه، اقدامات فردی دارای منافع بسیار محدودی هستند. چندان معقول نیست که مردم را نصیحت کنیم که:

- از حمل و نقل عمومی استفاده کنند، اگر در محلی زندگی یا کار می‌کنند که امکانات حمل و نقل عمومی کافی ندارد،
  - از استفاده از بخاری‌های برقی (یک منبع بزرگ انتشار گازهای گلخانه‌ای مربوط به واحدهای مسکونی در مناطقی که بخش عمده الکتریسیته با استفاده از سوخت‌های فسیلی تولید می‌شود) خودداری کنند، اگر ساکنان خانه مستأجرانی هستند که در خانه استیجاری‌شان نه عایق‌بندی مناسبی دارند و نه به گرمایش خورشیدی یا سایر سامانه‌های گرمایشی کم‌کربن دسترسی دارند،
  - با پرداخت مبلغی بیشتر برای هر کیلووات‌ساعت برق اقدام به خرید انرژی سبز کنند، وقتی که درآمد آن‌ها پایین است،
  - از انرژی خورشیدی استفاده کنند، اگر آن‌ها در مناطق روستایی و در قسمت‌های دورافتاده شبکه برق، که در آن‌ها به قیمت‌های برق به شدت یارانه پرداخت می‌شود (هم از نظر هزینه هر واحد انرژی خریداری شده و هم از نظر نگهداری رایگان شبکه) زندگی می‌کنند.
- علاوه بر این، در بسیاری از کشورها افراد و خانوارها مستقیماً مسئول تنها بخش کوچکی از مصرف انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای هستند. بخش عمده مصرف انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای مستقیماً به صنایع سنگین و به‌طور غیرمستقیم به انرژی فسیلی نهفته در محصولاتی که ما می‌خریم مربوط است. این یکی از محدودیت‌های ایده‌ای است که معتقد است ما باید برای هر فرد سهمیه‌ای از

انتشار گازهای گلخانه‌ای تعیین کنیم و باید آن فرد کارت بانکی‌ای داشته باشد که برای هر بار خرید برق، گاز و بنزین تولید شده از سوخت‌های فسیلی مقداری از سهمیه تعیین شده او کسر شود. هرچند که چنین سامانه‌ای، هم از نظر آموزشی و هم از نظر کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای، دستاوردهایی خواهد داشت اما این دستاوردها بسیار ناچیزتر از آنی هستند که مورد نیاز است.

این تصور که اقدامات فردی اصلی‌ترین مسیر گذار است نه تنها ناتوانی افراد در تغییر رفتار شرکت‌ها را در نظر نمی‌گیرد، بلکه ناتوانی افراد در تغییر قوانین، زیرساخت‌ها و سیستم اقتصادی را نیز نادیده می‌گیرد. دولت‌ها بخش بزرگی از دارایی ملی را به صورت مالیات جمع‌آوری می‌کنند و این دولت‌ها هستند که تصمیم می‌گیرند که این دارایی را چگونه مصرف کنند. آن‌ها قوانینی تصویب می‌کنند که انجام برخی از اقدامات را تسهیل کرده و از انجام برخی اقدامات دیگر جلوگیری می‌کنند. آیا بخش عمده بودجه حمل و نقل به جاده‌ها اختصاص می‌یابد یا به حمل و نقل عمومی، مسیرهای عبور دوچرخه و مسیرهای عابر پیاده؟ آیا احداث یک نیروگاه جدید واقعاً ضروری است و اگر هست، آیا این نیروگاه با زغال‌سنگ، گاز یا انرژی‌های تجدیدپذیر تغذیه خواهد شد؟ آیا همه منازل و ساختمان‌های تجاری ملزم به رعایت استانداردهای بهره‌وری انرژی خواهند بود؟ آیا ملت ما یک سیاست جمعیتی خواهد داشت؟ آیا درختان جنگل‌های طبیعی همچنان قطع خواهند شد؟ آیا کشاورزان اجازه خواهند داشت که مزارع خود را از کاربری کشاورزی تغییر دهند و اگر نه، آیا به آن‌ها غرامتی پرداخت خواهد شد؟ یک ناحیه جدید تجاری یا یک مرکز خرید شهری در کجا احداث خواهد شد و آیا دسترسی به آن از طریق سامانه حمل و نقل عمومی امکان‌پذیر است؟ آیا طرح پیشنهادی برای احداث یک کارخانه جدید ذوب آلومینیم تصویب خواهد شد؟ و آیا برق مصرفی آن مشمول دریافت یارانه خواهد شد، همان‌طور که الان این‌گونه است؟

از نقطه نظر انتشار گازهای گلخانه‌ای، تصمیمات دولتی کل اقدامات فردی افراد و خانوارها را در خود می‌بلعد. علاوه بر این، شرکت‌های بزرگ بر فرایند همه تصمیم‌گیری‌های دولتی که در بالا ذکر شد تأثیر می‌گذارند. دولت، به نوبه خود، چهارچوبی که شرکت‌ها در آن فعالیت می‌کنند را تعیین می‌کند. بنابراین، اقدامات فردی توسط نیروهای بسیار قوی‌تر مهار می‌شوند. این وضعیت حتی در سطح خانگی نیز صادق است. اگر ما در یک منزل استیجاری زندگی می‌کنیم، نمی‌توانیم عایق‌بندی جدید یا یک سامانه آبگرمکن خورشیدی نصب کنیم؛ این امتیاز مخصوص صاحبخانه است.

این بدین معنی نیست که از اقدامات فردی باید خودداری کرد. افزایش بهره‌وری انرژی خانه خودمان، نصب سامانه‌های انرژی تجدیدپذیر کوچک یا خرید انرژی سبز، کاهش مصرف گوشت گاو و گوسفند و استفاده کمتر از خودروی شخصی، همه موجب تقویت و افزایش سلامتی ما می‌شوند. به همین دلیل من یک پیوست به این کتاب افزوده‌ام که در آن با جزئیات بیشتری در مورد آنچه که شما به عنوان یک فرد می‌توانید انجام دهید تا منزل و سایر فعالیت‌هایتان از نقطه‌نظر انتشار گازهای گلخانه‌ای پایدارتر شود بحث شده است. این اقدامات الگویی برای دوستان و همسایگان خواهند بود. برای آن‌که از اعتبار کافی برای فراخوان دیگران به اقدام برخوردار باشیم، ما باید تعهد خود به کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای در جنبه‌های مختلف زندگی‌مان را به نمایش بگذاریم. افراد پراثری و با انگیزه بالا می‌توانند نقشی حیاتی به عنوان پیش‌قراولان اقدامات خاص زیست‌محیطی بازی کرده و رهبران گروه‌های حامی محیط زیست باشند. اقدامات فردی ضروری و ارزشمندند، اما برای مقابله با چالش عظیم تغییرات آب و هوایی کافی نیستند. برای اجبار دولت‌ها و بنگاه‌های اقتصادی بزرگ به اتخاذ سیاست‌های موثر مقابله با تغییرات آب و هوایی، اعمال فشار توسط یک جنبش زیست‌محیطی ضروری است.

در مواجهه با موانع عظیم موجود بر سر راه گذار بزرگ، ما، به عنوان افراد، علاوه بر اقدامات فردی دو مسئولیت در ارتباط با تغییر سامانه انرژی و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای بر عهده داریم. مسئولیت اول، که مسئولیتی کلیدی است، آن است که ما، به عنوان شهروندان، حق دمکراتیک خود را به صورت جمعی اعمال کنیم و از دولت‌هایمان بخواهیم که اقدامات سریع و مؤثرتری را از طرق زیر انجام دهند: اعمال قوانین، مقررات و استانداردهای مناسب، سیاست‌های قیمت‌گذاری و اختصاص بودجه، آموزش و اطلاع‌رسانی، سیاست‌های صنعتی، تغییرات ساختاری و سیاست‌های جمعیتی. همان‌طور که در فصل بعد خواهیم دید، مسئولیت‌های دمکراتیک ما بسیار فراتر از هر سه یا چهار سال یک بار رأی دادن به صورت فردی است. اقدام جمعی شهروندانی که با یکدیگر همکاری می‌کنند برای تغییر سیاست‌های دولتی لازم است. ما می‌توانیم بیشترین تأثیر بر تصمیم‌گیرندگان را از طریق پیوستن به و فعال بودن در گروه‌های شهروندی، از جمله گروه‌های حامی محیط زیست، انرژی-های تجدیدپذیر، عدالت اجتماعی، جمعیت‌های حرفه‌ای، اتحادیه‌های کارگری/کارمندی و گروه‌های مذهبی، داشته باشیم.

مسئولیت دوم ما آن است که به عنوان مصرف‌کننده، فشار جمعی بر صنایع و بنگاه‌های اقتصادی وارد آوریم تا کالاها و خدماتی که از نظر بوم‌شناختی پایدار و از نظر اجتماعی عادلانه هستند، به ویژه انرژی پایدار، عرضه کنند. ما می‌توانیم این کار را با پیوستن به گروه‌های مصرف‌کننده و خریدکنندگان عمده و با تشویق این گروه‌ها به انجام اقداماتی در جهت ترویج خرید انواع انرژی که دارای کیفیت بالا بوده و از نظر بوم‌شناختی پایدارند انجام دهیم.

یک مسیر برای دسترسی به تغییرات اجتماعی، که احتمالاً سریع‌تر و در مقایسه با اقدامات فردی تأثیرگذارتر است، عبارت است از اقدام مستقیم توسط گروه‌های اجتماعی برای به‌کارگیری سامانه‌های محلی تولید انرژی و استفاده از سامانه‌های کارآمد مصرف انرژی.

### اقدامات شرکت‌های تعاونی و سایر گروه‌های اجتماعی

برخی از ساختارهای تشکیلاتی، به ویژه تعاونی‌ها، نسبت به اعضای خود پاسخگویی بیشتری در مقایسه با شرکت‌ها دارند. مفهوم تعاونی‌ها بر تجربه بیش از ۱۵۰ ساله اروپایی‌ها بنا نهاده شده است. تعاونی‌ها معمولاً بر مبنای ارزش‌هایی از قبیل حمایت فردی، مسئولیت شخصی، دموکراسی، برابری و همبستگی شکل می‌گیرند. به دلیل ماهیت عضومحور آن‌ها، تعاونی‌ها از توسعه اجتماعی و اقتصادی جوامع حمایت می‌کنند. این بدین معنی است که تصمیمات گرفته‌شده توسط تعاونی‌ها موجب می‌شود که بین سودجویی و نیازها و منافع اعضا و جامعه آن‌ها نوعی تعادل ایجاد شود. تعاونی‌ها شکل‌های فراوانی دارند و در همه بخش‌های جامعه فعالیت می‌کنند. انواع متداول عبارتند از: تعاونی‌های اعتبار، تعاونی‌های کشاورزی، تعاونی‌های بازرگانی، تعاونی‌های مسکن و تعاونی‌های انرژی.

تعاونی‌های انرژی می‌توانند نیروگاه‌های تولید انرژی تجدیدپذیر در مقیاس متوسط را با استفاده از باد، خورشید، زیست‌توده، و در پاره‌ای موارد، منابع زمین‌گرمایی احداث کنند. این مقیاس از تولید انرژی‌های تجدیدپذیر مقیاسی است که از سوی سایر سرمایه‌گذاران توجه چندانی به آن نمی‌شود. تعاونی‌ها می‌توانند از طریق درگیر کردن کل جوامع در تولید و مصرف انرژی‌های پایدار، تأثیر اجتماعی و سیاسی بیشتری در مقایسه با همان تعداد سامانه‌های انفرادی خانگی داشته باشند. در نتیجه، تعاونی‌ها جوامع محلی را آموزش داده و آن‌ها را آگاه می‌سازند، علاقه رسانه‌ها را برمی‌انگیزند،

فرصت‌های شغلی محلی ایجاد می‌کنند و سیاستمداران محلی و دولت‌های محلی را نیز به این عرصه وارد می‌کنند.

تعاونی‌های انرژی نقش بسیار مهمی در توسعه و گسترش انرژی‌های تجدیدپذیر در چندین کشور، خصوصاً دانمارک و آلمان، بر عهده داشته‌اند. دانمارک آغازگر احیای انرژی بادی در قرن بیستم بود. بحران نفتی دهه ۱۹۷۰ میلادی و مخالفت عمومی با انرژی هسته‌ای انگیزه انتشار دو طرح انرژی توسط گروه‌های مستقل تخصصی را به وجود آورد. در دهه ۱۹۸۰ میلادی چندین تولیدکننده محلی به کار فروش توربین‌های بادی با ظرفیت ۵۵ کیلووات و بیشتر مشغول بودند. از آنجایی که این توربین‌ها برای اغلب افراد بسیار گران بودند، تعاونی‌های محلی انرژی بادی شکل گرفتند و در ابتدا از طریق یارانه‌هایی که به هزینه سرمایه‌گذاری توربین بادی پرداخت می‌شدند و نیز الزام قانونی شرکت‌های برق به پرداخت یک نرخ عادلانه برای انرژی بادی‌ای که به شبکه تزریق می‌شد مورد حمایت قرار گرفتند. تا سال ۱۹۹۶، در حدود ۲۱۰۰ تعاونی در سطح مناطق غیرشهری دانمارک وجود داشت که مبنای تداوم حمایت مردمی از انرژی بادی را تشکیل می‌دادند. تا سال ۲۰۰۱، شرکت‌های تعاونی انرژی بادی که دربرگیرنده صدهزار خانواده هستند، ۸۶ درصد کل توربین‌های بادی دانمارک را نصب کرده‌اند. علاوه بر این، توزیع محلی الکتریسیته بر عهده تعاونی‌های غیرانتفاعی محلی، دولت‌های محلی یا شرکت‌هایی که دارای امتیاز انحصاری هستند قرار گرفته است [۷].

از اواسط دهه ۲۰۰۰ میلادی بیش از ۳۰۰ تعاونی انرژی جدید با بیش از هشتاد هزار عضو در آلمان شکل گرفته‌اند. آزادسازی بازار برق و اعمال تعرفه‌های حمایتی از طریق تصویب قانون انرژی تجدیدپذیر<sup>۱</sup> انگیزه لازم در سرمایه‌گذاران بخش خصوصی، هم افراد و هم گروه‌ها، برای ورود به صنعت تولید برق را ایجاد کرد. اغلب تعاونی‌هایی که در پاسخ به این قانون تشکیل شدند در روستاها و شهرک‌های کوچک واقع شده‌اند. طبق اعلام شرکت‌های – Deutscher Genossenschafts- und Raiffeisenverband e.V.، که دارای ظرفیت تولید سالیانه ۲۹۰ گیگاوات‌ساعت هستند، ظرفیت تولید تعاونی‌های انرژی از تقاضای برق مشترکان آن‌ها بیشتر است [۸].

شرکت‌های تعاونی را معمولاً می‌توان با توجه به روشی که انرژی را (به صورت الکتریسیته یا گرما) مصرف، تولید یا دادوستد می‌کنند از یکدیگر بازشناخت. به عنوان مثال، در آلمان برنامه‌هایی برای تأمین منابع مالی مورد نیاز سامانه‌های خورشیدی فتوولتاییک که بر روی بام ساختمان-

1 Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG)

های عمومی، از قبیل مدارس، ایستگاه‌های آتش‌نشانی، سالن‌های محلی و کلیساها نصب می‌شوند طراحی شده‌اند. در این موارد، ساختار تعاونی این اجازه را به سرمایه‌گذاران منفرد با ظرفیت‌های سرمایه‌گذاری محدود می‌دهد که با یکدیگر متحد شده و از فضاها و عمومی خالی که یک فرد/خانوار تنها به آن دسترسی ندارد استفاده کنند. همین وضعیت در مورد کشاورزانی که دارای منابع مالی کافی نیستند اما می‌توانند سقف کلبه‌ها و سایر محل‌های ذخیره‌سازی خود را در اختیار سیستم‌های فتوولتاییک متعلق به تعاونی‌ها قرار دهند نیز صادق است. تعاونی‌های انرژی برای استفاده از فضاها و عمومی به منظور نصب سامانه‌های فتوولتاییک در شهرهای بزرگ نیز شکل گرفته‌اند (به عنوان مثال Postdamer Solarverein e.v.) [۹].

سایر فعالیت‌های جمعی در اروپا تعاونی‌هایی هستند که سامانه‌های گرمایش محله‌ای، روستاها و شهرک‌های خود کفا از نظر انرژی بر مبنای انرژی‌زیستی (مانند Güssing در اتریش) [۱۰] و مزارع بادی متعلق به محلات را احداث می‌کنند. برخی از محلات به قدری انرژی تجدیدپذیر تولید می‌کنند که نه تنها نیاز خود به انرژی را تأمین می‌کنند بلکه مقدار اضافی آن را نیز به شبکه صادر می‌کنند - یک مثال از این دست، جزیره Samsö در دانمارک است که برق موردنیاز خود را از باد تولید کرده و گرمایش موردنیاز محلات را از طریق سوزاندن کاه‌های باقیمانده از فعالیت‌های کشاورزی خود تأمین می‌کند [۱۱].

شرکت‌های تعاونی در آلمان نیز سرمایه‌گذاری در توزیع محلی برق و انتقال توان در مسافت‌های طولانی را آغاز کرده‌اند. شرکت تعاونی Bürger Energie برلین در حال تأمین منابع مالی لازم است تا در مزایده فروش شرکت توزیع محلی برق برلین، وقتی که قرارداد مالک فعلی آن یعنی شرکت Vattenfall منتفی می‌شود، شرکت کند [۱۲]. اخیراً وزیر محیط زیست آلمان برنامه‌ای را اعلام کرد که طبق آن به شهروندان اجازه داده می‌شود در پروژه‌های ساخت خطوط انتقال مورد نیاز نیروگاه‌های جدید انرژی تجدیدپذیر، هم‌زمان با از مدار خارج شدن نیروگاه‌های هسته‌ای قدیمی، سرمایه‌گذاری کنند. از آنجایی که بخشی از منافع شرکت‌های عظیم برق می‌توانستند به دست آورند به جیب مصرف‌کنندگان خواهد رفت، وزیر امیدوار است که این طرح موجب کاهش مخالفت با ساخت خطوط انتقال جدید شود [۱۳].

در ایالات متحده آمریکا، شرکت‌های تعاونی توزیع برق، که برق را به مصرف‌کنندگان جزء تحویل می‌دهند، زیربنای شبکه‌های توزیع روستایی هستند. شرکت‌های تعاونی تولید و انتقال نیز وجود

دارند که برق عمده‌فروشی را به شرکت‌های تعاونی توزیع، چه از محل تولید خودشان و چه از طریق خرید توان از سایر تولیدکنندگان، تحویل می‌دهند. تا ماه مارس ۲۰۱۲، اتحادیه ملی شرکت‌های تعاونی روستایی برق<sup>۱</sup> (NRECA) دارای ۹۰۵ شرکت تعاونی عضو بود که به حدود ۴۲ میلیون نفر در ۴۷ ایالت آمریکا برق‌رسانی می‌کنند، این شرکت‌ها ۵ درصد کل برق تولیدی در سال را تولید می‌کنند، ۱۱ درصد از برق مصرفی را توزیع می‌کنند و هفتاد هزار نفر را در آمریکا در استخدام دارند. متأسفانه در وب‌سایت NRECA نشانه‌چندانی از علاقه این اتحادیه به واردشدن به موضوعات مربوط به تغییرات آب و هوایی یا ترویج انرژی‌های تجدیدپذیر دیده نمی‌شود [۱۴]. در عین حال، سازمان ملی تعاونی انرژی‌های تجدیدپذیر<sup>۲</sup> (NRCA) در سال ۲۰۰۸ میلادی تأسیس شد تا توسعه منابع تجدیدپذیر در بین اعضای خود را ترویج و تسهیل نماید. این سازمان دارای ۲۵ شرکت تعاونی عضو است و تعدادی از این اعضا بر روی خرید برق از مزارع بادی متمرکز شده‌اند [۱۵]. پتانسیل عظیم شرکت‌های تعاونی انرژی تجدیدپذیر در آمریکا هنوز دست نخورده باقی مانده است.

### اقدامات شرکت‌های خصوصی

شرکت‌های خصوصی بزرگ که منافع ویژه در انتشار آلاینده‌های گلخانه‌ای دارند، منبع عمده تأمین منابع مالی گروه‌هایی بوده و هستند که علوم اقلیمی را انکار می‌کنند، به دانشمندان اقلیم‌شناس و IPCC حمله می‌کنند و در برابر گذار به سامانه انرژی پایدار مقاومت می‌کنند. تا بدینجای کار، شرکت‌های خصوصی بزرگ با سیاست‌مداران و مدیران بخش عمومی لابی می‌کنند، رسانه‌ها و کارزارهای تبلیغاتی را مدیریت می‌کنند و افسانه‌هایی را تولید و منتشر می‌کنند که علوم اقلیمی، بهره‌وری انرژی و انرژی‌های تجدیدپذیر را کم‌اهمیت جلوه می‌دهند [۱۶]. یکی از چندین گروه لابی‌گر مخالف اقدامات اقلیمی، ائتلاف اقلیمی جهانی<sup>۳</sup> بود که در سال ۱۹۹۷ سنای آمریکا را تحت فشار قرار داد تا قانونی را به اتفاق آراء تصویب نماید. بر طبق این قانون، آمریکا نمی‌تواند به عضویت هیچ پیمان‌نامه‌ای درآید مگر آن‌که در آن پیمان اهداف و جداول زمانی الزام‌آور برای هم کشورهای صنعتی و هم کشورهای در حال توسعه دیده شده باشد. علاوه بر این، چنین پیمان‌هایی نباید منجر به بروز خسارت

1 National Rural Electric Cooperative Association

2 National Renewables Cooperative Organization

3 Global Climate Coalition

جدی به اقتصاد ایالات متحده گردند. در سال ۲۰۰۲، پس از آن که پرزیدنت جرج دبلیو بوش اعلام کرد که پیمان کیوتو را نخواهد پذیرفت، این ائتلاف منحل شده و به هدف تعیین شده خود دست یافت [۱۷].

امروزه کارزارهای تبلیغاتی نفی انرژی‌های تجدیدپذیر به کمک انکار علوم اقلیمی آمده‌اند. شبکه‌ای از سازمان‌های دست‌راستی، از جمله سازمان آمریکایی‌های خواهان رفاه<sup>۱</sup> که توسط برادران میلیارد Koch تغذیه مالی شده و منافع آن شامل بخش انرژی و مواد معدنی می‌شود، پرزیدنت اوباما را به دلیل حمایت از انرژی‌های تجدیدپذیر مورد حمله قرار می‌دهد. شورای آمریکایی مبادلات قانونگذاری<sup>۲</sup>، که آن هم با برادران Koch ارتباطات مالی دارد، پیش‌نویس لوایحی را تهیه کرده است تا قوانین ایالتی در زمینه توسعه انرژی بادی را لغو کند. روزنامه گاردین از یک یادداشت راه‌بردی محرمانه گزارش داده است که در آن توصیه شده است که از عملیات تبلیغی فریب کارانه برای شکل-دهی یک جنبش ملی متعرضین به مزارع بادی استفاده شود. گاردین همچنین گزارش کرده است که این راه‌برد توسط یکی از اعضای عالی‌رتبه مؤسسه سنت‌های آمریکایی<sup>۳</sup> تهیه شده است - هرچند که این مؤسسه برائت خود از پروژه مزبور را اعلام کرده است [۱۸].

علی‌رغم وجود چنین کارزارهای تبلیغاتی‌ای که به خوبی توسط دارندگان منافع ویژه حمایت مالی می‌شوند، تعداد کمی از شرکت‌های خصوصی بزرگ که دارای چشم‌اندازهای مثبت درازمدت هستند در مقاطع زمانی مختلف تعهدات عمومی قابل‌قبولی در زمینه انرژی‌های پایدار از خود نشان داده‌اند. از دهه ۱۹۸۰ میلادی، شرکت BP Solar، که زیرمجموعه‌ای از غول نفتی و گازی بریتیش پترولیوم (BP) است، نسبت به ساخت مازول‌های خورشیدی در چندین کشور اقدام کرده است. از حدود سال ۲۰۰۰ میلادی کمپانی مادر (BP) خود را "فرا تر از نفت"<sup>۴</sup> نامید، از ائتلاف اقلیمی جهانی خارج شد و صفحه‌های خورشیدی را بر بام جایگاه‌های سوخت خود نصب کرد و ابتدائاً با جهش درآمد نیز مواجه شد. در عین حال، به دنبال یک رشته تخلفات و فجایع جدی زیست‌محیطی و ایمنی، که منجر به انفجار و نشت بزرگ نفتی در یک سکوی حفاری در خلیج مکزیکو در سال ۲۰۱۰ شد، این شرکت اعتبار عمومی خود را از دست داد. در سال ۲۰۱۱ شرکت بریتیش پترولیوم BP Solar را

1 Americans for Prosperity  
2 American Legislative Exchange Council  
3 American Tradition Institute  
4 Beyond Petroleum

تعطیل و اعلام کرد که این شرکت در آینده بر روی انرژی بادی و سوخت‌های زیستی متمرکز خواهد شد. حتی قبل از این تعطیلی نیز انرژی‌های تجدیدپذیر بخش بسیار کوچکی از فعالیت‌های BP را به خود اختصاص می‌داد.

مجموعه فروشگاه‌های زنجیره‌ای Walmart این هدف را اتخاذ کرد که انتشار گازهای گلخانه‌ای از فروشگاه‌ها، باشگاه‌ها و مراکز توزیع خود در سطح جهانی را تا سال ۲۰۱۲ به میزان ۲۰٪ کمتر از سطح گازهای منتشرشده خود در سال ۲۰۰۵ کاهش دهد. برای تحقق این هدف، این مجموعه تصمیم گرفت روش‌های بهره‌وری انرژی را اعمال کند، فناوری‌های سرمایه‌گذاری خود را بهبود بخشد و از انرژی‌های تجدیدپذیر استفاده کند. در پایان سال ۲۰۱۰ این شرکت گزارش کرد که کاهش معادل ۱۲/۷۴٪ حاصل شده است اما پس از آن هیچ گزارش دیگری منتشر نکرده است. علاوه بر این، این شرکت در حال همکاری با تولیدکنندگان مرتبط با خود است تا به آنها در مسیر کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای کمک کند [۱۹].

شرکت گوگل ادعا می‌کند که تا سال ۲۰۱۱ بهره‌وری انرژی مراکز داده خود را به دو برابر میزان میانگین افزایش داده است، یک سوم برق مصرفی مراکز داده خود را با استفاده از منابع تجدیدپذیر انرژی تأمین کرده است و گازهای گلخانه‌ای که توسط دوسوم باقیمانده منتشر می‌شوند نیز از طریق کاهش‌های حاصل‌شده خنثی شده‌اند. این شرکت یک بودجه یک میلیارد دلاری به پروژه‌های انرژی تجدیدپذیر اختصاص داده است که برق تجدیدپذیر به مراتب بیشتری را در مقایسه با آنچه که مصرف می‌کند تولید خواهد کرد [۲۰].

متأسفانه مورد مطالعاتی گوگل و حتی تلاش‌های ناچیزتر BP و Walmart در حمایت از انرژی‌های پایدار قابل تعمیم به کل بخش خصوصی نیست، هر چند که صرفه‌جویی هنگامی از طریق افزایش بهره‌وری انرژی در شرکت‌های بزرگ مصرف‌کننده انرژی قابل دستیابی است. این صرفه‌جویی، در صورتی که مصرف‌کنندگان بزرگ انرژی از نرخ‌های ویژه پایین‌تر در برخی از کشورها (که در عمل از جیب مصرف‌کنندگان خانگی برق به مصرف‌کنندگان بزرگ یارانه می‌پردازد) برخوردار نباشند، بیشتر هم خواهد بود [۲۱]. علاوه بر این، اگر دولت‌ها بتوانند یک مسیر سریع به سمت توسعه انرژی‌های پایدار را از طریق حذف موانع قانونی موجود در بسیاری از کشورها بر سر راه پروژه‌های تجدیدپذیر با مقیاس متوسط ایجاد کنند، تمایل بسیار بیشتری در شرکت‌های بزرگ دارای مصرف برق

زیاد و سطوح گسترده سقفی (بر روی فروشگاه‌های بزرگ، انبارها، مراکز داده و پارکینگ خودروها) در جهت به کارگیری برق خورشیدی فتوولتاییک ایجاد خواهد شد.

در درازمدت، کاهش پیوسته هزینه‌های سیستم‌های انرژی تجدیدپذیر، افزایش قیمت‌های زغال‌سنگ، نفت و برق خریداری شده از شبکه و درک فزاینده نسبت به ریسک مالی سرمایه‌گذاری در سوخت‌های فسیلی موجب خواهد شد که بنگاه‌های تجاری و صنایع، به جز تولیدکنندگان بزرگ گازهای گلخانه‌ای، رو به سرمایه‌گذاری بیشتر و بیشتر در انرژی‌های پایدار بیاورند. صنایع بیمه و بیمه‌های اتکایی، که آثار منفی تغییرات آب و هوایی را احساس کرده‌اند، خواستار اقداماتی برای مقابله با این تغییرات هستند. چندین تولیدکننده فناوری‌های انرژی‌های تجدیدپذیر به شرکت‌های بسیار بزرگی تبدیل شده‌اند که هزاران نفر را به اشتغال در آورده‌اند. در عین حال، اتکا به فرایند بازار یک فرایند آهسته است، خصوصاً در مواردی که هنوز یارانه‌های اقتصادی به تولید و مصرف سوخت‌های فسیلی پرداخت می‌شوند (رک فصل ۹، "حذف یارانه‌های سوخت‌های فسیلی و انرژی هسته‌ای"). اگر دولت‌ها فضای کسب و کار را به گونه‌ای سازمان‌دهی کنند که در آن شرکت‌ها از سرمایه‌گذاری در انرژی‌های پایدار سود ببرند و از عدم سرمایه‌گذاری در این زمینه زیان کنند، آن‌گاه شرکت‌ها سریع‌تر اقدام خواهند کرد.

### نتیجه‌گیری

اقدامات فردی برای بهبود بهره‌وری انرژی در منازل، نصب سامانه‌های انرژی تجدیدپذیر در مقیاس کوچک، پرداخت هزینه بیشتر برای انرژی سبز و کاهش استفاده از خودروهای شخصی ضروری هستند. هرکس می‌تواند کار واجد ارزشی در این زمینه انجام دهد. اما اقدامات فردی اغلب به دلیل نداشتن خانه ملکی، نبودن سامانه حمل و نقل عمومی کافی و درآمد پایین دچار محدودیت هستند. حتی اگر بتوان این محدودیت‌ها را برطرف نمود، مصرف انرژی شخصی کسر بسیار کوچکی از کل مصرف انرژی است و لذا اقدامات فردی کافی نیست.

در بسیاری از کشورها پتانسیل قابل توجهی برای شرکت‌های تعاونی و سایر گروه‌های اجتماعی محلی در زمینه احداث واحدهای انرژی تجدیدپذیر در مقیاس متوسط وجود دارد. چنین پروژه‌هایی می‌توانند بازار انرژی‌های تجدیدپذیر را گسترش داده و هم‌زمان حمایت و مشارکت اجتماعی را

افزایش دهند. این پروژه‌ها قادر خواهند بود زمینه توسعه اجتماعی و اقتصادی جوامع محلی را فراهم آورده، رسانه‌ها را به حمایت از خود تشویق کرده و سیاست‌مداران محلی را درگیر خود کنند. در حالی که تعاونی‌های انرژی در دانمارک و آلمان بسیار موفق عمل کرده‌اند، در بسیاری از سایر کشورها به دلیل فقدان قوانین حمایتی و نبود مکانیسم‌های مالی و سایر بنیان‌های موردنیاز دچار محدودیت هستند. تولید انرژی‌های تجدیدپذیر در مقیاس بالا به شدت وابسته به سیاست‌های دولت‌های ملی و محلی است. سیاست‌هایی که فضای کسب و کار را برای انتقال به انرژی پایدار مناسب می‌سازند مورد نیازند. واگذار کردن این امر به مکانسیم بازار موجب خواهد شد که منافع استفاده از انرژی‌های پایدار به موقع محقق نشده و در نتیجه نتوان از عوارض سو و احتمالاً بازگشت‌ناپذیر تغییرات آب و هوایی جهانی، آلودگی هوا و کاهش امنیت انرژی اجتناب کرد.

با سیاست‌های مستحکم و مناسب دولتی، همان‌طور که در فصل‌های ۸ و ۹ بیان شد، انجام اقدامات فردی، محلی و شرکتی در جهت استفاده از انرژی‌های پایدار بسیار آسان‌تر و سریع‌تر خواهد بود. تنها سوال کلیدی‌ای که باقی می‌ماند، و در فصل بعدی به آن پرداخته خواهد شد، آن است که چگونه شهروندان می‌توانند دولت‌ها را در جهت اعمال سیاست‌های مناسب برای توسعه سریع انرژی‌های پایدار تحت فشار قرار دهند؟

### منابع و یادداشت‌های فصل

- 1 Herrmann, D (1999) *Helen Keller: A life*, University of Chicago Press, Chicago, p 222.
- 2 Beder, S (2006) *Suining Themselves: How corporations drive the global agenda*, Earthscan, London.
- 3 Beder, S (2002) *Global Spin: The corporate assault on environmentalism*, Green Books, Totnes.
- 4 Weinstein, D (1979) *Bureaucratic Opposition: Challenging abuses at the workplace*, Pergamon Press, New York.
- 5 Anderson, RC (1998) *Mid-Course Correction: Toward a sustainable enterprise: the Interface model*, Peregrinzilla Press, Atlanta, GA.
۶. در نسخه دیگری از این داستان، ادعا شده است که دانش با نوعی ابزار تله‌پاتی به میمون‌های ساکن جزیره دیگر منتقل می‌شود. نسخه‌ای از داستان ۱۰۰ میمون که ما در اینجا استفاده کرده‌ایم این ادعای عجیب و غریب را نادیده می‌گیرد.

- 7 International Renewable Energy Agency (IRENA) (2013) *30 Years of Policies for Wind Energy: Lessons from 12 wind energy markets*, Ch 5 'Denmark', <[www.irena.org/menu/index.aspx?mnu=Subcat&PriMenuID=36&CatID=141&SubcatID=281](http://www.irena.org/menu/index.aspx?mnu=Subcat&PriMenuID=36&CatID=141&SubcatID=281)>.
- 8 Energiegenossenschaften: Ergebnisse der Umfrage des DGRV und seiner Mitgliedsverbände im Frühsommer (2012), <[www.genossenschaften.de/sites/default/files/Auswertung%20Umfrage%20Energiegenossenschaften.pdf](http://www.genossenschaften.de/sites/default/files/Auswertung%20Umfrage%20Energiegenossenschaften.pdf)>.
- 9 Potsdamer Solarverein <[www.potsdamer-solarverein.de](http://www.potsdamer-solarverein.de)>.
- 10 Güssing as a Model for Regional Economic Improvement <[www.youtube.com/watch?v=H1WsbQQNsV0](http://www.youtube.com/watch?v=H1WsbQQNsV0)>.
- 11 Danish Island 'CO<sub>2</sub> Negative' <[www.youtube.com/watch?v=1\\_ZY0ilFdYw](http://www.youtube.com/watch?v=1_ZY0ilFdYw)>.
- 12 BürgerEnergie Berlin eG i.G. <[www.buerger-energie-berlin.de](http://www.buerger-energie-berlin.de)>.
- 13 The Local, Germany edition, <[www.thelocal.de/money/20121111-46101.html#UXnw4b9y7aq](http://www.thelocal.de/money/20121111-46101.html#UXnw4b9y7aq)>.
- 14 National Rural Electric Cooperative Association <[www.nreca.coop](http://www.nreca.coop)>.
- 15 National Renewables Cooperative Organization <[www.nrco.coop](http://www.nrco.coop)>.
- 16 Oreskes, N and Conway, EM (2010) *Merchants of Doubt: How a handful of scientists obscured the truth on issues from tobacco smoke to global warming*, Bloomsbury Press, New York; Washington, H and Cook, J (2011) *Climate Change Denial: Heads in the sand*, Earthscan, London.
- 17 Center for Media and Democracy, Global Climate Coalition, Sourcewatch <[www.sourcewatch.org/index.php/Global\\_Climate\\_Coalition](http://www.sourcewatch.org/index.php/Global_Climate_Coalition)>.
- 18 Goldenberg, S (2012) Conservative thinktanks step up attacks against Obama's clean energy strategy, *The Guardian*, 8 May, <[www.guardian.co.uk/environment/2012/may/08/conservative-thinktanks-obama-energyplans?newsfeed=true](http://www.guardian.co.uk/environment/2012/may/08/conservative-thinktanks-obama-energyplans?newsfeed=true)>.
- 19 Walmart, Greenhouse Gas Emissions, <<http://corporate.walmart.com/global-responsibility/environment-sustainability/greenhouse-gas-emissions>>.
- 20 Google, Our footprint: Beyond zero, <[www.google.com.au/green/bigpicture/#beyondzero-footprint](http://www.google.com.au/green/bigpicture/#beyondzero-footprint)>.

۲۱. حتی در آلمان نیز شرکت‌های بزرگ، که معمولاً دارای بالاترین تقاضا برای الکتریسیته هستند، از پرداخت EEG (قانون انرژی تجدیدپذیر) برای تعرفه‌های حمایتی معاف هستند.



## فصل ۱۱

### اقدامات شهروندان

تغییر از قدرت ناشی می‌شود و قدرت از سازمان‌دهی برمی‌خیزد. برای آن که مردم بتوانند اقدام کنند باید با یکدیگر متحد شوند ... قدرت و سازمان‌دهی هر دو یکی هستند.

سائول آلینسکی<sup>۱</sup> [۱]

شب‌هنگام است. من مسافری هستم در یک کشتی مملو از مسافر که راه خود را به زحمت از میان رودخانه‌ای خروشان باز می‌کند. در دوردست صدای غرشی را می‌شنویم. برخی از مسافران، هراسان از این صدای مهیب، رو به ناخدا و ملوانان کشتی می‌کنند. می‌پرسیم: "آن صدا شبیه صدای یک آبشار بلند است! آیا بهتر نیست در ساحل رودخانه پیاده شده و مسیری زمینی را در پیش گیریم؟". ناخدا پاسخ می‌دهد: "بنشینید و آرام باشید. نقشه من نشان می‌دهد که این مسیر کوتاه‌ترین مسیر به سمت ال دورادو<sup>۲</sup> است و هیچ آبشاری هم در مسیر این رودخانه دیده نمی‌شود." برخی دیگر از مسافران فریاد می‌زنند: "ناخدا مسئول کشتی است و نقشه‌ای که در دست اوست توسط متخصصان، یعنی اقتصاددانان و بازرگانان، ترسیم شده است." صدای غرش بلندتر و نزدیک‌تر می‌شود. سپس کشتی وارد ابری غلیظ از ذرات ریز آب می‌شود. اینک، در حالتی به شدت نگران و هراسان، گروه مسافران معترض سعی می‌کنند تا سکان کشتی را در دست گیرند اما توسط کارکنان کشتی، که مسلح هم هستند، به عقب رانده می‌شوند. غرق در وحشت و اضطراب، من از خواب می‌جهم. خدا را شکر که این تنها یک کابوس شبانه بود!

درفصل‌های ۸ و ۹ سیاست‌های کلیدی‌ای که از سوی رهبران سیاسی مورد نیازند تا تمدن بشری و میلیون‌ها گونه حیاتی دیگر که بر روی زمین زیست می‌کنند را از ویرانی ناشی از تغییرات آب و هوایی ساخته دست بشر نجات دهند مورد بحث قرار گرفتند. تنها تعداد بسیار اندکی از کشورها

---

1 Saul Alinsky  
2 El Dorado

و ایالت‌ها/استان‌ها هستند که اقدامات قابل توجه و مؤثری را در پیش گرفته‌اند. مهم‌ترین آنها عبارتند از: آلمان، دانمارک، کالیفرنیا، و تا همین اواخر، اسپانیا. تعداد روبه‌افزایشی از شهرها و شهرک‌ها نیز اهدافی برای رسیدن به انتشار گازهای گلخانه‌ای بسیار کم یا صفر برای خود تعیین کرده‌اند. چین، که اینک بزرگ‌ترین تولیدکننده گازهای گلخانه‌ای جهان است، در حال پیمودن دو مسیر متضاد با یکدیگر، یعنی تخریب آب و هوا از طریق افزایش مصرف سوخت‌های فسیلی و مقابله با تغییرات آب و هوایی از طریق استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر، است. در سطح ملی، ایالات متحده آمریکا، که دومین تولیدکننده گازهای گلخانه‌ای جهان است، به دلیل اختلاف نظر عمیق در کنگره در حالت فلج به سر می‌برد. در شرایط بحرانی موجود، پیشرفت بسیار ناچیزی در نشست‌های بین‌المللی دیده می‌شود و اکثریت عظیم کشورها نیز در حال اعمال سیاست‌هایی هستند که در بهترین شرایط، حرکاتی نمایشی و در بدترین شرایط، حرکاتی روبه‌عقب محسوب می‌شوند. این کشورها ترجیح می‌دهند حامی صنایعی باشند که در حال تخریب سیاره زمین هستند و نه صنایع جدیدتر، پاک‌تر و کوچک تا متوسط و گروه‌های اجتماعی‌ای که تلاش می‌کنند زمین را نجات دهند.

از میان دولت‌های یاغی، باید ذکر ویژه‌ای بکنم از دولت‌های فدرال و ایالتی کشور خودم، استرالیا، که بزرگ‌ترین صادرکننده زغال سنگ دنیاست و بالاترین میزان سرانه انتشار گازهای گلخانه‌ای را در میان کشورهای توسعه‌یافته دارد. دولت‌های استرالیایی، اعم از فدرال و ایالتی، با این هدف که صادرات زغال سنگ را به سه برابر برسانند و صادرات گاز مایع طبیعی و گاز متان حاصل از معادن زغال سنگ را نیز به شدت افزایش دهند، از توسعه معادن زغال سنگ و افزایش امکانات بندری و خطوط آهن باری حمایت می‌کنند. این دولت‌ها در زبان حامی اقدامات مقابله با تغییرات آب و هوایی هستند اما اجازه نمی‌دهند که این اقدامات خللی بر سیاست‌های مصرف بیشتر سوخت‌های فسیلی و تولید مواد معدنی بیشتر وارد آورند. حزب ائتلافی<sup>۱</sup>، که از سپتامبر ۲۰۱۳ قدرت را در دست گرفته است، حتی تلاش می‌کند که نرخ کربن ناچیزی که توسط دولت قبل از خودش اعمال شده بود را ملغی کند، شرکت تأمین مالی انرژی‌های پاک<sup>۲</sup> را تعطیل نماید و اهداف تعیین شده برای به-کارگیری انرژی تجدیدپذیر<sup>۳</sup> را کاهش دهد. در اثر فشار یک اقلیت پرسروصدا، که در حال اشاعه

1 The Coalition Party

2 Clean Energy Finance Corporation

3 Renewable Energy Target

وحشت از بیماری خیالی‌ای به نام "سندروم توربین بادی" هستند، چندین دولت ایالتی در حال اعمال محدودیت‌هایی بر احداث مزارع بادی هستند. این محدودیت‌ها آن‌چنان شدیدند که رشد این صنعت ضروری و دوست‌دار محیط زیست را تقریباً متوقف ساخته‌اند. مجموعه رسانه‌ای مرداک<sup>۱</sup>، که رسانه‌ها و نشریات استرالیایی را تحت سلطه خود دارد، مملو از مقالاتی است که علوم اقلیمی را انکار کرده و به انرژی‌های تجدیدپذیر حمله می‌کنند. اکثریت جامعه، که در اثر تبلیغات منفی انکارکنندگان در گنجی به سر می‌برد، هنوز هم نسبت به انرژی‌های تجدیدپذیر احساس هواداری دارد اما از آنجایی که مطمئن نیست که انرژی‌های تجدیدپذیر می‌توانند جایگزین سوخت‌های فسیلی شوند از سخن گفتن اکراه دارد.

در مواجهه با سردرگمی، بی‌توجهی و بی‌عملی جامعه و نیز در برابر تزریق فساد توسط ثروت‌های عظیم صناعی که منافع ویژه‌ای در انتشار گازهای آلاینده گلخانه‌ای دارند به دولت‌هایی که به صورت دموکراتیک انتخاب شده‌اند، شهروندان نگران چه می‌توانند بکنند؟ جنبش‌های مقابله‌کننده با تغییرات آب و هوایی، بر اساس دانش اقلیم‌شناسی و نیز این موضوع اخلاقی که: ما، یعنی نسل حاضر، حق نداریم یک سیاره تخریب‌شده را برای فرزندان و نواذگانمان به میراث بگذاریم، دارای برنامه‌ای کاملاً قابل دفاع هستند، در عین حال، ناتوانی دولت‌ها در طراحی و اجرای توافقات مستحکم بین‌المللی و عدم اقدام مؤثر آن‌ها در سطوح ملی و ایالتی/استانی نشان می‌دهد که علم و اخلاق برای اصلاح سیستم ناکارآمد موجود کافی نیستند. ما باید به این درک برسیم که مبارزه برای کاهش تغییرات آب و هوایی و دستیابی به یک سامانه انرژی پایدار به‌طور اساسی یک مبارزه قدرت است. مبارزه‌ای که آینده تمدن بشری را تعیین خواهد کرد.

### مبارزه اجتناب‌ناپذیر قدرت

هرچند جنبش اقدامات آب و هوایی دارای دو دشمن قهار است - صنایع ثروتمندی که دارای منافع ویژه هستند و بدنه عافیت‌طلب جامعه - این جنبش از سه نقطه قوت راه‌بردی برخوردار است:

1 Wind Turbine Syndrome  
2 The Murdoch Press

- این جنبش می‌تواند بر روی حمایت تعداد بسیار زیادتری از مردم، در مقایسه با دارندگان منافع ویژه در انتشار گازهای گلخانه‌ای که یک مافیای گازهای گلخانه‌ای تشکیل داده‌اند، در ادامه کارزار خود حساب کند.
  - این جنبش، شرافتمندانه، در خدمت کل بشریت است و نه در خدمت مالکان و سهام‌داران صنایع مخرب. این نکته باعث می‌شود که جنبش دارای یک برتری اخلاقی بوده و از اعتبار ناشی از آن بهره‌مند گردد.
  - این جنبش به اندازه کافی فراگیر است تا بتواند گروه‌ها و افرادی را تقریباً از همه طبقات جامعه تحت تاثیر قرار دهد.
- با اتکا به این نقاط قوت، جنبش اقدامات آب و هوایی می‌تواند توان خود را افزایش دهد تا به سطح توان مافیای گازهای گلخانه‌ای برسد. سائول آلینسکی، که یک سازمان‌دهنده تغییرات اجتماعی است، معتقد است که هدف زیر باید جهت‌دهنده راه‌بردها و تاکتیک‌های جنبش باشد [۲]:
- ... هر جنبشی حول یک نقطه مرکزی گردش می‌کند: تعداد نیرویی که توسط این [جنبش] به سازمان جذب می‌شوند، چه از طریق سازمان‌های محلی، کلیساها، گروه‌های خدماتی، اتحادیه‌های کارگری، دستجات خلاقان و چه به عنوان افراد. تنها نکته آن است که این موضوع چگونه موجب افزایش قدرت سازمان می‌شود ... تغییر از قدرت ناشی می‌شود و قدرت از سازمان‌دهی برمی‌خیزد. برای آن که مردم بتوانند اقدام کنند باید با یکدیگر متحد شوند ... قدرت و سازمان‌دهی هر دو یکی هستند.
- در نتیجه، چالش اساسی بر سر راه جنبش اقدامات آب و هوایی عبارت است از جذب و سازمان‌دهی تعداد زیادی از شهروندان نگران و طراحی راه‌بردهایی که آنان را قادر سازد تا قدرت مافیای گازهای گلخانه‌ای را به چالش بطلبند.
- جمله آغازین کتاب مشهور جین شارپ<sup>۱</sup>، "سیاست‌های کنش غیرخشونت‌آمیز"<sup>۲</sup>، بر این نکته تاکید می‌کند که: "برخی از منازعات منجر به سازش نمی‌شوند و تنها از طریق مبارزه قابل حل هستند"<sup>۳</sup>. او ادامه می‌دهد (ص ۷):

1 Gene Sharp  
2 The Politics of Nonviolent Action

برخلاف آرمانگرایان، حامیان کنش غیرخشونت آمیز سعی بر کنترل کردن قدرت از طریق نفی یا نابودی آن ندارند، برعکس، آنها درک می‌کنند که قدرت عملاً در ذات همه روابط اجتماعی و سیاسی نهفته است. آنان همچنین می‌دانند که برای کنترل قدرت گروه‌های سیاسی یا رژیم‌های تهدیدکننده باید از قدرت برخوردار بود.

نظرات شارپ از مطالعه دقیق اقدامات غیرخشونت آمیز در سراسر جهان و در طول چندین هزاره برخوردار است. او بیان می‌دارد که (ص ۸): هر چند دولت‌ها در ظاهر قدرت "یکپارچه" را اعمال می‌کنند و مردم "در ظاهر وابسته به حسن نیت، تصمیمات و حمایت دولت، یا هر سیستم سلسه‌مراتبی که به آن تعلق دارند، هستند" اما واقعیت عکس آن است. با استفاده از مثال‌های فراوان تاریخی، شارپ بیان می‌کند که در واقع دولت‌ها "وابسته به مردم هستند، قدرت یکپارچه نیست و قدرت سیاسی شکننده است، چرا که برای تقویت منابع قدرت خود وابسته به گروه‌های زیادی است". قدرت دولت‌ها و شرکت‌ها وابسته به رضایت و موافقت مردم است و ما، مردم، با یکدیگر قادر خواهیم بود که این موافقت را پس بگیریم. در این چهارچوب، شارپ به طیف اقداماتی بسیار وسیع‌تر از رأی دادن در انتخابات اشاره می‌کند.

یادداشت ۱۱-۱ توضیح می‌دهد که اگر قرار است جنبش اقدامات آب و هوایی موفقیت آمیز باشد، تاکتیک‌های آن باید غیرخشونت آمیز باشد. مجموعه بزرگ و روبه رشدی از تجربیات مرتبط با اقدامات غیرخشونت آمیز توسط جنبش‌های تغییرات اجتماعی در زمینه‌های عدالت اجتماعی، حفاظت محیط زیست، حقوق مصرف‌کنندگان، توسعه محلات و صلح وجود دارد. برخی از افراد و گروه‌های پیشرو در این زمینه توسط "جوایز زندگی صحیح"<sup>[۴]</sup>، که برخی از اوقات به عنوان "جایگزین جایزه نوبل" نیز نامیده می‌شود، مورد تقدیر قرار گرفته‌اند. سرگذشت این موفقیت‌ها بسیار الهام‌بخش است و من، هر زمان که قدرت دارندگان منافع ویژه شکست‌ناپذیر به نظر می‌رسد، آنها را به عنوان معجونی نیروبخش توصیه می‌کنم.

برخی از خوانندگان ممکن است نسبت به این گفتگو در باره قدرت و نیاز به هدف قرار دادن آن، به جای هدف قراردادن سیاستگذاران منفرد، حس خوبی نداشته باشند. ممکن است بگویند: "مطمئناً آنچه که ما باید انجام دهیم آن است که همه واقعیت‌ها را به تصمیم‌گیرندگان منتقل کنیم و آنان خود تصمیم صحیح را خواهند گرفت". متأسفانه ما دیده ایم که منطق و اخلاق صحیح برای

همراه کردن دارندگان قدرت سیاسی، که بنده دارندگان منافع ویژه هستند، کفایت نمی‌کنند. شما ممکن است اضافه کنید: "حتی اگر من این نکته را هم بپذیرم، باز هم در یک سیستم مردم‌سالار ما می‌توانیم به حزبی رأی دهیم که دارای سیاست‌های مؤثری در خصوص اقدامات آب و هوایی است." پاسخ فعالین باتجربه در زمینه اقدامات آب و هوایی آن است که در چندین کشور به ظاهر مردم‌سالار، گزینه‌های موجود در زمان انتخابات بین یک حزب مخالف اقدام و یک حزب موافق اقدامات ضعیف، غیر مؤثر و نمایشی است. حتی تصویب قوانین ضعیف هم می‌تواند بسیار دشوار باشد. احزابی که دارای سیاست‌های قوی در زمینه اقدامات آب و هوایی هستند معمولاً در اقلیت قرار دارند، مانند حزب سبزها. علاوه بر این، فرایند دموکراتیک تنها به یک بار رأی دادن در هر ۳ تا ۵ سال منحصر نمی‌شود. مافیای گازهای گلخانه‌ای در طول ۳۶۵ روز سال و همه‌ساله مشغول فعالیت هستند. برای مقابله با این واقعیت، جنبش اقدامات آب و هوایی باید زمان بین دو انتخابات را به جذب و سازمان‌دهی افراد برای تقویت پایه‌های قدرت خویش، طراحی راه‌بردها، تعامل با رسانه‌ها و نیز به-کارگیری طیف وسیعی از راه‌کارها برای مقاومت در برابر صنایع آلاینده، ساختن جایگزین‌های پاک و ایمن و تقویت هرچه بیشتر جنبش اختصاص دهد.

در بخش "منابعی برای مطالعه بیشتر" تعدادی کتاب عالی در زمینه چگونگی راه‌اندازی یک جنبش تغییرات اجتماعی معرفی شده‌اند. در بخش‌های بعدی این فصل، من از این منابع برای معرفی نکات کلیدی، یعنی سازمان‌دهی، راه‌برد و راه‌کارها، استفاده خواهم کرد.

### گروه‌های "سازمان‌دهی‌کننده"

در این بخش، عبارت "سازمان‌دهی‌کننده" هم معنی متداول - یعنی ساختن یک تشکیلات برای یک گروه - و هم یک مفهوم خاص، که توسط برخی از افراد و گروه‌های فعال برای فعالیت‌های یک سازمان‌دهنده، که در زیر توصیف شده و شامل تبیین یک راه‌برد و طراحی یک کارزار می‌شود، به کار می‌رود را منتقل می‌کند. هر دو نوع سازمان‌دهی کردن برای گروه‌های فعال آب و هوایی<sup>۱</sup> (CAGs) مهم هستند چرا که قادرند موجب افزایش تعداد اعضا و نیز تقویت اعتماد، منابع و ظرفیت‌های هم اعضا و هم کلیت گروه در جهت طراحی و اجرای یک کارزار بشوند. CAGها برای ساختن

یک جامعه بهتر تلاش می کنند و در نتیجه ساختار و عملکرد خود آنان نیز بایستی برای تحقق این هدف طراحی شود.

اغلب CAG های موفق بدون داشتن حداقل یک روح هدایت کننده، یعنی سازمان دهنده، نمی توانند رشد و فعالیت کنند. در چهارچوب جنبش های تغییرات اجتماعی، یک سازمان دهنده فردی است که امکان توانمندشدن یک جامعه را فراهم می آورد. او این کار را با استفاده از روش های زیر انجام می دهد:

- هدایت کردن فرایند شکل گیری و رشد یک یا چند CAG،
- کمک کردن به گروه برای داشتن چشم انداز، راهبرد و راه کارهای مشترک،
- زمینه سازی برای یک ساختار گروهی و فرایندهای تصمیم سازی دموکراتیک،
- تغذیه فکری و پرورش رهبران،
- هدایت همایش های جمعی، کارگاه ها، گروه های مطالعاتی و اقدامات سازمان.

در نتیجه، یک سازمان دهنده تا حدودی با یک رهبر، که نقش او هدایت مردم به سمت اقدام است، متفاوت است. سازمان دهنده افراد را با یکدیگر متحد می کند و به آنها کمک می کند که سازمان ها و کارزارها را تشکیل دهند. این فرد در پشت صحنه کار می کند، درحالی که رهبر در جلو چشم عموم قرار دارد.

سازمان دهنده های بسیاری از گروه های محلی به صورت داوطلبانه فعالیت می کنند. در عین حال، سازمان دهنده ای که حقوق دریافت می کند (و معمولاً حقوق اندکی نیز دریافت می کند) نقش شناخته شده ای در جنبش اتحادیه های تجاری و نیز در فعالیت هایی که توسط سائول آلینسکی [۵] و برخی از فعالین و سازمان دهنده های دیگر به جنبش های فراگیر عدالت اجتماعی تعمیم داده شده اند، دارد. امروزه سازمان دهنده نقش بسیار مهمی در جنبش های زیست محیطی بر عهده دارد. بر حسب تصادف، قبل از اینکه باراک اوباما یک سیاست مدار بشود، یک سازمان دهنده محلی در یک محله فقیر و سیاه پوست نشین شیکاگو بود. اما متأسفانه در مقام یک رئیس جمهور، او در اجرای آرمان هایی که به عنوان یک سازمان دهنده جوان با آنها زندگی می کرد، و در اولین زندگی نامه خود نوشته اش نیز به آنها اشاره کرده بود، ناتوان به نظر می رسد [۶].

## راه‌برد

راه‌برد عبارت است از طراحی و اجرای کارزارهای درازمدت برای به ثمر رساندن اهداف بزرگ. متخصص کنش‌های غیرخشونت‌آمیز، جین شارپ، راه‌برد را به عنوان "جدول‌بندی کردن سلسله اقدامات به گونه‌ای که رسیدن از وضعیت موجود به یک وضعیت مطلوب در آینده را محتمل‌تر می‌سازد" تعریف می‌کند [۷]. آکادمی غرب میانی<sup>۱</sup>، که یک مؤسسه آموزشی برای گسترش تغییرات روبه‌جلوی اجتماعی است، در کتاب خود با عنوان "سازماندهی برای تغییرات اجتماعی"<sup>۲</sup> راه‌برد را به صورت بسیار خاص‌تری به این صورت تعریف می‌کند: "یک روش برای آن که یک مسئول دولتی یا بخش خصوصی را مجبور به انجام کاری در جهت منافع عموم جامعه بکند که در غیر این صورت تمایلی به انجام آن ندارد" [۸]. این تعریف، متعمدانه، به جای یک سازمان، یک یا چند فرد تصمیم‌گیرنده را مورد هدف قرار می‌دهد. بر مبنای این تعریف، راه‌برد اتخاذ شده سازمان شما را ملزم می‌کند که قدرت خود را بر علیه آن فرد اعمال نماید. آن‌گونه که من می‌فهمم، این تعریف یک نقطه‌نظر ارزشمند را عرضه می‌کند اما به اندازه کافی فراگیر نیست تا بتواند همه الزامات جنبش‌های تغییر اجتماعی را دربر گیرد. در بسیاری از کشورها، سیاست‌های یک حزب سیاسی یا یک شرکت بزرگ تجاری به ندرت توسط یک فرد تعیین می‌شوند.

یکی از ابتدایی‌ترین موضوعات راه‌بردی که باید توسط یک CAG جدید مورد بحث قرار گیرد عبارت است از شکل‌دهی به اهداف آن و موضوعاتی که قرار است برای آن‌ها دست به فعالیت بزنند.

اغلب CAGها چندین هدف را انتخاب می‌کنند. برخی از این اهداف را می‌توان در طی چندماه محقق ساخت تا بتوان نشانه‌های پیروزی را بر سردر سازمان آویخت و یکی دو هدف دشوارتر و درازمدت‌تر نیز انتخاب می‌شوند تا بتوان گروه را به وسیله آن‌ها توسعه داد. موضوعات مورد نظر را باید به دقت در یک فرایند مشارکت جویانه مورد ارزیابی قرارداد. طبق نظر گروه‌های فعال، این موضوعات باید معیارهای زیر را برآورده سازند [۹]:

۱- زندگی مردم را بهبود می‌بخشند.

1 Midwest Academy  
2 Organizing for Social Change

- ۲- اعتماد مردم را نسبت به قدرت خودشان افزایش می دهند.
  - ۳- قدرت مردم را در تعامل با تصمیم گیرندگان تقویت می کنند.
  - ۴- قابل تحقق هستند.
  - ۵- به نحو گسترده و عمیقی در جامعه مورد حمایتند.
  - ۶- به سادگی و با شفافیت می توان آن‌ها را برای رسانه‌ها و مردم تشریح کرد.
  - ۷- یک یا چند فرد تصمیم گیرنده معین را به عنوان هدف مشخص خود انتخاب کرده‌اند.
- اعمال یک آنالیز SWOT بر روی اهداف پیشنهادی می تواند مفید باشد. این روش یک روش برنامه‌ریزی راه‌بردی است که نقاط قوت<sup>۱</sup>، نقاط ضعف<sup>۲</sup>، فرصت‌ها<sup>۳</sup> و تهدیدها/موانع<sup>۴</sup> را در ارتباط با هدف تعیین شده شناسایی می کند. نقاط قوت و نقاط ضعف دربرگیرنده منابع داخلی گروه در ارتباط با هدف تعیین شده هستند. فرصت‌ها و تهدیدها شامل شرایطی در خارج از گروه می شوند که می توانند توانایی گروه در دسترسی به هدف را تحت تأثیر قرار دهند. نتایج آنالیز SWOT می تواند نشان‌دهنده این واقعیت باشد که یک یا چند هدف گروه قابل تحقق نیست. اگر مثبت اندیشیده شود، آنالیز SWOT باید گروه را به پرسیدن سوالات زیر رهنمون شود:
- چگونه می توانیم از هر یک از نقاط قوت استفاده کنیم؟
  - چگونه می توانیم هر کدام از نقاط ضعف را برطرف سازیم؟
  - چگونه می توانیم از هر فرصتی بهره‌گیری کنیم؟
  - چگونه می توانیم از هر تهدیدی اجتناب کنیم، یا آن را از بین ببریم و یا با آن مقابله کنیم؟
- راه‌برد را می توان با تأمل و بحث درباره روان‌شناسی ایجاد تغییرات اجتماعی تقویت کرد. هر چند که ما باید مردم را در خصوص عوارض سوء تغییرات آب و هوایی بر جوامع انسانی و سایر گونه‌های زیستی آگاه سازیم، اما باید بدانیم که بسیاری از مردم از طریق تاکید شدید بر تهدیدها و فجایع بالقوه ناشی از روش‌های موجود دارای انگیزه نخواهند شد. چنین کاری می تواند مردم را فلج ساخته و به جای اقدام سازنده موجب رشد زمینه‌های انکار گردد. ایده ایجاد تغییرات شدید در روش زندگی نیز می تواند ترسناک باشد و حس ناامنی را در مردم تقویت نماید. پس راه‌حل چیست؟ یک روش، روش

1 Strengths (S)

2 Weaknesses (W)

3 Opportunities (O)

4 Threats/Barriers (T)

لِس رابینسون<sup>۱</sup> است که یک بازاریاب اجتماعی است. او نظریه‌ای برای انجام موفقیت‌آمیز تغییرات اجتماعی طراحی کرده است که شامل شش عنصر می‌شود [۱۰]:

- همه‌مهم مثبت - مردم داستان‌های خوش‌بینانه‌ای را در مورد تغییر بین خود به مشارکت می‌گذارند.
- ایجاد امید - مردم بین یک اقدام شرافتمندانه و امیدها و نگرانی‌های خود ارتباط برقرار می‌کنند.
- یک محیط توانمندساز - محیط اطراف مردم به ایشان این اجازه را می‌دهد که رفتارهای جدید را به سادگی بپذیرند و ادامه دهند.
- یک راه‌حل "چسبنده" - رفتارها بازنگری می‌شوند تا بهتر در زندگی مردم جا بیفتند.
- منطقه امن گسترش یافته - به مردم کمک می‌شود تا نگرانی‌هایشان کاهش یابد.
- دعوت‌کننده مناسب - دعوت به اقدام توسط همگنان الهام‌بخش و قابل اعتماد صورت می‌گیرد.

در طراحی یک راه‌برد تغییرات اجتماعی، فعالین آب و هوایی می‌توانند از رویکرد روانشناسی اجتماعی و جامعه‌شناسی نیز درس‌هایی بیاموزند. در این رویکرد، روش‌هایی که مردم را با پیام‌های ارسالی از رسانه‌ها، تبلیغات، فیلم‌ها و مطبوعات تحت تأثیر قرار می‌دهند مورد بررسی قرار می‌گیرند.

## راه‌کارها

پرزیدنت فرانکلین روزولت زمانی به یک گروه از فعالین گفت: "بسیار خوب، شما من را متقاعد کردید. حالا از اینجا بروید و اعمال فشار بر من را شروع کنید." برای دستیابی به تغییرات اجتماعی، واضح است که باید حمایت اکثریت جامعه را به دست آورد. در عین حال، این را هم باید بدانیم که لازم است مطمئن شویم که دارندگان قدرت نیز موضوعات موردنظر و سیاست‌های لازم را درک می‌کنند. اگر ما بدون برخورداری از حمایت عامه مردم دست به لابی کردن بزنیم، وزن چندانی در نظر دارندگان قدرت نخواهیم داشت. از سوی دیگر، یک جنبش توده‌ای نیز نخواهد توانست تصمیمات صحیحی را از دارندگان قدرت شاهد باشد، مگر آن‌که درخواست‌های خود را به آنان منتقل کرده باشد و این کار معمولاً از طریق لابی کردن صورت می‌پذیرد. به همین دلیل، جنبش تغییرات آب و هوایی به طیف وسیعی از راه‌کارها از CAG‌های مختلف نیاز دارد. برخی از راه‌کارها می‌توانند معطوف به اثرگذاری مستقیم بر دارندگان قدرت باشند، برخی دیگر می‌توانند متوجه جامعه به صورت

کلی و زیرگروه‌های اصلی درون آن باشند و برخی نیز می‌توانند با واسطه‌های مهم، از قبیل رسانه‌ها، سروکار داشته باشند.

راه کارها، گام‌ها یا ابزارهایی هستند که برای تحقق یک راه‌برد به کار گرفته می‌شوند. راه کارها عبارتند از اقدامات محدود و کوتاه‌مدت که در یک مسیر راه‌بردی بلندمدت انجام می‌شوند. به عنوان مثال، این اقدامات می‌توانند شامل لابی کردن رودررو، نشست‌های رسانه‌ای، کارزارهای آموزشی، طرح دعاوی در دادگاه‌ها و تحصن باشند.

اغلب راه کارها از نوع "نرم"، به معنی غیرمبارزه‌طلبانه، هستند. این راه کارها طراحی می‌شوند تا مردم به ارزش تغییرات موردنظر پی برده و از ضرورت انجام آن حمایت کنند. درعین حال، همه دارندگان قدرت را نمی‌توان با استفاده از کلمات نرم با خود همراه کرد، خصوصاً اگر آن‌ها به شدت به دارندگان منافع ویژه دل‌بستگی داشته و از وضعیت موجود دفاع می‌کنند. هنوز هم برخی از سیاست‌مداران و رهبران بنگاه‌های تجاری که فعالانه با اقدامات آب و هوایی مخالف هستند در موقعیت‌های کلیدی حضور دارند. در نتیجه، لازم است که برخی از اقدامات مبارزه‌طلبانه باشند. این برخوردهای غیرخشونت‌آمیز با این هدف که سیاست‌مداران متعصب را با خود همراه کند طراحی نمی‌شوند بلکه هدف اصلی آنان مقاومت در برابر تصمیمات غلط آنان، آموزش و آگاه‌سازی جامعه و ایجاد فضای رسانه‌ای است.

قبل از بحث در مورد راه کارهای مختلف، CAG باید به این موضوع که چگونه موضوع مورد نظر یا کارزار خود را "چهارچوب‌بندی"<sup>۱</sup> کند بیندیشد. چهارچوب‌بندی به این مفهوم است که موضوع موردنظر در چهارچوب و زبانی که شما انتخاب می‌کنید به جامعه عرضه شود.

### چهارچوب‌بندی کارزار

ارتباطات یک عنصر حیاتی در هر کارزاری است. CAG بایستی تصمیم بگیرد که می‌خواهد خود و کارزارش چگونه توسط دیگران دیده شود. این دیگران شامل تصمیم‌گیرندگان، سازمان‌های ذی‌نفوذ مانند بنگاه‌های تجاری و اتحادیه‌های صنفی، متخصصین، سایر سازمان‌های غیردولتی (NGOs)، رسانه‌ها و جامعه به‌طور کلی، می‌شود. یک CAG می‌تواند تا حدود زیادی "تصویر" خودش را با روشی که خودش، چشم‌اندازش، اهدافش، کارزارش و موضوعاتی که برایش مهم هستند

1 Framing

را تعریف می‌کند، تحت تأثیر قرار دهد. سایت اینترنتی، بیانیه‌های مطبوعاتی، مصاحبه با رسانه‌ها، مقالات منتشرشده، حضور در شبکه‌های اجتماعی و برقراری ارتباط مستقیم با افراد همه به شکل‌دهی این تصویر کمک می‌کنند. این فرایند "چهارچوب‌بندی" نامیده می‌شود و شامل انتخاب چهارچوب-های مفهومی برای کارزار و برای زبان مورد استفاده است.

مخالفین، رسانه‌ها و سایر طرف‌های درگیر هر کدام دارای برنامه کاری خود هستند و هر کدام سعی خواهند کرد که CAG و موضوعات مورد نظر آن را در "چهارچوبی" که خودشان ساخته‌اند قرار دهند. این امر متداولی است که به افراد و گروه‌هایی که خواهان تغییرات اجتماعی سازنده هستند برچسب‌هایی نظیر "احساساتی"، "ایدئولوژی‌زده"، "غیرمسئول"، "افراطی" و حتی "ضدعلم" زده شود. البته اغلب این برچسب‌زدن‌ها از نقطه نظر روانشناسی بزرگ‌نمایی محسوب می‌شوند. هیچ‌کس احساساتی‌تر از مدیرعامل یک صنعت آلاینده نیست که با هزینه‌های بالاتر حفاظت از محیط زیست و کاهش منافع ناشی از آن مواجه شده است. هیچ‌کس ایدئولوژی‌زده‌تر از یک اقتصاددان نئولیبرال تنگ‌نظر، که سعی می‌کند مدل بازار رقابتی را بر بخش‌هایی از اقتصاد که ذاتاً از ناتوانی بازار رنج می‌برند تحمیل کند، نیست. هیچ‌کس غیرمسئول‌تر یا افراطی‌تر از یک رهبر اقتصادی یا سیاست‌مدار، که تمایل دارد بقای تمدن بشری را قربانی منافع کوتاه‌مدت مادی یا ایدئولوژی معیوب رشد نامحدود اقتصادی در یک سیاره دارای ظرفیت محدود کند، نیست. هیچ‌کس ضدعلم‌تر از یک انکارکننده تغییرات آب و هوایی، که بر خلاف همه شواهد تجربی ادعا می‌کند که اکثریت یخچال‌های طبیعی به جای کوچک‌تر شدن در واقع در حال گسترش هستند، نیست [۱۱].

جورج لاک‌آف<sup>۱</sup> که یک زبان‌شناس است، بر روی تأثیر زبان در شکل‌دهی به نحوه تفکر مردم تأکید می‌کند [۱۲]. بر اساس توصیه‌های او، فعالین آب و هوایی یاد می‌گیرند که چگونه اصطلاحاتی که برای معرفی فرایندهای مخرب زیست‌محیطی و اجتماعی به کار می‌برند را در قالب مناسب‌تری بیان کنند: به عنوان مثال، عبارت تحقیرکننده "فرماندهی و کنترل"<sup>۲</sup>، که مکرراً توسط اقتصاددانان استفاده می‌شود، را می‌توان با عبارت خنثی‌تر "مقررات و استانداردها"<sup>۳</sup> جایگزین کرد؛ "تقسیم بار مالی"<sup>۴</sup>، که توسط مخالفین نرخ‌گذاری بر انتشار کربن استفاده می‌شود، را می‌توان با

1 George Lakoff  
2 Command and Control  
3 Regulations and Standards  
4 Burden Sharing

عبارت "توزیع هزینه‌ها"<sup>۱</sup> جایگزین کرد؛ "زغال‌سنگ پاک"<sup>۲</sup>، که یک عبارت بازاریابی برای فناوری تأیید نشده سیستم‌های زغال‌سنگی با عنوان "به دام‌اندازی و ترسیب کربن"<sup>۳</sup> (CCS)، است، را می‌توان با CCS جایگزین کرد. حتی عبارت "گرمایش جهانی" نیز برای کسی که نسبت به عوارض منفی موجود و فجایع بالقوه آینده آگاهی ندارد، واجد برخی مفاهیم ضمنی گمراه‌کننده و خاطر جمع‌کننده است. با توجه به ذوب یخ‌های قطبی و یخچال‌های طبیعی، سیل‌ها، خشکسالی‌ها، طوفان‌ها، آتش‌سوزی‌ها و غیره، عباراتی نظیر "اختلالات اقلیمی"، "بحران آب و هوایی" یا حتی "وضعیت آب و هوایی اضطراری" در مقایسه با "گرمایش جهانی" عبارت‌های مناسب‌تری به نظر می‌رسند.

### راه‌کارهایی برای کارزارها

یک CAG می‌تواند راه‌کارهای مورد نیاز کارزار خود را از طیف وسیعی از گزینه‌های موجود (جدول ۱۱-۱) بر مبنای اندازه و منابع خود، منافع اعضای CAG و جامعه و نوع نگاه دولت مستقر در حوزه فعالیت خود انتخاب کند. CAGها می‌توانند توسط سازمان‌های هوادار محیط زیست یا طرفدار عدالت اجتماعی یا تخصصی، اتحادیه‌های صنفی، بنگاه‌های اقتصادی، احزاب سیاسی، گروه‌های مذهبی یا سایر سازمان‌های محلی تشکیل شوند یا می‌توانند گروه‌های قانونی‌ای باشند که از طیف‌های گوناگون اجتماعی عضو می‌پذیرند. اینک، وقت آن است که برخی راه‌کارهای مشخص را بررسی کنیم.

### لابی‌کردن با تصمیم‌گیرندگان

لابی‌کردن به معنی برقراری ارتباط با تصمیم‌گیرندگانی که مستقیماً به اسم یا سمتشان خطاب می‌شوند تعریف می‌شود. در این چهارچوب، لابی‌کردن شامل ملاقات‌های رودررو، تماس‌های تلفنی، ارسال ایمیل، نامه‌نگاری، جمع‌آوری طومار، ارسال اطلاعات به گروه‌های تحقیق دولتی، سخنرانی در جلسات نقد و بررسی عمومی و برگزاری نشست‌های پرسش و پاسخ می‌شود. لابی‌کردن یک بخش مشروع و مهم در دموکراسی‌های مشارکتی است. از آنجایی که دارندگان منافع ویژه منابع هنگامی را صرف لابی‌کردن می‌کنند CAGها نیز باید از این ابزار استفاده کنند [۱۳].

تصمیم‌گیرندگانی که باید با آنان لابی‌کرد شامل دسته‌های زیر هستند:

- 1 Distribution of Costs
- 2 Clean Coal
- 3 Carbon Capture and Storage

- وزرا، وزرای کابینه سایه و مشاوران آنان،
- سایر اعضای پارلمان/کنگره در همه طیف‌های حکومتی و مشاوران آنان،
- مسئولین بلندپایه دولتی،
- رؤسا و اعضای کمیسیون‌های پارلمانی/کنگره،
- کمیته‌های حزبی و؛
- مدیران عامل و سایر مدیران ارشد بنگاه‌های اقتصادی، سازمان‌های مادر و سایر مؤسسات.

## جدول ۱۱-۱- راه‌کارهای در دسترس CAGها

اقدام‌کنندگان	اقدامات
سازمان‌های بزرگ غیردولتی طرفدار حفاظت محیط زیست (ENGOS)	لابی کردن با دارندگان قدرت
ENGOS	شکل‌دهی ائتلاف و مشارکت با سازمان‌های صاحب نفوذ
بسیاری از گروه‌ها در خصوص موضوعات پژوهش می‌کنند و اغلب توسط افراد آکادمیک و مشاوران یاری می‌شوند	پژوهش
همه	آموزش و اطلاع‌رسانی برای گروه‌های خاص و اعضای جامعه
ENGOS متوسط و بزرگ و سازمان‌های مادر ENGOS	ایجاد شبکه بین ENGOS
گروه‌های محلی اختصاصی، دولت‌های محلی و شرکت‌های تجاری کوچک و متوسط (SMES)	پروژه‌های انرژی محلات (رک فصل ۱۰، "اقدامات شرکت‌های تعاونی و سایر گروه‌های اجتماعی")
همه گروه‌های محلی، ایالتی و ملی معمولاً به ترتیب در سطوح محلی، ایالتی و ملی نسبت به راه-اندازی رسانه اقدام می‌کنند	اطلاع‌رسانی از طریق رسانه‌ها و شبکه‌های اجتماعی
ENGOS بزرگ و ائتلاف‌های بین آنها	اقدامات حقوقی (در برخی از کشورها ممکن نیست)
تعدادی ENGOS بزرگ، مانند صلح سبز و CAGهای کوچک متمرکز بر موضوعات خاص	اقدامات مبارزه‌طلبانه غیرخشونت‌آمیز

به خاطر داشته باشید که برای مؤثر بودن، لابی کردن باید از یک موضع همراه با قدرت انجام شود. سیاستمداران و مشاورین سیاسی باید از تعداد آرایبی که توسط گروه لابی کننده نمایندگی می-شود آگاه شوند. مدیران عامل بنگاه‌های اقتصادی باید نسبت به توانایی مردمی که توسط گروه لابی-کننده نمایندگی می شوند در کاهش یا افزایش میزان فروش آن بنگاه، با استفاده از اقدامات عملی یا اطلاع‌رسانی در رسانه‌ها، آگاهی بیابند. اگر مسئولین دولتی نگران باشند که یک کارزار رسانه‌ای می-تواند افشا کند که تصمیم‌گیری آن‌ها در خصوص یک موضوع روال صحیحی را طی نکرده است، آن‌گاه ممکن است که به لابی کردن پاسخ مثبت بدهند.

### کنش مبارزه طلبانه غیرخشونت آمیز

پرهیز از خشونت یک اسلحه قوی و مشروع است ... که بدون زخم کردن می‌برد و به انسانی که آن را در دست دارد شرافت می‌بخشد. پرهیز از خشونت شمشیری است که درمان می‌کند.

مارتین لوتر کینگ [۱۴]

در چهارچوب اقدامات آب و هوایی، کنش غیرخشونت آمیز برای مقابله با تصمیم گیرندگان کلیدی در شرکت‌ها و طرح‌های توسعه‌ای آلاینده، مؤسسات مالی که تأمین منابع مالی آنان را بر عهده دارند و دولت‌هایی که هم‌دست آنان هستند، در دستور کار قرار می‌گیرد. این مقابله‌ها برای مقاومت در برابر یک سیاست غلط دولتی یا یک پروژه مضر، مثل یک نیروگاه جدید آلاینده زغال‌سوز یا یک معدن زغال‌سنگ جدید؛ برای به حرکت درآوردن مخالفت جامعه؛ به منظور نشان دادن نگرانی‌های فزاینده جامعه در خصوص یک موضوع به دولت؛ یا همه موارد بالا صورت می‌گیرند. اطلاع‌رسانی در رسانه‌ها یک جنبه ارزشمند کار است، اما به ندرت به عنوان هدف اصلی مقابله، که سعی می‌کند به عنوان بخشی از فرایند به کرسی نشاندن یک تقاضا بر تصمیم گیرندگان اعمال فشار کند، محسوب می-شود.

کنش غیرخشونت آمیز شامل تجمعات، راهپیمایی‌ها، تحصن‌ها، ایجاد راه‌بندان، رسواکردن مقامات خاطی، خارج کردن سرمایه از شرکت‌ها، اقدامات سهام‌داران، اعتصاب و تحریم می‌شود. تجمعات، راهپیمایی‌ها، تحصن‌ها و ایجاد راه‌بندان روش‌هایی هستند که با استفاده از آنان فعالین می-توانند به صورت فیزیکی، اما بدون توسل به خشونت، یک مکان، مانند جاده، فضای عمومی، دروازه،

دفتر کار یا کل ساختمان، را مسدود کنند [۱۵]. هر چه تعداد معترضین بیشتر باشد، کنش را می‌توان علیرغم مخالفت پلیس طولانی‌تر کرد و توجه رسانه‌ای بیشتری را به آن جلب نمود. تعداد معترضین زیاد موجب اعمال فشار بیشتر بر تصمیم‌گیرندگان نیز می‌شود.

#### یادداشت ۱۱-۱- چرا اقدامات اعتراضی باید غیرخشونت‌آمیز باشند؟

فعالین خواهان تغییرات اجتماعی باید به دلایل زیر از دست‌زدن به خشونت فیزیکی پرهیز کنند:

- اغلب مردم در اقدامات خشونت‌آمیز شرکت نمی‌کنند.
- خشونت موجب انحراف توجه رسانه‌ها از موضوع اصلی به سمت خود خشونت می‌شود.
- خشونت موجب گریز بخش عمده جامعه و تنها ماندن کارزار می‌شود.
- دولت، که توسط ارتش و پلیس پشتیبانی می‌شود، بالاترین ظرفیت برای اعمال خشونت را دارد. بنابراین، هر عمل خشونت‌آمیزی که کمتر از یک انقلاب فراگیر مردمی باشد محکوم به شکست خواهد بود.
- تغییرات آب و هوایی ساخته دست بشر، همراه با بسیاری از دیگر موضوعات مرتبط با حفاظت محیط زیست و عدالت اجتماعی، نتیجه اعمال خشونت علیه مردم و طبیعت است و این خشونت در ذات اقدامات دارندگان قدرت نهفته است. پاسخ‌گویی به خشونت با خشونت برای حل چنین مشکلاتی از نظر اخلاقی غیرقابل پذیرش است.
- از نقطه نظر عملی نیز، خشونت غیرقابل پذیرش است چرا که صرفاً موجب رشد بیشتر خشونت در یک چرخه بی‌پایان، که شکستن آن فوق‌العاده دشوار است، خواهد شد. بر طبق آنچه که به مهاتما گاندی منسوب شده است: "سیاست چشم در برابر چشم تنها منجر به کور شدن کل جهان می‌شود" [۱۶]. دارندگان قدرت به خوبی می‌دانند که توسل به خشونت موجب تضعیف یک جنبش اجتماعی، هم به صورت داخلی و هم در انظار جامعه، می‌شود. بنابراین، آنان در پاره‌ای از موارد عناصر تحریک‌کننده‌ای را به درون معترضین می‌فرستند تا دست به خشونت‌هایی بزنند که به پای معترضین نوشته خواهد شد [۱۷]. به همین دلیل، آموزش عدم توسل به خشونت برای CAGهایی که قصد دارند دست به کنش غیرخشونت‌آمیز بزنند حائز اهمیت است. این آموزش‌ها حتی می‌تواند شامل جدا کردن غیرخشونت‌آمیز، احاطه و محدود کردن فعالیت‌ها و اقدامات یک اقلیت خشن در درون جمعیت باشد.
- آموزش کنش غیرخشونت‌آمیز دارای طیف وسیعی از سایر مزایا نیز هست، همان‌گونه که در کتاب "دستورالعمل منابع لازم برای یک انقلاب زنده" آمده است [۱۸]. به عنوان مثال:

- این کار روش همکاری‌ای را معرفی می‌کند که با استفاده از آن مردم می‌توانند در بارهٔ دنیای خود کسب اطلاع کرده و آن را تغییر دهند.
- این کار موجب توسعهٔ مهارت‌های حل و فصل بحران و تصمیم‌گیری دموکراتیک می‌شود.
- این کار اجازه می‌دهد مهارت‌ها، ایده‌ها و روش‌های سازمان‌دهی در یک فضای عملی، که ریسک آن کم و اشتباهات آن کم‌هزینه‌تر است، توسعه یافته و به‌بوته آزمایش گذاشته شوند.
- این کار روش‌های ایجاد اعتماد و همبستگی، که می‌توانند به‌طور مؤثری برای مقاومت در برابر توصیه‌های دل‌سردکننده و سرکوب به کار گرفته شوند، را آموزش می‌دهد.

اشخاص خاطی و سازمان‌هایی که از نقطه‌نظر عملکرد زیست‌محیطی مردود شده‌اند را می‌توان به روش‌های مختلفی رسوا کرد. به عنوان مثال، انجمن سلطنتی بریتانیا<sup>۱</sup> نامهٔ خود به کمپانی نفتی اکسون موبایل<sup>۲</sup>، که در آن به تأمین منابع مالی گروه‌هایی که علوم اقلیمی را انکار کرده و مانع از اقدامات دولت‌ها در خصوص تغییرات آب و هوایی می‌شوند اعتراض شده بود، را منتشر کرد [۱۹]. یک راه مؤثر دیگر برای رسوا کردن افراد و سازمان‌های خاطی، می‌تواند اعطای یک جایزه (به عنوان مثال) به آلاینده‌ترین شرکت از نقطه‌نظر انتشار گازهای گلخانه‌ای، یا به سیاست‌مداری که بیشترین حمایت را از انتشار گازهای گلخانه‌ای به عمل آورده است، یا به زمین‌داری که بیشترین مقدار جنگل‌های طبیعی را از بین برده است باشد. یک برنامهٔ سرگرم‌کننده و به‌خوبی طراحی شده می‌تواند یک ناهنجاری جدی و مرتکبین آن را افشا کند و هم‌زمان موجب جلب توجه کوتاه‌مدت، اما مثبت، رسانه‌ها به سمت یک کارزار شود. در همهٔ فعالیت‌های مرتبط با رسوا کردن یک فرد یا مؤسسهٔ خاطی کاملاً ضرورت دارد که در مورد همهٔ جوانب امر و واقعیت‌ها اطمینان حاصل شود تا از لجن‌مال کردن افراد، مثلاً از طریق زیرسوال بردن نیت و انگیزهٔ آن‌ها، پرهیز شود [۲۰]. این کار کاملاً پذیرفتنی است که بیان شود که فلان وزیر انرژی، سهام‌دار یک شرکت فروشندهٔ زغال‌سنگ نیز هست و در نتیجه احتمال تضاد منافع وی وجود دارد. درعین حال، این ادعا که اقدام وزیر در تأیید احداث یک معدن زغال‌سنگ جدید تحت تأثیر منافع شخصی او بوده است می‌تواند نادرست و موجب لجن‌مال شدن او باشد. در

1 British Royal Society  
2 Exxon Mobile

صورتی که تردیدی دربارهٔ یک موضوع وجود دارد، قبل از صدور هر گونه بیانیۀ عمومی علیه یک فرد یا یک شرکت، لازم است که ابتدا مشاورۀ حقوقی دریافت شود.

خارج کردن سرمایه<sup>۱</sup> از صناعی که به محیط زیست یا اجتماع ضربه می‌زنند در حال تبدیل شدن به بخش عمده‌ای از اقدامات بین‌المللی برای مقابله با تغییرات آب و هوایی است. این روند مؤسسات آموزشی و سازمان‌های مذهبی، دولت‌های شهری و ایالتی، و به‌طور کلی همهٔ نهادهایی که وظیفۀ ذاتی آن‌ها خدمت‌رسانی به جامعه است را به چالش می‌طلبد تا سرمایه‌های خود را از صنایع مرتبط با سوخت‌های فسیلی خارج کنند [۲۱]. تا اواسط ماه ژوئن ۲۰۱۳ ده شهر بزرگ در آمریکا اعلام کرده‌اند که طرح‌هایی برای خارج کردن سرمایه خود از این قبیل صنایع در دست دارند و مبارزۀ فعالی برای به میدان آوردن ۳۸۰ پردیس دانشگاهی در جریان است. بیل مک کین<sup>۲</sup>، که یک نویسنده و فعال زیست‌محیطی و بنیان‌گذار 350.org است تأکید می‌کند که خارج کردن سرمایه یک موضوع اخلاقی - "اگر تخریب محیط زیست نادرست است، سود بردن از این کار نیز نادرست خواهد بود" - و نیز یک موضوع مالی است:

تصمیم‌گیری برای سرمایه‌گذاری در سهام سوخت‌های فسیلی در حال حاضر مانند شرط‌بندی بر روی آن است که سیارهٔ ما مطلقاً هیچ اقدامی در خصوص تغییرات آب و هوایی نخواهد کرد. اگر دولت‌های جهان همان هدف ناچیز دودرجهٔ سانتی‌گرادی را جدی گرفته بودند، همان‌گونه که بانک‌های Citi و HSBC طی گزارشی در ماه گذشته بیان کردند، ارزش سهام این شرکت‌ها به نصف کاهش می‌یافت. [۲۲]

برخی از NGOهای زیست‌محیطی و مؤسسات مالی که دارای تعهد اجتماعی هستند تعداد کمی از سهام‌های شرکت‌هایی که گازهای آلاینده منتشر می‌کنند را می‌خرند. سپس، این سازمان‌ها و مؤسسات می‌توانند در مجمع عمومی شرکت حضور یافته و رئیس هیئت مدیره شرکت را با سؤالات سخت و جدی مواجه سازند. این یک روش مناسب برای به چالش طلبیدن هیئت مدیره و سهام‌داران است تا نسبت به جامعه مسئولیت‌پذیری بیشتری نشان دهند.

یک راه کار ممکن دیگر، که از سوی سائول آلیسنکی پیشنهاد شده است [۲۳]، این است که از سهام‌داران شرکت می‌خواهند که حق رأی خود را به صورت وکالتی به یک CAG واگذار کنند.

1 Divestment  
2 Bill McKibben

یک بخش مهم این فرایند، لابی کردن و مذاکره کردن با نمایندگان است که وکالت نهادهایی با تعداد زیادی از سهام شرکت را برعهده دارند، این نهادها می‌توانند سایر شرکت‌ها، صندوق‌های بازنشستگی، و در پاره‌ای از موارد، دانشگاه‌ها باشند. علاوه بر این، این امکان وجود دارد که تعداد زیادی از وکالت‌نامه‌های فردی را از طریق NGOهای اینترنتی، مانند Araaz و GetUp!، کلیساهای، باشگاه‌ها و انجمن‌ها و NGOهای زیست‌محیطی به دست آورد. اگر تعداد کافی وکالت‌نامه به دست آید، آن‌گاه امکان ارائه پیشنهاد و جلب آرای سهام‌داران در مجمع عمومی نیز فراهم خواهد آمد.

برای منصرف کردن یک مؤسسه مالی از اعطای وام به پروژه‌ای که مقادیر زیادی گازهایی گلخانه‌ای منتشر خواهد کرد، یک CAG می‌تواند کارزاری را طراحی کند که طی آن، اگر مؤسسه مالی طرح اعطای وام را لغو نکند، سپرده‌گذاران در یک تاریخ معین سپرده‌های خود را از آن مؤسسه خارج خواهند کرد. مثل فرایند جذب وکالت رأی، هدف این راه‌کار نیز به دست آوردن یک موضع قوی‌تر برای CAG در مذاکره با طرف‌های دیگر است. چالشی که CAG در این مسیر با آن روبرو خواهد بود استفاده از همه ابزارهای اطلاع‌رسانی - سایت‌های اینترنتی، شبکه‌های اجتماعی، لیست‌های ارسال ایمیل و رسانه‌های سنتی - برای تشویق مردم به خارج کردن سپرده‌هایشان است. بانک‌ها معمولاً فقط ده درصد سپرده‌ها را به صورت ذخیره نگاه می‌دارند و نود درصد باقیمانده به صورت وام در اختیار سرمایه‌گذاران قرار داده می‌شود. بنابراین، خارج کردن مقادیر زیادی از سپرده‌ها در یک تاریخ معین موجب کاهش توانایی بانک در اعطای وام و در نتیجه کاهش سوددهی آن خواهد شد. خارج کردن مقادیر بسیار زیادی از سپرده‌ها می‌تواند بانک را مجبور به وام گرفتن از سایر بانک‌ها یا حتی فروش برخی از دارایی‌هایش بکند تا از صفر شدن ذخایر یا انجام نشدن به موقع تعهداتش جلوگیری نماید. در کنار این نتایج، تبلیغاتی که در اثر این راه‌کار در جامعه به راه می‌افتد می‌تواند بخش ارزشمندی از یک کارزار آموزش عمومی باشد.

قبل از در نظر گرفتن اقدامات قضایی، یک CAG به دو چیز نیاز دارد: قوانین مناسب و وکلای توانمندی که حاضر به قبول یک پرونده در جهت منافع عمومی، چه به صورت رایگان و چه با حق‌الوکاله پایین، باشند. در صورت فراهم بودن این شرایط، در برخی از مناطق و حوزه‌ها پرونده‌های قضایی می‌توانند ابزارهای مناسبی باشند. در عین حال باید در نظر داشت که اقدامات قضایی توسط گروه‌های اجتماعی و علیه دولت‌ها و شرکت‌های بزرگ به ندرت موفقیت‌آمیز بوده‌اند. همه مزایا در طرف کسی است که پول و قدرت دارد.

### آنچه که ما می‌توانیم انجام دهیم

مارک عزیز،

امروز صبح ما صحبت تو در رادیو در خصوص طرح پژوهشی دانشگاه شما در این زمینه که چگونه می‌توان کل سیستم برق استرالیا را با انرژی‌های تجدیدپذیر تغذیه کرد شنیدیم. این خبر فوق‌العاده خوبی است و ما را امیدوار می‌سازد! ما به شدت در ارتباط با تغییرات آب و هوایی نگران هستیم و مایلیم که فرزندانمان بتوانند در یک شرایط اقلیمی پایدار، همراه با انرژی‌های ایمن و غیرآلاینده تجدیدپذیر زندگی کنند. ما چگونه می‌توانیم به این فرایند گذار کمک کنیم؟ ما دلمان می‌خواهد کاری انجام دهیم اما فاقد مهارت‌های فنی هستیم. ما یک مغازه کوچک داریم و در یک خانه اجاره ای زندگی می‌کنیم.

با بهترین احترامات

واندانا و مایک

واندانا و مایک عزیز،

به خاطر ایملتان ممنونم. آن‌گونه که من می‌فهمم، موانع موجود بر سر راه رسیدن به شرایط سالم آب و هوایی و یک سامانه انرژی پایدار، دیگر اساساً علمی یا فنی نیستند. برعکس، این موانع سیاسی و فرهنگی هستند. اساساً ما همین حالا همه فناوری‌های مورد نیاز را در اختیار داریم، هرچند که هنوز هم به تحقیق و توسعه برای فراهم آوردن زمینه بهبود مستمر نیازمندیم. اولویت اساسی ما، ایجاد یک جنبش مقاومت‌ناپذیر مردمی برای به جلوراندن گذار است.

گروه‌های شکل گرفته از شهروندان نگران، بسیار بیشتر از آنچه که اعضایشان به صورت فردی می‌توانند انجام دهند قدرت دارند. بنابراین، من اول از همه و مهم‌تر از هر چیز به شما توصیه می‌کنم که به یک گروه که در زمینه اطلاع‌رسانی به جامعه درباره تهدیدات ناشی از تغییرات آب و هوایی و فرصت‌هایی که از طریق افزایش بهره‌وری انرژی و استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر در اختیار ما هستند اطلاع‌رسانی می‌کند بپیوندید. حتی بهتر از این، شما می‌توانید به گروهی بپیوندید که از آموزش و اطلاع‌رسانی فراتر رفته و بر تصمیم‌گیرندگان در دولت و بنگاه‌های بزرگ اقتصادی فشار وارد می‌-

آورد تا اقدامات مؤثری در جهت گذار به سامانه انرژی پایدار انجام دهند. شما می‌توانید از بین گروه‌های ملی، ایالتی و محلی که عضوی از یک جنبش بین‌المللی هستند، مانند 350.org، یا یک NGO زیست‌محیطی بزرگ یا یک شاخه محلی از انجمن بین‌المللی انرژی خورشیدی<sup>۱</sup>، یا یک گروه محلی مختص اقدامات آب و هوایی انتخاب کنید [۲۴].

پیوستن به گروهی که در جهت مصالح عمومی فعالیت می‌کند می‌تواند از نقطه‌نظر انسانی و نیز در پیشبرد یک جنبش بسیار مفید باشد چرا که شما می‌توانید با برخی افراد بسیار شریف آشنا شده و با آنها همکاری کنید.

اگر شما عضو یک حزب سیاسی هستید که هنوز در ارتباط با اقدامات آب و هوایی دودل است، می‌توانید سعی کنید که از درون بر سیاست‌های حزب تأثیر بگذارید. اگر حزب شما در واقع موضع خصمانه نسبت به اقدامات آب و هوایی دارد، شما می‌توانید از آن جدا شده و به یکی از معدود احزابی که قویاً متعهد به اقدامات آب و هوایی است بپیوندید.

هرچند که خانه شما استیجاری است اما شما می‌توانید از طیف وسیعی از فناوری‌ها برای صرفه‌جویی در مصرف انرژی و در نتیجه کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای استفاده کنید. به عنوان مثال: لامپ‌های کم‌مصرف یا LED، سردوشی‌هایی که از آب استفاده بهینه می‌کنند، پرده‌های عایق گرما و سرما، نوارهای عایق سرما و گرمای قابل نصب در اطراف پنجره‌ها و چهارچوب درها، پوشش عایقی برای مخازن آب گرم داخل ساختمان، مایکروفر، لباس خشک‌کن‌های خورشیدی، لوازم خانگی با بهره‌وری انرژی بالا، و کامپیوتر لپ‌تاب به جای کامپیوتر رومیزی [۲۵].

تغییر رفتارهای فردی نیز مهم است. اگر شرکت توزیع‌کننده برق شما طرح‌های انرژی سبز عرضه می‌کند، مبلغ اندکی بیشتر بپردازید تا صد درصد برق تجدیدپذیر دریافت کنید. اگر در منطقه شما شرکت تعاونی انرژی تجدیدپذیر وجود دارد به آن بپیوندید. اگر در خانه شما سیستم تهویه مطبوع دو منظوره (گرمایشی و سرمایشی) وجود دارد از آن کمتر استفاده کنید و در زمستان‌ها لباس‌های گرم‌تر بپوشید و در تابستان‌ها از پنکه استفاده کنید. در زمستان‌ها تنها اتاق‌هایی را گرم کنید که در آنها ساکن هستید. وقتی برای انجام کاری به مقاصد نزدیک می‌روید، اتومبیلتان را در خانه بگذارید و پیاده بروید یا از دوچرخه استفاده کنید - در این صورت سالم‌تر هم خواهید ماند. لباسهاتان (به جز پوشک‌های بچه قابل استفاده مجدد) را در آب سرد بشوید. اگر این امکان وجود داشت، سپرده‌ها و

ذخایر بازنشستگی خود را به مؤسسات مالی‌ای منتقل کنید که در پروژه‌های سوخت‌های فسیلی سرمایه‌گذاری نمی‌کنند.

بسیاری از فناوری‌ها و اقدامات رفتاری بالا علاوه بر صرفه‌جویی در مصرف انرژی موجب صرفه‌جویی در هزینه‌ها هم می‌شوند. به خویشاوندان و دوستانان نشان دهید که چکار می‌کنید. این اطلاعات را به همه برسانید و مرا هم از پیشرفت خود باخبر نگاه دارید.

با بهترین آرزوها

مارک

### منابع و یادداشت‌های فصل

- 1 Alinsky, SD (1971) *Rules for Radicals*, Random House, New York, p 113.
- 2 Alinsky (1971), p 113.
- 3 Sharp, G (1973) *The Politics of Nonviolent Action*, Porter Sargent, Boston, p 3. See also his website with video at <http://howtostartarevolutionfilm.com/index.php/about/gene-sharp>.
- 4 The Right Livelihood Award <[www.rightlivelihood.org](http://www.rightlivelihood.org)>.
- 5 Alinsky (1971).
- 6 Obama, B (1995) *Dreams from my Father*, Crown, New York, Chs 7–14.
- 7 Sharp, G (1995) *The Importance of Strategic Planning in Nonviolent Struggle*, Nonviolent Sanctions, 6(4): 1, 4–5 <[www.aeinstein.org/organizations/org/21\\_spring95-1.pdf](http://www.aeinstein.org/organizations/org/21_spring95-1.pdf)>.
- 8 Bobo, K, Kendall, J and Max, S (2001) *Organising for Social Change: Midwest Academy manual for activists*, 3<sup>rd</sup> ed, Seven Locks Press, Washington.
۹. این لیست، نسخهٔ مختصراً اصلاح‌شدهٔ لیست Bobo و همکارانش (۲۰۰۱) است.
- 10 Robinson, L (2012) *Changeology: How to enable groups, communities, and societies to do things they've never done before*, Scribe, Melbourne.
- 11 Bellamy, D (2005) Glaciers are cool, *New Scientist*, 2495, 16 April; refuted by Monbiot, G (2005) Junk science, *The Guardian*, 10 May, <[www.monbiot.com/archives/2005/05/10/junk-science](http://www.monbiot.com/archives/2005/05/10/junk-science)>.
- 12 Lakoff, G (2004) *Don't Think Like an Elephant!: Know your values and frame the debate*, Chelsea Green, White River Junction VT.
- 13 Beder, S (2000).
- 14 King, ML Jr (1964) *Why Can't We Wait*, Signet, New York, p 12.

۱۵. اگر این اقدامات بدون مجوز انجام شوند ممکن است خلاف قانون باشند. قبل از مبادرت به این قبیل اقدامات، قوانین حاکم در محل سکونت خود را بررسی کنید تا مرتکب نقض قانون نشوید.
- 16 Gandhi, MK (1927, 1929) *An Autobiography or The Story of my Experiments with Truth*, Navajivan Publishing House, Ahmedabad; Merton, T (1964) *Gandhi on Non-Violence*, New Directions, New York.
- 17 There are many documented cases, eg, Churchill, W and Vander Wall, J (1988, 2002) *Agents of Repression: The FBI's secret wars against the black panther party and the American Indian movement*, South End Press, Boston; Ganser, D (2004) *NATO's Secret Armies: Operation Gladio and terrorism in Western Europe*, Routledge, New York.
- 18 Coover, V, Deacon, E, Esser, C et al. (1978) *Resource Manual for a Living Revolution*, 2<sup>nd</sup> ed, Movement for a New Society, Philadelphia.
- 19 Adam, D (2006) Royal Society tells Exxon: Stop funding climate change denial, *The Guardian*, 20 September, <<http://environment.guardian.co.uk/print/0,,329580967-121568,00.html>>.
۲۰. قبل از مبادرت به این اقدام، باید مشاوره حقوقی گرفت.
- 21 Fossil Free <<http://gofossilfree.org/about>>.
- 22 McKibben, B (2013) To my foreigner's eye, Address to National Press Club, Canberra, 6 June, <<http://350.org/en/about/blogs/my-foreigners-eye>>.
- 23 Alinsky (1971), pp 170–83.
۲۴. یک لیست جامع تر در انتهای این کتاب ارائه شده است.
۲۵. برای جزئیات بیشتر، پیوست کتاب را ببینید.



## فصل ۱۲

### نتیجه‌گیری

شما نمی‌توانید جهان را با اقدامات جزئی نجات دهید، تعداد بی‌شماری اقدامات جزئی وجود دارند که ما می‌توانیم و باید برای ساختن دنیایی بهتر آنها را انجام دهیم، اما این اقدامات جهان را نجات نخواهند داد. ما به یک گذار سریع نیاز داریم.

پیتر باکر<sup>۱</sup> [۱]

تمدن بشری با دو تهدید عظیم مواجه است: گرمایش جهانی، که عمدتاً به واسطه انتشار گاز-های گلخانه‌ای (GHGs) ناشی از سوزاندن سوخت‌های فسیلی به وجود آمده است، و جنگ هسته‌ای، که می‌تواند شهرها، صنایع و مردم را از طریق انفجار، آتش‌سوزی‌های بسیار وسیع و تشعشعات هسته‌ای نابود کرده و سپس با جلوگیری از تابش نور خورشید به دلیل وجود مقادیر عظیمی از دوده‌های غلیظ در جو زمین یک زمستان هسته‌ای را آغاز کند که موجب نابودی کشاورزی برای چندین سال خواهد شد. هر دو تهدید می‌توانند چندین میلیارد از جمعیت زمین را بکشند؛ گرمایش جهانی به صورت تدریجی و جنگ هسته‌ای به سرعت.

ما اینک فناوری‌ها و تمهیداتی را در اختیار داریم که می‌توانند بخش عمده‌ای از تهدید گرمایش جهانی را برطرف سازند. اغلب این فناوری‌ها اینک به صورت تجاری در دسترس هستند، هرچند که سطح تولید و گستره استفاده از آنها باید به سرعت به چندین برابر وضعیت موجود برسد. تمهیداتی که می‌توانند جهان را نجات دهند، بدون آن که خطر وقوع جنگ هسته‌ای را افزایش دهند، عبارتند از افزایش بهره‌وری انرژی (EE) (عرضه خدمات انرژی یکسان با استفاده از انرژی کمتر)، صرفه‌جویی در مصرف انرژی (کاستن از خدمات انرژی مورد استفاده ما) و استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر (RE). این تمهیدات با جامعه‌ای که از نظریوم‌شناختی پایدار و از نظر اجتماعی عادلانه است سازگاری دارند. هزینه این تمهیدات با توجه به گسترش بازار آنها به سرعت در حال کاهش

---

1 Peter Bakker

بوده است. سرمایه‌گذاری جهانی سالیانه در برق تجدیدپذیر، و از جمله در نیروگاه‌های برقی بزرگ، در سال ۲۰۱۲ بالغ بر ۲۶۰ میلیارد دلار بوده است. این مبلغ تقریباً معادل سرمایه‌گذاری برای احداث ظرفیت‌های جدید نیروگاه‌های مصرف‌کننده سوخت‌های فسیلی (۲۶۲ میلیارد دلار) است. در عین حال، سرمایه‌گذاری خالص در برق فسیلی، که شامل هزینه جایگزین کردن نیروگاه‌های از کار افتاده و قدیمی نمی‌شود، تنها معادل ۵۷ درصد ظرفیت برق تجدیدپذیر بود. [۲]

این فناوری‌ها و تمهیدات ایمن و همیشه پایدار، علاوه بر متوقف ساختن فرایند گرمایش جهانی، می‌توانند مزایا و منافع چشمگیر دیگری نیز به همراه داشته باشند. از جمله می‌توانند آلودگی هوا و آب و مخاطرات بهداشتی ناشی از آن را کاهش دهند، افت کیفیت خاک را کاهش دهند، از تنوع زیستی حفاظت کنند، امنیت درازمدت انرژی را پدید آورند و زمینه‌ساز استقلال بیشتر ملی و محلی در زمینه انرژی شوند.

چند کشور - به‌طور ویژه دانمارک، آلمان و اسکانلند - چندین ایالت و تعداد زیادی از شهرها اهدافی برای به‌کارگیری هشتاد تا صد درصدی انرژی‌های تجدیدپذیر برای خود تعیین کرده‌اند و در حال تلاش برای تحقق این اهداف هستند، اما اکثریت کشورها هنوز هم در حال انجام اقدامات جزئی و نمایشی در زمینه کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و گذار از سوخت‌های فسیلی به انرژی‌های پایدار هستند. علت این تأخیر چیست؟ علم در این زمینه صراحت دارد: اگر ما در تلاش برای محدود کردن گرمایش جهانی به دودرجه سانتی‌گراد (که سطح ایمنی هم نیست) جدی هستیم، بایستی اغلب ذخایر شناخته‌شده سوخت‌های فسیلی را در اعماق زمین باقی بگذاریم. کشتی تمدن بشری در طول یک رودخانه عظیم و خروشان و به سمت یک آبشار بلند در حرکت است و اگر ما مسیر آن را در حدود سال ۲۰۲۰ تغییر ندهیم، به اغلب احتمال این کشتی بر لبه پرت گاه قرار خواهد گرفت.

مشکل دارای دو جنبه است. اکثریت مسافران یا از شدت و اضطرابی بودن بحران آب و هوایی بی‌خبرند یا در وضعیت انکار آن به سر می‌برند و در نتیجه تمایلی ندارند که در میان سایر دلنگرانی‌هایشان اولویتی هم برای حل این بحران قائل شوند. ناخدا و کارکنان کشتی ما نیز تحت سلطه دارندگان ثروتمند منافع ویژه، یا همان مافیای گازهای گلخانه‌ای، قرار دارند. اعضای این مافیای نه تنها علوم اقلیمی را انکار می‌کنند، بلکه در حال پراکندن اطلاعات غلط در مورد انرژی‌های پایدار نیز هستند. این کتاب افسانه‌ها و اغراق‌گویی‌هایی که این مافیای منتشر می‌کند را رد کرده و مستندات را گردآوری می‌کند که ثابت می‌کنند:

- استفاده کارآمد از انرژی، همراه با صرفه‌جویی در مصرف انرژی، سریع‌ترین و ارزان‌ترین راه برای کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای در بخش انرژی است.
- پدیده موسوم به "اثر بازگشتی"، که در آن ادعا می‌شود که پول صرفه‌جویی شده در اثر کاهش مصرف انرژی مجدداً برای مصرف انرژی بیشتر خرج می‌شود، دلیلی بر بی‌اعتباری برنامه‌هایی که به درستی برای ترویج استفاده کارآمد از انرژی طراحی شده‌اند نمی‌شود. با داشتن سیاست‌های دولتی مناسب، ما می‌توانیم در مصرف انرژی صرفه‌جویی کنیم، پول صرفه‌جویی کنیم و از خرج کردن دوباره این پول برای مصرف انرژی بیشتر پرهیز کنیم.
- هرچند که منابع انرژی تجدیدپذیر پراکنده هستند، اما بیش از حد لازم فضا بر روی زمین، بر روی پشت‌بام‌ها و در خطوط ساحلی دریاها وجود دارد که بتوان همه نیازهای معقول انرژی بشر را برآورده ساخت.
- علاوه بر این، فناوری‌های تجدیدپذیر به اندازه کافی به صورت تجاری در دسترس هستند تا کسر بزرگی از این منابع عظیم انرژی تجدیدپذیر را تبدیل کرده و چرخ‌های یک جامعه صنعتی را به گردش درآوردند.
- اغلب فناوری‌های تجدیدپذیر، انرژی مورد نیاز برای ساخت مدل‌های مشابه خودشان را در یک دوره چندماهه یا چندساله تولید می‌کنند. این فناوری‌ها می‌توانند زاینده فناوری‌های تجدیدپذیر بیشتر باشند.
- برخی از فناوری‌های انرژی تجدیدپذیر نوسانی هستند، در حالی که برخی دیگر انعطاف‌پذیر و قابل اطمینان‌اند. ترکیب فناوری‌های تجدیدپذیر نوسانی با فناوری‌های تجدیدپذیر انعطاف‌پذیر-قابل اطمینان می‌تواند الکتریسیته پاک را با همان سطح قابلیت اطمینان سوخت‌های فسیلی تولید کند.
- نیازی به تغذیه بار تقاضاشده پایه توسط نیروگاه‌های بار پایه نیست. ترکیب فناوری‌های تجدیدپذیر انعطاف‌پذیر-قابل اطمینان با فناوری‌های تجدیدپذیر نوسانی به سادگی قادر به تأمین بار پایه است.
- تغذیه اوج تقاضای الکتریسیته با یک سامانه صددرصد تجدیدپذیر چالش برانگیزتر از تغذیه بار پایه است. درعین حال، به این چالش می‌توان به روش‌های زیر پاسخ گفت: استفاده از نیروگاه‌های تجدیدپذیر انعطاف‌پذیر مخصوص اوج بار؛ استفاده از روش‌های ذخیره‌سازی انرژی که به صورت تجاری در دسترس هستند از قبیل سدهای برقابی، ذخیره‌سازی حرارتی در نمک مذاب و در

مخازن ذخیره‌سازی گاز و مایع مورد استفاده برای تغذیه توربین‌های گازی؛ توزیع جغرافیایی ژنراتورهای بادی و خورشیدی؛ و کاهش تقاضا با مددگیری از ابزارهای "هوشمند".

- به تأخیر انداختن یک گذار سریع به سامانه برق صددردصد تجدیدپذیر، به امید آن که باتری‌های ارزان‌تر و سایر روش‌های ذخیره‌سازی در دسترس قرار گیرند، تنها اتلاف زمان گرانبهاست.
- هیچ مدرک علمی معتبری دال بر اینکه توربین‌های بادی می‌توانند موجب بیمارشدن انسان شوند وجود ندارد. برعکس، شواهد کافی وجود دارد که اثر موسوم به "سندروم توربین بادی" یک اثر *nocebo* است، بدین معنی که این اثر خیالی به صورت روانی توسط مخالفین توربین‌های بادی در ذهن مردم القاء می‌شود.
- در یک آینده پایدار انرژی، جایگاهی نیز برای سوخت‌های زیستی که طی فرایندهای سازگار با محیط زیست تولید می‌شوند موجود خواهد بود. در عین حال، برای تحقق این امر در یک مقیاس وسیع، هنوز هم نیاز به تحقیق و توسعه هست.
- انرژی هسته‌ای بیش از حد خطرناک، بیش از حد گران، بیش از حد کند، و در درازمدت، از نقطه نظر انتشار گازهای گلخانه‌ای بیش از حد آلاینده است که بتواند مشارکت قابل توجهی در کاهش تغییرات آب و هوایی داشته باشد.

خوشبختانه جبهه مخالف انرژی‌های پایدار، در مقایسه با جبهه انکارکنندگان علوم اقلیمی، از موفقیت کمتری در ارتباط با عامه مردم روبرو بوده است. توسعه سریع مولدهای بادی و فتوولتائیک و کاهش پیوسته قیمت این فناوری‌های پاک و پایدار موجب افزایش اعتماد جامعه به آن‌ها شده است. در عین حال، سیاست‌مداران و رهبران بنگاه‌های اقتصادی اغلب دارای دید کوتاه‌مدت هستند و به سادگی از دارندگان ثروتمند منافع ویژه، مانند صنایع سوخت‌های فسیلی و هسته‌ای، تأثیر می‌پذیرند [۳]. این تصمیم‌گیرندگان، زمانی که از طرف افکار عمومی تحت فشار قرار می‌گیرند تا کاری انجام دهند، ترجیح می‌دهند که اقداماتی جزئی صورت دهند تا وضعیت موجود برهم نخورد. اقتصاد نئوکلاسیک، با تأکیدی که بر انجام تغییرات کوچک و آن هم در آخرین زمان ممکن دارد، موجب تقویت این رفتار می‌شود. نتیجه آن است که این تصمیم‌گیرندگان وقتی که با دو گزینه: (۱) رفتن از زغال‌سنگ به سمت منابع ارزان گاز حاصل از شیل و معادن زغال‌سنگ و یا (۲) گذار سریع به یک سامانه انرژی پایدار مواجه می‌شوند، به احتمال زیاد گاز را برخواهند گزید. آنان چنین تصمیمی را اتخاذ می‌کنند در حالی که در باطن خود می‌دانند که گاز هم یک آلاینده گلخانه‌ای است و استفاده

گسترده از آن هم به‌طور اجتناب‌ناپذیری منجر به فاجعه آب و هوایی خواهد شد. بنابراین، امید اصلی برای تغییر، متوجه جنبش آب و هوایی برخاسته از متن جامعه است.

### راه‌برد پیشنهادی برای کارزار

در اینجا برخی ایده‌های اولیه در خصوص یک راه‌برد کارزار برای جنبش تغییرات آب و هوایی عرضه می‌شوند. من از نظرات شما، که می‌توانید از طریق صفحه اختصاصی این کتاب در فیس‌بوک بیان کنید، استقبال می‌کنم. همان‌گونه که در فصل قبل بیان شد، کارزار تغییرات آب و هوایی باید نسبت به ایجاد و اعمال قدرت سیاسی مردمی اقدام کند تا بتواند تصمیم‌گیرندگان در دولت و بنگاه‌های اقتصادی را به اتخاذ سیاست‌های مؤثر مجبور سازد. برای ایجاد قدرت، یک راه‌برد نظامی-گونه برای یک گذار غیرخشونت‌آمیز مورد نیاز است. دو هدف راه‌بردی کلیدی ضروری هستند.

هدف کلیدی اول، شناسایی چند موضوع که به‌طور گسترده‌ای موجب نگرانی عموم جامعه شده و مرتبط با تغییرات آب و هوایی و/یا اقتصاد مبتنی بر سوخت‌های فسیلی هستند و سپس طراحی فعالیت‌هایی که موجب می‌شود عامه مردم در بررسی این موضوعات درگیر شوند، است. هدف از این کار متحد کردن اعضای موجود جنبش تغییرات آب و هوایی، و هم‌زمان، افزودن اعضای جدید به جنبش و محول کردن وظایفی که می‌توانند مثمر‌تر باشند به آنان است. موضوعاتی که انتخاب می‌شوند از کشوری به کشور دیگر، و درپاره‌ای از اوقات از ایالتی به ایالت دیگر (در داخل یک کشور)، متفاوتند. بسته به موقعیت مکانی، این موضوعات نگران‌کننده می‌توانند شامل موارد زیر باشند: افزایش قیمت الکتریسیته؛ افزایش آلودگی هوا و کاهش کیفیت زمین توسط معادن زغال سنگ، گاز شیل یا متان مربوط به معادن زغال سنگ؛ افزایش تعداد خشک‌سالی‌ها، آتش‌سوزی‌های جنگلی، سیل‌ها و طوفان‌های شدید؛ ترافیک شدید در معابر شهری و فقدان سامانه حمل و نقل شهری کافی؛ موانع موجود بر سر راه انجام پروژه‌های محلی انرژی‌های تجدیدپذیر؛ و بیکاری. البته همین حالا هم کارزارهایی در ارتباط با اغلب این موضوعات در بسیاری از کشورها در جریان هستند، اما این کارزارها هنوز به اندازه کافی با یکدیگر پیوند نخورده‌اند تا به‌عنوان بخشی از یک راه‌برد ملی یا بین‌المللی برای مقابله با تغییرات آب و هوایی با استفاده از انرژی‌های پایدار به حساب آیند.

هدف کلیدی دوم، شناسایی نقاط فشاری که با استفاده از آنها می‌توان بر موانع اصلی موجود بر سر راه تغییر فائق آمد و اعمال فشار شدید بر این نقاط است. برخی از این موانع و نقاط فشار بالقوه عبارتند از: سرمایه‌گذاری در سوخت‌های فسیلی توسط صندوق‌های بازنشستگی، بانک‌ها و سایر مؤسسات مالی؛ طرح‌های پیشنهادی برای پروژه‌های جدید سوخت‌های فسیلی، از جمله نیروگاه‌های زغال‌سوز، معادن زغال‌سنگ، بزرگراه‌ها، متان حاصل از زغال‌سنگ، نفت شیل و نفت لایه‌های شنی؛ و رسانه‌ها و مطبوعاتی که از انکارکنندگان علوم اقلیمی و انکارکنندگان انرژی‌های تجدیدپذیر حمایت می‌کنند. یک نقطه فشار بالقوه دیگر، اعمال تحریم‌ها علیه کشورهای است که اصرار دارند میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای خود، که همین حالا هم زیاد است، را باز هم افزایش دهند و/یا فعالانه در جهت تضعیف فرایندهای بین‌المللی برای مقابله با تغییرات آب و هوایی تلاش می‌کنند. همه روش‌هایی که علیه رژیم آپارتاید در آفریقای جنوبی به کار گرفته شدند، مانند تحریم‌های تجاری، افشاگری در مورد فعالیت‌های صادراتی و وارداتی رژیم، تحریم‌های دیپلماتیک، ممنوعیت و تعلیق تیم‌های ورزشی، خارج کردن سرمایه‌ها، و حمایت مالی از گروه‌های مخالفی که از فعالیت‌های آب و هوایی حمایت می‌کنند، را می‌توان به کار گرفت.

گروه‌های مختلف اقدامات آب و هوایی (CAGs) راه‌کارهای مختلفی را، آنگونه که در فصل ۱۱ (بخش "راه‌کارها") بیان شد، اتخاذ می‌کنند. برخی از گروه‌های باتجربه‌تر ممکن است کنش‌های غیرخشونت‌آمیز برای متوقف ساختن طرح‌های پیشنهادی توسعه سوخت‌های فسیلی را در دستور کار قرار دهند. برخی از آنان کارزارهایی را برای خارج ساختن سرمایه‌ها از پروژه‌های سوخت‌های فسیلی ترتیب می‌دهند و برخی دیگر نیز پروژه‌های محلی انرژی‌های تجدیدپذیر را اجرا می‌کنند. اغلب گروه‌ها برنامه‌های آموزشی برای خودشان و برای طیف وسیع‌تر جامعه خواهند داشت. برخی از سازمان‌های بزرگ زیست‌محیطی غیردولتی (ENGOS) نیز از تعداد زیاد اعضا و ارتباطات رسانه‌ای خود برای وزن‌بخشیدن به فعالیت‌های لابی‌گرانه با دارندگان قدرت در دولت‌ها و بنگاه‌های بزرگ اقتصادی بهره می‌گیرند.

### چالش بزرگ‌تر هنوز در راه است

درحالی که پیشرفت‌های فناوری می‌توانند در کاهش سریع میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای مؤثر واقع شوند، و با این فرض که اراده سیاسی موردنیاز نیز موجود باشد، این کاهش ممکن است برای برگرداندن تغییرات بازگشت‌ناپذیر آب و هوایی و سایر بحران‌های درازمدت زیست‌محیطی کافی نباشد. ما باید علاوه بر این، سامانه اقتصادی را نیز اصلاح کنیم تا یک اقتصاد حالت دائمی که در آن هر کس به اندازه کافی برخوردار است ایجاد گردد. و ما باید به دلایل رشد جمعیت نیز پردازیم. هرچند که این چالش‌ها تا به حال به مقدار اندکی توسط افکار عمومی به رسمیت شناخته شده‌اند، اما اینک جنبش‌های کوچک، اما رو به رشدی، برای رسیدن به آن‌ها شکل گرفته‌اند. این موضوع در فصل ۸ مورد اشاره قرار گرفت.

انسان‌ها وقتی که در نهایت تشخیص دهند که یک تهدید جدی و یک فرصت جذاب وجود دارد، می‌توانند به طرز عجیبی خلاق و مبتکر باشند. بحران آب و هوایی هر دوی تهدید و فرصت را در بر دارد. قلباً این احساس را دارم که ما، در طول چند دهه، یک سامانه انرژی پایدار جهانی را پایه‌گذاری خواهیم کرد، فرایند اصلاح سامانه اقتصادی را آغاز خواهیم کرد و احتمالاً در نهایت جمعیت خود را نیز، بدون توسل به اجبار، تثبیت خواهیم نمود. در طول پنجاه سال گذشته، بسیاری از جنبش‌های اجتماعی - از قبیل جنبش‌های صلح طلب، فمینیستی، زیست‌محیطی، عدالت اجتماعی و حقوق مصرف‌کنندگان - پدید آمده‌اند و/یا قوی‌تر شده‌اند، دانش و مهارت‌های لازم برای به چالش کشیدن ساختارهای بی‌رحم قدرت و بی‌عدالتی‌های نهفته در بطن روابط اجتماعی را فرا گرفته‌اند و موجب تغییر در نوع نگاه‌ها و نحوه رفتارها شده‌اند. جنبش اقدامات آب و هوایی یک نیروی در حال رشد است. من به دلیل فرایند یادگیری‌ای که می‌تواند بین این جنبش و سایر جنبش‌های اجتماعی ایجاد شود، امید فراوانی به آینده دارم.

### منابع و یادداشت‌های فصل

- 1 Bakker, P (2013) University of Cambridge Annual Distinguished Lecture Series in Sustainable Development. Bakker is President, World Business Council for Sustainable Development.
- 2 Frankfurt School-UNEP Centre/BNEF (2013) *Global Trends in Renewable Energy Investment 2013*, Frankfurt School of Finance and Management, Frankfurt am Main <[www.fs-unep-centre.org](http://www.fs-unep-centre.org)>.

۳. در واقع، این دو صنعت تقریباً یکی هستند، چرا که برخی از بزرگ‌ترین شرکت‌های چندملیتی فعال در زمینه سوخت‌های فسیلی هم‌زمان در زمره بزرگ‌ترین دارندگان معادن اورانیوم هم هستند (به عنوان مثال: BHP Billiton و Rio Tinto).

## پیوست

### آنچه که شما می‌توانید انجام دهید

در این کتاب، تأکید اصلی بر تغییرات موردنیاز در سیاست‌های سه لایه دولت (ملی، ایالتی/استانی و شهری) و بنگاه‌های اقتصادی برای کاهش شدید در میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای است. مؤثرترین اقدامی که شما، به عنوان یک فرد، می‌توانید انجام دهید عبارت است از فعالیت از طریق گروه‌های محلی، تخصصی و سایر گروه‌ها به منظور ایجاد یک جنبش توده‌ای با هدف اعمال غیرخشونت‌آمیز فشار بر دولت‌ها و بنگاه‌های اقتصادی و تشویق آن‌ها به اتخاذ و اجرای سیاست‌ها و راه‌بردهای صحیح. در عین حال، شما نباید از امکان اقدام فردی نیز غافل شوید. از طریق اقدامات فردی هم می‌توانید میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای را کاهش دهید و تجربه آموزشی ارزشمندی را برای خودتان و برای خانواده، دوستان و همسایه‌گانتان اندوخته کنید.

بنابراین، این پیوست لیست‌هایی از اقداماتی که شما به عنوان یک فرد یا یک خانواده، می‌توانید انجام دهید تا میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای خودتان را کاهش دهید را عرضه می‌کند. اگر شما تجربیاتتان را با دیگران به مشارکت بگذارید در واقع در افزایش آگاهی و ایجاد ظرفیت بیشتر در کل جامعه سهم خواهید بود. از آنجایی که اغلب اقدامات پیشنهادی علاوه بر صرفه‌جویی در مصرف انرژی موجب صرفه‌جویی در هزینه‌ها هم می‌شوند، این واقعیت موجب خواهد شد که این اقدامات به طور کلی از نظر اجتماعی نیز قابل پذیرش باشند.

مجموعه اقدامات برای مناطق اقلیمی متفاوت، متفاوتند. این پیوست عمدتاً برای کسانی تهیه شده است که در نواحی استوایی زندگی نمی‌کنند.

### برای مستأجرین

- در سامانه‌های تحت فشار معمول از سردوشی‌هایی که آب را به صورت بهینه مصرف می‌کنند استفاده کنید (این سردوشی‌ها در سامانه‌هایی که با استفاده از جاذبه زمین کار می‌کنند چندان کارآمد نیستند). از طریق صرفه‌جویی در آب گرم، انرژی هم صرفه‌جویی می‌شود.
- بر روی تانک‌های آب گرم در داخل ساختمان‌ها عایق‌بندی نصب کنید. اگر امکان دارد، درجه حرارت ترموستات را بر روی ۶۷ درجه سانتی‌گراد، که برای کشتن باکتری‌ها کفایت می‌کند اما به اندازه درجه حرارت‌های بالاتر انرژی تلف نمی‌کند، تنظیم کنید.
- در زمستان، تنها اتاق‌هایی را گرم کنید که از آن‌ها استفاده می‌کنید. از انواع مناسب نوارهای عایق گرما و سرما که بر روی درها و پنجره‌ها نصب می‌شود استفاده کنید.
- در مناطقی که بخش اعظم برق با استفاده از زغال‌سنگ تولید می‌شود، بخاری‌های گازی معمولاً CO<sub>2</sub> بسیار کمتری در مقایسه با بخاری‌های مقاومتی برقی منتشر می‌کنند. در عین حال، بخاری‌های گازی موجب آلودگی هوا می‌شوند و باید در استفاده از آن‌ها با احتیاط عمل کرد. استفاده از این بخاری‌ها در بعضی از مناطق ممنوع است.
- در مناطقی که بخش اعظم برق با استفاده از زغال‌سنگ تولید می‌شود، ترجیح داده می‌شود که استفاده از بخاری‌های مقاومتی برقی به یک اتاق بسیار کوچک و برای مدت‌زمان اشغال کوتاه محدود شود. وقتی که از وسایل برقی در محیط‌های مرطوب استفاده می‌کنید، نکات ایمنی لازم را رعایت کنید.
- کولرهای آبی، به جز در مناطق مرطوب استوایی، ابزارهای کارآمدی هستند و انرژی بسیار کمتری در مقایسه با دستگاه‌های تهویه مطبوع مصرف می‌کنند.
- پنکه‌ها در همه جا ابزارهای کارآمدی برای خنک کردن مستقیم افراد هستند.
- از لامپ‌های کم‌مصرف (لامپ‌های فلورسنت فشرده<sup>۱</sup> یا CFL) می‌توان به جای لامپ‌های رشته‌ای در محل‌هایی که چندین ساعت در طول شبانه‌روز روشن هستند استفاده کرد. لامپ‌های LED هم توصیه می‌شوند، اما هنوز قیمت آن‌ها گران است.

1 Compact Fluorescent Lightbulb

- اجاق‌های مایکروویو (مایکروفرها) در مقایسه با اجاق‌های پخت و پز برقی از بهره‌وری انرژی بسیار بیشتری برخوردارند و در مقایسه با انواع روش‌های پخت و پز که موجب سوختن غذا و تولید مواد سرطان‌زا می‌شوند خطر کمتری دارند.
- اگر این امکان وجود دارد، نسبت به خرید برق سبز از یک خرده‌فروش برق اقدام کنید.
- در صورتی که این امکان وجود دارد، گازهای گلخانه‌ای منتشر شده به دلیل استفاده از اتومبیل خود را با خرید کوپن‌های انرژی تجدیدپذیر جبران کنید.
- به جای کامپیوتر رومیزی، یک کامپیوتر لپ‌تاپ بخرید. برای این که وضعیت استفاده از آن مناسب باشد، کامپیوتر لپ‌تاپ را روی یک میز قرار دهید و یک صفحه‌کلید مجزای قابل وصل به لپ‌تاپ تهیه کنید.
- در هنگام خرید تلویزیون، به جای مدل پلاسما، که برق بیشتری مصرف می‌کند، یک تلویزیون LED بخرید.
- برای شستشوی لباس‌ها از آب سرد و پاک‌کننده‌های مناسب استفاده کنید.
- در صورت امکان از یک لباس خشک‌کن خورشیدی استفاده کنید.
- وسایل خانگی برقی و گازی که دارای بالاترین رتبه‌بندی در بهره‌وری انرژی هستند را بخرید. هزینه اضافی اولیه‌ای که می‌پردازید معمولاً ظرف چندسال جبران می‌شود.
- لوله‌های نازک پشت یخچال را تمیز کنید و اطمینان حاصل کنید که هوای اطراف آن‌ها به خوبی تهویه می‌شود. نوارچسب اطراف در یخچال را بازرسی و در صورت نیاز آن را تعویض کنید.
- وسایل برقی را، زمانی که از آنها استفاده نمی‌شود، از پریز برق جدا کنید. انرژی مصرفی در شرایط آماده‌به‌کار (استندبای)، وقتی که برای تعداد زیادی وسیله برقی و در طول ۲۴ ساعت جمع شود، می‌تواند قابل توجه باشد.
- مقدار زیادی گرما از طریق پنجره‌ها عبور می‌کند. بر روی پنجره‌ها کرکره و/یا پرده نصب کنید. اگر صاحب‌خانه اجازه می‌دهد، پوشش میل پرده نیز نصب کنید.
- در خانه‌های نزدیک به سامانه حمل و نقل عمومی زندگی کنید.
- مسافت‌های کوتاه را پیاده بروید یا از دوچرخه استفاده کنید. در این صورت، علاوه بر این که گازهای گلخانه‌ای کمتری منتشر می‌کنید، سالم‌تر هم خواهید ماند.

- آیا مدرسه شما از روش قدیمی آمد و رفت پیاده دانش آموزان با صف<sup>۱</sup> استفاده می‌کند؟ اگر نمی‌کند، امکان راه‌اندازی آن را بررسی کنید.
- امکان استفاده مشترک از اتومبیل توسط چند همکار را در نظر بگیرید.

### برای مالکان خانه‌ها

مالکان خانه‌ها می‌توانند همه کارهایی که برای مستأجرین برشمرده شد را، به علاوه کارهای زیر، انجام دهند:

- بر روی سقف‌ها الیاف عایق‌کننده نصب کنید. اگر ترجیح می‌دهید از فایبرگلاس استفاده نکنید، نوع پشمی آنها هم با قیمت کمی بیشتر در بازار وجود دارد. بررسی کنید که آیا دیوارهای خانه شما نیز امکان نصب عایق‌بندی را دارد یا نه.
- از هواکش‌های چرخان برای تهویه اتاق‌های زیرشیروانی استفاده کنید.
- از نقطه نظر میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای، روش‌های زیر برای گرمایش فضاها داخلی، به ترتیب در اولویت هستند: روش‌های غیرفعال خورشیدی، روش‌های فعال خورشیدی (هنوز به صورت تجاری در سطح وسیعی در دسترس نیست)، پمپ‌های گرمایی پربازده (دستگاه‌های تهویه مطبوع دومنظوره).
- اگر پشت‌بام منزل شما بیشتر سال را در معرض تابش مستقیم خورشید است، آبگرم‌کن خورشیدی بر روی آن نصب کنید. استفاده از یک کنترل‌کننده، که به شما اجازه می‌دهد زمان‌های روشن و خاموش شدن تقویت‌کننده برقی را تنظیم کنید، ارجح است. برخی از دولت‌های محلی (شهرداری-ها) برای نصب آبگرم‌کن‌هایی که از خارج منزل قابل مشاهده هستند دریافت مجوز را الزامی کرده‌اند.
- اگر پشت‌بام منزل شما بیشتر سال را در معرض تابش مستقیم خورشید است، یک سامانه خورشیدی فتوولتاییک (PV) بر روی آن نصب کنید.
- اگر پشت‌بام منزل شما در سایه قرار دارد، یک سامانه آب‌گرم پمپ گرمایی بر روی آن نصب کنید و در صورت امکان از خرده‌فروش برق خود برق سبز بخرید.

- پنکه‌های سقفی، برق بسیار کمتری در مقایسه با دستگاه‌های تهویه مطبوع مصرف می‌کنند.
  - لامپ‌های فلورسنت در مقایسه با لامپ‌های رشته‌ای بازده بسیار بالاتری دارند. در محل‌هایی که به شدت روشنایی بالایی نیاز دارند، مانند کارگاه‌ها و آشپزخانه‌ها، لامپ‌های فلورسنت استوانه‌ای که توسط یک برق کار نصب شده‌اند نسبت به لامپ‌های کم‌مصرف برتری دارند.
  - با استفاده از اجاق گازی و مایکروفر آشپزی کنید. اگر گاز در دسترس نیست، یک اجاق آشپزی برقی با بهره‌وری بالا بر اجاق‌های برقی متداول برتری دارد.
  - اگر قصد ساختن یک خانه جدید یا تعمیر اساسی خانه خود را دارید از توصیه‌هایی که در سایت Your Home [۱] وجود دارد و از کتابی که توسط درک ریگلی<sup>۱</sup> [۲] نوشته شده است استفاده کنید. هدف اصلی باید حصول اطمینان از این باشد که: منزل یا بخش اضافه‌شده به آن به خوبی تهویه می‌شود، تا حد ممکن تابش نور خورشید در زمستان به داخل خانه آورده می‌شود، تا حد ممکن از تابش نور خورشید در تابستان جلوگیری می‌شود، و تا حد ممکن در تابستان از تهویه طبیعی استفاده می‌شود.
  - اگر قصد دارید یک منزل بخرید، سعی کنید تا حد ممکن به سامانه حمل و نقل عمومی، و/یا محل کارتان و مغازه‌ها و سایر خدمات موردنیاز نزدیک باشد.
- اگر برخی از این گزینه‌ها، به دلیل فقدان زیرساخت‌های لازم، برای شما غیرممکن هستند شما می‌توانید برای بهبود بخشیدن به اوضاع برای همه دست به اقدامات جمعی بزنید. این موضوع در فصل ۱۱ مورد بحث قرار گرفته است.
- وقتی برای گذراندن تعطیلات برنامه‌ریزی می‌کنید، رفتن به محلی که در داخل کشور خودتان واقع شده و با استفاده از قطار در دسترس است، یا حداقل در فاصله‌ای است که می‌توان به جای سفر هوایی از اتومبیل استفاده کرد، را در نظر بگیرید. اگر بتوانید تمام ظرفیت اتومبیل را با اعضای خانواده و/یا دوستانتان تکمیل کنید، میزان سرانه انتشار گازهای گلخانه‌ای نسبتاً پایین خواهد بود. همه این موارد معمولاً در زمان برنامه‌ریزی برای گذراندن تعطیلات با استفاده از یک دفترچه راهنمای تورهای مسافرتی هوایی نادیده گرفته می‌شوند.
- همه کالاهایی که خریداری می‌کنیم مقادیر متفاوتی از انرژی مصرف‌شده در درون خود نهفته دارند. این انرژی نهفته حاصل از مواد اولیه مصرفی، فرایندهای ساخت و تولید، حمل و نقل کالا و

---

1 Dreck Wrigley

مدیریت پسماندهای مربوطه است. برخی از دستورات عمل‌ها برای کاهش این انرژی مصرفی نهفته عبارتند از [۳]: در صورت امکان، خرید محصولات محلی، استفاده مجدد از لوازم منزل، کتاب‌ها و اسباب‌بازی‌ها، استفاده از محصولات غذایی ارگانیک، و سرمایه‌گذاری منطبق با ضوابط اخلاقی (زیست محیطی) [۴]. به هنگام خرید بنزین یا گازوئیل، بد نیست این موضوع را در نظر داشته باشید که شرکت Exxon-Mobil هزینه‌های فعالیت انکارکنندگان علوم اقلیمی را تأمین کرده و فعالانه برای توقف اقدامات دولتی و بین‌المللی در زمینه کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای تلاش می‌کند.

سایر اقداماتی که می‌توانید به صورت فردی انجام دهید به شرح زیرند:

- با مطبوعات - هم ملی و هم محلی، مجلات، خبرنامه‌ها، ژورنال‌های تخصصی و نشریات آنلاین - مکاتبه کنید. حمایت خود از اقدامات آب و هوایی سریع و مؤثر و با استفاده از انرژی‌های پایدار را بیان کنید. نظرات خود را در برنامه‌های گفتگوی رادیویی بیان کنید.
- به نمایندگان خود در مجالس قانونگذاری محلی و ملی نامه بنویسید (این روش، استفاده کم‌اثرتری از وقت یک فرد، در مقایسه با انتشار یک نامه سرگشاده، است).
- از مرکز حفاظت محیط زیست محل خود، که یک منبع اطلاعات باارزش است، حمایت کنید.
- از کتابخانه محله، مدرسه، دانشگاه یا مراکز آموزش فنی و حرفه‌ای بخواهید که کتاب‌ها و مجلات مناسب را سفارش دهند (رک "منابعی برای مطالعه بیشتر").
- به احزاب یا سیاست‌مدارانی رأی دهید که برنامه‌های جدی برای کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای دارند. اگر عضو یک حزب فراگیر ملی یا محلی هستید، سیاست‌های جدی‌تری برای حمایت از افزایش بهره‌وری انرژی و استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر و نیز توقف نیروگاه‌های زغال‌سوز سنتی را پیشنهاد کنید. به اقدامات کوچک نمایشی رضایت ندهید - مشکل خیلی بزرگ‌تر از این حرف‌هاست.
- به سازمانی بپیوندید که برای کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای تلاش می‌کند و بدین ترتیب فعالیت فردی خود را به یک فعالیت جمعی، که بسیار قدرت‌مندتر است، تبدیل کنید.

## منابع و یادداشت‌های فصل

- 1 *Your Home*: a suite of consumer and technical materials and tools developed to encourage the design, construction or renovation of homes to be more environmentally sustainable, <[www.yourhome.gov.au](http://www.yourhome.gov.au)>.

2 Wrigley, D (2005) *Making Your Home Sustainable*, Scribe, Melbourne.

3 See Green Home <[www.acfonline.org.au/greenhome](http://www.acfonline.org.au/greenhome)>.

۴. توجه کنید که مواردی از سرمایه‌گذاری به اصطلاح "اخلاقی"، استخراج اورانیوم و استفاده از برق هسته‌ای

و برخی نیز حتی استفاده از سوخت‌های فسیلی برای تولید برخی از کالاها را مجاز می‌شمارند. بنابراین، با

دقت کالاهای مورد خریداری خود را انتخاب کنید.



## منابعی برای مطالعه بیشتر

### علوم مرتبط با پدیده گلخانه‌ای

- Hansen, J, Sato, M, Kharecha, P, Beerling, D, Berner, R, Masson-Delmotte, V, Pagani, M, Raymo, M, Royer, DL and Zachos, JC (2008) Target atmospheric CO<sub>2</sub>: Where should humanity aim?, *Open Atmospheric Science Journal*, 2: 217–31.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (2013–14) *AR5: Fifth Assessment Report*, IPCC, Working Group reports: WGI: The Physical Science Basis; WGII: Impacts, Vulnerability and Adaptation; WGIII: Mitigation of Climate Change, <www.ipcc.ch>. McKibben, B (2012) Global warming's terrifying new math, *Rolling Stone*, 19 July <www.rollingstone.com/politics/news/global-warmings-terrifyingnew-math-20120719>; see also <http://math.350.org>.
- Potsdam Institute for Climate Impact Research and Climate Analytics (2012) *Turn Down the Heat: Why a 4°C warmer world should be avoided*, World Bank, Washington, DC.
- Real Climate <www.realclimate.org> – a website by climatologists.
- Schiermeier, Q (2010) The real holes in climate science, *Nature*, 21 January, 463: 284–87.
- Skeptical Science: Getting skeptical about global warming skepticism <www.skepticalscience.com>.

### مقابله با تغییرات آب و هوایی به‌طور کلی

- Climate Spectator <www.climatespectator.com.au> – website and bulletin, edited by Tristan Edis.
- Delina, L and Diesendorf, M (2013) Is wartime mobilisation a suitable policy model for rapid national climate mitigation?, *Energy Policy*, 58: 371–80.
- GEA (2012) *Global Energy Assessment – Toward a Sustainable Future*, Cambridge University Press, Cambridge, and the International Institute for Applied Systems Analysis, Laxenburg, Austria, <www.globalenergyassessment.org>. Hamilton, C (2013) *Earthmasters*, Yale University Press and Allen & Unwin, Sydney.
- RenewEconomy <http://reneweconomy.com.au> – website and bulletin, edited by Giles Parkinson.

### انرژی‌های تجدیدپذیر

- Boyle, G (ed) (2012) *Renewable Energy: Power for a sustainable future*, 3<sup>rd</sup> ed, Oxford University Press, Oxford.
- Delucchi, MA and Jacobson, MZ (2011) Providing all global energy with wind, water, and solar power, Part II: Reliability, system and transmission costs, and policies, *Energy Policy*, 39: 1170–90.

- Elliston, B, MacGill, I and Diesendorf, M (2013) Least cost 100% renewable electricity scenarios in the Australian National Electricity Market, *Energy Policy*, 59: 270–82.
- European Wind Energy Association <www.ewea.org>.
- Eurosolar <www.eurosolar.de>.
- International Network for Sustainable Energy (INFORSE) <www.inforse.org>.
- International Renewable Energy Agency (IRENA) <www.irena.org>. International Solar Energy Society (ISES) <www.ises.org>.
- Jacobson, MZ and Delucchi, MA (2011) Providing all global energy with wind, water, and solar power, part I: Technologies, energy resources, quantities and areas of infrastructure, and materials, *Energy Policy*, 39(3): 1154–69.
- Kemp, M (ed) (2010) *Zero Carbon Britain 2030: A new energy strategy*, Centre for Alternative Technology, <www.zerocarbonbritain.org>.
- National Renewable Energy Laboratory (NREL) (2012) *Renewable Electricity Futures Study*, Technical Report TP-6A20-52409, National Renewable Energy Laboratory, Golden, Colorado, <www.nrel.gov/analysis/re\_futures>.
- Renewable Policy Network for the 21<sup>st</sup> Century (REN21) (2013) *Renewables 2013 Global Status Report*, <www.ren21.net>. Sørensen, B (2010) *Renewable Energy: Its physics, engineering, environmental impacts, economics and planning*, 4<sup>th</sup> ed, Academic Press, San Diego – textbook suitable for scientists and engineers.

#### بهره‌وری انرژی

- Pears, A (2007) Imagining Australia's energy services futures, *Futures*, 39: 253–71.

#### حمل و نقل و شکل شهری

- Newman, P (2008) *Cities as Sustainable Ecosystems*, Island Press, Washington DC.
- Newman, P, Beatley, T and Boyer, H (2009) *Resilient Cities: Responding to peak oil and climate change*, Island Press, Washington DC.
- Newman, P and Kenworthy, J (1999) *Sustainability and Cities: Overcoming automobile dependence*, Island Press, Washington DC.
- Victoria Transport Policy Institute, British Columbia, Canada, <www.vtpi.org>.
- White, D, Sutton, P, Pears, A, Dick, J and Crow, M (1978) *Seeds for Change: Creatively confronting the energy crisis*, Conservation Council of Victoria and Patchwork Press, Melbourne.

#### انرژی هسته‌ای

- Institute for Science and International Security (ISIS) <http://isis-online.org>.
- Nuclear Weapons Archive <http://nuclearweaponarchive.org>.

- Schneider, M and Froggatt, A (2013) *World Nuclear Industry Status Report 2013*, Mycle Schneider Consulting, Paris, July, <www.worldnuclearreport.org>.
- Sovacool, BK (2011) *Contesting the Future of Nuclear Power*, World Scientific, New Jersey.

#### اقتصاد، بازارها و قیمت‌گذاری کربن

- Australian Broadcasting Corporation (ABC) Radio National, Rear Vision, (2011), Carbon Tax, 12 January, <www.abc.net.au/rn/rearvision/stories/2011/3085312.htm#transcript>.
- Center for the Advancement of the Steady State Economy <http://steadystate.org>.
- Dietz, R and O'Neill, D (2013) *Enough is Enough: Building a sustainable economy in a world of finite resources*, BK, San Francisco.
- European Commission, Climate Action, <http://ec.europa.eu/clima/policies/ets/index\_en.htm>.
- Jackson, T (2009) *Prosperity without Growth: Economics for a finite planet*, Earthscan, London.
- Spash, C (2010) The brave new world of carbon trading, *New Political Economy*, 15(2): 169–95.

#### موانع بر سر راه، افسانه‌های پیرامون و سیاست‌های مقابله با تغییرات آب و هوایی

- ABC (2006) *The Greenhouse Mafia*, Four Corners, Program transcript, 13 February, <www.abc.net.au/4corners/content/2006/s1568867.htm>.
- Beder, S (2000) *Global Spin: The Corporate Assault on Environmentalism*, Revised ed, Scribe, Melbourne.
- Keane, S (2011) The ugly landscape of the Guardians, *Independent Australia*, <www.independentaustralia.net/2011/environment/the-ugly-landscape-of-the-guardians>.
- Klein, N (2011) Capitalism versus the climate, *The Nation*, <www.thenation.com/article/164497/capitalism-vs-climate?page=0,0>.
- Oreskes, N and Conway, E (2010) *Merchants of Doubt: How a handful of scientists obscured the truth on issues from tobacco smoke to global warming*, Bloomsbury, London.
- Pearse, G (2007) *High and Dry*, Viking, Melbourne. See also <www.guypearse.com>.
- Washington, H and Cook, J (2011) *Climate Change Denial: Heads in the sand*, Routledge-Earthscan, London.

#### اقدامات آب و هوایی جمعی

- 100% Renewable Energy <www.100-percent.org>.

- 350.org <<http://350.org>>.
- Australian Youth Climate Coalition <<http://aycc.org.au>>.
- Bill McKibben <[www.billmckibben.com](http://www.billmckibben.com)>.
- Climate Action Network <[www.climateactionnetwork.org](http://www.climateactionnetwork.org)>.
- Climate Action Network Australia <<http://cana.net.au>>.
- Ekins, P (1992) *A New World Order: Grassroots movements for global change*, Routledge, London.
- Right Livelihood Awards <[www.rightlivelihood.org](http://www.rightlivelihood.org)>.

#### راه‌بردهایی برای جنبش‌های تغییرات اجتماعی

- Alinsky, S (1971) *Rules for Radicals: A practical primer for realistic radicals*, Random House, New York.
- Bobo, K, Kendall, J and Max, S (2001) *Organising for Social Change: Midwest Academy Manual for Activists*, 4<sup>th</sup> ed, The Forum Press, Santa Ana CA.
- Coover, V, Deacon, E, Esser, C and Moore, C (1978) *Resource Manual for a Living Revolution*, 2<sup>nd</sup> ed, New Society Press, Philadelphia PA.
- Diesendorf, M (2009) *Climate Action: A campaign manual for greenhouse solutions*, UNSW Press, Sydney.
- Gandhi, MK (1927 & 1929) *An Autobiography or The Story of my Experiments with Truth*, Navajivan Publishing House, Ahmedabad.
- Lakey, G (1973) *Strategy for a Living Revolution*, WH Freeman, Boston.
- Moyer, B, McAllister, J, Finley, ML and Soifer, S (2001) *Doing Democracy: The MAP model for organising social movements*, New Society Publishers, Gabriola BC, Canada.
- Rose, C (2005) *How to Win Campaigns: 100 steps to success*, Earthscan, London.
- Sharp, G (1973) *The Politics of Nonviolent Action*, Porter Sargent Publisher, Boston MA.

## واژه‌نامه فارسی به انگلیسی

NREL: National Renewable Energy Laboratory	آزمایشگاه ملی انرژی تجدیدپذیر
IEA: International Energy Agency	آژانس بین‌المللی انرژی
IRENA: International Renewable Energy Agency	آژانس بین‌المللی انرژی تجدیدپذیر
Bottom-up Analysis	آنالیز پایین به بالا
Input-Output Analysis	آنالیز ورودی-خروجی
Global Climate Coalition	ائتلاف اقلیمی جهانی
Smart Device	ابزار هوشمند
Rebound Effect	اثر بازگشت به نقطه اول
LOLP: Loss-Of-Load Probability	احتمال از دست دادن بار
BAU: Business As Usual	ادامه روند موجود
GEA: Global Energy Assessment	ارزیابی جهانی انرژی
LOL: Loss-Of-Load	از دست دادن بار
SRP: Standard Renewable Portfolio	استاندارد سبد تجدیدپذیر
Longwall Coal Mining	استخراج از دیواره‌های بزرگ زغال سنگ
Ecological Economics	اقتصاد بوم‌شناختی
Steady-state Economy	اقتصاد حالت دائمی
Failed Growth Economy	اقتصاد رشد محور شکست خورده
Oil Mallee	اکالپتوس روغنی
Gaseous Diffusion	انتشار گازی
EWEA: European Wind Energy Association	انجمن انرژی بادی اروپا
International Solar Energy Society	انجمن بین‌المللی انرژی خورشیدی
Net Metering	اندازه‌گیری خالص
Somatic Energy	انرژی بدنی

RE: Renewable Energy	انرژی تجدیدپذیر
Bioenergy	انرژی زیستی
Embodied Energy	انرژی نهفته
Life-cycle Energy	انرژی ورودی در طول عمر فعالیت
Climate Bond	اوراق مشارکت اقلیمی
Green Bond	اوراق مشارکت سبز
Millennium Development Goals	اهداف توسعه هزاره
Flow Battery	باتری جریان
Positive Feedback	بازخورد مثبت
Cycle Efficiency	بازده چرخه
Thermal Efficiency	بازده حرارتی
Pyroprocessing	بازفراوری حرارتی
EROI: Energy Return On Investment	بازگشت انرژی از سرمایه‌گذاری
CFG: Global Financial Crisis	بحران مالی جهانی
Clean Energy Future Plan	برنامه آینده انرژی پاک
Non-Fossil Fuel Obligation	برنامه الزام سوخت غیرفسیلی
ETS: Emissions Trading Scheme	برنامه مبادله انتشار
CCS: Carbon Capture and Storage	به‌دام‌اندازی و ذخیره‌سازی کربن
IDC: Interest During Construction	بهره در طول مدت ساخت
EE: Energy Efficiency	بهره‌وری انرژی
Biorefinery	پالایشگاه زیستی
Economic Potential	پتانسیل اقتصادی
Market Potential	پتانسیل بازار

Technical Potential	پتانسیل فنی
Biomass Residue	پسماند زیست‌توده
Geothermal Heat Pump	پمپ حرارتی زمین گرمایی
Ground Source Heat Pump	پمپ حرارتی زمین مبنا
NPT: Non-Proliferation Treaty	پیمان منع گسترش سلاح‌های هسته‌ای
OTEC: Ocean Thermal Energy Conversion	تبدیل انرژی گرمایی اقیانوسی
R&D: Research and Development	تحقیق و توسعه
Merit Order	ترتیب شایستگی
Regenerative Braking	ترمز بازیاب انرژی
GHI: Global Horizontal Incidence	تشعشع برخوردکننده افقی کلی
DNI: Direct Normal Incidence	تشعشع برخوردکننده مستقیم عمودی
Ramping	تغییردادن سریع میزان تولید
Climate Change	تغییرات آب و هوایی
Standing Losses	تلفات ماندگاری
Hot Rock Geothermal Power	توان زمین گرمایی سنگ داغ
Enhanced Geothermal Power	توان زمین گرمایی غنی شده
Engineered Geothermal Power	توان زمین گرمایی مهندسی شده
Geothermal Power and Heat	توان و گرمای زمین گرمایی
GDP: Gross Domestic Product	تولید ناخالص داخلی
GRP: Gross Regional Product	تولید ناخالص منطقه‌ای
CHP: Combined Heat and Power	تولید هم‌زمان گرما و توان
Divestment	خارج کردن سرمایه
Plug-in Hybrid Vehicle	خودروی ترکیبی پلاگ‌این

Concentrated Solar Photovoltaic	خورشیدی فتوولتاییک متمرکز
CST: Concentrated Solar Thermal	خورشیدی گرمایی متمرکز
Valley of Death	دره مرگ
Fast Breeder Reactor	رآکتور سریع زاینده
Integral Fast Reactor	رآکتور سریع مجتمع
Induced Traffic Growth	رشد القاشده ترافیک
Incident	رویداد
Geothermal	زمین گرمایی
Biomass	زیست توده
Biosphere	زیست کره
ENGO	سازمان غیردولتی طرفدار حفاظت محیط زیست
OPEC: Organization of the Petroleum Exporting Countries	سازمان کشورهای صادرکننده نفت (اوپک)
OECD: Organization for Economic Cooperation and Development	سازمان همکاری اقتصادی و توسعه
Integrated Building Energy Systems	سامانه‌های مجتمع انرژی ساختمانی
Post-combustion CCS	سامانه CCS بعد از احتراق
Accident	سازحه
Scenario Study	سناریو پژوهی
Greenpeace's Energy [R]evolution Scenario	سناریوی انقلاب/تکامل انرژی مؤسسه صلح سبز
Efficient World Scenario	سناریوی جهان کارآمد (IEA)
New Policies Scenario	سناریوی سیاست‌های جدید
Blue Map Scenario	سناریوی نقشه راه آبی (IEA)
Wind Turbine Syndrome	سندروم توربین بادی
Energy Productivity	سودمندی انرژی

HVDC: High Voltage Direct Current	سیستم انتقال فشارقوی جریان مستقیم
Energy Intensity	شدت انرژی
ESCO: Energy Service Company	شرکت خدمات انرژی
Hunter-Gatherer	شکارچی-گردآورنده
Fissile	شکافت‌پذیر
Urban Form	شکل شهری
EREC: European Renewable Energy Council	شورای انرژی‌های تجدیدپذیر اروپا
GWEC: Global Wind Energy Council	شورای جهانی انرژی بادی
Energy Conservation	صرفه‌جویی در انرژی
Capital Recovery Factor	ضریب بازگشت سرمایه
Capacity Factor	ضریب ظرفیت
Cap-and-Trade Scheme	طرح محدودکردن و مبادله گاز
Climate Science	علوم اقلیمی
Transuranics	عناصر سنگین‌تر از اورانیوم
Non-dispatchable	غیر قابل مدیریت - غیر قابل فراخوانی
PV: Photovoltaic	فتوولتائیک
Command and Control	فرماندهی و کنترل
Degression	فرودروی - پایین‌روی
Dispatchable	قابل مدیریت - قابل فراخوانی
The Law of Conservation of Energy	قانون پایستگی (بقای) انرژی
The Law of Conservation of Mass-Energy	قانون پایستگی (بقای) جرم-انرژی
Wood Pellet	قرص چوب
Transfer Nodes	کانون‌های حمل و نقل

Peak Demand Reduction	کاهش اوج تقاضا
WCED: World Commission on Environment and Development	کمیسیون جهانی محیط زیست و توسعه
UNFCCC: United Nation Framework Convention on Climate Change	کنوانسیون چهارچوبی تغییرات آب و هوایی سازمان ملل متحد
Synthesis Gas	گاز سنتز
Shale Gas	گاز شیل
LNG: Liquefied Natural Gas	گاز طبیعی مایع
LPG: Liquefied Petroleum Gas	گاز مایع
Coal Seam Methane	گاز متان استخراج شده از معادن زغال سنگ
Greenhouse Gasses	گازهای گلخانه‌ای
Great Transition	گذار بزرگ
Death Spiral	گرداب مرگ
Global Warming	گرمایش جهانی
Passive Solar Housing	گرمایش غیرفعال خانگی
HVAC: Heating, Ventilation and Air Conditioning	گرمایش، تهویه و تهویه مطبوع
CAG: Climate Action Group	گروه فعال آب و هوایی
REC: Renewable Obligation Certificate	گواهی الزام تجدیدپذیر
TGC: Tradable Green Certificate	گواهی قابل مبادله سبز
CFL: Compact Fluorescent Lighbulb	لامپ فلورسنت فشرده
Greenhouse Mafia	مافیای گازهای گلخانه‌ای
Pigovian Tax	مالیات پیگویی
Tobin Tax	مالیات توین
GST: Goods and Services Tax	مالیات کالاها و خدمات
Regressive Tax	مالیات کاهشی

Backcasting Model	مدل پس‌نگر
Forecasting Model	مدل پیش‌نگر
On-shore Wind Farm	مزرعه بادی زمینی
Off-shore Wind farm	مزرعه بادی فراساحلی
International Nuclear Event Scale	مقیاس بین‌المللی رویدادهای هسته‌ای
Mckinsey Cost Curves	منحنی‌های هزینه مک‌کینزی
Greenpeace International	موسسه بین‌المللی صلح سبز
Photochemical Smog	مه‌دود فتوشیمیایی
CBD: Central Business District	ناحیه تجاری مرکزی
Feed-in-tariff	نرخ (تعرفه) حمایتی/تضمینی
Overnight Cost	نرخ امروز
LCOE: Levelised Cost of Energy	نرخ مسطح‌شده انرژی
NIMBY: Not In My Back Yard	نه در حیاط خلوت من
Peak-load Power Station	نیروگاه اوج بار
Base-load Power Station	نیروگاه بار پایه
Intermediate-load Power Station	نیروگاه بار میانی
Cogeneration Plant	نیروگاه تولید هم‌زمان
O&M: Operation and Maintenance	هزینه بهره‌برداری و نگهداری
Transaction Cost	هزینه تراکنش
Opportunity Cost	هزینه فرصت
IPCC: Intergovernmental Panel on Climate Change	هیأت بین‌دولتی برای تغییرات آب و هوایی



## واژه‌نامه انگلیسی به فارسی

Accident	سانحه
Backcasting Model	مدل پس‌نگر
Base-load Power Station	نیروگاه بار پایه
BAU: Business As Usual	ادامه روند موجود
Bioenergy	انرژی زیستی
Biomass	زیست توده
Biomass Residue	پسماند زیست توده
Biorefinery	پالایشگاه زیستی
Biosphere	زیست کره
Blue Map Scenario	سناریوی نقشه راه آبی (IEA)
Bottom-up Analysis	آنالیز پایین به بالا
CAG: Climate Action Group	گروه فعال آب و هوایی
Capacity Factor	ضریب ظرفیت
Cap-and-Trade Scheme	طرح محدود کردن و مبادله گاز
Capital Recovery Factor	ضریب بازگشت سرمایه
CBD: Central Business District	ناحیه تجاری مرکزی
CCS: Carbon Capture and Storage	به‌دام اندازی و ذخیره‌سازی کربن
CFG: Global Financial Crisis	بحران مالی جهانی
CFL: Compact Fluorescent Ligthbulb	لامپ فلورسنت فشرده
CHP: Combined Heat and Power	تولید هم‌زمان گرما و توان
Clean Energy Future Plan	برنامه آینده انرژی پاک
Climate Bond	اوراق مشارکت اقلیمی
Climate Change	تغییرات آب و هوایی

Climate Science	علوم اقلیمی
Coal Seam Methane	گاز متان استخراج شده از معادن زغال سنگ
Cogeneration Plant	نیروگاه تولید هم‌زمان
Command and Control	فرماندهی و کنترل
Concentrated Solar Photovoltaic	خورشیدی فتوولتائیک متمرکز
CST: Concentrated Solar Thermal	خورشیدی گرمایی متمرکز
Cycle Efficiency	بازده چرخه
Death Spiral	گرداب مرگ
Degression	فروروی - پایین‌روی
Dispatchable	قابل مدیریت - قابل فراخوانی
Divestment	خارج کردن سرمایه
DNI: Direct Normal Incidence	تشعشع برخوردکننده مستقیم عمودی
Ecological Economics	اقتصاد بوم‌شناختی
Economic Potential	پتانسیل اقتصادی
EE: Energy Efficiency	بهره‌وری انرژی
Efficient World Scenario	سناریوی جهان کارآمد (IEA)
Embodied Energy	انرژی نهفته
Energy Conservation	صرفه‌جویی در انرژی
Energy Intensity	شدت انرژی
Energy Productivity	سودمندی انرژی
Engineered Geothermal Power	توان زمین‌گرمایی مهندسی شده
ENGO	سازمان غیردولتی طرفدار حفاظت محیط زیست
Enhanced Geothermal Power	توان زمین‌گرمایی غنی شده

EREC: European Renewable Energy Council	شورای انرژی‌های تجدیدپذیر اروپا
EROI: Energy Return On Investment	بازگشت انرژی از سرمایه‌گذاری
ESCO: Energy Service Company	شرکت خدمات انرژی
ETS: Emissions Trading Scheme	برنامه مبادله انتشار
EWEA: European Wind Energy Association	انجمن انرژی بادی اروپا
Failed Growth Economy	اقتصاد رشدمحور شکست‌خورده
Fast Breeder Reactor	رآکتور سریع زاینده
Feed-in-tariff	نرخ (تعرفه) حمایتی/تضمینی
Fissile	شکافت‌پذیر
Flow Battery	باتری جریان
Forecasting Model	مدل پیش‌نگر
Gaseous Diffusion	انتشار گازی
GDP: Gross Domestic Product	تولید ناخالص داخلی
GEA: Global Energy Assessment	ارزیابی جهانی انرژی
Geothermal	زمین‌گرمایی
Geothermal Heat Pump	پمپ حرارتی زمین‌گرمایی
Geothermal Power and Heat	توان و گرمای زمین‌گرمایی
GHI: Global Horizontal Incidence	تشعشع برخوردکننده افقی کلی
Global Climate Coalition	ائتلاف اقلیمی جهانی
Global Warming	گرمایش جهانی
Great Transition	گذار بزرگ
Green Bond	اوراق مشارکت سبز
Greenhouse Gasses	گازهای گلخانه‌ای

Greenhouse Mafia	مافیای گازهای گلخانه‌ای
Greenpeace International	موسسه بین‌المللی صلح سبز
Greenpeace's Energy [R]evolution Scenario	سناریوی انقلاب/تکامل انرژی مؤسسه صلح سبز
Ground Source Heat Pump	پمپ حرارتی زمین‌مبنا
GRP: Gross Regional Product	تولید ناخالص منطقه‌ای
GST: Goods and Services Tax	مالیات کالاها و خدمات
GWEC: Global Wind Energy Council	شورای جهانی انرژی بادی
Hot Rock Geothermal Power	توان زمین‌گرمایی سنگ داغ
Hunter-Gatherer	شکارچی-گردآورنده
HVAC: Heating, Ventilation and Air Conditioning	گرمایش، تهویه و تهویه مطبوع
HVDC: High Voltage Direct Current	سیستم انتقال فشارقوی جریان مستقیم
IDC: Interest During Construction	بهره در طول مدت ساخت
IEA: International Energy Agency	آژانس بین‌المللی انرژی
Incident	رویداد
Induced Traffic Growth	رشد القا شده ترافیک
Input-Output Analysis	آنالیز ورودی-خروجی
Integral Fast Reactor	راکتور سریع مجتمع
Integrated Building Energy Systems	سامانه‌های مجتمع انرژی ساختمانی
Intermediate-load Power Station	نیروگاه بار میانی
International Nuclear Event Scale	مقیاس بین‌المللی رویدادهای هسته‌ای
International Solar Energy Society	انجمن بین‌المللی انرژی خورشیدی
IPCC: Intergovernmental Panel on Climate Change	هیأت بین‌دولتی برای تغییرات آب و هوایی
IRENA: International Renewable Energy Agency	آژانس بین‌المللی انرژی تجدیدپذیر

LCOE: Levelised Cost of Energy	نرخ مسطح‌شده انرژی
Life-cycle Energy	انرژی ورودی در طول عمر فعالیت
LNG: Liquefied Natural Gas	گاز طبیعی مایع
LOL: Loss-Of-Load	از دست دادن بار
LOLP: Loss-Of-Load Probability	احتمال از دست دادن بار
Longwall Coal Mining	استخراج از دیواره‌های بزرگ زغال سنگ
LPG: Liquefied Petroleum Gas	گاز مایع
Market Potential	پتانسیل بازار
Mckinsey Cost Curves	منحنی‌های هزینه مک کینزی
Merit Order	ترتیب شایستگی
Millennium Development Goals	اهداف توسعه هزاره
Net Metering	اندازه‌گیری خالص
New Policies Scenario	سناریوی سیاست‌های جدید
NIMBY: Not In My Back Yard	نه در حیاط خلوت من
Non-dispatchable	غیر قابل مدیریت - غیر قابل فراخوانی
Non-Fossil Fuel Obligation	برنامه الزام سوخت غیر فسیلی
NREL: National Renewable Energy Laboratory	آزمایشگاه ملی انرژی تجدیدپذیر
NPT: Non-Proliferation Treaty	پیمان منع گسترش سلاح‌های هسته‌ای
O&M: Operation and Maintenance	هزینه بهره‌برداری و نگهداری
OECD: Organization for Economic Cooperation and Development	سازمان همکاری اقتصادی و توسعه
Off-shore Wind farm	مزرعه بادی فراساحلی
Oil Mallee	اکالیپتوس روغنی
On-shore Wind Farm	مزرعه بادی زمینی

OPEC: Organization of the Petroleum Exporting Countries	سازمان کشورهای صادرکننده نفت (اوپک)
Opportunity Cost	هزینه فرصت
OTEC: Ocean Thermal Energy Conversion	تبدیل انرژی گرمایی اقیانوسی
Overnight Cost	نرخ امروز
Passive Solar Housing	گرمایش غیرفعال خانگی
Peak Demand Reduction	کاهش اوج تقاضا
Peak-load Power Station	نیروگاه اوج بار
Photochemical Smog	مه‌دود فتوشیمیایی
Pigovian Tax	مالیات پیگویی
Plug-in Hybrid Vehicle	خودروی ترکیبی پلاگ‌این
Positive Feedback	بازخورد مثبت
Post-combustion CCS	سامانه CCS بعد از احتراق
PV: Photovoltaic	فتوولتاییک
Pyroprocessing	بازفرآوری حرارتی
R&D: Research and Development	تحقیق و توسعه
Ramping	تغییردادن سریع میزان تولید
RE: Renewable Energy	انرژی تجدیدپذیر
Rebound Effect	اثر بازگشت به نقطه اول
REC: Renewable Obligation Certificate	گواهی الزام تجدیدپذیر
Regenerative Braking	ترمز بازیاب انرژی
Regressive Tax	مالیات کاهشی
Scenario Study	سناریو پژوهی
Shale Gas	گاز شیل

Smart Device	ابزار هوشمند
Somatic Energy	انرژی بدنی
SRP: Standard Renewable Portfolio	استاندارد سبد تجدیدپذیر
Standing Losses	تلفات ماندگاری
Steady-state Economy	اقتصاد حالت دائمی
Synthesis Gas	گاز سنتز
Technical Potential	پتانسیل فنی
TGC: Tradable Green Certificate	گواهی قابل مبادله سبز
The Law of Conservation of Energy	قانون پایستگی (بقای) انرژی
The Law of Conservation of Mass-Energy	قانون پایستگی (بقای) جرم-انرژی
Thermal Efficiency	بازده حرارتی
Tobin Tax	مالیات توین
Transaction Cost	هزینه تراکنش
Transfer Nodes	کانون‌های حمل و نقل
Transuranics	عناصر سنگین تر از اورانیوم
UNFCCC: United Nation Framework Convention on Climate Change	کنوانسیون چهارچوبی تغییرات آب و هوایی سازمان ملل متحد
Urban Form	شکل شهری
Valley of Death	دره مرگ
WCED: World Commission on Environment and Development	کمیسیون جهانی محیط زیست و توسعه
Wind Turbine Syndrome	سندروم توربین بادی
Wood Pellet	قرص چوب



## جداول توان‌های ۱۰ و یکاها

### توان‌های ۱۰

پیشوند	نشانه	ارزش	مثال
کیلو	k	$۱۰^۳$	کیلووات kW
مگا	M	$۱۰^۶$	مگاوات MW
گیگا	G	$۱۰^۹$	گیگاژول GJ
ترا	T	$۱۰^{۱۲}$	تراوات ساعت TWh
پتا	P	$۱۰^{۱۵}$	پتاژول PJ

### یکاهای SI

یکای پایه	نام	نشانه
طول	متر	m
جرم	کیلوگرم	kg
زمان	ثانیه	s
دما	درجه کلوین	$^{\circ}\text{K}$

یکای به دست آمده	نام	نشانه
انرژی	ژول	J
توان	وات	W
اختلاف پتانسیل	ولت	V
دما	درجه سلسیوس	$^{\circ}\text{C}$
زمان	ساعت	h

# **Sustainable Energy Solutions For Climate Change**

Written by:

**Mark Diesendorf, Ph.D.**

Assoc. Professor at The Institute of Environmental Studies  
University of New South Walse, Sydney, Australia

Translated by:

**Mohammad R. Aghaebrahimi, Ph.D., SMIEEE**

Assoc. Professor at The Faculty of Electrical and Computer Engineering  
University of Birjand, Birjand, Iran

**Farideh Farhadi, M.A.**

Lecturer/Instructor at The Faculty of Arts and Humanities  
University of Birjand, Birjand, Iran

2015

# Sustainable Energy Solutions For Climate Change

Written by:

**Mark Diesendorf, Ph.D.**

Assoc. Professor at The Institute of Environmental Studies  
University of New South Walse, Sydney, Australia

Translated by:

**Mohammad R. Aghaebrahimi, Ph.D., SMIEEE**

Assoc. Professor at The Faculty of Electrical  
and Computer Engineering, University of Birjand, Birjand, Iran

**Farideh Farhadi, M.A.**

Lecturer/Instructor at The Faculty of Arts  
and Humanities, University of Birjand, Birjand, Iran



ناشر برگزیده کشور در سال ۹۲



آدرس فروش اینترنتی

[www.jdbook.ir](http://www.jdbook.ir)