الفصل الرابع

التحوّل إلى استخدام
مصادر الطاقة المتجدِّدة

تأليف: سينيثيا بولوك شيا

ترجمة د. عيسى شاهين

عندما جُوبه الإغريق بنقصٍ حاد في موارد الحَطَب بسبب الإفراط في قطع الأشجار، بدأوا في تصميم بيوتهم ومدنهم بحيث يستطيعون الاستفادة من الطاقة الشمسيَّة في تدفئة المباني شتاءً وتبريدها صيفاً. ولقد تعلَّم العديد من الحضارات على مدى العصور كيفية الاستفادة من العمليات المتعدِّدة التي تُسبِّبها الشمس للحصول على طاقة مفيدة. فالتسخين المتفاوت لسطح الأرض يُسبِّب الريح؛ ورياح الأمس هي أمواج اليوم؛ كما أن الطاقة الشمسية الفصليَّة تُختزن في النبات الذي يمكن حَرْقُ مخلَّفاته كوقود.

بالرغم من هذه المعرفة، وبعد خمسة عشر عاماً تقريباً من الفوضى والدَّمار الذي لحق باقتصاديات العالم بسبب الحذر الذي فرضه العرب على تصدير البترول لأول مرَّة، فإن الجهود المبذولة للاستفادة من المصادر الهائلة للطاقة المتجددة على كوكبنا لم تحقق سوى نجاح محدود. هذا بالإضافة إلى التراجع الذي أصاب العديد من برامج الطاقة المتجددة بسبب انهيار أسعار البترول عام ١٩٨٦. وإذا كانَ لمصادر الطاقة المتجدِّدة أن توفِّر بديلاً في الوقت المناسب لمصادر البترول المتضائلة ولاحتراق الفحم المخرِّب للبيئة، فلا بد من تقوية الدعم التخطيطي والمادي ـ الآن.

وتوفر المصادر المتجددة حالياً حوالي ٢١ بالمئة من الطاقة المستهلكة عالميًّا، منها

١٥ بالمئة نواتج عضوية، و٦ بالمئة مصادر مائية. وتوزيع نِسَب هذا الاستخدام غير متجانس، فهناك البعض من أفقر البلدان الناميَة يستمد أكثر من ٧٥ بالمئة من احتياجاته الطاقيَّة من النواتج العضوية؛ بينما يحصل بعضها الآخر الغني بمصادره المائية على معظم احتياجاته من الكهرباء من المشاريع المائية. هذا وإن البرازيل، واسرائيل واليابان والفلبين والسويد قد قطعت شوطاً كبيراً نحو الاعتماد بشكل رئيس على مصادر الطاقة المتجددة. أما في البلدان الأخرى، فإن المجهودات المبذولة في مجال مصادر الطاقة المتجددة تتراوح بين المدِّ والجزر حسب الأحوال السياسيَّة!.

ويعد مصدر الطاقة متجدداً إذا كان استخدامه المستمر، مع وجود إدارة ملائمة، لايؤدي إلى استنفادٍ دائم لذلك المصدر. فالريح، والإشعاع الشمسي، والمياه المتدفقة، والنباتات، والأحراج هي أمثلة على مصادر الطاقة الدَّائمة. ولسوء الحظ، فإن التقارير ملأى بالمشاريع الفاشلة التي بنيت على توقعات تتعدَّى القدرة المتجدِّدة للأنظمة الطبيعية. وعلى ذلك فإن التقدير المُسبَقَ يُعد عنصراً ضرورياً لأي مصدر متجدِّد للطاقة.

وتتفاوت الاستخدامات الحالية لهذه المصادر من المولدات التربينية الصغيرة على الأنهار الجارية، إلى المَراجِلْ التي تُسخِّن بواسطة الفضلات الزراعية، إلى أنظمة التسخين الشمسية التي تُديرها الحاسبات الألكترونية وتربو درجة حرارتها على ٣٠٠٠ درجة سلسيوس. وبالنسبة للعديد من التطبيقات، خاصة في المناطق النائية والبلدان النامية ذات البنية التحتيَّة المحدودة، كلما كانت تقنية توليد الطاقة أبسط كان ذلك أفضل. والبساطة هنا ليست مرادفاً لانعدام الفعاليَّة، وهو ما كان يحدث في الماضي على الأغلب. فبعض أكثر التطورات إثارة ليست سوى إنجازات تقنيَّة تستند إلى أفكار جديدة لتوليد طاقة أكثر بنفقات أقل.

وبالرغم من الدَّعم السياسي والمادي المتأرجح، فقد حَقَّقت مصادر الطاقة المتجددة تقدُّماً ملحوظاً خلال العقد الماضي وأصبحت في موقعٍ يمكِّنها من لعب دور تكميلي في برامج فعالية الطَّاقة بعد أن بدأ العالم يتَّجه نحو استبدال البترول

بمصادر بديلة خلال التسعينات. (انظر الباب الثاني). لقد بلغ الاستثمار في تقنيات المصادر المتجددة حوالي ٣٠ بليون دولاراً سنوياً. ويُصرَف ثلثا هذا المبلغ على مشاريع التوليد المائي للكهرباء بتمويل من البنوك الرئيسة. وبعض هذه القطاعات ـ كالتوليد المائي للكهرباء، والطاقة الحراريَّة الجوفيَّة، وحَرْق الفضلات العضوية ـ آخذ بالنمو السريع. أما البعض الآخر مثل التربينات الهوائية وصناعات أجهزة الطاقة الشمسية الحرارية فيمرُّ حاليًّا في مرحلة صعبة من التغيير والتبديل ستؤدي إلى تصفية الشركات الهامشية العاملة في هذا المجال. وتبرز هنا الحاجة إلى إعادة تصويب السياسات الحكوميَّة من أجل تهيئة أقطار العالم لمرحلة النمو السريع المقبلة والتي ستترافق حتماً مع المرحلة التالية لارتفاع أسعار البترول المتأرجحة[٢].

التحكم في مصادر الطاقة المائية

ينحصر التطوير في الطاقة المائية حالياً، بالنسبة لحجم المشروع، إما في المشاريع الضخمة أو المشاريع الصغيرة. ففي عام ١٩٨٦، أنجزت فنزويلا إنشاء سد غوري Guri، وهو أضخم سدٍّ في العالم. ويستطيع هذا السَّد توليد ١٠,٠٠٠ ميجاواط من القدرة الكهربائية وهو ما يعادل إنتاجيَّة عشر محطات نووية كبيرة. وتقوم البرازيل حالياً بإنشاء محطة كهرباء مائية تزيد قدرتها على ٢٠ بالمئة عماً تولِّده محطة سد غوري، كما أن الصين تُفكِّر حتى بإنشاء محطة أكبر. وفي نفس الوقت، يقوم العديد من الدول، خاصَّة في العالم الثالث، بإقامة مولِّدات كهربائية على الأنهار والمجاري المائية النائية، بقدرة تقلّ ألف مرَّة عماً سبق. (وتُصنَّف المحطة الكهربائية بأنها صغيرة إذا كانت قدرتها ١٥ ميجا واط أو أقل). وتستخدم الكهرباء لتزويد المجتمعات ذات الكثافة السكانية القليلة التي لم تصلها الكهرباء والصناعات الزراعيَّة البعيدة عن خطوط الكهرباء الرئيسة[٣].

وقبل حدوث الارتفاع في أسعار البترول، تدهورت اقتصاديات توليد الطاقة النوويَّة، وأضحت المحدِّدات البيئية لإحتراق الفحم ظاهرة للعيان. واكتفت دول العالم الثالث حينئذٍ باستيراد التقنيات والوقود من الخارج. واعتمد نصف الدول

النامية على البترول المستورد في توليد أكثر من ٧٥ بالمئة من احتياجاتهم التجارية للطاقة. ولكن عندما ازدادات المصروفات المخصصة لشراء البترول ودفع الديون الخارجية ازدياداً كبيراً، نمت رغبة هذه الدول في استثمار مصادر الطاقة المحليَّة الأرخص[٤].

وتقع معظم المحطَّات المائية التي تزيد قدرتها على ١,٠٠٠ ميجا واط والتي هي تحت الإنشاء أو قيد التخطيط في البلدان النامية أو في المناطق النائية من البلدان الصناعية. هذا ولقد استغلَّت الدول الصناعية معظم مواقعها المائية ذات القدرات التوليديَّة العالية ـ في الأماكن ذات المساقط المائية الحادَّة ـ وتُرك ما تبقى من مواقع كمتنزهات أو استثني بسبب جماله الطبيعي. وبينما استثمرت الولايات المتحدة وأوروبا ٥٩ و٣٦ بالمئة على الترتيب من طاقتهما المائية بحلول عام ١٩٨٠، لم تثمر آسيا سوى ٩ بالمئة وأمريكا اللاتينية ٨ بالمئة، وإفريقيا ٥ بالمئة[٥].

وتمتلك البرازيل والصين أكبر المشاريع وأكثرها طموحاً. ولدى الصين بمفردها ١٥,٠٠٠ ميجا واط من المشاريع المائية الكبيرة قَيْد الإنشاء وتخطط لإتمام ضعف هذا المقدار في نهاية القرن الحالي. ولقد زادت البرازيل قدرتها التوليدية المائية ثلاثة أضعاف تقريباً بإضافة ٢١,٥٣٥ ميجاواط بين عام ١٩٧٣ وعام ١٩٨٣: وتسير قُدُماً المشاريع الهادفة إلى استثمار ما تبقى من القدرات التوليدية الهائلة. وبالرغم من بُعْد المواقع الجديدة عن المراكز السكانية مما يقتضي زيادة في نفقات نقل الطاقة، إلا أن الحماس لا يزال كبيراً في كثير من القطاعات[٦].

ويرى العديد من المتتبعين لتطوير الطاقة المائية في البرازيل أن برنامج الإنشاءات قد نما بصورة مستقلة وأُقيم من السدود على الأنهار أكثر مما تستدعي إليه الحاجة. والكثير من السدود التي هي الآن تحت الإنشاء والموروثة عن الحكم العسكري السابق، ما كانت لتنال الموافقة حاليًّا في ظلِّ التنظيمات البيئية الأشد. فسدُّ بالبينا Balbina مثلاً، والذي بُدىء بإنشائه قبل أكثر من عشر سنوات، لا يعمل حتى الآن، وسيغمر مساحة ١,٥٥٤ كيلومتراً مربعاً ـ أي ما يعادل مساحة لونج آيلاند Long Island مضافاً إليها المساحة التي يغمرها حاليًّا سد توكوروا

(Tucurui) البرازيلي الذي يولِّد ١٥ ضعفاً من الطاقة[٧].

وتشكِّل هذه السدود العملاقة بعضاً من أضخم المشاريع الهندسية في العالم. فسد ايتابو Itaipu في البرازيل والذي يولد ١٢,٦٠٠ ميجاواط يبلغ طوله ٥ أميال كما يبلغ ارتفاعه نصف ارتفاع عمارة الأمبايرستيت Empire State Building . وتدل توقُّعات البنك الدولي أن ٢٢٣,٥٦٠ ميجاواط إضافية من الطاقة المائية المتولدة عن المشاريع الكبيرة ستحدث في البلدان النامية ما بين ١٩٨١ و١٩٩٥، وسيكون أكثر من نصْفها في البرازيل، والصين، والهند. ويعادل ذلك طاقة ٢٢٥ محطة نووية كبيرة، أو ٨٢ بالمئة من القدرة النووية العالمية خلال عام ١٩٨٦. ولقد أنشأت ١٣ دولة نامية محطات مائية لتوليد أكثر من ٤٠,٠٠٠ ميجاواط بين عام ١٩٨٠ وعام ١٩٨٥. (انظر جدول ٤-١). ولا يحتمل أن يكون النمو المستقبلي مكيناً كما كان متوقعاً بسبب أزمة ديون العالم الثالث وما ينتج عن ذلك من نقص في رأس المال الاستثماري[٨].

وفي الولايات المتحدة التي تمتلك أعظم قدرة إنتاجية في الطاقة المائية، لم يُوافق على توفير أي دعم مالي فدرالي لأي سدٍّ جديد بين ١٩٧٦ و١٩٨٦. ويتوجب على أي سدٍّ يحصل على دعم فدرالي بعد ١٩٨٦ أن توفر له الحكومة المحلية نصف المبلغ المطلوب، ومن المحتمل أن يؤدي هذا الشرط إلى إلغاء العديد من المشاريع وإلى تصغير حجم بعضها الآخر. وبعد انقضاء ٨٥ عاماً من العمل المتواصل في إنشاء المشاريع المائية الضخمة في غرب الولايات المتحدة، أعلن مكتب استصلاح الأراضي في عام ١٩٨٧ بأن صلاحياته لاستثمار موارد مائية جديدة قد انتهت في الواقع وأنَّ الهيئة ستُخَفِّض قوتها العاملة إلى النصف خلال العقد القادم[٩].

ومن المحتمل أن يتمَّ أي تزويد للطاقة المائية على نطاق كبير للولايات المتحدة في المستقبل عن طريق الاستيراد من كندا. ولقد بلغت هذه المبيعات عام ١٩٨٦ ما يعادل ١٢,٧ بليون كيلوواط-ساعة، أي حوالي ٠,٥ بالمئة من استهلاك الكهرباء في الولايات المتحدة. ومن المحتمل أن يحصل سكان ولاية نيو انجلند New England على ٧ بالمئة من حاجتهم للطاقة الكهربائية من كويبك Quebec مقابل

ما قيمته ٣ بليون دولار. ولقد تقدَّمت كل من مقاطعات كولمبيا البريطانية British Columbia ، وكويبك، ومانيتوبا Manitoba بعروض لبيع المزيد من الطاقة الكهربائية ـ المائية ولبناء سدود جديدة مخصَّصة جزئياً لتصدير الطاقة. وتلاقي هذه العروض قبولاً خاصًّا لدى الولايات الشمالية الشرقية التي تعاني من ارتفاع أسعار الكهرباء ومن الكلفة العالية للمحطات النووية[١٠].

جدول ٤-١. أكبر ثلاث عشرة إضافة للقدرة التوليدية للطاقة المائية في البلدان النامية، ١٩٨٠-١٩٨٥

البلد	القدرة التشغيلية ١٩٨٠	١٩٨٥	الزيادة
		(ميجاواط)	
البرازيل	٢٧,٢٦٧	٤٢,٧٦٢	١٥,٤٩٥
الصين	٢٠,٣١٨	٢٥,٧٨٨	٥,٤٧٠
كولومبيا	٢,٩٠٨	٥,٩٣٩	٣,٠٣١
رومانيا	٣,٤١٤	٥,٩١٤	٢,٥٠٠
الهند	١١,٧٩٤	١٤,٢١١	٢,٤١٧
المكسيك	٦,٤٩١	٨,٦٢٦	٢,١٣٥
يوغسلافيا	٦,١١٥	٧,٨٤١	١,٧٢٦
فيتنام	٣٣٠	١,٨٠٠	١,٤٧٠
تركيا	٢,١٣١	٣,٥٧٥	١,٤٤٤
باكستان	١,٨٠٠	٣,٢٠٠	١,٤٠٠
زائير	١,٠٧٧	٢,٤٧٧	١,٤٠٠
الفلبين	٩٤٠	٢,١٩٥	١,٢٥٥
نيجيريا	٧٦٠	١,٩٠٠	١,١٤٠
المجموع	٨٥,٣٤٥	١٢٦,٢٢٨	٤٠,٨٨٣

Source: World Bank: Survey of the Future Role of Hydroelectric power in 100 Developing Countries (Washington, D.C. 1984).

وتستطيع السدود الضخمة المساهمة إلى حدٍّ كبير في التنمية الاقتصادية للبلدان الناميَّة التي تعاني نقصاً في الطاقة الكهربائية، ولكن ذلك، كأي خيار كبير لتوليد الكهرباء، يتمُّ على حساب أشياء أخرى. فالسدود تغمر الأحراج، والأراضي الزراعية، ومواطن الحياة البرية وتقتلع تجمُّعات كاملة من السكان المحليين. وإذا استمرت الصين في تنفيذ مشروع الثلاث مضايق Three Gorges ـ أكبر المشاريع العالمية بقدرة ١٣,٠٠٠ ميجاواط ـ فإنه سيتم إجلاء بضعة ملايين من الناس. كما أنه سيتم ترحيل مليون شخص من بيوتهم في أواسط الهند إذا تمَّ تنفيذ بناء ٣,٠٠٠ سد في وادي نرمادا Narmada Valley [١١].

إن حجز مياه الأنهار وراء السدود يُغيرٌ جذريًّا في النظام البيئي المحيط. فالرسوبيات الغنيَّة تتجمَّع خلف التربينات المائية وتُقلِّل مع الزمن من سعة السَّد، بدلاً من أن تترسب في سهول الفيضان الزراعية وتزوِّد الأسماك النهريَّة بالغذاء. كذلك قد تُغيرٌ السدود الكهربائية درجة حرارة مياه النهر ومحتواها من الأكسجين الأمر الذي قد يُحدث تغييراً في مزيج أنواع الحياة المائية والبريَّة في البيئة المحيطة. إنَّ الاستمرار في بناء السدود العالية ـ ١١٣ منها سيزيد ارتفاعه على ١٥٠ متراً بحلول عام ١٩٩٠ ـ وازدياد النشاط الزلزالي بالقرب من هذه السدود قد قاد الكثيرين إلى الاعتقاد بأن الزيادة في ضغط الماء بالإضافة إلى التراكيب الجيولوجية غير المستقرة سيؤدِّيان في النهاية إلى زيادة في حدوث الزلازل من حيث العدد والشدَّة. وفي البيئات الاستوائية، تساعد السدود على زيادة رقعة الأرض الصالحة لتكاثر ناقلات أمراض الملاريا والبلهارسيا والعمى النهري[١٢].

إن خزَّانات المياه خلف العديد من السدود الكبيرة، خاصة تلك التي تقع أسفل المجرى بالنِّسبة لمواقع تزويد الماء التي أُزيلت الأحراج من حولها عند إقامة السَّد، قد تراكمت فيها الأوحال والأتربة بسرعة تفوق ما كان متوقعاً مما أدَّى إلى تقصير عمر هذه المشاريع عشرات السنين بالإضافة إلى تغيير اقتصادياتها. (انظر الباب الخامس لمزيد من البحث حول تراكم الأتربة في الخزَّانات). وفي كولومبيا هناك برنامج مُبْتَكرٌ قيد التنفيذ يتمُّ بموجبه أخذ حصة من الموارد المالية لسكان

الأراضي المنخفضة الذين استفادوا من تطوير الطاقة المائية وإعطائها إلى مزارعي المناطق المرتفعة. كما فرضت ضريبة على الطاقة الكهربائية المباعة من المحطات الكبيرة للاستفادة منها في دعم استقرار الأراضي المرتفعة حول مصادر تزويد المياه من خلال برامج حفظ التربة وإعادة التحريج[١٣].

وعلى مقياس أصغر، فقد بلغت الطاقة المائية غير المتصلة بخطوط التزويد المركزيَّة ١٠,٠٠٠ ميجاواط على النطاق العالمي عام ١٩٨٣. ومعظم هذه المشاريع موجود في الدول النامية، غير أنه يوجد في ألمانيا الغربية بمفردها ٣٠٠٠ وحدة صغيرة تحت التشغيل. وتتوقع شركة فروست وسوليفان Frost & Sullivan للأبحاث التسويقية أن يبلغ توليد الطاقة المائية من وحدات لا مركزية منفصلة ٣٦,٠٠٠ ميجاوات بحلول عام ١٩٩١[١٤].

لقد أظهر مسحٌ أجراه البنك الدولي لمئة بلد من البلدان النامية أن ٣١ منها قد ضاعف قدرته التوليدية من الطاقة المائية بين عامي ١٩٨٠ و١٩٨٥. ويمتلك ٢٨ من هذه البلدان، على الأقل، برامج متواضعة لتوليد الطاقة المائية. وفي بوروندي Burundi، وكوستاريكا Costa Rica، وغواتيمالا Guatemala، وغينيا Guinea، ومدغشقر Madagascar، ونيبال Nepal، وبابوا Papua، وغينيا الجديدة New Guinea، والبيرو يبلغ احتياطي توليد الطاقة المائية من المشاريع الصغيرة أكثر مما أنتجته جميع مصادر الطاقة العاملة خلال عام ١٩٨٤. وتتصدر الصين جميع دول العالم في هذا المجال إذْ لديها حاليًّا ٩٠,٠٠٠ تربين لتزويد المناطق الريفية بالكهرباء[١٥].

ولقد بدأت الدول الصناعية تُدرك أيضاً أهميَّة مساهمة المشاريع المائية الصغيرة. ففي الولايات المتحدة أنتج المستثمرون الخصوصيون عام ١٩٨٥ حوالي ١,٠٠٠ ميجاواط من الطاقة الناتجة عن المشاريع المائية الصغيرة كما قامت شركات الكهرباء بتركيب محطات مائية لتوليد ما يزيد على ضعف القدرة السابقة. ووصل ٦٠ بالمئة من المجموع الكلي الذي بلغ ٣,٢٠٠ ميجاواط بخطوط الكهرباء خلال الثمانينات. أما في الأماكن الأخرى فيجري إعادة استصلاح

السدود الصغيرة. إذ بدأت بولندا بإعادة تشغيل ٦٤٠ سدًّا صغيراً وفي مقاطعة أُونتاريو الكندية تمَّ تحديد ٥٧٠ موقعاً من المواقع التي سبق تطويرها[١٦].

وبما أن تكنولوجيا تصنيع التربينات موجودة بصورة رئيسة في أوروبا وأمريكا الشمالية، فإن تطوير المصادر المائية في العالم الثالث غالباً ما يعتمد على موردي التجهيزات الأجانب. ونظراً لحاجة هذه المشاريع إلى قدر كبير من الاستثمارات المادية فإن طلبات الحصول على العملات الأجنبية تتضاعف بسرعة. ويمكن بالحدِّ من المبالغة في هندسة هٰذه المشاريع توفير بضعة آلاف دولار لكل كيلوواط. وتحقيقاً لذلك قامت الصين، وكولومبيا، والهند، وأندونيسيا، ونيبال، والباكستان، وتايلاند بتطوير قدراتها على تصنيع التربينات الصغيرة محليًّا. كما تصدر الصين المولدات التربينية للبلدان الصناعية والنامية على السواء[١٧].

ولكي يستمر عمل المشاريع المائية بنجاح على مدى عشرات السنين، لا بد من توفر الإدارة الناجحة لها ليس على مستوى التجهيزات فحسب بل على مستوى المشروع بأكمله. إن البعثرة المؤسسيَّة للتراكيب المختلفة للمشروع يعيق إدارته الناجحة لأن كل عمل من أعماله يوكل إلى هيئة مختلفة. وكما كتب الأستاذ دونالد ورستر Donald Worester من جامعة برنديز Brandeis University في مجلة Wilderness «إن كل شخص يريد قطعة من [الأنهار]، فهناك من يريد استنزاف مائها، أو إلقاء الفضلات فيها، أو شرُب مائها، أو تسيير السفن عليها، إلا أنه لا يوجد هناك أبداً مَنْ أُعطي مسؤوليَّة حمايتها وإبقائها دوماً في حالة متجددة»[١٨] ولن تصبح المصادر المائية متجددة بحقٍّ وحقيق حتى تصبح أعمال السيطرة على الفيضان، والري، والنقل، وإنتاج الطاقة، وزراعة الأشجار، وإدارة مزارع تربية الأسماك، والصحة العامَّة متوافقة مع هدف الإبقاء على الأنهار في حالة صحيَّة منتجة.

استخدامات جديدة للنواتج العضوية

تعد المشتقَّات العضوية، الناتجة بطريقة مباشرة أو غير مباشرة عن عملية التمثيل الضوئي في النبات، مصدراً للطاقة متعدد الاستعمالات قادراً على تزويدنا، إضافة إلى الكهرباء، بوقود غازي وسائل وصلب عالي الجودة. وتشتمل

المصادر الرئيسة على مخلفات التحريج وعمليات تصنيع الأخشاب، وبقايا المحاصيل والفضلات الحيوانية. ومع أنه لا يستخدم في توليد الطاقة سوى أقل من ١٪ من الناتج السنوي للمخلفات العضوية، إلا أن ذلك يعطي ١٥٪ من الاستخدام العالمي للطاقة[١٩].

ويجدر التمييز، عند تقييم أنظمة الطاقة القائمة على استخدام النواتج العضوية، بين العمليات التي تحوِّل الفضلات والمخلفات العضوية إلى وقود يزيد من فعالية النشاطات الاقتصادية القائمة، وتلك العمليات التي تقتضي إنتاج المشتقات العضوية خصيصاً لتوليد الطاقة وهو ما يحتاج إلى جميع مدخلات النظام الزراعي أو الحرجي.

تعد الأخشاب أكثر المشتقات العضوية استخداماً في توليد الطاقة، علماً أن أكثر من نصف الأخشاب الحرجية التي تقطع سنويًّا تُحرق لإنتاج الطاقة. واستناداً إلى إحصاءات الأمم المتحدة فإن الأقطار التي تعد أكبر بلدان العالم إنتاجاً لوقود الخشب هي، بالترتيب: الهند، البرازيل، الصين، أندونيسيا، الولايات المتحدة، ونيجيريا[٢٠].

وبناءً على تقديرات وكالة الطاقة الدولية (IAE) فإن الولايات المتحدة الأمريكية تعد الأولى من حيث توفر الإمكانات لتوليد الطاقة من مخلفات الأحراج والصناعات الخشبية (جدول ٤-٢). ويبقى، في المتوسط، حوالي ٢٥ بالمئة مما يستخدم في الصناعات الخشبيَّة كمخلَّفات يمكن الاستفادة منها في توليد الطاقة[٢١].

وعلى صعيد آخر فإن العديد من البلدان الناميَّة، يعاني من نقص شديد في الأخشاب. وفي بعض المناطق، خاصة مناطق إفريقيا شبه الصحراوية، فإن ثلاثة أرباع ناتج الأخشاب يحرق في عمليات الطبخ.

هذا ولقد تركت عمليات إزالة الأحراج بمعدلات مذهلة لم يسبق لها مثيل، بقصد توفير الأراضي الزراعية والمراعي والوقود، حوالي ١٠٠ مليون نسمة يعانون

من نقص حاد في الوقود الخشبي، كما تركت ١,٢ بليون آخرين بموارد شحيحة غير دائمة. (انظر الباب الخامس). وفي كل الحالات التي يزيد فيها قطع الأشجار على النمو المتجدِّد، لا تعد الأحراج فيها مصدراً متجدِّداً للطاقة[٢٢].

جدول ٤-٢ إمكانات الطاقة المتوفرة والمستردَّة من المخلفات الزراعية، والحرجية، والصناعات الخشبية، لبلدان مختارة، عام ١٩٧٩م

البلد	الامكانات المتوفرة من الأحراج والصناعات الخشبية	الامكانات المستردّة مخلفات الفضلات المحاصيل الحيوانية	المجموع	النسبة من المجموع الكلي لمتطلبات الطاقة
	مكافىء لمليون طن من البترول			(نسبة مئوية)
تركيا	٥,٩	٥,٤ ١,٥	١٢,٨	٤١,٧
فنلندا	٨,٦	٠,٤ ٠,٢	٩,٢	٣٦,٨
السويد	١٠,٤	٠,٨ ٠,٢	١١,٤	٢٢,٨
كندا	٣٢,١	٢,٣ ١,٨	٣٦,٢	١٦,٨
أستراليا	٢,٨	٠,٤ ٠,٣	٣,٥	١٤,٠
إسبانيا	٢,٤	٤,١ ٠,٦	٧,١	١٠,٠
فرنسا	٦,١	٥,٢ ٢,٤	١٣,٧	٧,٢
الولايات المتحدة	٦٨,٥	٢٠,٢ ٥,٠	٩٣,٧	٥,٢
ألمانيا الغربية	٦,٢	٢,٢ ١,٦	١٠,٠	٣,٧
اليابان	٦,٧	٠,٤ ١,٢	٨,٣	٢,١

Source: International Energy Agency, Renewable Sources of Energy, (Paris OECD, 1987).

جدول ٤-٣ الولايات المتحدة: منشآت مختارة لتوليد الكهرباء باستخدام النواتج العضوية كوقود

المشروع	القدرة (ميجاواط)	مصدر الوقود	تاريخ التشغيل
صناعات النواتج الحرجية			
٩٦ Union camp Corporation, Franklin. VA		فضلات لب الخشب، قشور الفستق	١٩٣٧
٧٨ Champion International Corp. Contaonment.FL		فضلات لبِّ الخشب، لحاء الأشجار	١٩٦١
٧٢ Manville Forest Products Co. West Monroe. LA		فضلات اللُّب والأخشاب	١٩٦١
٢٦ Louisiana Pacific Corp. Autioch. CA		فضلات الأخشاب	١٩٨٣
شركات الكهرباء			
٧٢ Northern States Power, Ashland.WI		المخلّفات الحرجيَّة[٢]	١٩٨٣
٥٠ Burlington Electric Dept. Burlington. VT		المخلّفات الحرجية	١٩٨٤
Eugene Water & Electric Board, Weyco Center. OR			
٤٦		مخلّفات المخارط	١٩٨٣
٤٦ Washington Water & Power, Kettle Falls. WA		مخلّفات المخارط	١٩٨٣
منتجو كهرباء مستقلون			
٢٧ Ultrasystems, Fresno. CA		صناعات حرجية، ومخلفات زراعية	١٩٨٨
٢٧ Ultrasystems, West Eufield. ME		مخلّفات حرجية	١٩٨٦
٢٥ Wheelbrator Energy, Delno. CA		تقليم أشجار البساتين	١٩٨٩
١٧ Alternative Energy Decisions, Baugor. ME		مخلّفات حرجية وصناعيَّة	١٩٨٦

obeikandl.com

منتجون غير تقليديين

٢٦ Lihue Plantation, Kauai. HI	مخلّفات قصب السكر المعصور	١٩٨٠
٢٢ Dow Coruing, Midland. MI	قطع خشبية	١٩٨٢
١١ Farmers Rice Milling Co. Lake Charles. LA	قشور الأرز	١٩٨٤
١٠ Proctor & Gamble Staten, Island. NY	مخلّفات صناعية، قطع خشبية	١٩٨٣

(١) تستخدم الوقود العضوي بصورة رئيسة؛ والفحم والغاز الطبيعي كوقود مساند أحياناً.

(٢) تستطيع استخدام وقود متنوع، غير أنها تعتمد على حرق الخشب بصورة رئيسة منذ ١٩٨٣.

Source: World watch Institute, based upon Meridian Corporation, Electric Power from Bio-fuels, Planned and existing projects in the U.S. (Washington, D.C., U.S. Department of Energy, 1985, news reports and private communications).

وفي الولايات المتحدة، تستهلك النشاطات الصناعية والتجارية وتوليد الكهرباء ثلثي الخشب المستخدم في توليد الطاقة. أما ما تبقى فيستخدم لتغطية ١٠ بالمئة من احتياجات التدفئة المنزلية في الولايات المتحدة حيث تتم تدفئة ٢١ مليون منزل بصورة تامة و٢١ مليون منزل بصورة جزئية. ويستخدم نصف ناتج وقود الأخشاب تقريباً من قِبَل صناعة لب الخشب والورق ويغطي ذلك أكثر من ٥٥ بالمئة من احتياجات هذه الصناعات للطاقة. وتأتي صناعة الألواح الخشبية في المرتبة الثانية، ويعد قطاع صناعة النواتج اللاحرجيَّة أسرع القطاعات نموًّا في هذا المجال. وتشمل قائمة المستفيدين شركات الكهرباء، والصناعات العملاقة مثل Dow Corning و Proctor & Gamble وشركات أخرى أنشئت خصيصاً للاستفادة من موارد الأخشاب المحلية في توليد الطاقة الكهربائية وبيعها لشركات الكهرباء المحلية. (انظر جدول ٤-٣)[٢٣].

وأنشئت منذ عام ١٩٨٣ أربع شركات كهرباء في الولايات المتحدة تعمل بواسطة حرق الأخشاب وتستطيع كل منها توليد أكثر من ٤٥ ميجاواط من القدرة الكهربائية؛ ويكفي مجموع إنتاجها لتزويد ١٧٥,٠٠٠ منزل. واستناداً إلى دراسة أجرتها لجنة الطاقة في ولاية كاليفورنيا يمكن تركيب سخانات وقود الخشب بكلفة ١,٣٤٠ دولاراً لكل كيلوواط تقريباً، ويقل ذلك ٢٠ بالمئة عن كلفة سخانات الفحم. والصناعات التي تستخدم الوقود الخشبي هي أكثر عدداً وأوسع انتشاراً في طول البلاد وعرضها. وأكبر هذه الأسواق موجود في ولاية كاليفورنيا حيث يوجد حالياً ٢٤ مشروعاً تعمل بالوقود الخشبي ويغذي كل منها خطوط الكهرباء الرئيسة بقدرة ١٠-٥٠ ميجاواط، كما ينتظر قريباً إنشاء عشرات أخرى من هذه المحطات الجديدة. هذا وتبلغ إنتاجية المحطات العاملة وتلك التي هي قيد الإنشاء ما مجموعه ١٥٠٠ ميجاواط موزَّعة في أنحاء الولايات المتحدة.

إن الإمكانات غير المستغلة لاستخدام الوقود الخشبي ما زالت كبيرة. وبناءً على إحدى التقديرات فإن ولاية فيرجينيا تنتج سنويًّا من نشارة الخشب، وبقايا تصنيع الألواح الخشبية، والأنواع الرديئة من الأخشاب غير القابلة للبيع ما يكفي لاستبدال ٤٢ بالمئة من الزيت والغاز المستهلك في قطاعي الصناعة والتجارة في الولاية المذكورة. ولم يُستغل حتى الآن شيء يذكر من هذه الإمكانات، غير أن المجمعات الصناعية، والمعاهد العلمية، والمستشفيات، والعديد من المصالح الأخرى قد تضطر للاستفادة من هذه الإمكانات في حالة عودة أسعار البترول إلى الارتفاع من جديد. ومن المحتمل أن تظل أسعار الوقود الخشبي متدنية، خاصَّة إذا ما تعرَّض المورِّد بخلاف ذلك لمصاريف متزايدة للتخلص من الفضلات المتراكمة لديه[٢٥].

كذلك يتمُّ حاليًّا توليد الكهرباء باستخدام الوقود الخشبي في محطَّات صغيرة نسبيًّا في دول العالم الثالث. فقد خُطِّط لإقامة سبعة عشر مشروعاً بقدرة ٣ ميجاواط لكل منها لتوليد الكهرباء باستخدام الوقود النباتي في أنحاء الفلبين. وكان من المفروض أن يقوم المزارعون المحليون بتزويد الوقود اللازم من مزارع نبات

الليوكينا (Leucaena) . وبالرغم من توريد الأجهزة اللازمة لجميع المحطات من فرنسا وبريطانيا، إلا أنَّه لم يتم إنجاز سوى أربع محطَّات في الموعد المحدَّد، ويقال إن اثنتين منها فقط تعملان بشكل معتمد. إذْ لم يستطع المشروع الذي كان طموحاً أكثر من اللازم تأمينَ الدَّعم المالي الكافي، وعملت الخلافات والصراعات البيروقراطية الداخلية على تجميده، هذا بالإضافة إلى أن المشروع برمته قد بني على تقديرات مبالغ فيها لكميَّات الخشب التي يمكن تأمينها من تربة زراعية غير خصبة. وكان من المحتمل للمشروع أن ينجح لو كان أكثر تواضعاً[٢٦].

وتشكل المخلَّفات العضوية من نباتية وحيوانية ناتجاً فرعيًّا هائلاً لقطاع الزراعة الغذائي، غير أن تعدُّد السياسات الزراعية، والاقتصاديات الضعيفة لتوليد الطاقة، والاستخدامات الأخرى لهذه المخلَّفات العضوية في غير مجال الطاقة يجعل تقدير إمكاناتها الطَّاقية أمراً صعباً. وبناءً على دراسةٍ للجنة الطاقة الدولية (IEA) وباستخدام أكثر عمليات إنتاج الطاقة فعاليَّة المتوفرة في ١٩٧٩ فإنه بإمكان الفضلات الزراعية إنتاج ما بين ٠,٤ إلى ٨,٢ بالمئة من الاحتياجات الكلية للطاقة للدول الأعضاء في لجنة الطاقة الدولية، بخلاف تركيا حيث تصل النسبة المذكورة إلى ٢٢,٥ بالمئة. كما أن اليونان، وأرلندا، والبرتغال وإسبانيا تستطيع تأمين ما نسبته ٥ بالمئة على الأقل من احتياجاتها الكلية للطاقة باستخدام المخلَّفات العضوية النباتية والحيوانية[٢٧].

وفي منطقة الكاريبي الاستوائية حيث يشكل السُّكر محصول التصدير الرئيسي يواجه المنتجون سعراً متدنياً لمنتوجهم في الأسواق العالمية؛ ويمكن للاستخدام الأفضل للمخلَّفات النباتية مع التحول إلى زراعة تلك النوعيات من قصب السكر التي ثَبَت سرعةُ نموِّها وإنتاجها الأغزر للبقايا العضوية أن يدعم قدرات إنتاج الطاقة في تلك المناطق. ويمكن بذلك مضاعفة كمية الكهرباء المتوفرة في باربيدوس وكوبا وجمهورية الدومينكان، وغواتيمالا، وغينيا وهندوراس بضعة أضعاف. وفي تايلاند، إحدى البلدان الأخرى المنتجة للسكر، يمكن لمخلفات قصب السكر أن تولِّد ٣٠٠ ميجاواط من الكهرباء أي ما يعادل ٢٥ بالمئة من

القدرة الإنتاجية السنوية لهذه الصناعة[٢٨].

وصناعة السكر في هاواي التي بدأت ببيع الكهرباء في أواخر السبعينات استطاعت عام ١٩٨٥ تزويد ٨٥ بالمئة من احتياجات الطاقة الكهربائية في جزيرة كواي Kauai و٣٣ بالمئة في جزيرة هاواي. ولقد أقامت شركات إنتاج السكر محطات كهربائية بقدرة ١٥٠ ميجاوَاط على الأقل تعمل بحرق مخلَّفات قصب السكر وأخذت تبيع نِصْفَ إنتاجها إلى سلطة الكهرباء في الولاية. وفي وجه تدنٍّ أسعار السكر، يعترف المنتجون في هاواي أنه لولا ما يحصلون عليه من مبيعات الكهرباء لانخفض إنتاجهم من السكر إلى حدٍّ بعيد. وفي الولايات المتحدة يتم توليد ٨٠ ميجاواط أخرى من القدرة الكهربائية بواسطة محطات تعمل بحرق مخلَّفات قصب السكر في ولايتي فلوريدا ولويزيانا[٢٩].

ويقدر الباحثون في جامعة برنستون أنه يمكن على النطاق العالمي إنتاج ٥٠,٠٠٠ ميجاواط بالاعتماد على معدَّل إنتاج قصب السكر لعام ١٩٨٥ والاستفادة من التقدم التكنولوجي الحديث في صناعة التربينات الغازية. وفي البلدان النامية المنتجة لقصب السكر والتي يربو عددها على ٧٠، يمكن باستخدام التربينات الغازية ووقود مخلفات قصب السكر إنتاج كميات من الكهرباء تعادل جميع ما تنتجه سلطات الكهرباء في هذه البلدان باستخدام وقود البترول؛ علماً بأن كلفة إنتاج الكهرباء بالتربينات الغازية التعاونيَّة هي أقل من كلفته في معظم محطات الكهرباء المركزية.

وفي البلدان النامية المنتجة للأرز تعد قشور الأرز أكثر المخلفات الزراعية وفرةً. فكل خمسة أطنان من محصول الأرز تنتج طناً واحداً من القشور التي تعادل الخشب في قيمتها الحرارية كوقود. وتستخدم هذه المخلفات في بعض مصانع الأرز لتوليد طاقة ميكانيكية وبخار، غير أنها تُهمل في العديد من المصانع الأخرى. ويمكن لهذه المخلفات، عند استخدامها كوقود، أن تزوِّد المصنع بحاجته من الطاقة، وأن تُشغِّل مضخات الري، وأن تزوِّد المناطق الريفيَّة أو شبكات الضغط العالي بالكهرباء[٣١].

وتعمل محطات كهرباء بخاريَّة بوقود قشور الأرز في الهند، وماليزيا والفلبين وسرنيم Suriname ، وتايلاند والولايات المتحدة. هذا وستقوم محطة بقدرة ١٠,٥ ميجاواط في مقاطعة البنجاب الهندية بحرق ٢٠ طنًّا من قشور الأرز في الساعة على مدار السنة. والهند كثاني أكبر منتجٍ للأرز في العالم يتوفر لديها ١٨ مليوناً من قشور الأرز سنويًّا وهو ما يبرر الاستثمار في محطَّات كهربائية تعمل بوقود قشور الأرز وتُنتجُ ما يعادل ٥٠٠ ميجاواط من القدرة الكهربائية.

هناك مساحات شاسعة في آسيا لم تصلها الكهرباء بعد، وتعتمد المصانع في هذه المناطق على آلات ووقود الديزل المستورد. ويربو عدد آلات الديزل المستخدمة في مصانع الأرز الصغيرة في البلدان النامية على ٢٠٠,٠٠٠ آلة منها ٦٠,٠٠٠ تقريباً في أندونيسيا لوحدها. وقدَّرت دراسة أُجريت في المعهد التكنولوجي أن أندونيسيا تستطيع توفير ٣٠ مليون دولار سنوياً باستبدال أنظمة الوقود العاملة بالديزل إلى وحدات تغويز القشور (gasifiers) التي طُوِّرت حديثاً.

والمنتجات الزراعية التي يمكن استخدامها على نطاق أوسع تشمل قشور جوز الهند، وسيقان نبات القطن وفضلات مصانع الغزل والنسيج، وقشور الفستق وغيرها من المكسرَّات، وبذور الفواكه، وقشور القهوة وغيرها من الحبوب الأخرى، والمصادر المتنوعة للقش والألياف. وتستخدم بعض مصانع الأغذية هذه المخلفات الزراعية لسدِّ حاجتها من الطاقة، غير أنه بقيت قدرات هائلة غير مستغلة في هذا المجال. ويجب الحرص عند تقدير أوجه الاستفادة من هذه النواتج دراسة المجالات الأخرى التي يمكن استخدامها فيها عدا توليد الطاقة: فَسَلب الأرض من مصادر الغذاء الحيوية أمر غير مجدٍ، بينما إنتاج الطاقة من إحدى المخلَّفات التي كانت ستهمل أو تجتذب الحشرات الضارة يعد أمراً عقلانيًّا[٣٤].

وهناك مصدران إضافيان آخران للنواتج العضوية هما فائض الغذاء والنبات المزروع خصيصاً لإنتاج الطاقة. وتتفاوت إمكانات مزارع الوقود، والآخذة بالتزايد السريع، إلى حدٍّ كبير في البلدان المختلفة بسبب الاختلاف الكبير في الإنتاجية والأنظمة الاجتماعية والاقتصادية السائدة فأرض غير مخصبة تُستخدم في

إنتاج الطاقة قد تكون نعمةً في إحدى الحالات، وقد تحرم شعباً جائعاً من الأرض والغذاء في حالة أُخرى.

أما تقديرُ إمكانات فائض الغذاء في توليد الطاقة فأسهل نوعاً ما، مع أن التعميم في هذا المجال صعب بسبب السياسات الزراعية المختلفة، وأسعار السوق، وأنماط الطقس. وتعد وكالة الطاقة الدولية (IEA) أن تحويل فائض السكر في المجموعة الأوروبية إلى كحول ايثيلي قد يُعوِّض ٢ بالمئة من استخدام وقود البترول السائل؛ أما في الولايات المتحدة فتحويل فائض الذرة إلى كحول إيثيلي قد يُعوِّض ٧ بالمئة من استهلاك البلاد للجازولين[٣٥].

وتحتل البرازيل والولايات المتحدة المرتبة الأولى من حيث إنتاجية الكحول من النواتج العضوية. فقصب السكر الذي يُزرع في البرازيل خصيصاً لإنتاج الوقود قد حُوِّل إلى ١٠,٥ بليون لتر من الكحول الإيثيلي في ١٩٨٦ وهو ما يُعادل نصف الحاجة لوقود السيارات تقريباً. فمعظم السيارات تَستَخدم مزيجاً من الكحول والبترول يحتوي على ٢٠ بالمئة من الكحول. ولكن ٢٩ بالمئة من مجموع السيارات التي يبلغ عددها ١٠,٦ مليون تستخدم الكحول النقي[٣٦].

ولقد استطاعت البرازيل، أكبر الدول المدينة في العالم الثالث، بالاعتماد على برنامج إنتاج الوقود الكحولي والتنقيب عن البترول بعيداً عن الشواطىء من تخفيض مستورداتها من البترول وتوفير عملاتها الصعبة للاستثمار ودفع الديون. وقد ساعد برنامج إنتاج الوقود الكحولي على استحداث ٤٧٥,٠٠٠ فرصة عمل دائمة في الزراعة والصناعة، و١٠٠,٠٠٠ وظيفة، بصورة غير مباشرة، في قطاع التجارة، والخدمات، والحكومة. وتُستخدم وحدات توليد الطَّاقة العاملة بوقود مخلفات قصب السكر في تزويد مصانع إنتاج وقود الكحول بحاجتها من الطاقة الميكانيكيَّة لعصَّارات القصب، والكهرباء، والبخار اللازم لتقطير الكحول[٣٧].

وبالمقابل، فقد اعتمدت الولايات المتحدة على فائض الذرة وغيرها من الحبوب في إنتاج ٩٠ بالمئة من إنتاجها من الكحول البالغ ٣ بليون لتراً في ١٩٨٧. وأكثر من ٧ بالمئة من الجازولين المبيع في الولايات المتحدة هو عبارة عن مزيج من

الكحـول والبـترول بنسبـة ١ إلى ٩. ولقـد ساعدت في الماضي، التخفيضات الضريبية المجزية المحلية والفدراليَّة والتشريعات القاضية بوجوب تخفيض نسبة الـرصـاص في الجازولين، على تنشيط أسواق تجارة الكحول. كما أنَّ الإيثانول يستطيع أن يحلَّ محل الرصاص في رفع نسبة الأوكتين (Octane) في الوقود[٣٨].

ويزداد الدَّعم لوقود الكحول كإجراءٍ لمكافحة التلوث. ولقد عجـز أكثر من ٦٠ مدينـة في الـولايات المتحدة عن الالتزام بالمستويات الفدرالية لأول أكسيد الكربون والأوزون التي يستوجب تحقيقها في نهاية ١٩٨٧. وكانت كولورادو أول ولاية تفـرض على سائقي المـركبات استخدام مزيج الكحول والجازولين خلال فصل الشتاء حيث يصل التلوث أعلى مُعدَّلاته. ويتوقَّع المسؤولون انخفاض تلوُّث أول ثـاني أكسيد الكربون بنسبة ١٢ بالمئة. ويقتضي تشريع فدرالي استخدام مزيج الكَحول والبترول على مستوى الأمة بحلول عام ١٩٩٢[٣٩].

هذا وقـد حَفَـزت أسعـار السكر والمنتجات الزراعية المتدنيَّة، والنقص في العملات الأجنبيَّة، والرغبة في الاعتماد الذاتي في توفير احتياجات الطاقة ما يزيد على ١٢ دولـة أخرى على اعتماد برامج لإنتاج الوقود الكحولي. وفيما عدا كندا والفلبـين، فإن جميع المشـاريع المقـامـة حتى الآن موجـودة في أمريكا اللاتينية وإفريقيا. وتحتل الأرجنتين المرتبة الثالثة في هذا المجال بالرغم من أن نتاجها من الوقود الكحولي لا يتعدَّى واحد على ثلاثين مما تنتجه البرازيل. وفي أوروبا يكمن الـدافـع الـرئيس وراء الاهتمام المتزايد في الوقود الكحولي في الفائض الهائل للمنتوجات الزراعية. ويتزايد الزَّخم حاليًّا نحو توجيه الإعانات المالية الممنوحة للتصدير لبرامج الوقود الكحولي. وتقع فرنسا في المقدمة في هذا المجال، كما تقوم إيطاليا بدراسة متأنيَّة لهذه الإمكانيَّة[٤٠].

الطاقة الشمسية

توجـد عدة تقنيات لتجميع، وتركيز، وتحويل الإشعاع الشمسي إلى طاقة مفيدة. وأكثر هذه الطرق أساسيَّةً تستخدم مجُمَّعاتٍ لامتصاص الطاقة الشمسية عند درجات الحرارة المنخفضة نسبيًّا ومن ثمَّ نقلها إلى الماء أو الهواء. أما التقنيات

الأعقد نـوعاً ما فتقوم على تركيز أشعة الشمس لإنتاج طاقة عند درجة حرارة أعلى تستطيع إنتاج البخار أو الكهرباء. أما الاستخدام الثالث والأكثر تقدُّماً للطاقة الشمسية فيرتكز على الظاهرة الفوتوفولطية لتحويل الأشعة الشمسية مباشرة إلى كهرباء.

ولقد بدأ سكان أوروبا الشماليَّة بتجاربهم الأوليَّة في تجميع الطاقة الشمسية في القرن السابع عشر لحماية النباتات الاستوائية التي أحضرها المستكشفون من البلدان الـدافئـة البعيدة. وبعـد مئتي سنة وصل أول إنتاج تجاري شمسي إلى الأسواق في الولايات المتحدة وهو عبارة عن سخّان مائي. وبدءاً بخزّانات الماء العادية الموضوعة تحت الشمس، تقدَّمت تقنيات تجميع الطاقة الشمسية إلى حدٍّ بعيد. وتشتمل النماذج الحالية على غطاء شفاف يحتجز الحرارة ولا يسمح بتشعيعها ثانية كما يمنع تيارات الهواء البارد من التأثير على السخّان. وتنقل الطاقة الحرارية بمجرد احتجازها إما إلى الماء أو الهواء للاستخدام الفَوْري أو تنقل إلى وسط للتخزين.

وما زال تسخين الماء أكثر استخدامات المجمعات الشمسية شيوعاً. وتعـد برك السبـاحـة والمنازل من أكبر أسواق هذه المنتجات، بالرغم من أن الأنظمة الصناعية آخذة بالشيوع. وفي قبرص، حيث الاستهلاك الفردي للطاقة الشمسية يصـل أعـلى معـدَّلاتـه العالمية، قامت الصناعة الخاصة بتركيب سخانات الماء الشمسية على ٩٠ بالمئة من المنازل وعلى جزء كبير من العمارات السكنية والفنادق. وفي اسرائيل يوجد حوالي ٧٠٠,٠٠٠ سخان بيتي بسيط لا تزيد كلفته عن ٥٠٠ دولاراً تنتج في مجموعها ٦٥ بالمئة من الكلفة الإجمالية لتسخين الماء في المنازل. ولتشجيع هذه التقنية الرخيصة وتقليل الاعتماد على البترول المستورد، سُنَّ قانون في ١٩٨٠ يقتضي الاستخدام الشمسي في تسخين الماء في جميع العمارات السكنية التي لا يزيد ارتفاعها عن تسعة طوابق(٤١).

وتستخـدم في اليابـان أربعـة ملايين سخان شمسي، بما فيها نماذج بدائية أنتجت في الستينات من هذا القرن: ولقد بيع ٥٠٠,٠٠٠ سخان عام ١٩٨٤

فقط، وهو أعلى معدلات البيع السنوي لهذه السخانات. ويعتمد ٣٧ بالمئة من المنازل في المناطق النائية من شمال غرب أستراليا على مثل هذه الأنظمة[٤٢].

وحتى أواسط الثمانينات بقيت الولايات المتحدة أكبر أسواق السخانات الشمسية في العالم، حيث كانت ٨٥ بالمئة من مبيعات عام ١٩٨٤ للتطبيقات المنزلية - في مناطق الحزام الشمسي على الأغلب. ولسوء الحظ، فقد أدَّت أسعار البترول والغاز المتدنية لعام ١٩٨٦ وإلغاء الامتيازات الضريبية على الطاقة المنزلية المتجددة إلى تدهور سوق السخانات الشمسية في الولايات المتحدة. إذ انخفض حجم المبيعات بأكثر من ٧٠ بالمئة عن مستوى عام ١٩٨٤، وفَقَد ٢٨,٠٠٠ وظائفهم من مجموع ٣٠,٠٠٠ يعملون في هذه الصناعة[٤٣].

ولقد زادت فعالية السخانات ذات الألواح المستوية بمقدار ٣٠ بالمئة منذ عام ١٩٧٧، ولا زال البحث يجري لزيادة هذه الفعالية وللحصول على مواد أفضل للتصنيع. ويمكن لمواد الطلاء الغروية الخفيفة وأغشية المبلمرات من تخفيض وزن هذه السخانات إلى السُّبع، الأمر الذي سينعكس على تخفيض تكاليف الإنتاج والتوزيع والتركيب. وفي حالة انخفاض الكلفة بما يكفي فإن المجمَّعات الشمسية المستخدمة في تسخين وتبريد الهواء، والتي لا تتعدّى ١٠ بالمئة من حجم السوق الحالي، قد تصبح أكثر شيوعاً[٤٤].

والنوع الثاني الرئيس من التقنيات الشمسيَّة يشتمل على عمليات لتركيز الطاقة الشمسية للحصول على درجات أعلى للحرارة. ولقد تم تطوير عدة طرق تحقق درجات حرارة بين ٨٥ إلى أكثر من ٣٠٠٠ درجة سلسيوس. ومن أبسط هذه الأنظمة، المسمَّى بالبرَك الشمسيَّة، يعتمد على تجاويف مبطَّنة تملأ بالماء والملح: وبما أن الماء المالح أكثف من الماء العذب، فإن الماء المالح في قعر البركة يمتص الحرارة بينما تعمل طبقة الماء السطحية على عدم تسرُّب الطاقة الشمسية من الطبقة السفلى الساخنة. وتشتمل أعقد هذه الأنظمة على آلاف المرايا التي تتابع حركة الشمس وتعكس ضوءها على مُجمِّع مركزي يمرُّ فيه مائع يستخدم لتوليد الحرارة مباشرة، أو لتحريك تربين لتوليد الكهرباء بصورة غير مباشرة.

وتجري هذه التجارب وبعض عمليات التطوير التجاري لهذه التقنيات في أكثر من ١٢ بلداً. ولقد قامت إسرائيل عام ١٩٧٩ ببناء أول بركة شمسية صغيرة على شواطىء البحر الميت لتوليد الكهرباء كما أُتمت بناء بركة أكبر بقدرة ٥ ميجاواط في عام ١٩٨٤. وقامت شركة أسترالية وأخرى أمريكية ببناء أنظمة مماثلة أصغر بدأت إنتاجها للطاقة الكهربائية خلال عامي ١٩٨٥ و١٩٨٦ على الترتيب. وتشترك شركة Ormat Turbines الإسرائيلية في بناء أكبر بركة شمسية في العالم في جنوب ولاية كاليفورنيا؛ بقدرة ٤٨ ميجاواط لتزويد ٤٠,٠٠٠ منزل بالكهرباء[٤٥].

وتتطلب التقنيات الشمسية الحرارية الأخرى أجهزةً أكثر تعقيداً مما تحتاجه البرَك الشمسية ويعتمد كل نوع منها على عاكس شمسي لتجميع الطاقة الشمسية يختلف في شكله بين تقنية وأخرى. فالأنظمة الوعائية تستخدم مرايا على شكل حرف U للحصول على درجات حرارة من ١٠٠ إلى ٤٠٠ درجة سلسيوس. وتستطيع الأطباق المقعرة المصنوعة على شكل قطع مخروطي مكافىء (Parabolic dish) الوصول إلى حوالي ١٧٠٠ درجة سلسيوس. وتَستَخدِم أنظمة التسخين المركزية مرايا يَتحكَّم الحاسوب في حركتها تجُمِّع الطاقة الشمسية على برج مرتفع. ولقد بني أكثر من ستة مستقبلات شمسية مركزية بقدرة لا تقل عن ١ ميجاواط بمساعدة حكومية. وبالرغم من أنه يمكن بناء الأنظمة ذات مرايا التجميع الوعائية أو المخروطية بالحجم الذي نريد، إلا أن أنظمة الاستقبال المركزي لن تكون اقتصادية على الأغلب إلا في مجال التطبيقات الكبيرة. (انظر جدول ٤-٤). (ولمزيد من البحث في مجال التقنيات الشمسية الحرارية، ارجعْ إلى مجلَّد أوضاع العالم المنشور عام ١٩٨٥).

ويتمتَّع نظامٌ وعائي شمسي طوَّرته شركة Luz الهندسية بأكبر قسط من النجاح التجاري. وتعمل خمسة من هذه الأنظمة المُموَّلة من القطاع الخاص في صحراء مهافي Mohavie desert في كاليفورنيا، ويجري العمل لإنتاج ١٤ نظاماً آخر بحلول عام ١٩٩٢. وتحتاج هذه المحطات التي قدرتها ٣٠ ميجاواط والتي تستطيع تزويد

١٠,٠٠٠ منزل بالكهرباء مُدَّة عام لتركيبها، ويمكنها بدعم من الغاز الطبيعي الاستمرار في مدِّ زبائنها بالكهرباء حتى خلال ساعات بعد الظهر عندما يصل الطلب على الكهرباء حدَّه الأقصى. وتناقصت تكاليف إنشاء هذه المحطات إلى النصف منذ عام ١٩٨٤ وأصبحت توازي الآن تكاليف المحطات النووية التي بنيت مؤخراً. ولقد وقعت الحكومة الإسرائيلية طلب شراء محطة بقدرة ٢٥ ميجاواط لإقامتها على أرض معرضٍ للتقنيات الشمسية الأخرى. وتجري محادثات جادة حالياً لبناء محطة في مقاطعة البنجاب الهندية(٤٦).

أما المجموعة الثالثة الرئيسة من التقنيات الشمسية فتعتمد على الظاهرة الفوتوفولطية التي اكتشفها بيكريل عام ١٨٣٩. وتولِّد هذه الظاهرة الكهرباء عندما يسقط الضوء على بعض المواد. ولا تحتاج هذه التقنية إلى أي أجزاء متحرِّكة أو إلى أية حرارة، وكل ما تحتاجه سقوط حزمة ضوئية تحُرِّر بعض الكترونات المادة مسببةً تياراً كهربائياً. ولقد استخدمت هذه الظاهرة في البداية في تزويد المركبات الفضائية بالطاقة الكهربائية، إلا أن السوق العالمي قد أخذ زمام السيطرة الآن حيث نما بمعدل ٤٤ بالمئة ما بين ١٩٨٠ و١٩٨٥. وتستطيع خلية شمسية فعاليتها ١٠ بالمئة ومساحتها ١٠٠ سنتمتر مربع إنتاجَ ١ واط من القدرة الكهربائية في يوم صافٍ عند الظهر(٤٧).

وبلغ سعر السوق الوسطي في ١٩٧٦ للأنظمة الفوتوفولطية ٤٤ دولاراً لكل واط مُنْتَج، كما بيع ما يكافىء إنتاجية ٠,٥ ميجاواط من هذه الأجهزة وبعد انقضاء عشر سنوات فقط انخفضت الأسعار إلى ثُمْن قيمتها (باعتبار قيمة الدولار عام ١٩٨٦) أي إلى ٥,٢٥ دولاراً وازدادت المبيعات إلى ما يكافىء إنتاجيَّة ٢٤,٧ ميجاواط. (انظر شكل ٤-١)(٤٨).

ولقد استُخْدِم نصف المبيعات الفوتوفولطية لعام ١٩٨٦ في تزويد الطاقة لأجهزةٍ وقرى سكنيَّة غير متصلة بخطوط الكهرباء الرئيسة. وتعد صناعة الاتصالات الزبون الرئيس لهذه السوق إذ تعتمد على الأنظمة الفوتوفولطية في البثِّ الإذاعي، والاتصال الهاتفي، والإرسال التلفازي. وتعتمد شركات

جدول ٤-٤ أنظمة الطاقة الشمسية الحرارية الكبيرة، المقامة أو المخططة، عام ١٩٨٧

المشروع	الموقع	التقنية	القدرة (ميجاواط)	التاريخ المتوقع أو الفعلي لإتمام المشروع
Dauby Lake[1]	كاليفورنيا	برك شمسية	٤٨	-
Luz SEGS1	كاليفورنيا	مجمِّع وعائي	١٤	١٩٨٤
Luz SEGS2	كاليفورنيا	مجمِّع وعائي	٣٠	١٩٨٥
Luz SEGS3	كاليفورنيا	مجمِّع وعائي	٣٠	١٩٨٦
Luz SEGS4	كاليفورنيا	مجمِّع وعائي	٣٠	١٩٨٦
Luz SEGS5	كاليفورنيا	مجمِّع وعائي	٣٠	١٩٨٧
Luz SEGS6	كاليفورنيا	مجمِّع وعائي	٣٠	١٩٨٨
Luz SEGS7-19	كاليفورنيا	مجمِّع وعائي	٤٥٠	١٩٨٩-١٩٩٢
Luz Eliat	إسرائيل	مجمِّع وعائي	٢٥	١٩٩٠
Solar One	كاليفورنيا	مستقبل مركزي	١٠	١٩٨٢
Mysovoye	الاتحاد السوفييتي	مستقبل مركزي	٥	١٩٨٦
Bet Ha Arara	إسرائيل	برك شمسية	٥	١٩٨٤
Solar Plant I	كاليفورنيا	مستقبل مخروطي	٤	١٩٨٤
Themis	فرنسا	مستقبل مركزي	٢	١٩٨٣
CESA - 1	اسبانيا	مستقبل مركزي	١	١٩٨٣
Sunshine 1	اليابان	مستقبل مركزي	١	١٩٨١
Sunshine 2	اليابان	خليط	١	١٩٨١
Eurelios	إيطاليا	مجمِّع مركزي	١	١٩٨١
SolNtsye	الاتحاد السوفييتي	مجمع مركزي	١	١٩٨٣

(١) المشروع متوقف ولا يوجد تاريخ محدد للانتهاء منه.

Source: World watch Institute, based upon research reports, news articles and private communications.

obeikandl.com

الاتصالات الدوليَّة، والقرى النائية، والباحثون الميدانيون (field researchers) على هذه الحلقة الهامة للاتصالات. والمعلوم أن مدَّ خطوط الكهرباء الرئيسة إلى هذه المواقع النائية قد يكلِّف ما بين ٢٣,٠٠٠ و٤٦,٠٠٠ دولار للكيلومتر الواحد.

ومشاريع كهربة الأرياف التي تعتمد على الأجهزة الفوتوفولطية أخذت تنتشر ببطء في جميع دول العالم الثالث. ولقد أُحرز أكبر تقدُّم في هذا المجال في جمهورية الدومينيكان وعلى الجزر في بولونيزيا الفرنسيَّة واليونان. وتستخدم الأجهزة الفوتوفولطية في تبريد المطاعيم لحفظها من التلف، وفي ضخ المياه لمشاريع الري، وفي الإنارة والتسلية داخل البيوت. وعلى النطاق العالمي، يعتمد ١٥,٠٠٠ منزل في كهربته على الخلايا الفوتوفولطية، ولقد بُني مؤخراً منزل في ألمانيا الغربية وضعت فيه الأجهزة الفوتوفولطية بشكل تكاملي داخل سقف المنزل(٥٠).

٤-١ ارساليات العالم من الفوتوفولتيك ومتوسط أسعار السوق، ١٩٧٥-١٩٨٦

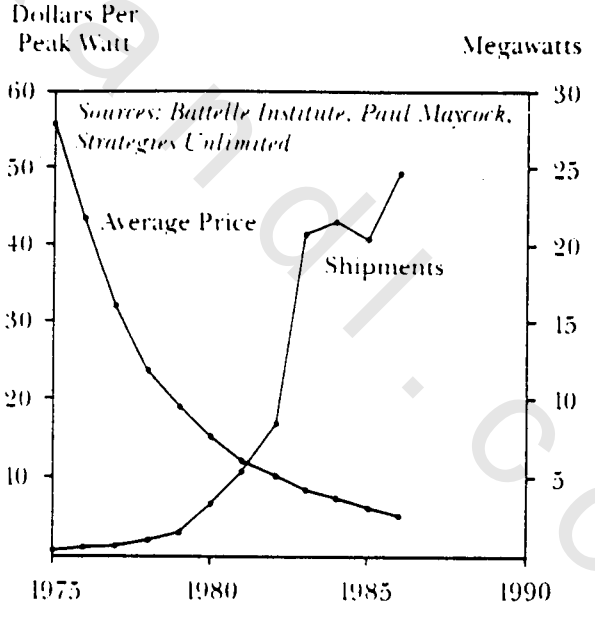

Figure 4-1. World Photovoltaic Shipments and Average Market Prices, 1975-86

ويمتلك حرس السواحل في الولايات المتحدة أكبر مجموعة من الأنظمة الفوتوفولطية حيث يستخدم ١٠٥٢٥ منها لتزويد الطاقة للأجهزة الملاحية

المُساعِدة. ويوفّر كل نظام ٥٠٠٠ دولار على دافع الضرائب الأمريكي كثمن للبطاريّات المستهلكة التي كانت تستخدم سابقاً في المنارات النائية والمصابيح التحذيرية العائمة. وتسعى مؤسسة خفر السواحل لتوفير المال اللازم لإقامة ٦٤٠٠ وحدة جديدة عام ١٩٨٨[٥١].

أما الاستخدام الثاني، والأحدث للأجهزة الفوتوفولطية فهو للمنتجات الاستهلاكية. وتعد شركات سانيو وشارب وفوجي اليابانية رائدة في هذا المجال. ولقد تم صنع أول آلة حاسبة شمسية عام ١٩٧٨، وبيع منها ٢٠٠ مليون آلة عام ١٩٨٧. وبالرغم من حداثتها، فإن الألعاب والساعات وأنظمة الإضاءة الشمسية أصبحت جميعها متوفرة تجاريًا، ويعود الفضل في ذلك إلى اكتشاف طريقة جديدة جذريًا في تصنيع الخلايا الفوتوفولطية. ولقد ركّزت اليابان على هذه التقنية الجديدة القائمة على استخدام الأغشية الرقيقة، وتفوّقت عام ١٩٨٥ على الولايات المتحدة كأكبر مورِّد للخلايا الفوتوفولطية في العالم. واستحوذت الخلايا الجديدة هذه على ثلث حجم السوق خلال تسع سنوات فقط من استخدامها[٥٢].

وتنتج الولايات المتحدة خلايا الأغشية الرقيقة الشمسية لأغراض توليد الطاقة. وقامت شركة ARCO Solar، الرائدة عالميًا حتى عام ١٩٨٦ في تصنيع الأجهزة الفوتوفولطية، بتصنيع أول وحدة توليد للطاقة باستخدام خلايا الأغشية الرقيقة في عام ١٩٨٤. ولم تدخل اليابان هذا السوق إلا مؤخراً، بتصنيع أجهزة لتوليد الطاقة لسدِّ حاجات المناطق الريفية في الدول النامية. وما زالت الولايات المتحدة، حتى هذه اللحظة على الأقل، في المقدمّة في مجال مبيعات أجهزة توليد الطاقة وتورِّد معظم الأنظمة الفوتوفولطية المستخدمة من قبل شركات الكهرباء ومنتجي الطَّاقة - وهو ما يشكِّل ١٢ بالمئة من حجم السوق لعام ١٩٨٦.

وستستمر مبيعات الأجهزة الفوتوفولطية بالارتفاع النسبي، إلا أن الاستخدام الواسع والكبير لهذه الأجهزة سوف يعتمد على التقدُّم المستمر في تخفيض كلفتها، ورفع فعاليتها، وتحديث طرق إنتاجها الأوتوماتيكية، وحلِّ مشكلات تلفها وانحطاط فعاليتها مع الزمن. وفي اجتماع دولي عقد في حزيران عام ١٩٨٧، قدَّر

الخبراء حجم السوق العالمي السنوي للخلايا الفوتوفولطية بما يساوي ١٢٥ مليون دولار عند الكلفة الحالية التي تبلغ ٤-٥ دولار للواط. (ويرتفع حجم المبيعات لعام ١٩٨٦ إلى ضعف المبلغ السابق إذا أضفنا أثمان المكوِّنات الأخرى، عدا الخلايا اللازمة لتصنيع الأنظمة المبيعة).

ويتوقع هؤلاء المحلِّلون الاقتصاديون ارتفاع حجم السوق ١,٥ بليون دولار إذا انخفضت الكلفة إلى ٣ دولارات للواط، وإلى ١٠٠ بليون دولار في حالة انخفاضها إلى أقل من دولار واحد للواط[٥٤].

إن اقتناع شركة ARCO Solar بإمكانات النمو الكبيرة لهذه الصناعة قد دفعها إلى رفع الإنتاجية السنوية لأحد مصانعها إلى ٥ ميجاواط. كما أعلنت شركة Chronar Corporation ، وهي شركة أمريكية أخرى، عن خططها لبناء مصنع بقدرة إنتاجية تساوي ١٠ ميجاواط. وسيكون هذا المصنع، عند إتمامه في أواخر عام ١٩٨٨، أكبر مصنع في العالم لإنتاج الخلايا الفوتوفولطية من السيلكون اللَّابلوري.

استخدام طاقة الرياح

لقد اعتمدت الصناعة الهولندية في أوائل هذا القرن على طاقة الريح لسدِّ ربع احتياجاتها من الطاقة وهو ما يعادل ١٥٠-٢٠٠ ميجاواط من القدرة الكهربائية. غير أن رُخص أسعار البترول والغاز بالإضافة إلى كهربة بيت الريف أدَّت إلى الاستغناء عن هذه التربينات الهوائية الأولى، ولم تعد طاقة الرياح إلى مسرح الاستعمال إلا بعد نموها السريع خلال الثمانينات. وتنتشر حالياً التربينات الهوائية المنتجة للكهرباء (بالمقارنة مع الطواحين الهوائية المنتجة للطاقة الميكانيكية) في ٩٥ بلداً تمتدُّ من المناطق الاستوائية إلى المناطق القطبية الشمالية[٥٦].

وتنتج الرياح عند التسخين المتفاوت لسطح الأرض وطبقات الجو وما يتبع ذلك من اختلاف في الضغط الجوي فوق المناطق المختلفة. وتتأثر أنماط الريح المحلية باختلاف التضاريس الأرضية. ومعظم السواحل القاريَّة والعديد من

المناطق الداخلية غنيٌّ بمصادر الرياح بحيث تستطيع تزويد الجزء الأكبر من حاجة العالم إلى الطاقة الكهربائية إذا استغلت.

وخلال العقد الذي تلا الحَذْر البترولي عام ١٩٧٣ تمَّ تركيب أكثر من ١٠,٠٠٠ تربين هوائي في العالم. واستخدم معظم هذه الوحدات إما في شحن البطاريات أو في إنتاج كميات صغيرة من الكهرباء،أقل من ١٠٠ واط على الأغلب. ولقد نما سوق هذه التربينات الصغيرة في الصين بشكل مثير من ١,٢٨٢ وحدة عام ١٩٨٢ إلى ١١,٠٠٠ وحدة في ١٩٨٦. ويعود هذا النمو السريع إلى توفر الاستقبال التلفازي مؤخراً على مستوى الأمَّة في حين بقي تمديد خطوط الكهرباء الرئيسة محدوداً. ومن بين المنتجين العشرة الأوائل للتربينات الهوائية الصغيرة في العالم عام ١٩٨٦ كان خمسة منهم صينيُّون(٥٧).

ولقد نما السوق الدولي لتوليد الطاقة الكهربائية من الرياح بسرعة خلال الثمانينات إذْ قفز من ٣٤ ميجاواط في ١٩٨١ إلى ٥٦٧ ميجاواط عام ١٩٨٥ ـ أي بزيادة سبعة أضعاف. وبحلول ١٩٨٦ بلغت المبيعات الإجمالية العالمية للتربينات الهوائية ٢,٥ بليون دولار. وتأتي الولايات المتحدة الأمريكية في المقدمة في تركيب التربينات الهوائية المتوسطة الحجم، ولقد بيع ٩٠ بالمئة من طاقة الرياح المنتجة في العالم عام ١٩٨٦ إلى زبائن اثنتين من شركات الكهرباء في كاليفورنيا. ومن ١٤٤ تربيناً هوائيًّا قدرتها الكلية ٧ ميجاواط في ١٩٨١، أصبح لدى ولاية كاليفورنيا في نهاية ١٩٨٦ ما يساوي ١٦,٧٦٩ تربيناً بقدرة إجمالية تصل إلى ١,٤٦٣ ميجاواط (انظر جدول ٤-٥). ولقد بنيت هذه التربينات في زمنٍ أقل مما تحتاجه أجهزة توليد الكهرباء التقليدية، وبكلفة أقل بالنسبة لأحدثها(٥٨).

وتوجد معظم التربينات الهوائية التي تمَّ تركيبها في الولايات المتحدة في ثلاثة ممرات جبلية في كاليفورنيا - ألتامونت، وسان غورغونيو، وتهتتابي، وفي ألتامونت وسان غورغونيو خلافاً للمألوف، تصل الرياح أقصى سرعتها خلال الصيف، وهو الفصل الذي يرتفع فيه الطلب على الكهرباء أعلى معدلاته. وتعد التغيُّرات الفصلية والسرعات العظمة للريح من المتغيرات الهامة في تقدير الإمكانات المتوفرة

لتوليد طاقة الرياح؛ فالطاقة المتولدة تزداد ثمانية أضعاف عندما تتضاعف سرعة الرياح. وتُصمَّم معظم الأنظمة لتعمل عند سرعة الريح في المدى ٤-٣٠ متراً في الثانية[٥٩].

كذلك يتناسب ناتج القدرة المتولدة على مساحة نصلات التربين الهوائي: فمضاعفة المساحة يضاعف الناتج. وأدَّى التقدُّم في تصميم التربينات إلى جعل القطر المتوسط لنصلات تربينات كاليفورنيا يصل إلى ١٧ متراً عام ١٩٨٤، ما أدَّى إلى زيادة ٥٠ بالمئة في القدرة الناتجة بالمقارنة مع نماذج التربينات المستخدمة عام ١٩٨٢. وتكبير التربينات يخفِّض الكلفة الرأسمالية إذ يمكن عندها إنتاج كمية أكبر من الكهرباء بعدد أقل من التربينات[٦٠].

وفي بداية الثمانينات، سعياً وراء الربح الوفير، دخل عدد كبير من المنتجين القليلي الخبرة مجال تصنيع التربينات في سوق كاليفورنيا الذي كان يتمتع حينئذٍ بامتيازات ضريبية ومعونات مالية كبيرة؛ فبنوا أجهزة غير مدروسة ولا مجرَّبة. ونتيجة لعمليات التصليح والتجديد المتكررة سرعان ما أعلنت هذه الشركات إفلاسها. ولم يبق في الميدان سوى تلك الشركات التي جمعت التصاميم القوية، والمعتمدة، والمجرَّبة مع الاختيار المناسب للمواد الجديدة، والخبرة وتقنيات الإنتاج من أجل الحصول على نواتج موثوقة. وفي الواقع فإن التربينات الحالية تعمل ٨٠-٩٨ بالمئة من الوقت الذي تهبُّ خلاله الرياح[٦١]. وازداد حجم إنتاجية التربينات المركَّبة في كاليفورنيا من ٤٩ كيلوواط عام ١٩٨١ إلى ١٢٠ كيلوواط في ١٩٨٧. والعديد من النماذج الجديدة تصل قدرته الإنتاجية ١٥٠-٧٥٠ كيلوواط. أما البرامج المموَّلة حكومياً فقد بدأت عملها بدعم تصنيع التربينات الكبيرة التي تصل قدرتها بضعة ملايين واط. ولقد بُني، منذ عام ١٩٨٥، أحد عشر تربيناً تزيد قدرة كل منها على ١,٠٠٠ كيلوواط ـ سبعة منها في الولايات المتحدة، وواحد في كلٍّ من الدنمارك وألمانيا الغربية. وبالرغم من سِجل التشغيل الكئيب لبعض هذه الوحدات الكبيرة إلا أن كندا والدنمارك وهولندا والسويد والمملكة المتحدة وألمانيا الغربية تقوم ببناء وحدات كبيرة جديدة بقدرة بضعة ملايين

واط لكل منها. وما زالت هذه الحكومات تدعم بناء التربينات الكبيرة بسبب القيود التي يفرضها صغر المساحات الملائمة المتوفرة الأمر الذي يضطرها إلى التركيز على هذه الوحدات الكبيرة في مجالات البحث والتطوير(٦٢).

ولقد أحدث إلغاء الإعفاءات الضريبية في الولايات المتحدة على تجارة التربينات الهوائية وصناعتها في نهاية عام ١٩٨٥ أصداء تجاوبت في أرجاء العالم. وكانت الدنمارك أكثر البلدان الخارجية تأثراً بهذا القرار، إذ إنها تورِّد نصف احتياجات كاليفورنيا من التربينات الهوائية. ففي عام ١٩٨٥ صدَّرت الدنمارك ٢٥٠٠ تربين هوائي إلى أمريكا الشمالية. ولقد انخفضت صادرات الدنمارك من التربينات الهوائية، وهي من أهم الصادرات، إلى النصف في عام ١٩٨٦، كذلك أصيب المنتجون في الولايات المتحدة بنكسات كبيرة ولم يبق منهم عاملاً سوى القليل(٦٣).

ولقد بلغت مبيعات التربينات الهوائية قمتها في عام ١٩٨٥، ومن غير المنتظر أن تعود إلى هذا المستوى ثانيةً إلا في التسعينات من هذا القرن. وبالرغم من الاضمحلال الذي أصاب سوق كاليفورنيا، إلا أن الاهتمام في طاقة الرياح آخذة بالنمو السريع في أماكن أخرى من العالم.

وينتظر أن تتناقص أهمية سوق أمريكا الشمالية تدريجيًّا إلى ٥٠ بالمئة من الحجم العالمي الكلي بحلول التسعينات من هذا القرن. وعندها سيصل حجم السوق الأوروبي إلى ٢٥ بالمئة أو أكثر من الحجم العالمي باستيعاب قدرة ١٠٠ ميجاواط سنويًّا على الأقل، وتتوزَّع بقية أقطار العالم الربع الباقي من حجم السوق(٦٤).

وبالإضافة إلى كَوْن الدنمارك أكبر موزِّد للتربينات الهوائية المتوسطة الحجم، إذ يوجد فيها ٧ من ضمن المنتجين العشرة الأوائل في العالم؛ فقد بَنَتْ لنفسها أيضاً سوقاً محليَّة. ولقد بلغت القدرة الإنتاجية المقامة حتى منتصف ١٩٨٧ ما مجموعه ١٠٠ ميجاواط، بما فيها المحطة الهوائية البحريَّة الأولى على الشاطىء الشرقي من جُتْلَندا Jutland. ومع أن المرحلة الأولى لتطوير طاقة الريح في الدنمارك اعتمدت

جدول ٤-٥ مزارع كاليفورنيا الهوائية، ١٩٨١-١٩٨٧

السنة	التربينات المركّبة (العدد)	القدرة الإنتاجية المقامة (ميجاواط)	القدرة الإنتاجية المتوسطة للتربين (كيلوواط)	متوسط الكلفة دولار لكل (كيلواط-ساعة)	القدرة المتولدة[1] مليون (كيلواط-ساعة)
١٩٨١	١٤٤	٧	٤٩	٣,١٠٠	١
١٩٨٢	١١٤٥	٦٤	٥٦	٢,١٧٥	٦
١٩٨٣	٢٤٩٣	١٧٢	٦٩	١,٩٠٠	٤٩
١٩٨٤	٤٦٨٧	٣٦٦	٧٨	١,٨٦٠	١٩٥
١٩٨٥	٣٩٢٢	٣٩٨	١٠١	١,٨٨٧	٦٧٠
١٩٨٦	٢٨٧٨	٢٧٦	٩٦	١,٢٥٠[2]	١٢١٨
١٩٨٧[2]	١٥٠٠	١٨٠	١٢٠	غيرمتوفر	١٦٠٠
المجموع	١٦٧٦٩	١٤٦٣	٨٧		٣٧٣٩

(١) تُقام معظم الوحدات في النصف الثاني من السنة ولا تنتج قدراً كبيراً من الطاقة حتى العام التالي.

(٢) مبدئياً.

المصادر: قبل ١٩٨٥ من:

Paul Gipe, "An Overview of the U.S. Wind Industry," Alternative Sources of Energy. Septermber / October 1985: based on California Energy Commission (CEC) data.

١٩٨٥ ومعظم ١٩٨٦ من:

Sam Rashkin, CEC, Sacramento, Calif., private communication. October 6, 1987; preliminary estimates from Paul Gipe. American Wind Energy Association. Tehachapi, Calif., Novermber 5, 1987.

obeikandl.com

كلية على وحدات مفردة بقدرة ٥٥ كيلوواط متصلة بخطوط الكهرباء الرئيسة، إلا أن خطط المستقبل تقتضي بناء تجمُّعات تربينيَّة تزيد قدرة كل منها على ٢٠٠ كيلوواط. وتتوقع شركتا إلكرَفت Elkraft وإلسام Elsam للكهرباء بناء وحدات إضافية تصل قدرتها ١٠٠ ميجاواط بحلول عام ١٩٩١[٦٥].

وتخطط الصين لبناء مزارع لتوليد طاقة الرياح بقدرة كلية تساوي ١٠٠ ميجاواط في الفترة ما بين ١٩٩٠ و١٩٩٦. كما وضعت هولندا خطة خمسية بهدف إقامة قدرة إنتاجية تساوي ١٥٠ ميجاواط بحلول عام ١٩٩٢. وتأمل الحكومة أن تصل قدرة البلاد الإنتاجية الكلية ١٠٠٠ ميجاواط في نهاية القرن الحالي. وتخطط إسبانيا لإنشاء ما قدرته ٤٥ ميجاواط بحلول عام ١٩٩٣ وتتوقَّع اليونان تركيب منشآت تصل قدرتها إلى ٨٠ ميجاواط في منطقة الجزر اليونانيَّة. وهناك مزارع صغيرة لاستغلال طاقة الرياح أُقيمت أو قَيْد التخطيط في كل من استراليا، وبلجيكا، وإسرائيل، وإيطاليا، والاتحاد السوفياتي، والمملكة المتحدة، وألمانيا الغربية[٦٦].

ويعد برنامج وزارة الطاقة الهندية أكثر برامج استغلال طاقة الرياح طموحاً في العالم، إذْ يهدف إلى الحصول على قدرة إنتاجية تساوي ٥٠٠٠ ميجاواط للقطاعين العام والخاص وذلك بحلول عام ٢٠٠٠. والهند التي لم تكن تمتلك أي تربين هوائي حتى عام ١٩٨٥، أصبح لديها الآن ما يعادل القدرة الإنتاجية لولاية كاليفورنيا عام ١٩٨١، ويُتوقَّع لها أن تكون أكثر الأسواق نموًّا في العالم. وإذا ما حققت الحكومة أهدافها فإن القدرة الإنتاجية للكهرباء من طاقة الرياح ستزيد في نهاية القرن على ما ينتجه البرنامج النووي[٦٧].

ولقد هبطت كلفة إقامة التربينات الهوائية المتوسطة الحجم إلى أكثر من النصف منذ عام ١٩٨١ لتصل إلى ٨٠٠-١٢٠٠ دولار لكل كيلوواط. وتُنافِسُ هذه التربينات الهوائية، في العديد من الأسواق، التقنيات التقليدية لتوليد الطاقة. وينتظر أن تهبط الكلفة أكثر عندما يبدأ المنتجون بتصنيع التربينات بأعداد كبيرة[٦٨].

المساهمات في مجال مصادر الطَّاقة المتجدِّدة

عَبرْ التاريخ لم يتوقَّف الاعتماد على مصادر الطاقة المتجددة إلا لفترات دوريَّة وذلك باكتشاف كميات كبيرة من الوقود الرخيص، كالرواسب الجديدة من الفحم، والزيت، والغاز الطبيعي، واليورانيوم. غير أنَّ احتراق الفحم يعمل على تسخين الجو ويسبِّب المطر الحامضي المسؤول عن تدمير ٣١ مليون هكتار من الأحراج في أوروبا الوسطى. والطاقة النووية تورثنا تَركة يدوم خطرها آلاف السنين. كما أنَّ حقول البترول لا تُعوَّض بمقياس عمر الإنسان الزمني.

وبالرغم من التناقص المستمر في احتياطي البترول العالمي فإن العديد من الدول مستمر في زيادة اعتماده على منطقة الشرق الأوسط المضطربة. وعندما تستأنف أسعار البترول ارتفاعها، ستكون هذه الدول أكثر تأثُّراً بانقطاع إمدادات البترول عما كانت عليه في السبعينات. إن ضمان مستقبل آمن مستقر في مجال الطاقة يدعونا إلى التوقف عن تبذير ميراث مئات ملايين السنين والعودة إلى أصالة مصادر الطاقة المتجددة.

إن التزاماً أكبر نحو فعالية الطاقة والاستخدام الأوسع لمصادر الطاقة المتجددة هما أضمن وأرخص سبيل لحلِّ المشاكل التي تبدو مستعصية. وسيؤدي ذلك بالتالي إلى إرساء الاقتصاد العالمي على قواعد أثبت. إن إدخال عنصر المرونة على سياسات الطاقة عن طريق زيادة فعالية وتنوُّع خيارات مصادر الطاقة بمقياس أصغر عما هو معمول به حاليًّا سيوفِّر القدرة على التكيُّف اللازم لمجابهة المستقبل المجهول.

وللأسف فإن العديد من مخططي سياسات الطاقة، وقد أخذتهم النشوة بعد الانخفاض الحاد في أسعار البترول الذي حدث في منتصف الثمانينات، لا ينظرون إلى المستقبل. كما أن الدول النامية المثقلة بالديون الخارجية لن تستطيع توفير المال اللازم لمشاريع جديدة في مجال الطاقة.

ويبدو أن القليل من الدول يتحرَّك في الاتجاه الصحيح في تبنِّيهم لمصادر

الطاقة المتجددة. فالبرازيل، مثلاً، تحصل على ٦٠ بالمئة من حاجتها للطاقة باستخدام مزيج من المصادر المتجددة. وكانت البرازيل عام ١٩٨٦ أكبر منتج عالمي للوقود الكحولي، وثاني أكبر منتج للوقود الخشبي، ورابع أكبر منتج للطاقة المائية. وحتى أكثر قطاعات الصناعة تقدُّماً مثل صناعة السيارات والفولاذ يعتمد على مصادر الطاقة هذه(٦٩).

وتمثِّل البرازيل النقيضَينْ في مجالي الآمال الواعدة والمشاكل الناتجة عن الاعتماد على مصادر الطاقة المتجددة. فكثير من مشاريع الطاقة المائية الكبيرة في البلاد وُوفق عليها دون دراسة بيئيَّة جادَّة ودون تقدير واعٍ لفعالية الطاقة للإجراءات المتبعة. وفي بعض الحالات رُحِّل السكان وأُبيدت أنواع نادرة من الحيوان والنبات لمجرَّد بناء مشاريع للطاقة ظلَّت دون استخدام. ومع ذلك، فقد أثمرت برامج أخرى تقدُّماً حقيقياً. فثلث الفولاذ المصنع في البلاد يعتمد على الوقود الخشبي في تصنيعه؛ وتُزوِّد مزارع اليوكاليبتس eucalyptus السريع النمو معظم الخشب المطلوب لذلك. إن زيادة إنتاجية النواتج العضوية وفعاليَّة تصنيع فحم الخشب وعمليات صهر الحديد ستؤدي إلى تخفيض رقعة الأرض المطلوبة لمساندة مستوى مُعينٍ من إنتاج الصلب إلى خمس قيمتها السابقة في السبعينات(٧٠).

وتحصل الهند على أقل من نصف حاجتها للطاقة من المصادر المتجددة، إلا أن معظم ذلك غير تجاري، ويعتمد في الغالب على مصادر غير دائمة من الوقود الخشبي، والفضلات الزراعية والحيوانية. ولقد طَوَّرت مؤخراً دائرة مصادر الطاقة اللاتقليدية مخطَّطاً لزيادة مساهمة المصادر المتجددة للطاقة ببناء طاقة إنتاجيَّة من المصادر المتجددة تبلغ ١٥,٠٠٠ ميجاواط بحلول عام ٢٠٠٠. (هذا بالإضافة إلى التزام البلاد الرئيس نحو بناء المحطات المائية الضخمة). وستكون المساهمة الكبرى في ذلك لتقنيات التربينات الهوائية والنواتج العضوية، وتليها المحطات الصغيرة المائية والشمسية الحرارية بالإضافة إلى مساهمة أصغر من غازات التخمير العضوي والنفايات التي تجمعها البلديَّات(٧١).

ولدى عدد من البلدان مخططات لزيادة مساهمة ما يحصلون عليه حالياً من

مصادر الطاقة المتجددة. (انظر جدول ٤-٦). فالدنمارك تركز في ذلك على التربينات الهوائية، وإسرائيل على التقنيات الشمسية، واليابان على عدد من المصادر المتجدِّدة بما فيها الشمسية، والجوفية الحرارية، والبحريَّة.

جدول ٤-٦ النسبة المئوية الكلية لمساهمة مصادر الطاقة البديلة لاحتياجات الطاقة في عدد من البلدان المختارة، ١٩٨٤/١٩٨٥، مع التوقعات حتى عام ٢٠٠٠

البلد	١٩٨٤/١٩٨٥ (نسبة مئوية)	٢٠٠٠ (نسبة مئوية)
البرازيل[١]	٥٩,٠	٦٤,٣
النرويج	٦١,١	٦٣,٠
اليابان	٥,١	١٣,٥
أستراليا	٩,٤	١٢,٦
إسرائيل	٢,٣	١٢,٠
الدانمارك	٢,٠	١٠,٠
اليونان	٥,٩	٨,٩
الولايات المتحدة	٧,٤	٨,٧
ألمانيا الغربية	٢,٥	٥,٥

(١) أرقام لعام ١٩٨٣ و ١٩٩٣.

Sources: Ministry of Mines and Energy. "Energy Self-Sufficiency: A Scenario Developed as an extension of the Brazilian Energy Model." Government of Brazil Brasilia. 1984: Strategies Unlimited. "International Energy and Trade Policies of California's Export Competitors". California Energy Commission. Sacramento. Calif.. 1987: Scott Sklar. "International Trade Policy for the Renewable Energy Industries An Assessment.". Solar Today. March/April 1987: International Energy Agency. Energy Policies and Programmes of IE.L Countries: 1980 Review (Paris: Organisation for Economic Co-operation and Development. 1987).

obeikandl.com

ولكن النجاح في هذه المرحلة في تطوير تقنيات الطاقة المبنية على المصادر المتجددة لا يمكن الحكم عليه بسهولة على أساس حصة الطاقة الناتجة أو عدد وحدات الميجاواط المُقامة. فالتحسينات التقنيَّة، بما فيها زيادة الفعالية والموثوقيَّة، وتطوير تصاميم ومواد جديدة هي التي تعد مقياساً لإمكانات مساهمة المصادرالبديلة في مجال احتياجات الطاقة. وبالنسبة للعديد من التقنيات الجديدة، فإن مراقبة انخفاض الكلفة يدل أيضاً على الجهد المتبقِّي الذي يجب أن يُبْذَل قبل التعميم التجاري الواسع.

ويمكن قياس التزام الدول نحو البحث العلمي والتطوير (R&D) في مجال المصادر المتجدِّدة بعدة طرق. ومجرد النظر إلى الأرقام المخصصة بالدولار يدل على ما يصرف في مجال التقدم التقني. ففي الولايات المتحدة التي ما زالت رائدة في هذا الميدان، بلغت الأموال المخصصة للبحث والتطوير للمصادر المتجددة قمتها عام ١٩٨٠ إذ بلغت ٩٠٠ مليون (بتقدير قيمة دولار ١٩٨٦). ونقصت الاعتمادات منذ ذلك التاريخ بحوالي ٨٠ بالمئة، ولا يوجد أي دليل لزيادتها في المستقبل المنظور(٧٢).

ولقد هبط التمويل الكلي للمصادر المتجددة في جميع الدول الأعضاء في وكالة الطاقة الدولية ٦٤ بالمئة عن قيمته العظمى في ١٩٨٠. واليونان والبرتغال هما البلدان الوحيدان الذي زيدت فيهما الميزانيات المخصصة لذلك. وبلغ الانخفاض ٢٥ بالمئة أو أقل في اليابان وسويسرا وتركيا؛ وأقل من ٥٠ المئة لكل من السويد وألمانيا الغربية والمملكة المتحدة(٧٣).

إن التذبذب الكبير في مقدار الدَّعم المقدم للتقنيات الجديدة يؤدي إلى إحباطها. فبدون تمويل معتمد، يصعب تخطيط البرامج الطويلة الأمد ويصبح تطبيقها أكثر تعقيداً. وهذا لا يعني عدم إجراء التصحيحات اللازمة أثناء المسيرة. إن عملية التعلُّم تقتضي بطبيعتها أن تترافق المعرفة الجديدة مع تغييرات في برامج البحث والتطوير، ولكن الانقطاع المفاجىء في مشاريع البحث الجارية وتخفيض أعداد الباحثين قد يكون له نتائج مدمِّرة.

إن حصة التمويل المخصصة للبحث والتطوير في مجال المصادر المتجدد يعكس التأييد السياسي النسبي الذي تحظى به وربما كان في ذلك دلالة على مدى مساهمة هذه المصادر الجديدة مستقبلاً في مجال تزويد الطاقة. وتحظى المصادر المتجددة بتأييد سياسي كبير في اليونان، مثلاً، التي تخصص ٦٣ بالمئة من ميزانية الطاقة في البحث والتطوير للمصادر المتجددة علماً بأن اليونان لا تمتلك برنامجاً نووياً. واليابان التي ليس لها هي الأخرى برنامج نووي تصرف فقط ٤ بالمئة من ميزانية الطاقة للبحث والتطوير للمصادر المتجددة، ومع ذلك تتفوق على اليونان في المبالغ المخصصة بنسبة ١٠ إلى ١. (انظر جدول ٤-٧). فسكان اليابان يزيدون ١٢ ضعفاً على سكان اليونان كما أن حجم اقتصادهم أكبر بحوالي ١٧ ضعفاً[٧٤].

ولربما كان أفضل مقياس للمقارنة في مجال دعم الدول المختلفة للمصادر المتجددة هو ما يخصص للفرد الواحد من نفقات. وبذلك نتفادى عاملي الحجم السكاني والدعم المادي للتقنيات الأخرى. فالسويد التي تقع في الطليعة في هذا المجال، تركز مجهوداتها على النواتج العضوية ـ الخشب، ومحاصيل الطاقة، وفائض الأغذية. وبموجب استفتاءٍ شعبي، فإن على السويد تصفية جميع مخطَّطاتها النووية الاثنتي عشرة بحلول عام ٢٠١٠[٧٥].

وفي أعقاب الحادث النووي في تشرنوبل، فإن الدَّعم الحكومي لتقنيات المصادر المتجددة ـ خاصة المتعلقة بالطاقة الشمسية ـ قد زادت على ما يبدو في كل من إيطاليا، واليابان، وإسبانيا وألمانيا الغربية. ومن المتوقع أن تتضاعف ميزانية الطاقة الشمسية للحكومة السويسرية ثلاثة أضعاف بحلولِ عام ١٩٩٠. وتدعم الدانمارك وهولندا تقنيات التربينات الهوائية بقوة، أما اليونان والهند فتقوم بتنفيذ برامج عريضة للمصادر المتجددة تعتمد على عدد متنوع من هذه المصادر[٧٦].

وفي اليابان يتعاون القطاعان الخاص والعام تعاوناً وثيقاً في تطوير التقنيات الجديدة. وكل منهما يساهم ماديًّا بنصيبه من الدعم، فالحكومة غالباً ما تخفف القيود التشريعية والمالية، ويُقدِّم القطاع الخاص تقارير دوريَّة ـ باتفاق إجماعي ـ

عن حاجاته وما تمَّ إحرازه من تقدُّم. وتشمل مؤسسة الطاقة الجديدة اللاربحيَّة (nonprofit) في عضويتها جميع المنتجين اليابانيين الرئيسيين للأجهزة الفوتوفولطيَّة. وهي بالإضافة إلى تقييم التقدم الصناعي المحرز وبيان العقبات التي تُعيق النمو، فإنها تتنبَّأ بالاستثمارات الضرورية في مجال بناء المحطَّات وإنتاج الأجهزة اللاَّزمة لتحقيق أهداف الكلفة على مدى فترات زمنية تتراوح بين ١٠ و٢٠ سنة. وتحمل توصياتها وزناً كبيراً في المناقشات مع الحكومة فيما يتعلق بأولويَّات البحث والتطوير(٧٧).

جدول ٤-٧ الإنفاق الحكومي للبحث والتطوير على المصادر المتجددة في عدد من البلدان المختارة، ١٩٨٦

البلد	مخصصات البحث والتطوير للمصادر المتجددة (مليون دولار)	النسبة من ميزانية الطاقة للبحث والتطوير (مئوية)	الإنفاق للشخص الواحد (دولار)
السويد	١٧,٣	٢١,٨	٢,٠٦
سويسرا	١٠,٢	١٤,٧	١,٥٧
هولندا	١٧,٠	١٠,٦	١,١٧
ألمانيا الغربية	٦٥,٩	١١,٦	١,٠٩
اليونان	٩,٧	٦٣,٢	٠,٩٧
اليابان	٩٩,٢	٤,٣	٠,٨٢
الولايات المتحدة	١٧٧,٢	٧,٨	٠,٧٣
إيطاليا	٢٩,٥	٣,٩	٠,٥٢
الدانمارك	٢,٦	١٧,٨	٠,٥١
إسبانيا	١٩,٤	٢٧,٦	٠,٥٠
المملكة المتحدة	١٦,٦	٤,٤	٠,٢٩

Sources: International Energy Agency, Energy Policies and programs in IEA countries, 1986 Review (paris, OECD, 1987): Population Reference Bureau, 1986, world population Data sheet, (Washington, D.C., 1986).

ومن المصادر المتجدِّد: التي أحرزت تقدماً كبيراً في السنوات الأخيرة بسبب دعم البحث والتطوير المقدَّم لها هي الطاقة الجوفية الحرارية. وتُستنبط هذه الطاقة من حرارة لب الأرض، ويزداد استخدامها بسرعة في العديد من المناطق. وتبشر تقنيات استخلاص هذه الطاقة بتوسيع الرقعة الجغرافية التي تستخدم فيها.

وتبلغ إنتاجية المنشآت المقامة عالمياً، والتي بُني نصفها منذ ١٩٨٠، بما يساوي ٥٠٠٠ ميجاواط الأمر الذي يُبشرِّ بمستقبل زاهر لهذا النوع من الطاقة. ونصف المنشآت المقامة موجود في الولايات المتحدة تليها في ذلك الفلبين، والمكسيك، وإيطاليا، واليابان. وهناك ما يزيد على ١٢ دولة أخرى قامت ببناء محطات للطاقة الجوفية الحرارية. ويتوقع الحصول على ٢٠٠٠ ميجاواط إضافية بحلول عام ١٩٩١، وبَينَّ تقرير وضعه معهد أبحاث الطاقة الكهربائية أنَّ إنتاجية أمريكا الشمالية بمفردها قد تصل ١٨٧٠٠ ميجاواط بحلول عام ٢٠٠٠[٧٨].

ومن تقنيات المصادر المتجددة الحديثة نسبيًّا التي أحرزت تقدماً كبيراً في السنوات الأخيرة ولكنها لم تحقق الأهداف الأكثر طموحة التي توقَّعها الكثيرون في السبعينات هي: المجمِّعات المتقدِّمة للطاقة الشمسية، والتربينات الهوائية، والفوتوفولطية. ولقد أصبحت المجمعات الشمسية والتربينات الهوائية اقتصادية مؤخراً في كثير من المجالات، غير أن الحواجز التنظيميَّة والتخلُّف المعرفي التقني للجهات الممولِّة تعيق اختراق هذه التقنيات لسوق الطاقة. ويتوقع للتقنيات الفوتوفولطية أن تلعب دوراً رئيساً في مجال إمدادات الطاقة.

ومن التقنيات ذات الإمكانات الكبيرة على المدى الطويل والتي تحتاج إلى مزيد من البحث للتدليل على جدواها وتقليل كلفة إنتاجها تشمل النواتج العضوية، والأنواع المختلفة للمجمعات الشمسية، والأنظمة التي تعتمد على الفرق في درجة حرارة المياه بين السطح وقاع المحيطات. هذا ويعد تطوير طريقة كيميائية اقتصادية لتخزين الطاقة، أو تطوير بطارية تخزن الطاقة الكهربائية لاستخدامها لاحقاً نِعْمةً للمصادر المتجددة. فالريح وأشعة الشمس غير متوفرين دائماً عند

الحاجة إليهما، ولكن إذا أمكن تخزين طاقتيهما للاستعمال اللاحق، فإن حضورهما المتقطِّع لن يكون مشكلة تذكر.

إن سرعة تطوير العديد من تقنيات المصادر المتجدِّدة ومعدَّل تَبنيِّ إجراءات زيادة فعاليتها يعتمد على مستوى تمويل القطاعين العام والخاص لمجالات البحث والتطوير، وعلى إعادة التركيب التنظيمي لقطاع الطاقة. (انظر الباب الثاني). وزيادة الفعالية قادرةٌ حالياً على إحداث وفر كبير في مجال الطاقة. كذلك فإنَّ بعض تقنيات المصادر المتجددة، خاصة الطاقة المائية والنواتج العضوية، متوفرة تجاريًّا. وسيشيع استعمال التربينات الهوائية قبل نهاية القرن الحالي، وستعقبها في ذلك مباشرة التقنيات الفوتوفولطية.

إن مساراً للطاقة يتَّصف بالديمومة سيوفِّر المرونة الكافية لمجابهة المستقبل المجهول. ويجب على صانعي السياسة المستعدين للتغيير تحسين طرق تحديد الأسعار، وفتح مجالات العمل في إنتاج الطاقة وتوفيرها.، وتنشيط برامج البحث والتطوير. غير أن تثقيف هؤلاءالسياسيين لزملائهم وللجمهور المستهلك كي يروا القيمة الفعلية الحاليَّة للتوفيرات المستقبلية، وتوجيه الممارسات المالية لتعكس هذه الرؤية سيكون أمراً صعباً. والدول التي تقبل التحدِّي سَتُكافىء بمزيد من الأمن الطَّاقي، وباستقرار أفضل لاقتصادها، بالإضافة إلى توفير بيئة عالميَّة أكثر صحة وعافية.

Chapter 4. Shifting to Renewable Energy

1. Global contribution of renewables from World Commission on Environment and Development, *Our Common Future* (New York: Oxford University Press, 1987); Third World biomass figure from D.O. Hall et al., *Biomass for Energy in Developing Countries* (Elmsford, N.Y.: Pergamon Press, 1982).

2. Investment figure is Worldwatch Institute rough estimate, assuming investments of $20 billion in hydropower, $6 billion in biomass, $2.5 billion in geothermal, $550 million in solar collectors, $300 million in R&D, $400 million in wind power, and $250 million in photovoltaics.

3. Guri dam information from "Price Decline is Harmful For Development of Energy Resources," *OPEC Bulletin*, May 1987; Peter T. Kilborn, "Brazil's Hydroelectric Project," *New York Times*, November 14, 1983; Catherine Caulfield, "The Yangtze Beckons the Yankee Dollar," *New Scientist*, December 5, 1985; Strategies Unlimited, "International Market Evaluations: Small-Scale Hydropower Prospects," California Energy Commission (CEC), Sacramento, 1987.

4. Third World reliance on imported oil from U.S. Agency for International Development (AID), *Decentralized Hydropower in AID's Development Assistance Program* (Washington, D.C.: 1986).

5. T.W. Mermel, "Major Dams of the World-1986," *Water Power & Dam Construction*, July 1986; World Energy Conference, *Survey of Energy Resources, 1980* (Munich: 1980).

6. "The World's Hydro Resources," *Water Power & Dam Construction*, October 1986; Gary Aderman, "China Turns to Hydropower," *Journal of Commerce*, October 1, 1987; Ministry of Mines and Energy, "Energy Self-Sufficiency: A Scenario Developed as an Extension of the Brazilian Energy Model," Government of Brazil, Brasilia, 1984.

7. Marlise Simons, "Dam's Threat to Rain Forest Spurs Quarrels in the Amazon," *New York Times*, September 6, 1987; Philip M. Fearnside, National Institute for Research in the Amazon, Manaus, Brazil, private communication, May 29, 1987; Catherine Caulfield, "Dam the Amazon, Full Steam Ahead," *Natural History*, July 1983.

8. Kilborn, "Brazil's Hydroelectric Project"; World Bank, *A Survey of the Future Role of Hydroelectric Power in 100 Developing Countries* (Washington, D.C.: 1984); Don Winston, U.S. Council on Energy Awareness, Washington, D.C., private communication, October 7, 1987.

9. Donald Worster, "An End to Ecstasy: What Will the Dam Builders Do Now?" *Wilderness*, Fall 1987; Philip Shabecoff, "U.S. Bureau for Water Projects Shifts Focus to Conservation," *New York Times*, October 2, 1987.

10. "Canadian National Energy Board Rejects H-Q Hydroelectric Sale to New England," *International Solar Energy Intelligence Report*, June 23, 1987; "Canadians Size Up U.S. Hydro Export Market," *Alternative Sources of Energy*, July/August 1987; Bill Rankin, "Manitoba Hydro Plans Large Exports of Electricity to the U.S.," *Energy Daily*, January 8, 1986.

11. Catherine Caulfield, "Environmentalists Warn of Damage from Planned Dam in China," *Christian Science Monitor*, December 9, 1985; Claude Alvares and Ramesh Billorey, "Damming the Narmada: The Politics Behind the Destruction," *The Ecologist*, May/June 1987. For further information, see Bruce Rich, Environmental Defense Fund, Testimony in Hearings on Environmental Performance of the Multilateral Development Banks, Subcommittee on International Development Institutions and Finance, U.S. House of Representatives, April 8, 1987.

12. Edward Goldsmith and Nicholas Hildyard, *The Social and Environmental Effects of Large Dams* (San Francisco, Calif.: Sierra Club Books, 1987); Philip B. Williams, "Damming the World," *Not Man Apart*, October 1983; Caulfield, "Environmentalists Warn of Damage"; Robert Goodland, *Environmental Assessment of the Tucurui Hydroproject* (Brasília: Electronorte, 1978).

13. International Task Force, *Tropical Forests: A Call for Action, Part I: The Plan* (Washington, D.C.: World Resources Institute, 1985).

14. Frost & Sullivan cited in Don Best, "Remote Power Market Is Predicted to Swell," *Renewable Energy News*, July 1985.

15. World Bank, *Survey of Hydroelectric Power*; Strategies Unlimited, "Small-Scale Hydropower Prospects"; Larry N. Stoiaken, "The Chinese Hydro Imports: Testing the North American Marketplace," *Alternative Sources of Energy*, July/August 1983.

16. Edison Electric Institute, "1985 Ca-

pacity & Generation, Non-Utility Sources of Energy," Washington, D.C., April 1987; Douglas Cogan and Susan Williams, *Generating Energy Alternatives, 1987 Edition* (Washington, D.C.: Investor Responsibility Research Center, 1987); Donald Marier and Larry N. Stoiaken, "An Industry in Transition: The Hydropower Industry Looks Ahead," *Alternative Sources of Energy*, July/August 1987; "Poland Restarts Small Hydro Plants," *European Energy Report*, July 24, 1987; Ian Lewis, "Small Hydro Playing Key Role in Ontario's Economy," *Alternative Sources of Energy*, October 1986.

17. AID, *Decentralized Hydropower*; Strategies Unlimited, "Small-Scale Hydropower Prospects"; Maria Elena Hurtado, "Hydro Power: China's Marriage of Convenience," *South*, January 1983.

18. Worster, "An End to Ecstasy."

19. International Energy Agency (IEA), *Renewable Sources of Energy* (Paris: Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD), 1987); World Commission on Environment and Development, *Our Common Future*.

20. Gordon T. Goodman, "Biomass Energy in Developing Countries: Problems and Challenges," *Ambio*, Vol. 16, No. 2–3, 1987; United Nations, *1985 Energy Statistics Yearbook* (New York: 1987).

21. IEA, *Renewable Sources*.

22. Goodman, "Biomass Energy"; U.N. Food and Agriculture Organization, *Fuelwood Supplies in the Developing Countries*, Forestry Paper 42 (Rome: 1983).

23. National Wood Energy Association, "Wood Energy—America's Renewable Source," fact sheet, Washington, D.C., September 1987; American Paper Institute, "U.S. Pulp, Paper and Paperboard Industry Estimated Fuel & Energy Use, Full Year 1986, 1985 and 1984," New York, April 1987; Robert P. Kennel, "Biomass for Cogeneration (A Better Option Than You Expected)," presented at Co-energy '86, Boston, Mass., September 3–4, 1986; Solar Energy Industries Association, *Energy Innovation: Development and Status of the Renewable Energy Industries*, Vol. 2 (Washington, D.C.: 1985).

24. Meridian Corporation, *Electric Power From Biofuels: Planned and Existing Projects in the United States* (Washington, D.C.: U.S. Department of Energy (DOE), 1985); Everett Jordan, Eugene Water & Electric, Eugene, Ore., private communication, September 3, 1987; Thomas Carr, Burlington Electric Department, Burlington, Vt., private communication, August 12, 1987; Gerry Anderson, Northern States Power Company, Minneapolis, Minn., private communication, September 2, 1987; George Parks, Washington Water & Power, Kettle Falls, Wash., private communication, September, 1987; CEC, "Relative Cost of Electricity Production," Staff Report, Sacramento, Calif., April 1987; Robert P. Kennel, "Comments of the National Wood Energy Association on Cogeneration and Small Power Production," before the U.S. Federal Energy Regulatory Commission, April 30, 1987.

25. Dean Mahin, "Wood-Fuel Users Report Cost Savings in Virginia," *Renewable Energy News*, October 1985.

26. Frank H. Denton, *Wood for Energy and Rural Development: The Philippines Experience* (Manila: Frank H. Denton, 1983); Christopher Flavin, "Bio-Energy in the Philippines," Worldwatch Institute, unpublished memorandum, December 1985.

27. IEA, *Renewable Sources*.

28. Al Binger, President, Biomass Users Network, Washington, D.C., private communication, October 1, 1987; Bill Belleville, "Renewable Energy Promises Much As Caribbeans Look to the Future," *Renewable Energy News*, October 1985; Eric Larson, Center for ENergy and Environmental Studies, Princeton University, Princeton, N.J., private communication, November 12, 1987; information on Thailand from RONCO Consulting Corp., "The Sugar Industry in the Philippines," Arlington, Va., December 1986.

29. Information on Hawaii from Charles Kinoshita, Hawaiian Sugar Planters Association, Honolulu, Hawaii, private communication, November 24, 1987, and from RONCO, "Sugar Industry in the Philippines"; information on continental capacity from Michael D. Devine et al., *Cogeneration and Decentralized Electricity Production* (Boulder, Colo.: Westview Press, 1987).

30. Eric D. Larson et al., "Steam-Injected Gas-Turbine Cogeneration for the Cane Sugar Industry: Optimization Through Improvements in Sugar-Processing Efficiencies," Center for Energy and Environmental Studies, Princeton University, Princeton, N.J., September 1987.

31. AID, "Power From Rice Husks," *Bioenergy Systems Report*, April 1986.

32. Ibid.; Bob Schwieger, "Rice-hull-fired Powerplant Burns a Nuisance Waste, Sells Electricity, Ash," *Power*, July 1985.

33. AID, "Power From Rice Husks."

34. Per Johan Svenningsson, "Cotton Stalks as an Energy Source for Nicaragua," *Ambio*, Vol. 14, No. 4–5, 1985; Amory B. Lovins et al., "Energy and Agriculture," in Wes Jackson et al., eds., *Meeting the Expectations of the Land* (San Francisco, Calif.: North Point Press, 1984).

35. IEA, *Renewable Sources*.

36. Dr. Marcos M. Soares, Technical Assistant, National Executive Commission of Alcohol, Government of Brazil, Brasilia, private communication, June 25, 1987; "Fuel Consumption High Despite Price Hike," *Gazeta Mercantil*, January 26, 1987; National Executive Commission of Alcohol, "The National Alcohol Program," Ministry of Industry and Commerce, Government of Brazil, Brasilia, 1984.

37. Robert H. Williams, "Potential Roles for Bioenergy in an Energy-Efficient World," *Ambio*, Vol. 14, No. 4–5, 1985; Howard S. Geller, "Ethanol Fuel From Sugar Cane in Brazil," in Annual Reviews Inc., *Annual Review of Energy, Vol. 10* (Palo Alto, Calif.: 1985).

38. Information Resources, Inc., information packet, Washington, D.C., 1987; A. Barry Carr, Congressional Research Service, Testimony at Hearings on Possible Effects of Legislation Mandating Use of Ethanol in Gasoline, Subcommittee on Energy and Power, U.S. House of Representatives, June 24, 1987; Richard B. Schmitt, "Gasohol Backers See Ban on Lead Boosting Sales," *Wall Street Journal*, September 26, 1985; Sarah McKinley, "Ethanol Enjoys Good Times, But Is There A Hangover Ahead?" *Energy Daily*, August 21, 1985.

39. Cities not meeting U.S. pollution standards from Brock Nicholson, U.S. Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, N.C., private communication, November 9, 1987; Mark Ivey and Ronald Grover, "Alcohol Fuels Move Off the Back Burner," *Business Week*, June 29, 1987.

40. Meridian Corporation, "Worldwide Review of Biomass Based Ethanol Activities," Falls Church, Va., 1985; Information Resources, Inc., *Alcohol Outlook*, various issues; Alan Friedman and George Graham, "Ferruzzi Plans to Produce Ethanol at Plant in Northern France," *Financial Times*, July 10, 1987; David Lindahl, U.S. Department of Energy, Washington, D.C., private communication, August 27, 1987; "Alcoholic Problems in Italy," *European Energy Report*, August 21, 1987.

41. IEA, *Renewable Sources*; Ross Pumfrey and Thomas Hoffman, "Incentives for the Use of Renewable Energy: The Experience in Brazil, Cyprus, India, the Philippines, and California," International Institute for Environment and Development, Washington, D.C., 1985; D. Groues and I. Segal, *Solar Energy In Israel* (Jerusalem: Ministry of Energy & Infrastructure, 1984).

42. IEA, *Renewable Sources*; Strategies Unlimited, "International Market Evaluations: Solar Thermal Energy Prospects," CEC, Sacramento, Calif., 1987.

43. U.S. Department of Energy, *Solar Collector Manufacturing Activity 1986* (Washington, D.C.: 1987); U.S. Department of Energy, *Solar Collector Manufacturing Activity 1984* (Washington, D.C.: 1985); Scott Sklar, Solar Energy Industries Association, Testimony at Hearings, Subcommittee on Energy Research and Development, Committee on Science, Space and Technology, U.S. House of Reprsentatives, March 11, 1987.

44. IEA, *Renewable Sources*.

45. Michael Edesedd, "On Solar Ponds: Salty Fare for the World's Energy Appetite," *Technology Review*, December 1982; "Bet Ha'Arava Solar Pond Power Plant Inaugurated," *Sun World*, Vol. 8, No. 1, 1984; "Solar Ponds Performing Well, Several Countries Advance Plans," *Solar Energy Intelligence Report*, April 28, 1987; Robert L. Reid and Andrew H.P. Swift, "El Paso Solar Pond First in U.S. to Generate Electricity," *Solar Today*, January/February 1987; "California Looks to Salt Water and the Sun," *New Scientist*, July 3, 1986.

46. Luz International Limited, information packet, Los Angeles, Calif.; Trudy Self, Luz International Limited, private communication, July 23, 1987; "Solar Energy Strikes Gold in California," *International Power Generation*, December 1986/January 1987; David W. Kearney and Henry W. Price, "Overview of the SEGS Plants," presented to the Solar '87 Conference, Portland, Ore., July 1987.

47. Christopher Flavin, "Electricity from Sunlight: The Emergence of Photovoltaics," U.S. Department of Energy, Washington, D.C., December 1984; R.L. Watts and S.A. Smith, "Photovoltaic Industry Progress from 1980 through 1986," Pacific Northwest Laboratory, Battelle Memorial Institute, Richland, Wash., June 1987; IEA, *Renewable Sources*.

48. Pre-1981 shipments and cost data from Strategies Unlimited, *1980–81 Market Review* (Mountain View, Calif.: 1981); post-1980 shipments data from Watts and Smith, "Photovoltaic Industry Progress"; post-1980 cost figures from Paul Maycock, "PV Technology, Performance, Cost, and Market Forecast to 1995," PV Energy Systems, Casanova, Va., November 1986.

49. Watts and Smith, "Photovoltaic Industry Progress"; "Communication Systems: Photovoltaics is Preferred Power Source," *ARCO News*, Summer 1986.

50. Herbert Wade, U.N. Pacific Energy Development Programme, Fiji, "The Socio-Economic Benefits of PV Applications in the Pacific," presented to the Photovoltaics: Investing in Development Conference, organized by U.S. Department of Energy, New Orleans, La., May 4–6, 1987; "French Polynesia - World's Largest Market for Small PV Systems?" *PV News*, May 1987; William Meade, "Caribbean Project Opportunities," Renewable Energy Institute, Washington, D.C., May 1987; Richard Hansen, Enersol Associates, Somerville, Mass., private communication, September 23, 1987; IEA, *Renewable Sources*.

51. "Solarex Wins U.S. Coast Guard Contract," *Photovoltaic Insider's Report*, July 1987; Paul Maycock, presentation to Society for International Development Energy Luncheon, Washington, D.C., July 2, 1987.

52. Paul Maycock, "Consumer Products—PV's Fastest Growing Segment," *PV International*, November 1987; Watts and Smith, "Photovoltaic Industry Progress."

53. Watts and Smith, "Photovoltaic Industry Progress."

54. "The Bad News and Good News for Photovoltaics," *Solar Today*, May/June 1987.

55. "Solarex, ARCO Solar Sue Each Other, Charging Thin Film Technology Patent Infringement," *Photovoltaic Insider's Report*, June 1987; "Chronar, Pension Fund Sign Letter of Intent on 10-MWp a-Si PV Plant," *International Solar Energy Intelligence Report*, October 20, 1987.

56. IEA, *Renewable Sources*; Thomas Jaras, *Wind Energy 1987: Wind Turbine Shipments and Applications* (Great Falls, Va.: Stadia, Inc., 1987).

57. Jaras, *Wind Energy 1987*.

58. Ibid.; IEA, *Renewable Sources*; R. Lynette & Assoc., Inc., "The Lessons of the California Wind Farms: How Developing Countries Can Learn From the American Experience," Redmond, Wash., 1987.

59. IEA, *Renewable Sources*.

60. Strategies Unlimited, "International Market Evaluations: Wind Energy Prospects," CEC, Sacramento, Calif., 1987; IEA, *Renewable Sources*.

61. Lynette & Assoc., "Lessons of California"; Tom Gray, American Wind Energy Association, Testimony at Hearings, Subcommittee on Energy Research and Development, Committee on Science, Space and Technology U.S. House of Representatives, March 11, 1987; IEA, *Renewable Sources*.

62. Average wind turbine size derived from information provided by Sam Rashkin, CEC, Sacramento, Calif., private communication, October 6, 1987, and in Paul Gipe, "An Overview of the U.S. Wind Industry," *Alternative Sources of Energy*, September/October 1985; Lynette & Assoc., "Lessons of California"; IEA, *Renewable Sources*; Strategies Unlimited, "Wind Energy Prospects"; Kevin Porter, Renewable Energy Institute, Washington, D.C., private communication, October 22, 1987.

63. Strategies Unlimited, "Wind Energy Prospects"; Strategies Unlimited, "International Energy and Trade Policies of California's Export Competitors," CEC, Sacramento, Calif., 1987.

64. Jaras, *Wind Energy 1987*.

65. Information on Danish Manufacturers from Thomas Jaras, quoted in "Top Ten Listings Prove Third World Growth," *Windpower Monthly*, September 1987; Torgny Moller, Publisher, *Windpower Monthly*, Knebel, Denmark, private communication, September 9, 1987; Cathy Kramer, "The Ebeltoft Sea-Based Wind Project," *Alternative Sources of Energy*, December 1985; Strategies Unlimited, "International Energy and Trade Policies."

66. Strategies Unlimited, "Wind Energy

Prospects"; IEA, *Renewable Sources*; Jaras, *Wind Energy 1987*; Costis Stambolis, "Danwin Snares Large Export Contract to Supply Windmills to Soviet Union," *International Solar Energy Intelligence Report*, September 29, 1987; "International Roundup," *International Solar Energy Intelligence Report*, September 22, 1987.

67. Strategies Unlimited, "Wind Energy Prospects"; Jaras, *Wind Energy 1987*; Gipe, "Overview of U.S. Wind Industry"; "World List of Nuclear Power Plants," *Nuclear News*, February 1986.

68. Gipe, "Overview of U.S. Wind Industry"; Lynette & Assoc., "Lessons of California"; Philip C. Cruver, "Windpower: Electrical Power Source for the Future," *SunWorld*, Vol. 11, No. 3, 1987.

69. Ministry of Mines and Energy, "Energy Self-Sufficiency: A Scenario Developed as an Extension of the Brazilian Energy Model"; United Nations, *1985 Energy Statistics*; DOE, Energy Information Administration, *International Energy Annual 1986* (Washington, D.C.: 1987); José Goldemberg et al., *Energy for Development* (Washington, D.C.: World Resources Institute, 1987).

70. Goldemberg et al, *Energy for Development*.

71. Ross Pumfrey et al., "India Trade and Investment Laws Relating to Renewable Energy," Renewable Energy Institute, Washington, D.C., March 1987; Judith Perera, "Indian Government Draws Up Plans to Exploit Renewable Energy," *Solar Energy Intelligence Report*, August 11, 1987.

72. IEA, *Energy Policies and Programmes of IEA Countries, 1986 Review* (Paris: OECD, 1987).

73. Ibid.

74. Population Reference Bureau, *1986 World Population Data Sheet* (Washington, D.C.: 1986); World Bank, *World Development Report 1987* (New York: Oxford University Press, 1987).

75. Sweden's per capita R&D spending derived from IEA, *Policies and Programmes*, and from Population Reference Bureau, *1986 World Population Data Sheet*; information on Swedish biomass programs from IEA, *Policies and Programmes*, from "Green Power: Biofuels are a Growing Concern," *Scientific American*, August 1984, adn from Allerd Stikker, President, Trans-form Foundation, London, private communication, September 28, 1987; information on Sweden's nuclear policy from "Swedish Plan for Nuclear Phase-out," *European Energy Report*, May 29, 1987.

76. Strategies Unlimited, "International Energy and Trade Policies"; "Swiss Program Reflects Interest in Indigenous, Non-Polluting Energy," *Solar Update*, May 1987; Strategies Unlimited, "Wind Energy Prospects"; IEA, *Policies and Programmes*; Perera, "Indian Government Draws Up Plans."

77. Strategies Unlimited, "International Energy and Trade Policies."

78. IEA, *Renewable Sources*; Ronald DiPippo, Southeastern Massachusetts University, private communication, June 29, 1987; Ronald DiPippo, "Geothermal Power Plants, Worldwide Status—1986," *Geothermal Resources Council Bulletin*, December 1986; 1991 capacity figure and Electric Power Research Institute study cited in Donald Finn, "Expanding Geothermal Industry," *Alternative Sources of Energy*, October 1987.